Universidad del Azuay

Facultad de Ciencias de la Administración

Escuela de Ingeniería de Sistemas

"Construcción de una pasarela SMS de hardware, autónoma, basada en telefonía celular GSM para consultas en base de datos"

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

Ingeniero de Sistemas

Autor: Juan Torres Robalino

Director: Ing. Pablo Esquivel L.

Cuenca, Ecuador

2009

Las opiniones vertidas en el desarrollo del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de su autor.

_____

Juan Torres Robalino

Índice de Contenidos

Declaración de responsabilidad …..……..……..… i

Índice de contenidos …..……..……..… ii

Índice de anexos …..……..…….…..vi

Resumen……..…..……vii

Abstract…….…….…….....viii

Introducción …….……..……..……1

Capitulo 1: Análisis introductorio ……..……..……..……. 3

1.1 Introducción ……..…….……3

1.2 Marco legal del sector de la telefonía celular en Ecuador ….……3

1.3 La evolución de los servicios de telefonía móvil en Ecuador …….....7

1.4 Cifras del sector de telefonía celular en Ecuador …… 11

1.5 Conclusiones…….……..…….……....……17

Capitulo 2: Fundamentos de la telefonía celular……..…….…….19

2.1 Introducción ……..…….……..……..…… 19

2.2 La red de telefonía celular ……..……..……19

2.2.1 Principio de funcionamiento …..……..…… 19

2.2.2 Arquitectura y componentes de la red celular…...……..…21

2.2.3 Técnicas de acceso de los sistemas de telefonía celular……..…26

2.2.3.1 Acceso múltiple por división de frecuencia…...…….26

2.2.3.2 Acceso múltiple por división en el tiempo……..… 27

2.2.3.3 Acceso múltiple por división del espacio ……..… 27

2.2.3.4 Acceso múltiple por división de código ..…….. 28

2.2.4 Protocolos de la telefonía móvil ……...… 28

2.3 Conclusiones…….……..…….……....……30

Capitulo 3: El estándar GSM ……...……..…….……. 31

3.1 Introducción ……..… ……..……31

3.2 Breve historia del estándar GSM ……..……..……31

3.3 Arquitectura de la red ……..……..…… 32

3.3.1 BSS ……..……..……34

3.3.2 NSS ……. . ……..……35
3.3.3 OSS …….……..……37
3.3.4 Otros elementos de la red GSM ……...……..…….. 37
3.4 Características operativas de GSM …..……..……..… 38
3.4.1 Generalidades sobre ondas electromagnéticas ...……..... 39
3.4.1.1 Introducción ……....……... 39
3.4.1.2 Modulación y ancho de banda ……....…….. 41
3.4.2 Modulación en GSM ……..……..... 50
3.4.3 Parámetros de transmisión en GSM..……..……..... 52
3.5 Servicios en GSM …..……..……..…… 53
3.6 El servicio SMS …….……..……..…… 54
3.6.1 Introducción ……...……..... 54
3.6.2 Descripción y arquitectura …..……...……..... 55
3.6.3 Funcionamiento del servicio SMS……...……..... 56
3.6.4 El modelo de capas de SMS ……...……..... 58
3.6.5 Modos de operación SMS ……...……..... 60
3.6.6 La trama TPDU ……...……..... 62
3.6.6.1 Codificación del campo UD en modo PDU ……..…..65
3.7 Conclusiones …...…..……..……..…… 67

Capitulo 4: Instalación y manipulación del módem ……..……. 69
4.1 Introducción ……..… …….……..……69
4.2 Instalación del módem …. …….……..……69
4.2.1 Consideraciones previas …..……...……..... 69
4.2.2 Instalación del driver ……...……...……..... 71
4.3 Pruebas demostrativas del software instalado …..……..……76
4.4 Los comandos AT ……..……..……79
4.4.1 Introducción ……..…..……...……..... 79
4.4.2 Consideraciones iniciales ……...……..... 80
4.4.3 Descripciones y ejemplos de ejecución de comandos …..... 80
4.5 Conclusiones …...…..……..……..…… 89

Capitulo 5: Estudio de mercado ……..……. 91
5.1 Introducción ……..… …….……..……91

5.2 Naturaleza y definición del producto ..…..……..……91
5.3 Análisis de la demanda ……...…..……..……92
5.3.1 Recopilación de la información……...……..... 92
5.3.1.1 Evidencia de casos similares ……...…..92
5.3.1.2 Aplicación de cuestionario ……...…..92
5.3.1.3 Justificativos del cuestionario aplicado ……...…..96
5.3.2 Tabulación de los datos recopilados ……..... 98
5.3.3 Interpretación de los resultados …….....103
5.4 Análisis de la oferta ….……...…...……..……..… 105
5.4.1 Recopilación y análisis de la información ……...….....105
5.5 Análisis de precios ..…..……...…...…….…….. 106
5.6 Comercialización del servicio ……....…...……..……..108
5.7 Conclusiones …....…..……..……..…108

Capitulo 6: Análisis informático de la aplicación …..…..…….…….. 110
6.1 Introducción ……..… …….…….. 110
6.2 Estudio preliminar …...… …….…….. 110
6.2.1 Definición del problema ……..….....110
6.2.2 Resultados esperados …….……...….....111
6.2.3 Limitaciones previstas hasta el momento ……....112
6.2.4 Recursos a emplearse ….…….……....113
6.3 Estudio de la aplicación a desarrollarse ….…….….. 114
6.3.1 Síntesis del funcionamiento del sistema web existente …….. 114
6.3.2 Síntesis del funcionamiento previsto para la pasarela SMS ... 114
6.4 Diseño del sistema ….…….….. 116
6.4.1 Descripción del sistema a desarrollarse ……...….. 116
6.4.2 Tareas del sistema de mantenimiento ……...….. 117
6.4.3 Tareas de la pasarela SMS ..……..……...….. 118
6.4.4 Diseño de la base de datos ..……..……...….. 119
6.5 Conclusiones …….…….…….. 122

Capitulo 7: Desarrollo e implementación de la aplicación ….…..……. 124
7.1 Introducción ……..… …….…….. 124
7.2 Observaciones al presente capítulo ….…….……. 124

7.3 Disposición general de los elementos del programa ……125
7.4 Interfaces de usuario que fueron programadas ……. 126
7.5 Conclusiones ……..…….…….. 131

Capitulo 8: Pruebas de la aplicación ……...…..……. 132
8.1 Introducción ……..… …….…….….. 132
8.2 Conjunto de pruebas propuestas …..…….…….….. 132
8.3 Ejecución de las pruebas …..…….…….….. 132
8.4 Resultados de las pruebas …….…….….. 135
8.5 Restricciones halladas que no fueron previstas ……..…….. 136
8.6 Conclusiones ……..…….…….….. 136

Capitulo 9: Conclusiones y recomendaciones ……..……. 138
9.1 Conclusiones …….…….…….….. 138
9.2 Recomendaciones ….…….…….….. 139

Referencias bibliográficas ……..……..……. 140

Índice de Anexos

Apéndice 1: El alfabeto de 7 bits ……..……145

Apendice 2: Listado de comandos AT y códigos de error …..…….…...148

Apendice 3: Encuestas efectuadas ……..…….……150

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la factibilidad de desarrollar e implementar una aplicación pasarela para gestión de consultas a una base de datos. Las peticiones se reciben mediante mensajes de texto SMS, la aplicación analiza la petición y si los parámetros son los adecuados resuelve la consulta y responde por la misma vía. No se requerirá de la intervención directa de la compañía prestadora del servicio de telefonía celular.

La base de este proyecto es un teléfono celular GSM Motorola, que se conecta al computador mediante interfaz tipo USB, y se lo manipula por medio del puerto serial lógico de comunicaciones, adjunto al módem integrado del dispositivo móvil.

ABSTRACT

This thesis has as its objective to determine the feasibility of developing and implement a gateway application for the queries administration of a database. The requests are received through SMS text messages, the application analyzes the request and if the parameters are adequate, it solves the query and responds it through the same way. The direct intervention of the mobile company that provides the service won't be required.

The project is based on a GSM Motorola cell phone, which is connected to the computer through a USB port, and it is manipulated through the logic communications serial port attached to the integrated modem of the mobile device.

INTRODUCCION

Las comunicaciones móviles han llegado a alcanzar una difusión tan amplia, que inevitablemente han llegado a formar parte del diario convivir de nuestra sociedad, pues están presentes en muchas de las actividades que diariamente realizan millones de personas en nuestro país y en el mundo. Este tipo de comunicaciones ha evolucionado rápidamente, hasta llegar a ofrecer una infinidad de servicios y aplicaciones, de muy variado género, para satisfacer las necesidades de un consumidor cada vez más dinámico y ávido de tecnología.

Entre las comunicaciones móviles destaca la telefonía celular. Aún cuando en nuestro país solamente tiene quince años de vida, ha visto multiplicar sus usuarios hasta el punto de que hoy sobrepasan en número a cualquiera de los que usan otro tipo de comunicaciones, sean éstas fijas o móviles. En esta expansión mucho tiene que ver la variedad de servicios y productos ofrecidos, pero más aún la facilidad y comodidad de utilización: cualquier usuario con teléfono móvil puede comunicarse con cualquier otro que también disponga de uno, independientemente de la empresa o la tecnología empleada.

Dentro de las prestaciones que ofrece la telefonía móvil, es muy difundido el servicio de mensajes de texto o SMS. Aún cuando los abonados de telefonía móvil usan este servicio a gran escala para establecer comunicación de una forma barata y eficaz, el uso de este tipo de servicio es muy marginal para fines que no involucren la charla entre usuarios. Particularmente, en nuestro país, la oferta de SMS para realizar consultas a una base de datos en tiempo real, tales como saldos bancarios, horóscopo, u otras consultas de variada índole; se restringe a contratar unas pocas empresas prestadoras con tecnología propia, asociadas directamente con las compañías operadoras de telefonía celular. Esto contribuye a que cuando una empresa, institución o un usuario particular requiera de este tipo de servicios, se vea casi obligado a requerir la intervención de las empresas antes mencionadas.

Dado que los módems generalmente se enlazan a los puertos seriales de un computador y que algunos teléfonos celulares son esencialmente módems portátiles,

el autor empezó a investigar cómo se lleva a cabo el proceso de comunicaciones y buscar la manera de enlazar su funcionamiento con el de una aplicación informática que pudiese resultar factible. El punto de encuentro entre estas dos cuestiones fue el tema de la presente tesis.

De ahí que el presente trabajo pretenderá establecer la factibilidad de implementar una pasarela de hardware para consultas en una base de datos, a un costo más bajo, de manera autónoma y con recursos propios, empleando un teléfono celular GSM marca Motorola modelo L6. El ámbito de desarrollo será la propia Universidad del Azuay, pretendiéndose desarrollar un sistema de consulta de notas para que los estudiantes las puedan conocer usando sus teléfonos móviles.

Los fundamentos teóricos para el presente trabajo se basan en el estándar GSM en lo concerniente al servicio SMS. Los aspectos técnicos están dictados en el estándar ETSI 03.40 versiones 7.4.0 y 7.5.0. También se hace uso de los comandos para módem AT expuestos en la documentación del fabricante del equipo de comunicación celular. Otro de los aspectos a considerar tiene que ver con el envío y recepción de los mensajes de texto y la manera de interpretarlos por la aplicación informática. Finalmente, se hará uso del lenguaje de programación Visual Basic para programar la aplicación. Con el apoyo de un estudio de mercado, se investigará la factibilidad en términos de oferta y demanda.

Espero, que el presente trabajo pueda de alguna manera contribuir a comprender el funcionamiento de algunas de las facetas de un teléfono celular, o expresándolo más específicamente, de un módem GSM. Luego de un estudio introductorio, cada capítulo del trabajo explorará, de la manera más cuidadosa posible, aunque sin abundar en tecnicismos, los diferentes conceptos necesarios para entender el funcionamiento de la pasarela de hardware. Se pretenderá tener la mayor objetividad para llegar a las conclusiones de este trabajo, las cuales determinarán si es factible o no implantar la aplicación de manera práctica.

CAPITULO 1: ANÁLISIS INTRODUCTORIO

1.1 Introducción.

Este capítulo analiza de manera general el entorno para la ejecución del proyecto. Se hará un estudio introductorio sobre el marco legal del sector de la telefonía móvil en Ecuador. Se expondrá una síntesis de la evolución de este sector y las cifras que lo evidencian. También se presentará información referente a la codificación adoptada para la asignación de números telefónicos a los abonados del servicio, con sus implicaciones técnicas y jurídicas. Finalmente se presentarán las conclusiones del capítulo.

1.2 Marco legal del sector de telefonía celular en Ecuador

La telefonía celular es un servicio que al operar mediante radiofrecuencias ocupa parte del espectro radioeléctrico. El espectro, al ser un intangible, tiene variadas definiciones en cada país de acuerdo a aspectos técnicos y jurídicos; pero en la gran mayoría de legislaciones se considera un bien público inajenable sujeto a control y regulación por parte del Estado. Nuestro país no es la excepción, y por ende, el Estado ecuatoriano y los entes que lo representan establecen las normas y principios necesarios para regular su utilización de forma racional, equitativa, eficiente y económica.

En el Ecuador las entidades públicas encargadas de las regulaciones para las telecomunicaciones en general y para la telefonía celular en particular son: el CONATEL - Consejo Nacional de Telecomunicaciones, la SENATEL -Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y la SUPTEL - Superintendencia de Telecomunicaciones.

Según el Reglamento a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada vigente, el CONATEL se encarga de "establecer, en representación del Estado las políticas y normas de regulación de los servicios de telecomunicaciones en el Ecuador" (Art. 87); la SENATEL es el ente responsable de "ejecutar las políticas y decisiones dictadas por el CONATEL" (Art. 101), y la SUPTEL es "el organismo técnico

responsable de ejercer la supervisión y control de las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas del sector de las telecomunicaciones a fin de que sus actividades se sujeten a las obligaciones legales reglamentarias y a las contenidas en los títulos habilitantes" (Art. 110).

En el Artículo 88 del mencionado cuerpo legal se establecen que las atribuciones del CONATEL son, entre otras, planificar, regular, gestionar y controlar la prestación de los servicios de telecomunicaciones y la instalación, operación y explotación de toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, imágenes, datos y sonidos por cualquier medio; y el uso del espectro radioeléctrico; con sujeción a lo dispuesto en este reglamento, la ley y demás normas aplicables.

La legislación superior del sector de las telecomunicaciones está codificada en la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada; el Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada; la Ley de Comercio electrónico, Firmas electrónicas y Mensajes de datos; y el Reglamento a la Ley de Comercio electrónico, Firmas electrónicas y Mensajes de datos.

Estos instrumentos legales dan forma al marco regulatorio de las telecomunicaciones, pero es necesario especificar el área de este sector para observar su normatividad complementaria. En el caso de la telefonía celular, el ámbito legal se enmarca en las siguientes reglamentaciones:

- Ley Especial de Telecomunicaciones, publicada en el Registro Oficial No. 996 del 10 de agosto de 1992 y sus reformas.
- Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, publicado en el Registro 50 del 21 de octubre de 1996.
- Reglamento de Interconexión, publicado en el Registro Oficial No. 481 del 26 de Diciembre de 2001; derogado y sustituído por el Reglamento de Interconexión -Resolución No 602-29-CONATEL-2006.
- Reglamento Especial para Determinar la Calidad de Empresas Relacionadas, publicado en el Registro Oficial No. S-1008 del 10 de agosto de 1996.
- Reglamento de Telefonía Pública de Prepago, publicado en el Registro Oficial No. 353 del 3 de julio de 1998.

- Reglamento para el Servicio de Telefonía Móvil Celular, publicado en el Registro Oficial No.10 del 24 de agosto de 1998.
- Reglamento para la Homologación de Equipos Terminales de Telecomunicaciones, publicado en el Registro Oficial No. 10 del 24 de agosto de 1998, y su reforma, publicada en el Registro oficial No. 623 del 22 de julio de 2002.
- Plan Nacional de Frecuencias, publicado en el Registro Oficial No. 192 del 26 de octubre de 2000.
- Reglamento para la prestación de Servicios Móviles Avanzados, publicado en el Registro Oficial No. 687 del 21 de octubre de 2002. (SUPTEL, Telecomunicaciones – Telefonía móvil – Legislación 1)
- Reglamento de Protección de Emisiones de Radiación no Ionizante generadas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico- Resolución No. 01-01-CONATEL-2005.
- A las anteriores se agrega otra norma, el Plan Técnico Fundamental de Numeración, Resolución 349-17-CONATEL-2007.

Los cuerpos legales donde se reconoce la existencia jurídica de los sistemas de telefonía celular son: el Reglamento para el Servicio de Telefonía Móvil Celular, que tiene por objeto "regular, normar, supervisar y permitir la explotación de los Servicios de Telefonía Móvil Celular SMTC" (CONATEL Art 1) y el Reglamento para la Prestación de Servicios Móviles Avanzados. Los Servicios Móviles Avanzados – SMA, identificados por el mencionado reglamento, se definen como: "un servicio final de telecomunicaciones del servicio móvil terrestre, que permite toda transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza" (CONATEL Art 3).

El primer reglamento resuelve sobre las dos operadoras privadas - OTECEL S.A y CONECEL S.A. y el segundo sobre la operadora estatal - TELECSA, aunque cuando las primeras renueven su contrato de concesión en el año 2008, muy probablemente pasarán a regirse por el segundo reglamento.

Dado que los servicios de mensajería de texto operan sobre redes de telefonía celular, aún cuando no tienen un reglamento específico para su operación, éstos encuentran amparo legal para su explotación en el los artículos 14 y 33 del Reglamento para el Servicio de Telefonía Móvil Celular, que textualmente señalan:

"Art 14: El alcance de la concesión del servicio de telefonía móvil celular incluye los servicios suplementarios que se soporten sobre sus propias redes tales como marcación abreviada, conferencias multiparte, teléfono rojo, llamada en espera, etc. bastando para ello la notificación a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones con el detalle de los servicios que van a ofrecer e incluir en los informes que presente la Superintendencia de Telecomunicaciones." (CONATEL Art. 14)

"Art 33: Servicios especiales.- Las operadoras pueden prestar a los usuarios que lo soliciten algunos servicios especiales como por ejemplo:

- Transferencia de llamadas.
- Llamada en espera
- Conferencia tripartita.
- Mensaje de voz electrónico.
- Facturación detallada.
- Servicios del sistema digital como identificación del número que llama, envío de mensajes cortos, etc.

La facturación de estos servicios deberá llevarse a cabo de acuerdo a las tarifas aprobadas por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones." (CONATEL Art. 33)

Los dos artículos anteriores, aunque muy generales, permiten la operación del servicio. Como al inicio no existió normatividad basada en parámetros técnicos; para ejercer algún control mientras se van recopilando y ejecutando proyectos de nuevas reglamentaciones, el CONATEL emite resoluciones de acatamiento obligatorio para las operadoras, tendientes a superar problemas con el servicio y establecer precedentes para normas futuras. Las resoluciones por lo general se basan en informes técnicos de la SUPTEL, que investiga sobre la calidad del servicio cuando existe alguna anomalía notoria o cuando se presentan denuncias formales por parte de abonados o autoridades.

1.3 La evolución de los servicios de telefonía móvil en Ecuador

"La telefonía móvil celular fue introducida al Ecuador luego de que el 26 de agosto de 1993 y posteriormente el 29 de noviembre de 1993, la SUPTEL suscribió sendos contratos de concesión con una duración de 15 años para operar el SMTC en la

banda 800 Mhz: el primero - Banda A fue adjudicado al Consorcio de Telecomunicaciones S. A. CONECEL cuyo nombre comercial fue Porta Celular y el segundo - Banda B con Telia Celular Power OTECEL S.A. cuyo nombre comercial fue originalmente Celular Power" (Galarza, párr. 4). Las compañías fueron constituidas por grupos de inversionistas nacionales.

"Inicialmente el servicio se implementó con tecnología analógica de primera generación; ambos operadores se inclinaron por el estándar americano AMPS - Digital Advanced Mobile Phone System con equipos de NORTEL para CONECEL y Ericsson en el caso de OTECEL" (Galarza, párr. 4). En un inicio no había interconexión entre las redes de las operadoras de celulares, tampoco existía conexión desde éstas hacia las redes de las compañías de telefonía fija; por lo que el tráfico de llamadas se restringía a la propia red de cada empresa de teléfonos móviles.

"En marzo de 1997 la compañía OTECEL S.A. fue adquirida por la estadounidense BellSouth, y como consecuencia cambió su denominación comercial. Posteriormente en marzo de 2000, Telmex, filial de la mexicana América Móvil toma el control de CONECEL S.A" (Galarza, párr. 5), aunque ésta mantuvo su nombre comercial de Porta.

"Entre los años 1997 y 2002 ambas compañías fueron migrando sus redes para equipos analógicos hacia redes con soporte digital de segunda generación, específicamente hacia la norma TDMA IS-136. Estos cambios se fueron implementando conforme se incrementaba la demanda del servicio por el aumento del número de abonados y también por la necesidad de ofrecer soporte adecuado de conforme a las condiciones de los contratos de concesión" (Galarza, párr. 6).

El soporte analógico se minimizó en las redes de servicio celular a partir del año 2001 debido a la congestión de las redes y debido también a las proyecciones de crecimiento previstas en un 60% anual. Además, por este año se ofreció a los usuarios el servicio de mensajes cortos - SMS, aunque éste estuvo restringido al tráfico de mensajes entre abonados de una misma compañía operadora. Ese mismo año, en base a convenios de interconexión entre los diferentes operadores de telefonía tanto móvil como fija, y por la expedición de un Reglamento en ese sentido

por parte del ente regulador, fue posible cursar llamadas desde cualquier origen a cualquier destino.

El servicio se volvió cada vez más deficiente en primer lugar por la falta de previsión de las compañías concesionarias que aplazaron la inversión en nuevas plataformas para renovar las saturadas redes existentes; y también por el escaso control y normatividad obsoleta por parte del ente regulador - SUPTEL. Pero hubo un hecho que apresuró el cambio hacia nuevas tecnologías: a finales mes de diciembre de 2002 se presentaron fallos generalizados en el servicio de telefonía celular en todo el país, debido a que las redes no soportaron el tráfico de llamadas cursadas por los abonados. Este hecho volvió a presentarse en fecha similar de los años siguientes.

"En octubre del 2002, la compañía BellSouth adquirió nuevas estaciones celulares de tercera generación basado en la norma CDMA 2000 1xRTT, aunque se presentaron problemas significativos en la construcción de la infraestructura y en la migración de los abonados hacia esta plataforma" (Galarza, párr. 13). BellSouth completó hacia noviembre de 2003 el soporte de redes de generación 2.5, y entró en operaciones este servicio en la banda 800 Mhz. En mayo de 2003 la compañía Porta empezó ofrecer servicios de telefonía móvil GSM de segunda generación, al entrar a operar en la banda 850 Mhz.

El 3 de Abril de 2003 la SUPTEL suscribe otro contrato con un tercer concesionario: Telecomunicaciones Móviles del Ecuador S.A TELECSA comercialmente conocida como Alegro PCS -de propiedad de las empresas estatales Andinatel y Pacifictel. La concesión a esta empresa se realizó bajo la figura de Servicio Móvil Avanzado-SMA.

Se asignó la banda de los 1900 Mhz porque de acuerdo con el contrato, se consideró que el servicio ofrecido era distinto al de telefonía móvil celular, y además no había mas espacio espectral en la banda de los 800Mhz. Para la operación de esta compañía fue necesario migrar frecuencias de radio y televisión operativas con el fin de limpiar el espectro asignado.

TELECSA inició sus operaciones el 1 de diciembre de 2003 empleando tecnología CDMA 2000 norma 1.x RTT –generación 2.5. Entre diciembre de 2003 y abril de 2006 TELECSA fue administrada por la empresa sueca Swedtel. En mayo de 2006

pasó a manos de VIA Advisors Ecuador subsidiaria de la italiana VIA Advisors Corporate Finance.

El 14 de octubre de 2004, la empresa española Telefónica Móviles adquiere el 100% del paquete accionario de BellSouth - OTECEL S.A, aunque siguió usando la misma imagen comercial y la misma tecnología basada en CDMA hasta el 4 de abril de 2005. En esta fecha lanzó su producto Movistar, presente en algunos países de la región. En septiembre de ese año, esta empresa también empieza a comercializar servicios GSM de segunda generación en la banda GSM 850.

A partir del 28 de octubre de 2004; tras conversaciones de varios meses entre las compañías del sector y por un alcance a la normativa de la SUPTEL, se da un acuerdo de interconexión entre las concesionarias que posibilitó el intercambio de mensajes de texto independientemente de la operadora y sus plataformas, con lo cual se permite el libre tráfico SMS entre los abonados de telefonía móvil. (ITEcuador.com, párr. 1)

Para inicios del año 2005, las operadoras Porta y Movistar incluyeron portador de datos GPRS - General Packet Radio Service, tecnología basada en conmutación de paquetes de datos que permite el uso de MMS - Multimedia Messaging System y WAP - Wireless Application Protocol, mensajes multimedia y navegación en portales de Internet para teléfonos celulares, consiguientemente sus redes GSM evolucionaron a generación 2.5

TELECSA terminó unilateralmente el contrato de administración con VIA Advisors Group en abril de 2007, debido a la negativa en proporcionar la información de la empresa a la Contraloría General del Estado eludiendo un pronunciamiento de la Procuraduría General a favor del ente de control. La administración pasó directamente a manos del presidente del directorio de TELECSA.

En julio de 2007 la SUPTEL emitió un comunicado en el cual se da el plazo de un año para que las compañías Porta y Movistar retiren de operación las tecnologías AMPS y/o TDMA y migren la totalidad de sus abonados hacia tecnologías GSM o CDMA. En esta resolución se considera que AMPS y TDMA no han evolucionado y poseen características técnicas que no garantizan la inviolabilidad y el secreto de las

telecomunicaciones. En este aspecto, la red AMPS / TDMA de Porta dejó de funcionar el 30 de septiembre de 2007. Movistar hizo lo propio dando de baja esa tecnología el 31 de marzo de 2008.

TELECSA venía arrastrando ingentes pérdidas económicas desde el inicio de sus labores y estaba quedando muy rezagada con respecto a las otras dos operadoras. Para tratar de revertir la situación, en diciembre de 2007 la empresa relanzó su marca Alegro sin el sufijo PCS y empezó a ofrecer tecnología GSM 2.5. Inicialmente, para evitar la fuerte inversión de montar una red paralela nueva adicional a la CDMA de su propiedad, el plan de la empresa fue arrendar la red de OTECEL, aunque operando en su banda concesionada -1900Mhz.

En enero de 2006 SENATEL inició los estudios para la renovación de la concesión con las dos operadoras privadas, los cuales vencían en el año 2008 y de acuerdo a lo pactado en el contrato inicial debían empezar a negociarse con dos años de anticipación. Para abril de ese año se establecieron los términos de un nuevo contrato de concesión y se empezó a negociar con las empresas concesionarias. Los ejes sobre los cuales se empezó a discutir el nuevo contrato incluían lo siguiente: normas actualizadas y homogéneas; calidad del servicio, cobertura y nuevas prestaciones; seguridad jurídica y régimen de sanciones; responsabilidad social corporativa; régimen tarifario y retribución al Estado.

Luego de un accidentado proceso de negociaciones que incluso necesitó la intervención del Presidente de la República, la empresa OTECEL acordó con el CONATEL los términos del nuevo contrato de concesión el 9 de julio de 2008. La empresa CONECEL hizo lo propio el 26 de agosto del mismo año. El extenso contrato de concesión, individual para cada empresa, incluye 26 capítulos, 89 cláusulas y 7 anexos. Su valoración fue de varios cientos de millones de dólares, aunque con diferencias en el pago que deberá hace cada empresa según parámetros como: número de abonados, cobertura, facturación, etc.

Los nuevos contratos incluyen adicionalmente a la prestación de SMTC, la adjudicación de la banda de los 1900Mhz para la operación de SMA. También se dispusieron nuevos techos tarifarios, la ampliación de la cobertura de las redes existentes, el cumplimiento de la portabilidad numérica a favor de los usuarios y se

endurece el régimen de sanciones a las operadoras, entre otros puntos importantes. CONECEL firmó su contrato el mismo día en que llegó al acuerdo con el Estado: el 26 de agosto de 2008, es decir un día antes de su vencimiento. OTECEL aún cuando ya lo tiene acordado formalmente deberá firmar su contrato antes de que se venza su plazo de concesión el 29 de noviembre de 2008.

1.4 Cifras del sector de telefonía celular en Ecuador

Desde el inicio de sus operaciones en Ecuador, las redes y el número de abonados de las operadoras de telefonía celular han experimentado un vertiginoso crecimiento. Según datos de la SUPTEL el sector de las comunicaciones vía celular ha sido uno de los más dinámicos de la economía; desde el año 1994 hasta el 2007 su crecimiento anual promedio en número de usuarios ha sido aproximadamente del 67%. Para el año 2007 las operadoras privadas generaron ingresos que bordean los mil cien millones de dólares, lo que corresponde a un aporte del 2.5% al PIB, [estimado en poco mas de cuarenta y cuatro mil millones de dólares según cifras no oficiales] (CCG 1).

El siguiente cuadro muestra el incremento del número de abonados de los servicios de telefonía celular en los períodos comprendidos entre diciembre de 1994 y diciembre de 2007. Los datos presentados incluyen todas las tecnologías empleadas por las operadoras en las modalidades de prepago y postpago. Para las sumatorias se exceptúan las terminales de servicio público o cabinas telefónicas.

Cuadro 1. Resumen Anual de la Telefonía Móvil Celular 1994 - 2007

FECHA	OTECEL	CONECEL	TELECSA	TOTAL	CRECIMIENTO (%)
Dic-94	5.300	13.620	-	18.920	-
Dic-95	23.800	30.548	-	54.348	187,25%
Dic-96	23.295	36.484	-	59.779	9,99%
Dic-97	62.345	64.160	-	126.505	111,62%
Dic-98	115.154	127.658	-	242.812	91,94%
Dic-99	186.553	196.632	-	383.185	57,81%
Dic-00	233.733	244.480	-	478.213	24,80%
Dic-01	375.170	483.982	-	859.152	79,66%
Dic-02	639.983	920.878	-	1.560.861	81,67%
Dic-03	861.342	1.533.015	3.804	2.398.161	53,64%
Dic-04	1.119.757	2.317.061	107.356	3.544.174	47,79%
Dic-05	1.931.630	4.088.350	226.352	6.246.332	76,24%
Dic-06	2.490.002	5.636.395	358.653	8.485.050	35,84%
Dic-07	2.582.436	6.907.911	449.630	9.939.977	17,15%
				Promedio:	67,34%

Fuente: Superintendencia de Telecomunicaciones
http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/t_celular/estadisticas.htm
http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/sma/estadisticas.htm

Si se toma en cuenta, según datos del INEC, que la población ecuatoriana hasta finales de 2007 se proyectaba en alrededor de 13.605.485 habitantes, de los cuales se excluirían 1.438.625 personas menores de 5 años, y 528.214 mayores de 70 años por razones de impericia, falta de destreza y/o interés en el manejo de teléfonos celulares; entonces se puede estimar la penetración de los servicios de telefonía celular y afines en alrededor del 85% de la población. En esta estimación se incluyen todos los segmentos poblacionales en género, ubicación geográfica, nivel socioeconómico y demás variables. Si bien se excluyen ciertos rangos de edad, la cifra de penetración dada no difiere mayormente de estudios serios hechos al respecto, tal como se cita a continuación:

"Una encuesta efectuada por la empresa de investigación de mercados Ipsa Group, a 800 personas de Quito y Guayaquil, revela que el 92% de ellas cuenta con un teléfono celular, sin distinguir el género... La masificación del consumo en el Ecuador es tal que, según el estudio, en el 95% de los hogares ecuatorianos por lo menos una persona posee un teléfono móvil, mientras que, en un 36% de los hogares, todos los miembros del mismo cuentan con un celular… De otro lado, el estudio muestra que los jóvenes entre 18 y 29 años son los que más celulares poseen, seguidos de quienes están entre 30 y 45 años. Esta cifra baja drásticamente desde los

60 años en adelante." (Hoy, El celular se vuelve párr. 6-8-12). Esta encuesta se realizó y publicó en el año 2007.

Según la misma encuesta, el 79% de los usuarios ha cambiado dos o más veces su aparato de telefonía celular, consecuentemente el mercado para la comercialización de los equipos resulta bastante amplio. Las cifras correspondientes a equipos muestran lo siguiente: "la Corporación Aduanera Ecuatoriana – CAE ubica a los teléfonos celulares entre los diez primeros rubros de importación: para el año 2007 se importaron 2.043.923 unidades… Este sector también es generador de un mercado con valor agregado: cadenas de distribución, proveedores de partes y piezas, equipos finales y servicios especializados en realizar instalaciones. El Banco Central registra a 29 empresas importadoras de celulares, siendo la empresa CONECEL quien lidera las cifras" (Hoy, La penetración del celular párr. 8-22).

El mercado de equipos conserva su impulso debido en gran medida a los nuevos servicios que ofrecen las operadoras a sus abonados y también en las nuevas características incorporadas en los teléfonos. Con la implementación de los SMA los teléfonos celulares pueden hacer uso de una gran gama de servicios innovadores tales como transmisión de datos y multimedia, acceso a Internet mediante portales WAP, correo electrónico, chat y mensajería instantánea, videoconferencia, etc. Algunos de los nuevos equipos también disponen de funcionalidades que no disponían anteriores gamas de teléfonos, por ejemplo: reproductores multimedia, cámara fotográfica y de video, GPS, almacenamiento extraíble, programas utilitarios y sistemas operativos compatibles con PC estándar, etc.

En cuanto a la cobertura del servicio, las operadoras privadas CONECEL y OTECEL tienen presencia en todas las capitales de provincia, incluyendo el área insular; la cobertura abarca también toda la red vial primaria en sentido norte-sur y la mayoría de la red vial primaria en sentido este-oeste, exceptuando en ambos casos algunas zonas de la región amazónica. La cobertura en cabeceras cantonales incluye las zonas mas densamente pobladas y/o de mayor actividad económica, extendiéndose también hacia ciertas cabeceras parroquiales. El área servida por la operadora estatal TELECSA es cercana en superficie a la de OTECEL, puesto que la primera arrienda ciertos nodos de la red de la segunda.

La empresa CONECEL posee la mayor área de cobertura, seguida por OTECEL y luego por TELECSA. La SUPTEL no publica cifras sobre este apartado, remitiendo a los visitantes de su sitio web hacia los portales de cada operadora. En ellos se pueden observar informes gráficos detallados de la cobertura para cada zona de cualquier provincia en particular. Queda fuera del alcance del presente trabajo incluir esos informes.

Respecto a la numeración asignada a las operadoras y por consecuencia a los abonados de los servicios de telefonía móvil, ésta se halla reglamentada en el Plan Técnico Fundamental de Numeración-PTFN, expedido por el CONATEL en junio de 2007 y que reemplaza al plan con el mismo nombre emitido en el año 2001. Rige para todas las empresas prestadoras de servicios finales de telecomunicaciones tanto móviles como fijos.

En su primera página el PTFN señala lo siguiente: "El presente PTFN (está) diseñado para cubrir las necesidades actuales y futuras (50 años) de capacidad numérica para números geográficos y números no geográficos tales como: números asociados a los códigos de acceso a las redes móviles, números personales universales y números de servicios."(CONATEL 1) A renglón seguido indica: "El PTFN define también el sistema de numeración adoptado, la distribución de los indicativos nacionales de destino, las áreas de numeración geográfica, las estructuras de los números para los diferentes servicios, el sistema de administración de la numeración y las fases de implementación de la portabilidad de la numeración". (CONATEL 1)

El PTFN consta de 3 fases. La primera se ejecutó el 2 de septiembre de 2001 y consistió en el incremento del número de abonado de seis a siete dígitos, en las provincias de Pichincha y Guayas, y en las redes de telefonía móvil. La segunda fase del PTFN se hizo efectiva el 28 septiembre de 2003; consistió en el incremento del número de abonado de seis a siete dígitos en las demás provincias del país.

Además de los siete dígitos que ahora identifican el número de abonado, el PTFN dispone que cuando el usuario desea comunicarse desde una región geográfica otra, desde una red de telefonía móvil hacia una red de telefonía fija o viceversa, o entre usuarios de cualquier red móvil; debe anteponer obligatoriamente el dígito 0 que es

el código de acceso hacia red externa, seguido del prefijo o dígito de área geográfica o de red de telefonía celular, y por último marcar el número de abonado.

El prefijo de área geográfica es uno de los dígitos desde el 1 hasta el 7 asignado previamente para cada región distinta del país, y el prefijo para red de telefonía celular es 9 u 8. Como se dijo en el párrafo anterior, se nota que cuando se trata de abonados de telefonía celular obligatoriamente deberá marcarse la numeración completa de 9 dígitos para establecer comunicación con cualquier otro abonado del territorio nacional, indistintamente si pertenece a la misma operadora o es una llamada a una red externa.

La numeración de los abonados de las redes de telefonía celular ha sufrido variaciones desde que empezó a operar el sistema en el país. Antes de la implementación de la primera fase del PTFN, los números de teléfono celular sólo tenían seis dígitos, y dado que no existía interconexión entre ninguna de las redes de telefonía móvil, el abonado de una operadora celular para comunicarse con otro de la misma red marcaba directamente el número asignado sin necesidad de prefijo ni código de acceso.

Cuando se trataba de cursar llamadas desde la red móvil hacia la fija, en el caso de CONECEL, el usuario podía marcar directamente el número de abonado de 6 dígitos sin el código de área, que era opcional; esto trajo como consecuencia confusiones para los abonados, dado que si viajaban de una región geográfica a otra, y marcaban un número desde el directorio de su teléfono, existía la posibilidad de establecer comunicación con un abonado equivocado. Contrariamente, para los abonados de la red de OTECEL se implementó desde un inicio lo obligatoriedad de marcar el código de área para establecer comunicación con la red fija.

Con la implementación de la primera fase, una vez firmados los convenios de interconexión, se estandarizó el procedimiento de marcado para los usuarios de telefonía móvil. Para acceder desde un teléfono móvil a cualquier otro, móvil o fijo, debía necesariamente anteponerse el prefijo de área o de red celular. Además se aumentó un dígito al número de abonado celular. A partir de la puesta en operación de la segunda fase del PTFN, se hizo obligatorio para los abonados de telefonía móvil marcar la serie completa de nueve dígitos para establecer comunicación.

Como se ha dicho, a un número de celular le corresponden los prefijos 9 y 8. Luego del prefijo viene una serie de siete números para identificar al abonado. Estos números se adjudican a las operadoras que los soliciten empleando rangos alternados de series consecutivas, siempre que ésta numeración no se encuentre reservada ya por el ente regulador, pues éste retiene para sí un porcentaje de la numeración, el cual puede ser variable. El trámite a seguir por la operadora para la adjudicación de las series está reglamentado detalladamente en el PTFN.

El prefijo 9 fue el primero en emplearse para las redes de telefonía celular. Debido al crecimiento del número de usuarios, las series de siete números restantes que se asignaron previamente a cada operadora se agotaron en el año 2005. El prefijo 8 se usa desde entonces para asignar nuevas series a las operadoras y cubrir la demanda de los usuarios. Hasta finales de 2007 el prefijo 8 tenía un margen no adjudicado de aproximadamente un 50% de las combinaciones posibles.

Los siguientes cuadros muestran en forma resumida las diferentes series asignadas a cada operadora de telefonía celular para los prefijos 9 y 8. Los datos mostrados abarcan hasta el 31 de diciembre de 2007.

Cuadro 2. Numeración correspondiente al código/prefijo de red "9"

NOMBRE DEL OPERADOR	SERIE ASIGNADA	
CONECEL	0500000	2499999
OTECEL	2500000	2999999
CONECEL	3000000	4999999
OTECEL	5000000	5999999
TELECSA	6000000	6999999
CONECEL	7000000	7999999
OTECEL	8000000	9099999
CONECEL	9100000	9199999
OTECEL	9200000	9299999
CONECEL	9300000	9699999
OTECEL	9700000	9999999

Fuente: Consejo Nacional de Telecomunicaciones
http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1012&Itemid=

Cuadro 3. Numeración correspondiente al código/prefijo de red "8"

NOMBRE DEL OPERADOR	SERIE ASIGNADA	
CONECEL	2500000	2999999
OTECEL	4000000	4999999
CONECEL	5000000	6999999
OTECEL	7000000	7299999
CONECEL	8000000	9999999

Fuente: Consejo Nacional de Telecomunicaciones
http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1012&Itemid=

En cuanto a la tercera fase del PTFN, se definió una primera etapa de ejecución la cual debía ser concluida a más tardar el 30 de marzo de 2008; evidentemente ha sufrido retrasos en su realización debido a que plantea cambios importantes en la estructura de la numeración telefónica usada en el país. Esta etapa contempla entre otras actividades la ampliación a dos dígitos del prefijo de área y de red celular, y la realización de estudios de factibilidad técnico-económicos para la portabilidad numérica entre abonados de distintas operadoras de telefonía celular.

Se aparta del plan de este trabajo ofrecer información sobre los costos que los abonados pagan a las empresas de telefonía celular por los servicios que hacen uso, en parte debido a la multiplicidad de prestaciones que estas compañías ofrecen, por las diferencias existentes entre paquetes ofertados por una misma operadora, y entre operadoras distintas; pero principalmente porque este estudio se centra en los mensajes de texto. Más adelante, en el estudio de mercado, se presentarán los costos de los servicios de SMS y se hará una comparativa con los costos de servicios alternativos.

1.5 Conclusiones.

- El servicio SMS se encuentra identificado en el marco legal ecuatoriano. Encuentra amparo en las leyes y reglamentaciones que rigen para los servicios de telefonía móvil, específicamente en los artículos 14 y 33 del Reglamento para el Servicio de Telefonía Móvil Celular.

- La telefonía móvil lleva quince años operando en el país, ha evolucionado desde tecnología AMPS de primera generación hasta CDMA 2000 1.x RTT

de tercera generación. Las operadoras prestan su servicio en frecuencias preestablecidas de 800, 850 y 1900Mhz. Existen tres operadoras: dos privadas propiedad de multinacionales de las telecomunicaciones, y una propiedad del Estado, las cuales se espera sigan operando dentro de los próximos quince años.

- Desde el inicio de sus actividades, el crecimiento anual promedio, en número de usuarios, del sector de la telefonía celular es cercano al 67%. Aproximadamente el 85% de los ecuatorianos posee teléfono celular. Las ventas de teléfonos celulares superan actualmente los dos millones de unidades anuales. La cobertura del servicio de telefonía celular se extiende a la casi totalidad de los centros poblados de mayor importancia y está presente en la mayor parte de la red vial del país.

- Se ha expuesto que es posible saber la operadora a la que pertenece un abonado con un número celular en particular. La numeración asignada a las concesionarias se encuentra reglamentada por el Plan Técnico Fundamental de Numeración. Actualmente un número de celular consta de 9 dígitos, de marcación obligatoria para quien desee establecer comunicación con el abonado que lo posee.

CAPITULO 2: FUNDAMENTOS DE LA TELEFONÍA CELULAR

2.1 Introducción.

En este capítulo se repasarán algunos conceptos fundamentales para comprender el modo de operación de los sistemas de telefonía celular en general. Se partirá exponiendo nociones sobre el los principios de funcionamiento del sistema. Luego se pasará a explicar su arquitectura detallando los diversos componentes de la red. Seguidamente se verá lo concerniente a las técnicas de acceso empleadas y luego se exhibirá un cuadro comparativo los protocolos de uso más extendido ordenándolos cronológicamente. Al final del estudio se presentarán las conclusiones.

2.2 La red de telefonía celular.

2.2.1 Principio de funcionamiento.

Un teléfono celular es básicamente un dispositivo sofisticado de radiocomunicación dúplex, es decir, puede mantener comunicación en doble sentido. Para lograr esto, el celular trabaja en dos frecuencias simultáneamente, lo que hace posible hablar y escuchar al mismo tiempo; a diferencia de dispositivos móviles tradicionales como los radios o *walkie talkies* que trabajan solo en una frecuencia a la vez.

Los servicios de comunicación móviles tradicionales están dispuestos de manera similar a los de radiodifusión. Constan de una estación base transmisora-receptora con una antena de alta potencia situada en un punto elevado, que capta o difunde señal en un radio de hasta 50 kilómetros. Los usuarios hacen uso de las estaciones base y se comunican con ellas mediante canales. En radiocomunicaciones, un canal es el nexo que se forma entre el emisor y la base al momento de comunicarse. Como es una comunicación de una sola vía, existe una sola frecuencia por canal. Cuando el emisor envía su mensaje, la estación base difunde lo recibido a todos los receptores o usuarios que estén operando en esa frecuencia o canal. Los canales pueden ser fijos o dinámicos, es decir pueden mantener una frecuencia fija o migrar de frecuencia cada vez que se establece comunicación, pero siempre dentro de un rango preestablecido de operación.

El sistema de telefonía celular se estructura de diferente manera. En lugar de usar una sola estación base de trayectoria única y alta potencia, se colocan varias de ellas con antenas de menor poder a lo largo y ancho del área de cobertura, formando una malla, y se asigna a cada una un conjunto propio de frecuencias de transmisión y recepción. Debido a la baja potencia y alcance de las antenas, las estaciones base pueden utilizar las mismas frecuencias de aquellas no aledañas, lo que aumenta el número de canales disponibles para una misma área en comparación con un sistema móvil tradicional. A diferencia de los sistemas que emplean difusión o *broadcast*, en este caso se asigna un canal único para cada usuario que se conecta a la estación base. Se debe considerar también que, al tratarse de comunicación dúplex, cada canal emplea dos frecuencias en lugar de una.

Aplicando estos criterios, mientras más numerosas sean las estaciones base dentro de una misma área, más numerosos serán los canales aprovechables y consiguientemente se incrementa la cantidad de usuarios que se pueden servir. Por ejemplo, un sistema basado en zonas de un kilómetro cuadrado puede albergar cien veces más usuarios que uno basado en zonas de diez kilómetros cuadrados. Esto es debido a que, al tratarse de superficies, las magnitudes resultantes no varían en proporción lineal sino en proporción geométrica. Otro dato importante es el siguiente: [La red celular funciona mediante estaciones que pueden variar la potencia de transmisión, según la densidad de usuarios y la demanda de un área dada. Si se necesita cubrir un área más extensa o surge mayor demanda en un área existente, se agregan nuevas estaciones o se redistribuyen las existentes modificando su potencia para cubrir el incremento] (GSM Favorites, Introduction to Cellular párr. 5).

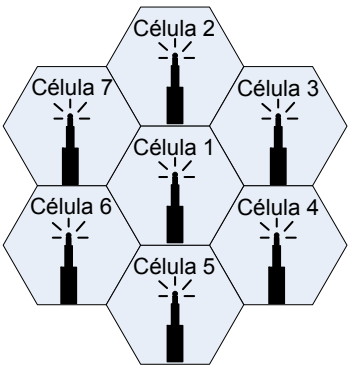
El concepto de celular o célula se deriva de la forma en que está dispuesta la red. “El área de cobertura de la red es una malla formada por secciones hexagonales, similar a un panal de abejas. Cada sección de este panal, que cubre una zona relativamente pequeña, toma el nombre de célula o celda y constituye la unidad geográfica básica del sistema. El rango de cobertura de cada célula puede variar de acuerdo a la topografía del terreno y a las edificaciones que puedan existir en la zona, por lo que la forma real de las células no son hexágonos perfectos”. (GSM Favorites, Introduction to Cellular párr. 9).

2.2.2 Arquitectura y componentes de la red celular.

El incremento de la demanda y la baja calidad de los sistemas de comunicación móvil celular iniciales, obligaron a los proveedores a investigar maneras de mejorar la calidad del servicio e incrementar el soporte para un mayor número de usuarios en sus sistemas. En la telefonía celular moderna, las áreas rurales y urbanas tienen células acordes con parámetros de provisión de servicio que pueden ser variables, entre estos parámetros está el tamaño del *cluster*.

Un cluster es una agrupación de *n* células. Dentro de ellos las células no comparten las frecuencias. Como se dijo anteriormente, por factores de diseño las células se representan de manera hexagonal. En la realidad, factores como la frecuencia de operación, topografía del terreno, edificios, construcciones, densidad poblacional, etc., hacen que el área de cobertura de una estación base sea irregular. A continuación se muestra un cluster típico con tamaño n = 7 células. También son valores típicos n = 4 y n = 12, es decir células en forma de triángulo o de polígono de 11 lados.

Figura 1. Cluster de tamaño n = 7

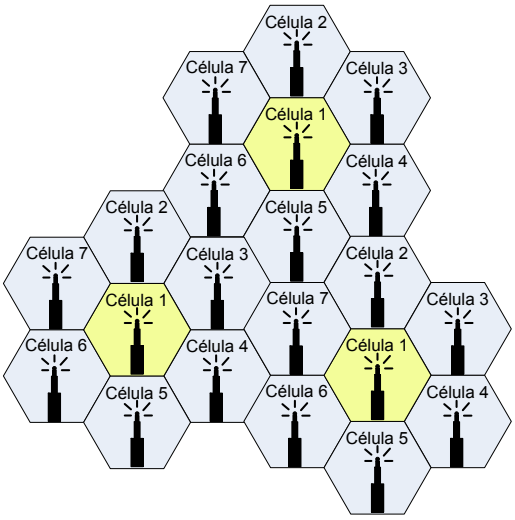


Fuente: Autor

Debido al limitado rango de frecuencias disponibles para el uso de los sistemas de telefonía móvil, se introdujo el concepto de reutilización de frecuencias. En un cluster cada célula utiliza una frecuencia diferente, de modo que no interfiere con las vecinas. El área de cobertura de la zona limitada por un cluster se denomina huella o *footprint*; el footprint siempre tiene un límite hasta donde llega la señal, de tal manera que el mismo grupo de frecuencias pueden ser usadas por células de que se

encuentren en diferentes clusters, de manera que no se interfieran. Esta reutilización da un factor, que viene a ser igual al tamaño del cluster. En el siguiente gráfico, las células del mismo número tienen frecuencias idénticas. Dado que el número de células del cluster es 7, el factor de reutilización de frecuencia también es 7, consecuentemente cada célula usa 1/7 del total de canales disponibles.

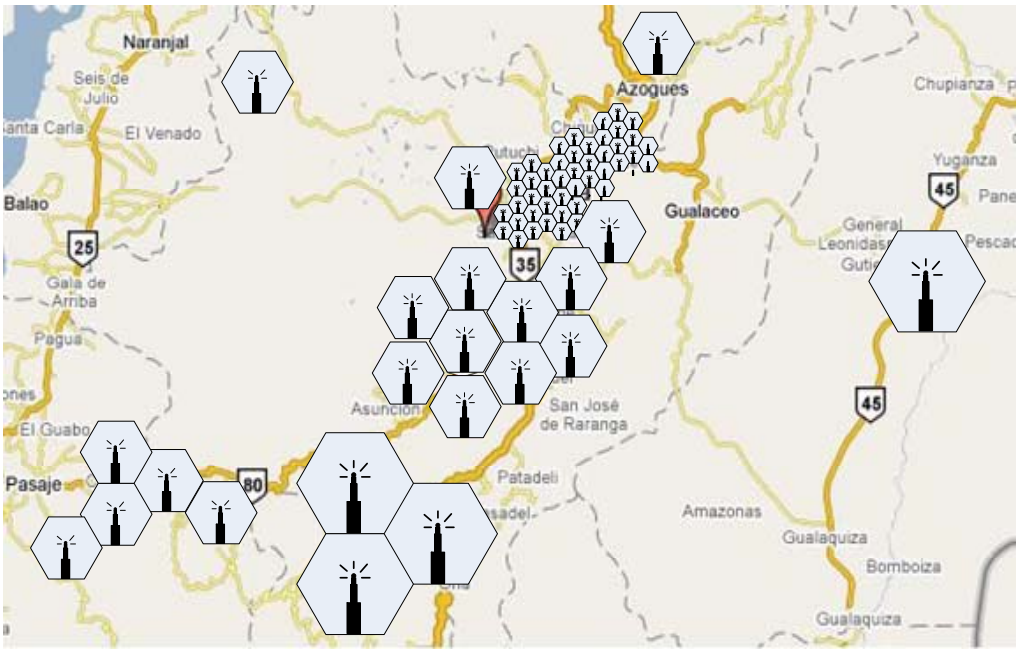
Figura 2. Reutilización de frecuencias



Fuente: Autor

Como se explicó anteriormente, el área de cobertura o tamaño de una célula puede ser variable, principalmente por razones económicas. En un área urbana, la densidad de usuarios es mucho mayor, lo que obliga a reducir el tamaño; no sucede lo mismo en el área rural, donde la poca demanda permite incrementar el tamaño. Con estos fines se aplica el concepto denominado división de células, o *cell splitting*. Cuando una célula se llena de usuarios, por ejemplo en una ciudad, es posible dividirla, formando más células para cubrir la demanda, siempre que exista la disponibilidad en infraestructura para asociar nuevas estaciones base. Lo contrario sucede en áreas rurales donde un conjunto de células puede pasar a formar una sola si así se lo requiere; o en su defecto, se instalan células aisladas basándose en un estudio previo de la demanda. Con esto se logran optimizar los recursos tanto en infraestructura como en consumo de energía. El gráfico siguiente muestra un ejemplo figurado.

Figura 3. División de células o celdas

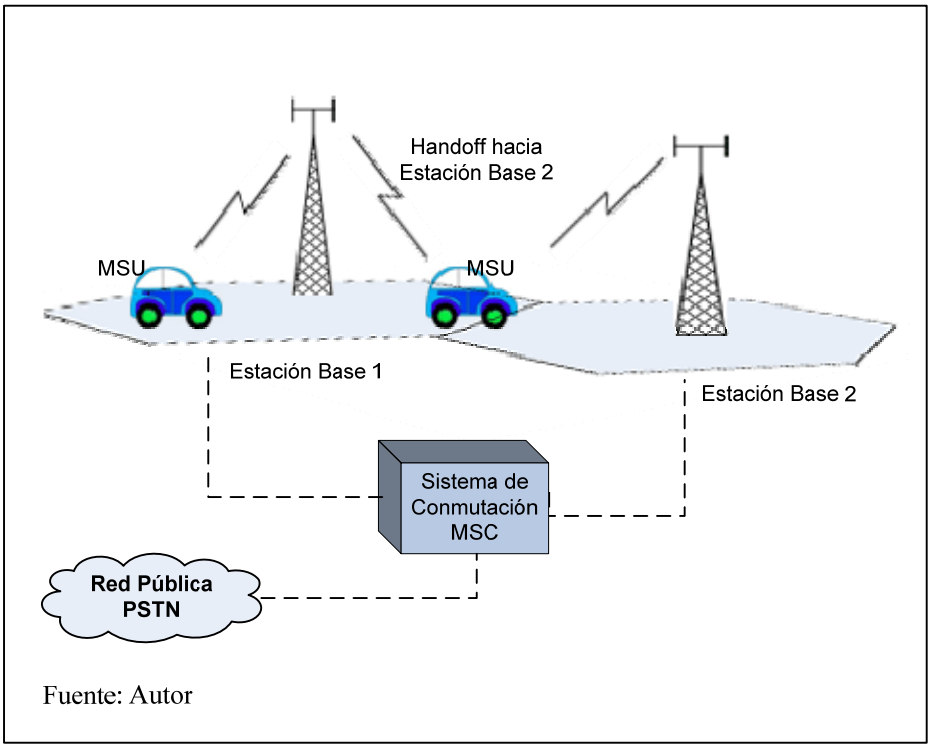


Fuente: Autor - Mapa: Google Maps http://maps.google.com

Siguiendo con el tema, otro de los aspectos involucrados es la transferencia de usuarios entre células. Esto sucede cuando un usuario se mueve de una célula a otra durante una llamada o conexión. Como las células adyacentes no usan la misma frecuencia, una llamada debe migrar de un canal a otro cuando el usuario atraviesa la línea entre celdas adyacentes, de otro modo la llamada se cortará. Como el corte es inaceptable, entonces se inicia el proceso llamado *handoff* o transferencia.

Cuando un usuario está dentro de una célula, la estación base mide permanentemente la potencia de la señal del teléfono. Si el usuario se mueve, puede a veces resultar que se está alejando de la estación base y ésta nota que la señal va perdiendo fuerza haciéndose cada vez más débil. En este punto, la estación base solicita un handoff. Entonces, el sistema de conmutación cambia la frecuencia del teléfono hacia la misma en la que opere la estación base adyacente que detecte la potencia más alta de ese teléfono. La nueva frecuencia asignada resulta ser la de la célula hacia donde se dirige el usuario. El handoff se desarrolla sin interrupciones ni notificaciones al usuario. Si ocurre durante una llamada, el canal de voz establecido es cambiado de forma automática, sin que el usuario note que migró de una célula a otra.

Figura 4. Handoff



Fuente: Autor

Para proporcionar comunicación inalámbrica de manera equivalente a la que se provee mediante la telefonía cableada convencional, el sistema de telefonía celular consta varios componentes, los cuales se pueden observar en la figura anterior. Son los siguientes:

- La red telefónica de conmutación pública PSTN.
- El sistema o centro de conmutación móvil MSC.
- El emplazamiento de la célula.
- La terminal de suscriptor MSU.

La PSTN forma la red de comunicaciones global que interconecta los centros de conmutación de telefonía convencional, llamados oficinas centrales, con los MSC de todo el mundo. Engloba la telefonía local, nacional, y la de larga distancia.

El MSC proporciona conectividad entre las estaciones base y la PSTN; y entre los usuarios de la misma red. Además puede llevar información de llamadas, facturación y localización de los suscriptores.

El emplazamiento de la célula se refiere a la localización física de la estación base que provee la cobertura. La estación base se compone de equipos de radiotransmisión, radiorecepción, antena, fuentes de energía e interfaces varias.

La MSU o teléfono celular, consta de una unidad de control y de un transceptor, el cual transmite y recibe las señales de radio, desde y hacia al emplazamiento de la célula. Las terminales son de baja potencia, típicamente irradian hasta 4 watts.

Para conectar a los usuarios con las estaciones base, se establecen enlaces usando un protocolo de comunicaciones definido y estudiado previamente para maximizar el número de canales disponibles. Existen diferentes protocolos que emplean distintos algoritmos para el efecto y el número de canales que pueden operar en una frecuencia dada varía de un protocolo a otro, pero todos ellos se apegan actualmente a la siguiente afirmación: "Dado que el número de canales de radio es mucho menor que el número total de usuarios potenciales, los canales bidireccionales para llamadas (o datos) sólo se asignan si se necesitan. Esta es la principal diferencia con la telefonía fija, donde cada terminal está continuamente unido a un conmutador haya o no haya llamada en progreso."(Casañas, 2.2.4 párr. 2).

Todas las asignaciones de canales hacia los emplazamientos de célula, y por ende a los abonados, se realizan mediante la MSC. La MSC reserva un cierto número de canales, por lo menos uno por célula, llamado canal de control que tiene la función de gestionar los recursos de radiofrecuencia disponibles y administrar a los usuarios. Los demás canales disponibles se usan para proveer la comunicación y se conocen como canales de voz. Los canales de voz o canales dúplex están formados por dos canales de una vía; el uno se conoce como uplink o subida y el otro como downlink o bajada. Cada tipo de canal ocupa una banda y éstas se encuentran separadas en el espectro por otra banda intermedia variable, que es generalmente de unos 45Mhz.

En nuestro país, de acuerdo al Reglamento para el Servicio Móvil Celular, la asignación de canales para las bandas A y B se realiza de acuerdo a lo dispuesto en la norma AMPS. Este protocolo provee 416 canales de voz y 21 canales de datos o control para cada operador o portador. Si tenemos un tamaño de cluster con n=7, se establece que cada célula puede albergar 59 canales de voz en condiciones óptimas o de interferencia nula.

Cuando un usuario de la red celular hace una llamada, cualquiera que sea su destino, ésta es recibida por la estación base, la cual descarta ciertos datos de control y transmite el resto de información hacia el MSC. Obviando los canales afectados por interferencias, cada estación base puede gestionar alrededor de 50 llamadas simultáneas, y una MSC típica es responsable de conectar hasta 100 estaciones base. Esto resulta en unas 5000 llamadas simultáneas que probablemente pueden estar encaminadas hacia la PSTN. Por esta razón, la interfaz entre la MSC y la PSTN requiere una gran capacidad en cualquier instante de tiempo.

2.2.3 Técnicas de acceso de los sistemas de telefonía celular.

[Si el número de canales disponibles para todos los usuarios de un sistema de radio es menor que el número de posibles usuarios, entonces a ese sistema se le llama sistema de radio multiplexado. La multiplexación o truncamiento es el proceso por el cual los usuarios participan de un determinado número de canales de forma ordenada. Los canales compartidos funcionan debido a que podemos estar seguros que la probabilidad de que todo el mundo quiera un canal al mismo tiempo es muy baja. Un sistema de telefonía celular…, es un sistema de radio multiplexado, porque hay menos canales que abonados que posiblemente quieran usar el sistema al mismo tiempo. El acceso se garantiza dividiendo el sistema en uno o más de sus dominios: frecuencia, tiempo, espacio o codificación.] (Casañas, 2.4.2 párr. 2).

Por frecuencia se entiende la longitud de onda hertziana en la que se opera. El tiempo se refiere la posibilidad de aprovechamiento de un solo canal asignando secuencias de uso temporales, alternadas y muy breves para múltiples usuarios. El espacio es el tamaño de la célula. La codificación es el empleo de un algoritmo que agrupa la transmisión de diversas fuentes usando un código distinto para cada una de ellas, consiguiendo introducirlas en un solo canal. A continuación se detallan las técnicas de acceso que emplean los dominios indicados.

2.2.3.1 Acceso múltiple por división de frecuencia –FDMA.

Esta técnica de acceso trabaja dividiendo el rango de frecuencias disponibles en canales, y asigna a cada usuario uno de aquellos. Si el número de usuarios sobrepasa el número de canales, entonces el sistema obstaculiza cualquier acceso posterior

hasta que se libere algún canal. “Una característica importante de los sistemas FDMA es que una vez que se asigna una frecuencia a un usuario, ésta es usada exclusivamente por ese usuario hasta que éste no necesite el recurso.” (Casañas, 2.4.2.1).

Este sistema es el más antiguo y utilizado, exceptuando SDMA. Trabaja en múltiples protocolos, tanto en la telefonía móvil analógica como en la digital. En telefonía digital se usa en combinación con otras técnicas de acceso y con mecanismos que permiten el cambio dinámico de canal para elevar la eficiencia del sistema. La ventaja más palpable de esta técnica es que ha sido muy experimentada y resulta fácil de implementar. La principal desventaja es su rigidez en la gestión de los canales, lo que la vuelve menos apta para sistemas con demanda cambiante.

2.2.3.2 Acceso múltiple por división en el tiempo –TDMA.

Usada solamente en sistemas digitales, es una técnica de acceso que divide los canales en períodos o *slots* de tiempo estrictamente alternados, que se miden en microsegundos. También se codifica el sonido en datos eliminando la redundancia, los silencios y las frecuencias sonoras no audibles. Complementando la asignación del tiempo con la codificación, las llamadas de varios abonados pueden usar un mismo canal sin interferirse. El número de slots que se usan en un canal varía de acuerdo al protocolo que se emplee. Debido a que se trata de un sistema digital, la asignación tiempo de canal a los usuarios se realiza dinámicamente, es decir sólo cuando se necesita.

2.2.3.3 Acceso múltiple por división del espacio –SDMA.

Es el concepto de la malla dividida en células, fundamento del sistema de comunicación celular y se emplea en todos los protocolos, analógicos o digitales, con excepción de CDMA IS-95 y CDMA 2000. Anteriormente se describieron sus principios, por lo que no caben explicaciones a este punto. Esta técnica no es privativa del sistema celular, pues se usa también en las comunicaciones satelitales.

2.2.3.4 Acceso múltiple por división de código –CDMA.

Es una técnica netamente digital que básicamente consiste en codificar las llamadas o transmisiones mezclándolas con un patrón de llave privada pseudo-aleatorio. La mezcla resultante ocupa un ancho de banda muy superior al normalmente empleado para las transmisiones normales; es decir, se extiende en un rango de frecuencias tan amplio, que la señal no puede ser captada equipos de radiocomunicación normales que operan siempre en un rango mucho más estrecho. Este rango se conoce como espectro difuso o espectro ensanchado.

A diferencia de otros protocolos, aquí no se usa la división de células, ni se reutilizan frecuencias. Lo que se planifica cuidadosamente es la codificación. El alcance de cada estación base está ligado al volumen de tráfico que pasa por un mismo canal. En este caso, el canal es el rango de frecuencias donde se aloja la información o llamadas no codificadas. En consecuencia, cada célula tiene un factor de reutilización =1 y el tamaño del cluster también es n=1. Existen diferentes algoritmos para este cometido que consiguen introducir varias transmisiones en una sola portadora.

Debido a la que explicación de esta técnica requiere exponer fundamentos teóricos, lógicos y matemáticos medianamente extensos, y dado también a que en temas siguientes no será necesario el tratamiento de este apartado, el autor de esta tesis se excusa de analizarlo con más detalle.

2.2.4 Protocolos de la telefonía móvil.

A continuación, se presenta un cuadro con los principales protocolos empleados en la telefonía celular. La figura que le sigue muestra las generaciones de los protocolos, donde algunas de las ramas fueron incompatibles desde su origen.

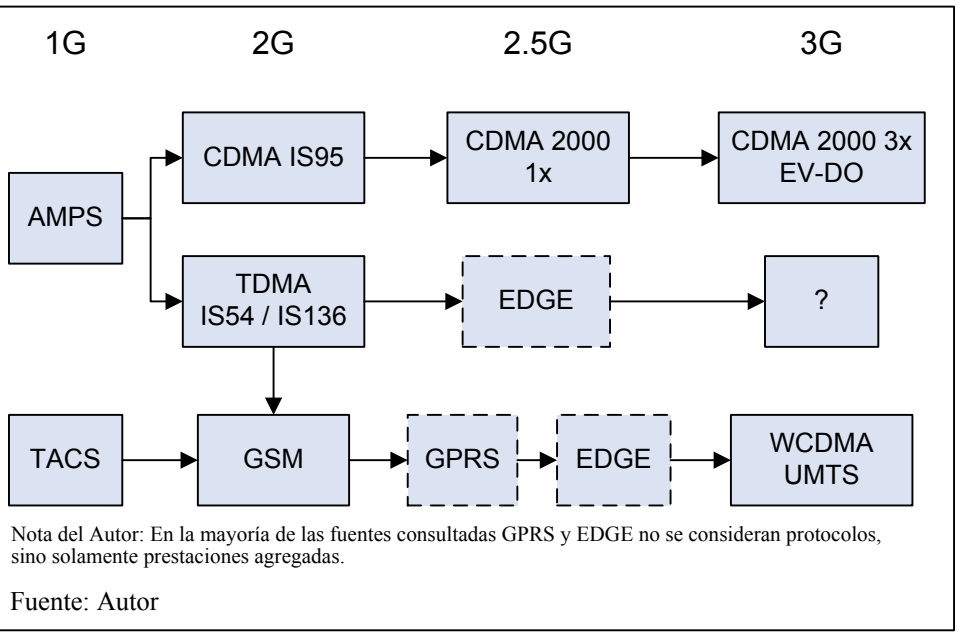
Cuadro 4. Principales Protocolos de telefonía celular

PROTOCOLO	AÑO / GENERACIÓN	TECNOLOGIA / MULTIPLEXADO	FRECUENCIA DE OPERACIÓN	ANCHO DE BANDA POR CANAL	NÚMERO DE CANALES DUPLEX	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
AMPS Sistema Telefónico Móvil Avanzado	1982 / 1G	Analógico SDMA / FDMA	824Mhz ~ 894 Mhz	30Khz	416	- No compatible para datos. - Canal fijo por usuario
TACS Sistema de Comunicación de Acceso Total	1985 / 1G	Analógico SDMA / FDMA	890Mhz ~ 960Mhz	25Khz	1000	- Canales duplex en secuencia - Introduce señalizacion fuera de banda
TDMA / DAMPS / IS-54/ IS-136 Sistema Telefónico Móvil Avanzado Digital	1988/ 2G	Analógico y Digital SDMA / FDMA / TDMA	824Mhz ~ 894 Mhz	30Khz	416	- Compatible con datos, provee SMS - 3 slots de tiempo / usuarios por canal - A partir de 2001 se implementa EDGE (2.5G)
GSM 900 Sistema Global de Comunicaciones Móviles	1991 / 2G	Digital SDMA / FDMA / TDMA	876Mhz ~ 960Mhz	200 Khz	124	- Tecnología no propietaria, soporte para datos - 8 slots de tiempo / usuarios por canal - Uso de SIM -modulo de identificacion del suscriptor - A partir de 2001 se implementa GPRS y EDGE (2.5G)
GSM 1800 DCS Sistema Global de Comunicaciones Móviles	1991 / 2 G	Digital SDMA / FDMA / TDMA	1710Mhz ~ 1880Mhz	200 Khz	374	- Similar a GSM900
GSM 1900 PCS Servicio de Comunicaciones Personal	1993 / 2 G	Digital SDMA / FDMA / TDMA	1850Mhz ~ 1990Mhz	200 Khz	298	- Similar a GSM900
CDMA / IS-95 Acceso Múiltiple por División de Código	1995 / 2G	Digital CDMA / TDMA	Según región [1] Espectro disperso	1,25Mhz	>20 [2]	- Hasta 64 canales de tráfico. - Requiere control de potencia - Soporte para datos
CDMA2000 1x	2000/ 2.5G	Digital CDMA / TDMA	Según región [1] Espectro disperso	1,25Mhz	>20 [2]	- Hasta 128 canales de tráfico. - Empaquetamiento en forma de datos - Soporte multimedia, reutiliza frecuencia
GSM 800-850 Sistema Global de Comunicaciones Móviles	2002 / 2G	Digital SDMA / FDMA / TDMA	824Mhz ~ 894 Mhz	200 Khz	124	- Similar al anterior
CDMA2000 1xEV-DO / CDMA2000 3x	2005 / 3G	Digital CDMA / TDMA	Según región [1] Espectro disperso	3 x 1,25Mhz » 3,75Mhz	>20 [2]	- Similar al anterior, soporta VoIP, videoconferencia - Soporte multicast o multidifusíon
WCDMA - UMTS Acceso Múiltiple por División de Código de Banda Ancha	2004/3G	Digital CDMA / TDMA	Según región [1] Espectro disperso	5Mhz	N/D	- Hasta 250 usuarios por canal - Operación asíncrona - Compresión de paquetes

[1] Según la región opera en dos o más bandas a 450 MHz, 800 MHz, 1700 MHz, 1900Mhz y 2100 MHz.
[2] No se refiere al número de canales dúplex; sino al número de bandas resultantes de dividir la frecuencia de operación para el ancho de banda por canal, descartando espacio entre uplink y downlink

Fuente: Autor, varias fuentes.

Figura 5. Generaciones de protocolos



Nota del Autor: En la mayoría de las fuentes consultadas GPRS y EDGE no se consideran protocolos, sino solamente prestaciones agregadas.

Fuente: Autor

2.3 Conclusiones.

- El principio de la telefonía celular es la división del área de cobertura en pequeñas zonas llamadas células o celdas cada una de las cuales opera con una frecuencia única y tiene un radio de influencia limitado. Esto permite que las frecuencias del espectro asignadas a la operadora puedan ser reutilizadas en células no adyacentes.

- Un usuario de telefonía móvil puede moverse entre las células sin interrumpir sus comunicaciones gracias al proceso de handoff, el cual realiza la transferencia del usuario de una célula a otra basándose en mediciones de la potencia de señal del teléfono.

- Las técnicas de acceso en los sistemas de telefonía celular permiten compartir un mismo canal de comunicación entre múltiples usuarios. Existen cuatro: acceso múltiple por división de frecuencia –FDMA, acceso múltiple por división de tiempo –TDMA, Acceso múltiple por división de espacio –SDMA, y Acceso múltiple por división de código –CDMA.

CAPITULO 3: EL ESTÁNDAR GSM

3.1 Introducción.

En este capítulo abordaremos lo concerniente al estándar GSM. Se expondrá una breve historia y se describirá su arquitectura con sus diferentes componentes. Luego se pasará a enumerar sus características operativas y los servicios que ofrece a los usuarios. Dentro de este tema también se hará una explicación sobre el funcionamiento de las transmisiones sobre ondas electromagnéticas. A renglón seguido se expondrá lo referente al servicio SMS en redes GSM: su arquitectura, funcionamiento, modelo de capas, modos de operación. Se estudiará la estructura de una trama SMS típica y finalmente se presentarán las conclusiones.

3.2 Breve historia del estándar GSM.

GSM es un estándar mundial para la telefonía celular digital. Originalmente toma las siglas del francés G*roupe Speciale Mobile*, como se denominó un equipo de trabajo de la Confederación Europea de Telecomunicaciones y Oficinas de Correos –CEPT; quienes fueron los que empezaron a desarrollar el sistema en 1982. Este equipo posteriormente fue transferido al European Telecommunications Standards Institute –ETSI, o Instituto Europeo de Normas de Comunicaciones. Debido a tergiversaciones en su traducción, la abreviatura con la que se conoce al protocolo pasó al inglés como *Global System for Mobile Communications*.

En 1987 los 13 países europeos que se adhirieron al proyecto, firmaron un memorando de entendimiento con el siguiente objetivo: [poner fin a la incompatibilidad de sistemas en el área de las comunicaciones móviles y crear una estructura de sistemas de comunicaciones a nivel europeo. Las especificaciones estaban orientadas a incluir una amplia variedad de servicios incluyendo transmisiones de voz y servicios de manejo de mensajes entre unidades móviles] (Corro et al. GSM: Antecedentes párr. 5).

Entre los criterios más importantes que formaron parte de este acuerdo estuvieron los siguientes: el nuevo sistema debía ser digital en lugar de analógico; debía emplear

TDMA como técnica de acceso o multiplexado; debía ser eficiente en el uso del espectro; debía ser asequible tanto en estaciones como en terminales; y debía poder coexistir con los servicios existentes así como también soportar nuevos servicios agregados.

La primera fase del cronograma de aplicación para los servicios GSM se completó en 1991, empleando la banda de los 900Mhz. El sistema se lanzó al mercado en el año de 1992, y se utilizó solamente para el transporte de voz. Ese mismo año se hicieron las adaptaciones necesarias para ofrecer el servicio en la banda 1800Mhz; también ese año se envió el primer mensaje de texto SMS. La segunda fase entró a operar en 1994, su principal agregado fueron los servicios de portador de datos. El módulo de Suscripción de Usuario o tarjeta SIM se introdujo en 1996.

Para el año 2001 se lanzaron al mercado las tecnologías con portadoras de datos GPRS o *General Packet Radio Service*, que consiste en un servicio de transmisión de datos por conmutación de paquetes en lugar de la conmutación de circuitos tradicional. En este punto, el sistema alcanzó la fase 2+ o de generación 2.5 conocida comercialmente como 3GSM. En el año 2002 se implementa GSM en la banda de 800Mhz y se introducen los mensajes multimedia; también entra en operaciones la primera red de tercera generación basada en WCDMA-UMTS. En 2003 se implementan las primeras redes con soporte EDGE -*Enhanced Data rates for GSM Evolution*, que es básicamente un agregado de software para incrementar hasta tres veces la capacidad de GPRS. Hacia el año 2006, las redes basadas en GSM tenían presencia en más de 200 países y contaban con más de dos mil millones de abonados.

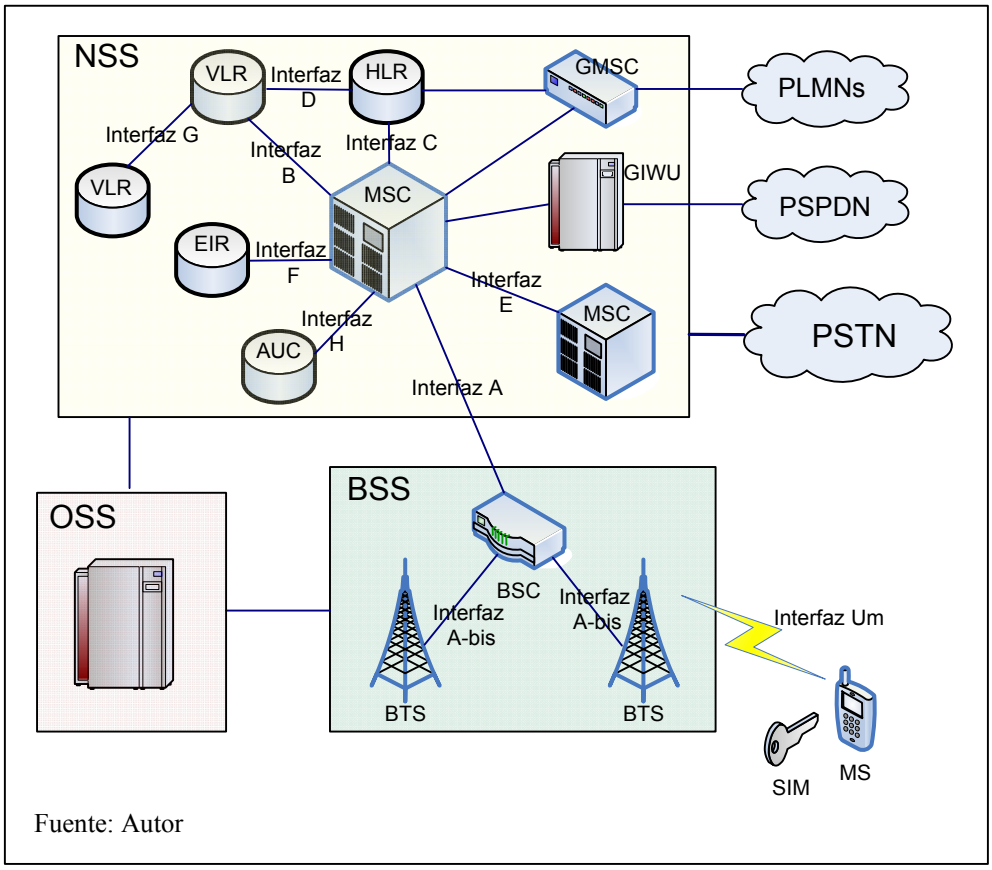
3.3 Arquitectura de la red.

Dado que GSM es un estándar no propietario, las especificaciones están dirigidas a asegurar la operatividad y funcionalidad del servicio, normalizando las interfaces y las entidades funcionales, y no se involucra en la reglamentación minuciosa del hardware. La razón para esto es asegurar a los operadores y usuarios poder adquirir equipamiento de fabricantes diferentes, sin que esto influya en los parámetros técnicos y calidad del servicio; existiendo consiguientemente beneficios en costo y disponibilidad de equipos. También esto trae como consecuencia menos limitaciones

para los fabricantes, los cuales pueden desarrollar sus propios diseños y tecnologías para construir equipos de variada gama, sin que esto signifique vulnerar el estándar.

Una red GSM se conforma de tres elementos físicos principales: el subsistema de estación base -BSS, el subsistema de red y conmutación -NSS, y el subsistema de soporte y operación -OSS. Otros elementos son la terminal móvil –MS y las interfaces. La siguiente figura ilustra este concepto.

Figura 6. Red GSM



Fuente: Autor

Para asegurar que los operadores tuvieran varias opciones de equipamiento, GSM decidió especificar no solamente la interfaz aérea, sino también las interfases que comunican internamente a todos los dispositivos de la red. En la figura anterior están representadas las interfaces principales; éstas pueden ser usadas independientemente del proveedor del equipo.

3.3.1 BSS -*Base Station Sub-system.*

El BSS es la sección encargada de gestionar las comunicaciones entre los componentes GSM que utilizan radiofrecuencias como medio de conexión. Estos componentes son:

- BTS, *Base Transceiver Station* o Transceptor de Estación Base: Es cada estación base propiamente dicha, con su equipamiento compuesto por transceptor y antena que opera en una célula, y tiene un tamaño o zona de influencia que puede ser dinámica o estática. Se encarga de toda la transmisión y recepción de comunicaciones realizadas mediante la interfaz de radio o aire Um de GSM. En la BTS se realizan las siguientes tareas: detección y medición de la intensidad de las señales de las MS; detección de canales libres para asignación a las MS y envío de información sobre uso de canales hacia el BSC; gestión de la información de señalización y tráfico; y preprocesamiento de la señal de radiofrecuencia de la -MS para enviarla hacia el controlador de estaciones base -BSC, y también en la vía inversa. Este preprocesamiento consiste en recoger las transmisiones desde los canales uplink de Um y adaptarlas a la codificación y velocidad del enlace A-bis. De la misma manera, lleva a cabo la transformación desde A-bis hacia las MS encaminando las comunicaciones por los canales downlink de Um; por lo que puede compararse a una BTS con un radiomódem avanzado. En un sistema GSM existen múltiples BTS por cada BSC.

- BSC *Base Station Controllers* o Controlador de Estaciones Base: Es un conmutador de alta capacidad que se encarga de la transferencia y control de las comunicaciones que se desarrollan en cada BTS. Sus funciones principales son: asignar, supervisar, liberar y reutilizar los canales para el funcionamiento de las MS; realizar el proceso de handoff entre la MS y las BTS; modular la potencia de las MS de manera que no exceda la necesaria para alcanzar la BTS más cercana; manejar el tamaño de cluster; establecer el tamaño de la célula controlando la potencia de la señal de radiofrecuencia que emite cada BTS; y finalmente encaminar las comunicaciones que se realizan en la red de telefonía móvil proveyendo el vínculo para enlazar las BTS con

el centro de conmutación de telefonía móvil –MSC. Para todas las tareas entre un BSC y el MSC se utiliza la interfaz A.

3.3.2 NSS –*Network Switching Sub-system.*

Este elemento de la red GSM es el responsable de manejar las comunicaciones y conectar las MS hacia sus destinos correspondientes, que pueden ser: otra MS bajo el control del mismo MSC o conmutador; otra MS bajo el control de otro MSC pero dentro de la red del mismo operador -PLMN *Public Land Mobile Network;* o un destino externo en la red pública -PSTN *Public Switched Telephone Network*. También procesa la información relacionada con cada abonado, tal como: estadísticas de uso de la red, facturación, saldos y servicios activados. Sus componentes se detallan a continuación:

- MSC, *Mobile Services Switching Center* o Centro de Conmutación de Servicios Móviles, se encarga de las funciones propias de una central telefónica, que son: control de las transmisiones y conmutación; pues se encarga de establecer, gestionar y liberar las conexiones de voz o datos y enrutarlas hacia sus metas. También se responsabiliza del control de las BSC cuando se manejan parámetros de red dinámicos donde las BSC pueden entrar y salir de servicio, o cambiar su posición. Se encargan de gestionar la conexión con otros MSC por medio de la interfaz E, debido a que pueden existir varios MSC dentro del área de influencia de un mismo NSS; y finalmente, administran las conexiones desde y hacia la PLMN o red propia y la PSTN o red pública.

- HLR, *Home Location Register* o Registro de Usuarios Locales, es una base de datos donde se almacenan y administran las informaciones de suscripción, estado encendido/apagado y actividad en sesiones de voz y/o datos de los abonados. La información de suscripción del usuario está compuesta principalmente de: número de suscripción, formado por el IMEI *International Mobile Equipment Identity* o Identificador Internacional del Equipo Móvil, y el número telefónico del abonado en formato internacional; servicios varios a los que el abonado tiene acceso; y características del equipo móvil. La permanencia del registro del abonado en esta base de datos se extiende

mientras permanezca como cliente del operador del servicio. Se conectan al MSC mediante la interfaz C.

- VLR, *Visitor Location Register* o Registro de Usuarios Visitantes, es una base de datos que registra temporalmente la información los usuarios activos en la región del MSC al que pertenece. Tiene el propósito de localizar y eventualmente conceder servicios a usuarios en *roaming* o en migración, sin necesidad de que la red deba estar consultando continuamente el HLR del MSC remoto de donde proviene cada usuario. El VLR lleva un registro pormenorizado de los abonados de su región, con información precisa sobre la localización, tipo de suscripción y permisos concedidos. Un abonado siempre está registrado en el VLR que le provee el servicio mientras su teléfono permanezca encendido, cuando el teléfono móvil se apaga, el VLR borra el registro asociado. La interfaz D lo conecta con el HLR, la B con el MSC y la G con otros VLR.

- AUC, *Authentication Center* o Centro de Autenticación, es otra base de datos que trabaja con el HLR y provee al MSC parámetros de identificación y cifrado de los abonados; con el fin de asegurar la confidencialidad de las trasmisiones, evitar accesos no permitidos, e impedir el uso de números de suscripción por parte de terceros no autorizados.

- EIR, *Equipment Identity Register* o Registro de Identidad de los Equipos, es la base de datos donde se almacenan los números IMEI para todos los móviles registrados. Esta base de datos almacena tres listas: lista blanca, lista gris y lista negra. En lista blanca están las MS autorizadas para hacer uso de la red; en lista gris se encuentran las MS que están siendo monitoreadas por presentar algún problema técnico, y enlista negra están las MS que no pueden operar debido a que no están homologadas, se han reportado como robadas o presentan defectos técnicos graves que podrían causar conflictos en la red. Se asocia a la MSC mediante la interfaz F.

- GMSC, *Gateway Mobile Switching Center* o Enlace de Centros de Conmutación de Servicios Móviles, es un dispositivo que sirve como enlace

entre diferentes NSS de la misma red de telefonía móvil, que en conjunto forman la PLMN.

- GIWU, GSM Internetworking Unit, o Unidad de Interconexión GSM, es una plataforma que provee los requerimientos necesarios para el transporte de datos entre MSC de redes diferentes, que en conjunto forman la red pública de conmutación de paquetes de datos –PSPDN *Packet Switched Public Data Network*. A través de la GIWU los abonados pueden alternar entre transmisiones de voz y transmisiones de datos en una única sesión.

3.3.3 OSS –*Operation and Support Sub-system.*

El subsistema de soporte y operación es la entidad desde donde el operador de telefonía móvil realiza las funciones de control, mantenimiento y supervisión de la red. Comprende áreas administrativas para el soporte personalizado al abonado y áreas técnicas donde se encuentran alojados todos los equipos que permiten monitorear el sistema en conjunto de manera local o regional.

3.3.4 Otros elementos de la red GSM.

Desde el punto de vista del operador, existen elementos que se consideran ajenos a la red GSM, por la razón de que no se encuentran bajo control directo del operador o no se consideran de su propiedad. Estos elementos se detallan a continuación:

- MS, *Mobile Station* o terminal móvil; es el teléfono celular, módem, o cualquier dispositivo GSM fijo o móvil mediante el cual el usuario explota los servicios de la red. Sus funciones son: [gestionar sesiones de voz o datos proporcionando la interfaz de usuario, administrar los canales de radiofrecuencia, modular y demodular la voz, controlar el flujo de datos y hacer control de errores, realizar adaptaciones para sincronizar la velocidad de transmisión con las velocidad del canal de radiofrecuencia y proporcionar al usuario la movilidad que ofrece el sistema. La MS debe tener las siguientes características básicas consideradas obligatorias para su operación en cualquier red GSM: visualización del número al que se contacta, indicador de progreso de la llamada, indicador del operador que provee el servicio, gestión del módulo de identificación del abonado –SIM *Suscriber Identity Module*,

indicador de código PIN *Personal Identification Number* no válido, IMEI, e indicador del estado del servicio.] (Risco Gonzáles-Vigil, 7.1)

- SIM, *Suscriber Identity Module* o módulo de identificación del abonado. Es una tarjeta removible que se coloca en la terminal móvil y almacena la clave de suscriptor para identificarlo en la red GSM. La tarjeta guarda un identificador internacional de abonado de telefonía móvil –IMSI *International Mobile Subscriber Identity*, que es único para cada usuario a nivel mundial. El IMSI está compuesto de 15 dígitos; los 3 primeros identifican el código de país, los dos siguientes identifican al operador de telefonía móvil y los restantes representan el número telefónico del abonado. Además del IMSI, esta tarjeta almacena información sobre su estado bloqueado/desbloqueado, y también datos sobre cifrado y claves varias para uso exclusivo del operador.

- Interfaces, son las vías de conexión entre los diferentes componentes físicos de la red. Se pueden visualizar en la Figura 7, mostrada anteriormente.

3.4 Características operativas de GSM.

Cuadro 5. Especificaciones operativas de GSM

ATRIBUTO	VALOR
Frecuencias de operación	
400 MHz -Europa	450.4 - 457.6 MHz / 460.4 - 467.6 MHz 478.8 - 486.0 MHz / 488.8 - 496.0 MHz
800 MHz - América	824 - 849 MHz / 869 - 894 MHz
900 MHz - Asia, Pacífico, Africa	880 - 915 MHz / 925 - 960 MHz
1800Mhz - Asia, Pacífico, Africa	1710 - 1785 MHz / 1805 - 1880 MHz
1900Mhz - América	1850 - 1910 MHz / 1930 - 1990 MHz
Método de acceso	TDMA
Número total de canales (duplex)	124
Ancho de banda por canal	200 Khz
Separación entre canales uplink y downlink	80 Mhz
Modulación	GMSK
Tasa de transmisión	270.833 Kbps
Filtro	0,3 Gausiano
Duración de la trama	4,615 ms
Número de slots de tiempo	8
Duración de cada slot	0,57692 ms

Fuente: GSM - Página del profesor Luis Guerrero Ojeda
http://hosting.udlap.mx/profesores/luisg.guerrero/Cursos/IE454/ApuntesIE454/capitulo2.htm

A continuación se expondrán algunos de los conceptos necesarios para comprender los atributos presentados en el cuadro anterior.

3.4.1 Generalidades sobre ondas electromagnéticas.

3.4.1.1 Introducción.

[La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío. Estas ondas están clasificadas dentro de las ondas periódicas pues su desplazamiento forma picos y depresiones alrededor de un punto de referencia fijo, que en este caso sería el campo magnético nulo.] (Wikipedia, Radiación párr. 1)

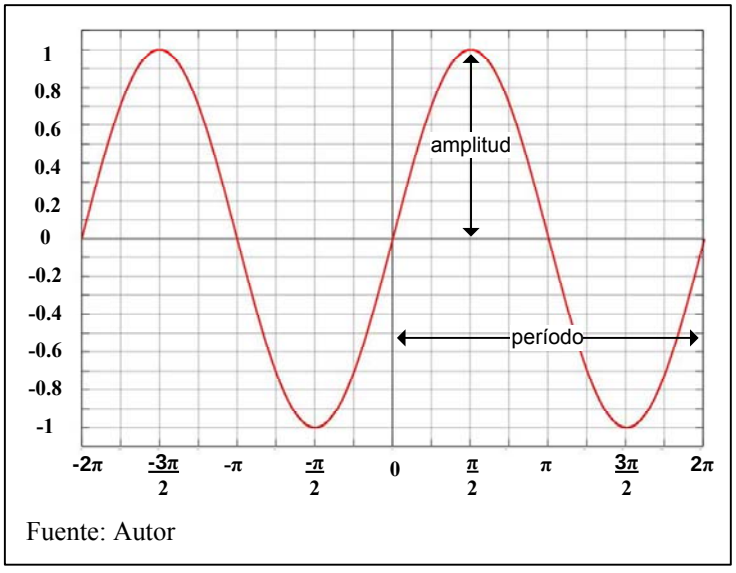
La representación de una onda periódica se realiza mediante una expresión senoidal o cosenoidal en función del tiempo; y se entiende como T o período de oscilación, el tiempo que toma la onda en atravesar dos picos o dos depresiones sucesivas de sus ordenadas en su representación gráfica, de manera que haya completado ese recorrido y se encuentre nuevamente en la misma posición en relación al eje de las abscisas.

La frecuencia es una medida que indica el número de veces que se repite un evento en la unidad de tiempo. Aplicando este concepto a las ondas periódicas, la frecuencia *f* es el número de períodos *T* producidos por una onda durante un segundo, y la magnitud de medición es el Hertz o Hz representado en períodos/segundo o ciclos/segundo. El período y la frecuencia son recíprocos, por lo que $f = 1 / T$.

Graficando la función senoidal, se puede ver que su recorrido involucra un desplazamiento angular medido en radianes, cuyo ciclo es 2π radianes. La frecuencia puede ser también representada como parte de una ecuación angular, llamándose frecuencia angular *w*, cuya magnitud se expresa en radianes/segundo, la cual se relaciona con la frecuencia hertziana mediante las siguientes representaciones equivalentes: $w = 2 \pi f = 2 \pi / T$.

La forma matemática simple de la de la onda periódica en función del tiempo *t* se describe como sigue: f (t) = A sen(w t + θ), donde A es la amplitud máxima o valor pico de la onda, w es la frecuencia angular y θ es la fase inicial. La amplitud es una medida de la variación máxima del campo eléctrico relacionado con la onda electromagnética, expresado en voltios/metros; gráficamente la amplitud es la distancia entre el pico más elevado y la posición de equilibrio o corriente nula. La frecuencia angular es la proporción de cambio del ángulo con respecto al tiempo. La fase es la situación instantánea de las magnitudes de f(t) dentro del ciclo que son: ángulo, tiempo y espacio. La fase puede deducirse a partir de una de las dos primeras variables anteriores, pero con una indeterminación de 2π o sus múltiplos. Matemáticamente, la frecuencia angular w es la derivada de la fase θ en función del tiempo. Si se expresa la anterior función con la frecuencia en Hertzios, equivaldría a: f (t) = A sen((2 π f)· t + θ). La siguiente figura ilustra una onda periódica senoidal simple con amplitud máxima A = 1, frecuencia angular w = 1 y fase inicial θ = 0.

Figura 7. Onda senoidal



Fuente: Autor

Hasta aquí se ha tratado a la onda electromagnética como un desplazamiento angular en un intervalo de tiempo dado. Se debe notar que el concepto de desplazamiento en el espacio o en longitud es diferente al desplazamiento cíclico angular. La longitud de la onda es la distancia recorrida por la misma durante el período T, y está medida en metros o en sus submúltiplos. Dado que el período y la frecuencia son recíprocos, la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia, por lo que pueden

usarse medidas infinitesimales cuando se quieren expresar longitudes de onda con frecuencias elevadas.

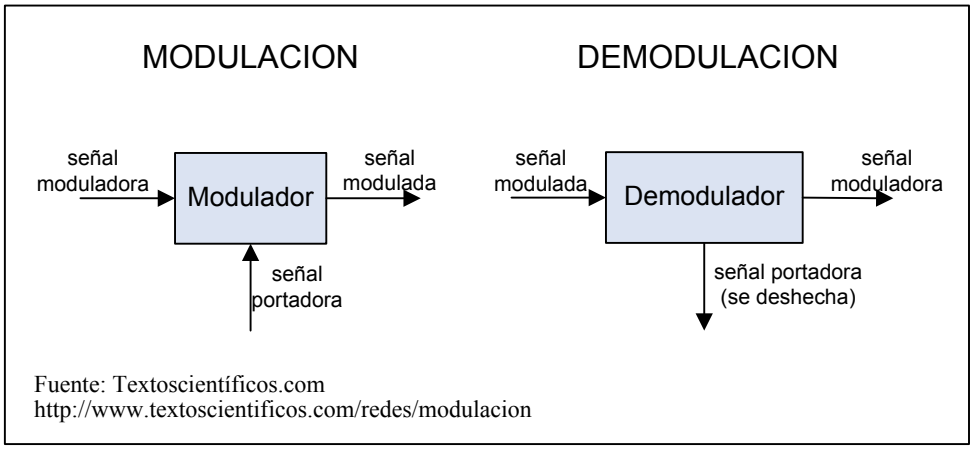
3.4.1.2 Modulación y ancho de banda.

Se denomina modulación al proceso de colocar la información contenida en una señal y adecuarla de modo que sea transmisible por el canal de comunicación usado, que generalmente es un medio físico distinto. La señal original a transmitir se conoce como señal moduladora, la señal procesada que viaja por el canal se llama señal modulada, e interviene una tercera señal conocida como señal portadora cuya naturaleza es igual a la de la señal modulada y sirve como medio de transporte de la señal moduladora.

Para hacer una comparación, cuando se realiza una conversación telefónica tradicional, donde el canal de comunicación es un cable de cobre, la señal moduladora sería el sonido proveniente de la voz del hablante. El sonido en este caso se propaga en el aire mediante ondas mecánicas longitudinales de baja velocidad. Esta señal es captada por el micrófono del teléfono, e internamente el aparato genera otra señal de naturaleza radioeléctrica de mucha mayor velocidad de propagación, que sería la señal portadora. En la señal portadora es donde se inserta la señal moduladora, y se obtiene la señal modulada, también en forma de onda radioeléctrica, que es lo que se transmite.

Para realizar este proceso de inserción de la señal original en otra de distinto tipo, se usa un dispositivo conocido como modulador, cuya función es modificar a la señal portadora en alguno de sus parámetros: frecuencia, amplitud o fase. La modificación sufrida por la portadora para convertirse en modulada es proporcional a la amplitud o ganancia de la señal moduladora; pero en muchos casos se descartan algunos rasgos de la señal original para aprovechar mejor la capacidad del canal de transmisión. Por ejemplo, cuando se transmite la voz mediante telefonía tradicional, es posible reconocer al hablante al otro lado de la línea, pero la voz que se escucha no es exactamente igual a la que se oye cuando se habla en persona. El proceso inverso de convertir la señal modulada en la señal original o en lo que mas se le asemeje, se denomina demodulación; la figura siguiente muestra el procedimiento en forma general.

Figura 8. Modulación



Fuente: Textoscientíficos.com
http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion

Cuando se trata de transmisión de datos, el proceso algo diferente. En lugar de realizar una conversión de ondas de sonido en ondas radioeléctricas; el dispositivo modulador recoge los pulsos eléctricos discretos, que en forma de variaciones de tensión eléctrica representan los bits contenidos en la señal moduladora. Con estos pulsos, el modulador realiza una codificación de manera que inserta esta información en una señal radioeléctrica o luminosa, que es lo que finalmente se transmite. Al llegar a su destino el demodulador realiza el proceso inverso para obtener los pulsos transmitidos.

Por ejemplo, cuando el modulador detecta una tensión eléctrica de +1 voltio en la entrada de la señal moduladora, quiere decir que se va a transmitir un bit cuyo valor es 1, y cuando detecta una tensión de -1 voltio, entonces el dato a modular será un bit con valor de 0. Esto no siempre es la norma, los bits en la señal moduladora pueden representarse mediante otras variaciones de voltaje, pero éstas deben tener una tensión perfectamente definida para cada valor de bit. La codificación que realiza el modulador para transmitir la información es variar uno o más de los parámetros de una portadora analógica, sea radioeléctrica o luminosa, de modo que se adecuen al medio de transmisión, el cual puede ser de naturaleza muy variada como cable, radiofrecuencia o fibra óptica.

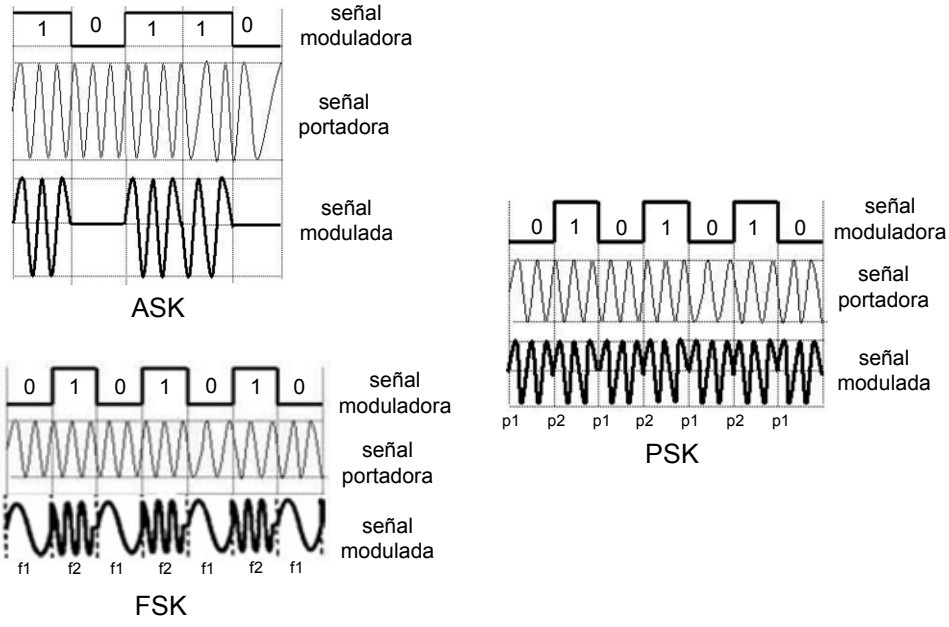
En modulación digital-analógica, cada pulso de la señal moduladora a la entrada del modulador es un bit; entonces, la medida de la velocidad o tasa de transmisión es el bit por segundo o bps. Por otro lado, cada evento de la señal modulada a la salida del modulador se llama Baudio, y su medida de velocidad es en baudios o símbolos por

segundo. Un bps y un baudio no necesariamente son equivalentes, pues puede darse el caso que cada baudio pueda llevar codificado más de un bit a la vez, por lo que la tasa de baudios de una señal depende de lo que se conoce como índice de modulación *m*. Este índice puede variar de acuerdo a la técnica de modulación que se emplee; más adelante se explicará en qué consiste. Debe notarse que cuando la técnica de modulación es binaria, como posteriormente se las diferenciará, entonces ambas velocidades o tasas son iguales.

La potencia o amplitud de una señal radioeléctrica está representada en decibelios *db*, la cual es una medida logarítmica que resulta del cociente de dos potencias lineales expresadas en watts. La magnitud de la potencia en decibelios en un circuito eléctrico, y por ende en un canal de transmisión se conoce como ganancia y se representa mediante la siguiente fórmula: $G_{db} = 10 \log (P_{sal} / P_{ent})$, donde G_{db} es la ganancia, P_{sal} es la potencia de salida en watts y P_{ent} es la potencia de entrada, también en watts.

Existen tres tipos principales de modulación digital-analógica: modulación por desplazamiento de amplitud -ASK *Amplitude Shift Keying*, modulación por desplazamiento de frecuencia -FSK *Frequency Shift Keying*, y modulación por desplazamiento de fase -PSK *Phase Shift Keying*.

Figura 9. Modulación digital



Fuente: Autor

La figura anterior muestra lo que sucede con las señales según el tipo de modulación utilizada. Mediante ASK los pulsos de la señal moduladora se representan haciendo variar la amplitud o potencia de la señal portadora, manteniendo constante la frecuencia y la fase. Como la información está contenida en las variaciones de amplitud, si se modula en ASK para transmitir por ondas radioeléctricas, debe tenerse en cuenta la potencia necesaria para que al generar la señal portadora ésta pueda modularse de tal forma que llegue a su destino sin desvanecerse. La potencia debe ser lo suficientemente amplia como para garantizar la entrega de la información a su destino. A pesar de la simplicidad de implementación de este tipo de modulación, muchas veces modular con ASK sobre ondas radioeléctricas resulta en un mayor gasto de energía en comparación con otros tipos de modulación; por lo que el uso más común de ASK es para transmitir datos en forma de señales luminosas usando transmisores LED en redes de fibra óptica, donde la modulación consiste en convertir los bits de entrada en simples pulsos de ausencia o presencia de luz. ASK es el tipo de modulación más sensible al ruido, el cual se define como cualquier perturbación eléctrica que interfiere con la señal transmitida; estas perturbaciones siempre están presentes y tienen orígenes diversos tales como el movimiento desordenado de las moléculas del material o medio conductor, la irradiación de energía producida por el medio y por los objetos circundantes, la temperatura, etc.

En la figura anterior se puede ver que en ASK la portadora se modula en una serie de estados perfectamente definidos: cuando se quiere representar un 1 hay señal, y cuando se quiere representar un 0 hay ausencia de señal. La señal moduladora tiene un valor pico o amplitud máxima Vm=1 cuando la entrada es un 1 binario y la amplitud es nula cuando la entrada es un 0 binario. En la figura, solamente se representan dos estados, entonces se deduce que se deduce que ASK es una modulación binaria. Entonces, la tasa de bits es igual a la tasa de baudios.

Recordando que la forma matemática de una onda periódica senoidal simple está dada por: $f(t) = A \operatorname{sen}(w t + \theta)$, y que w es la frecuencia angular $w=2\pi f$, es posible determinar que la función matemática que representa a la señal modulada mediante ASK es: $V(t) = Vp \operatorname{sen}(2 \pi f \cdot t)$ cuando la señal de entrada es un 1; y $V(t) = 0$ cuando la señal de entrada es un 0, siendo Vp el valor pico o amplitud máxima de la portadora, f la frecuencia de la portadora y t el tiempo. Aquí, el ángulo inicial θ es 0.

La función de la señal modulada se obtiene realizando el producto o la multiplicación entre los valores de las funciones de las señales portadora y moduladora para el mismo tiempo t.

El índice de modulación es un valor referencial sin magnitud de medida que se emplea para medir la variación de frecuencia o fase que sufre la portadora con relación a la frecuencia moduladora. En ASK no se emplea el índice de modulación porque tanto la frecuencia como la fase permanecen constantes. Lo que se usa es el coeficiente de modulación en amplitud *m,* que mide la variación de amplitud del sistema y resulta de la razón entre el valor pico o amplitud más alta de la frecuencia de la señal moduladora Vm y el valor pico de la frecuencia de la señal portadora Vp, entonces: m = Vm / Vp. Dado que en ASK la señal portadora y la señal modulada tienen el mismo valor pico, se deduce que m=1.

En el caso de PSK, la señal modulada se obtiene actuando sobre la portadora en su fase, aunque puede darse casos en que la amplitud y la frecuencia sufran alteraciones. Con cada inversión del bit de la señal moduladora el dispositivo modulador produce un corrimiento de fase variando instantáneamente el ángulo de la portadora en una proporción determinada ocasionando un desfase angular cuando se suceden bits de valor distinto. La figura anterior muestra una modalidad de PSK, conocida como PSK binario o BPSK -*Binary Phase Shift Keying*. Se denomina así porque la señal modulada varía entre dos fases angulares con 180º, o 2π/2 rad de diferencia entre ellas, representando solo dos estados de entrada. Los valores pico de la señal moduladora son -1 cuando el bit de entrada es 0, y 1 cuando el bit de entrada es 0, por lo tanto la señal modulada produce variaciones de tensión desde positivo hacia negativo y viceversa.

La representación matemática de la señal modulada con BPSK tiene forma cosenoidal, y está dada por la función: $V(t) = \pm Vp \cos(2 \pi f \cdot t)$, siendo Vp el valor pico o amplitud máxima de la portadora, f la frecuencia de la portadora y t el tiempo. Nótese que el sentido o signo de la función anterior es dependiente del valor de la señal moduladora, porque al igual que en ASK, la señal modulada es el producto de las funciones de la moduladora y la portadora. Es posible descomponer a V(t) en dos funciones de acuerdo al bit de entrada, cuando el bit que llega de la señal moduladora

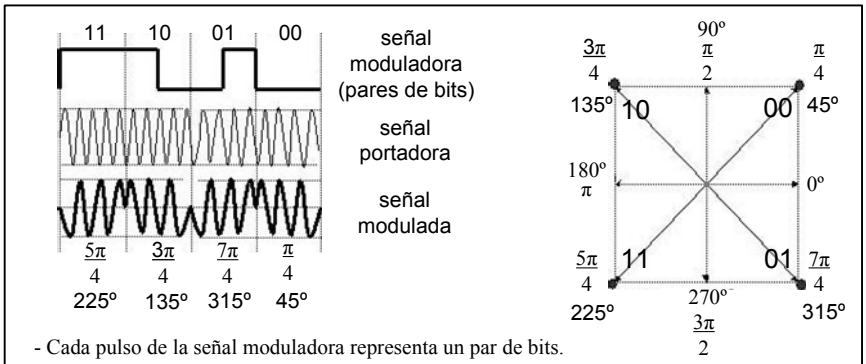
es 1, entonces V(t)= Vp cos(2 π f · t), y cuando el bit de la señal moduladora es 0 V(t) = - Vp cos(2 π f · t) = Vp cos(2 π f · t + π). En última función dada, el signo negativo se ha reemplazado por un corrimiento de fase con un ángulo inicial π, porque: - cos(x) = cos(π - x) = cos(x + π)

En este tipo de modulación, la información no está en la señal como tal, sino en las transiciones o cambios de fase aplicados a la señal portadora para codificar los datos de la señal moduladora. Si durante la transmisión de no hay cambio de fase angular en el intervalo dado, entonces significa que el bit transmitido es igual al anterior. En la figura anterior las transiciones de BPSK se representan por p1 y p2.

En PSK se emplea el índice de modulación en fase *m*, distinto al de ASK, el cual es un valor finito con magnitud medida en radianes que indica la desviación máxima de fase con respecto a la señal moduladora. Este valor es proporcional a la amplitud de la señal moduladora y es independiente de su frecuencia; matemáticamente se define como $m = KV_m$, donde K es el avance o retardo de fase en radianes y V_m es el valor pico o amplitud máxima de la señal moduladora.

En sistemas digitales, PSK puede usarse para codificar más de un bit por intervalo de tiempo, transmitiendo secuencias de dos, tres o más bits. Esto se consigue haciendo variar la fase angular de la portadora en *n* valores posibles con ángulos que se separan entre sí por una diferencia de 2π/n radianes. De esta manera se consigue un mayor aprovechamiento del canal de transmisión. La siguiente figura muestra una modulación PSK con n=4 o conocida como QPSK.

Figura 10. Modulación QPSK



- Cada pulso de la señal moduladora representa un par de bits.
- Con dos bits son posibles cuatro combinaciones de valores: 00, 10, 11 y 01.
- El índice de modulación es m = 2 *(n bits) = 2 * 2 = 4

Fuente: Autor

Existen modulaciones derivadas donde se hacen variar tanto la amplitud como la fase de la señal portadora, con el fin de atenuar los mayores niveles de ruido que se presentan en la modulación por amplitud. Este es el caso de la modulación QAM, que resulta de una combinación de ASK con QPSK, donde la información está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la señal modulada.

El principio de la modulación digital FSK se basa en alterar la frecuencia de la portadora de acuerdo al valor del bit que se recibe de la señal moduladora. Como se puede ver en la Figura 10, para modular los valores 0 y 1 de la señal de entrada, se emplean dos frecuencias distintas f1 y f2 que van alternándose cada vez que existe un cambio de valor en el bit de la señal moduladora. Ambas frecuencias f1 y f2 tienen la misma amplitud y son próximas a la frecuencia de la señal portadora, pero su desplazamiento es en sentidos opuestos. Es decir, la diferencia entre f2 y la portadora es igual a la diferencia entre la portadora y f1, pero el primer resultado es negativo y el segundo es positivo. FSK es una modulación binaria, porque varía solamente entre dos estados, tal como se lo muestra en la figura mencionada.

En este tipo de modulación mostrado, las frecuencias están en fase, es decir no se presentan discontinuidades en la señal modulada; la frecuencia que representa el valor de entrada de bit 1 se llama frecuencia de marca, la que representa el valor 0 se llama frecuencia de espacio y la frecuencia de la portadora se llama frecuencia de reposo.

Al igual que en BPSK, los valores pico de la señal moduladora son -1 cuando el bit de entrada es 0, y 1 cuando el bit de entrada es 0. La forma matemática para f1 y f2 con un valor pico o amplitud máxima Vp, está dada por: $v(t) = Vp \operatorname{sen}(2\pi (f \pm \Delta f) t)$, donde f es la frecuencia de la portadora y Δf es la variación máxima de frecuencia de la portadora con relación a f1 o f2. El sentido de Δf, corresponde al valor de la señal moduladora en el tiempo t.

En FSK en general, las dos frecuencias f1 y f2 no necesariamente producen una onda continua o en fase como en BFSK. Puede darse la situación de que ocurran saltos de fase durante las transiciones entre f1 y f2, perdiéndose la continuidad de la onda. De ahí que existen dos tipos principales de FSK, el de tipo coherente tal como FSK binario y el de tipo no coherente donde las frecuencias están desfasadas. Se puede

dar el caso que también se use PSK alternando dos frecuencias distintas durante la modulación; entonces usando cualquiera, PSK o FSK, se pueden producir ondas idénticas. En estas situaciones, el tipo de modulación usado puede identificarse únicamente cuando se tiene un conocimiento previo de la función matemática que actúa sobre la señal portadora para producir la señal modulada. El desfase de la señal modulada se da por lo general cuando se utilizan dos equipos independientes que trabajan intermitentemente alternándose en emitir su frecuencia según la información entrante desde la señal moduladora.

El índice de modulación en frecuencia *m* para FSK viene dado por m = Δf / fa; es una magnitud sin unidad de medida donde Δf es la desviación máxima de frecuencia de f1 y f2 con relación a la señal portadora y fa es la frecuencia de la señal moduladora. Se deduce entonces que el índice de modulación es inversamente proporcional a la frecuencia de la señal moduladora. Si el índice de modulación en frecuencia es m < π/2 radianes, entonces se conoce como FSK de banda angosta y si m > π/2 radianes se considera FSK de banda ancha.

Toda señal radioeléctrica está compuesta de la sumatoria de un número infinito de señales, cada una de las cuales tiene su componente en una frecuencia única, los cuales se conocen como armónicos. No todos los armónicos aportan de la misma manera a la composición de la señal, pues algunos de ellos concurren con más potencia que otros. El ancho de banda es el rango de frecuencias donde se concentra la mayor parte de la intensidad de la señal emitida, y resulta de la diferencia entre las frecuencias más alta y más baja donde transcurre la onda, con una aproximación de alrededor del 98%; esta afirmación se denomina Regla de Carson, y se aplica para el ancho de banda de potencia, cuya definición se detalla más adelante. La magnitud del ancho de banda se mide en Hertz. En una señal modulada con FSK o PSK, está directamente relacionada con el índice de modulación. En una señal modulada con ASK se relaciona con el coeficiente de modulación.

[La Regla de Carson, establece que aproximadamente toda la potencia de una señal consistente en una portadora senoidal modulada en frecuencia está comprendida dentro de un ancho de banda B_W alrededor de la frecuencia portadora, expresado mediante $B_W = 2(\Delta f + f_m)$ donde Δf es la desviación máxima de la frecuencia

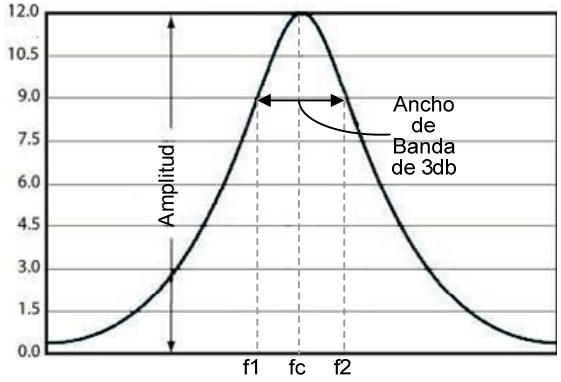
instantánea f(t) de la señal portadora, y f_m es el ancho de banda o sumatoria de los armónicos de la señal moduladora; f_m se conoce también como banda base.] (Wikipedia, Regla párr. 1).

Para comprender mejor el concepto, debe tenerse en cuenta la representación del ancho de banda se relaciona con el dominio de la potencia o amplitud y no con el dominio del tiempo. En la Figura 10 las señales están representadas en el dominio del tiempo: frecuencia vs. tiempo, mientras que para representar el ancho de banda debe graficarse en el dominio de la amplitud: frecuencia vs. amplitud. Existen diferentes clasificaciones para el ancho de banda, las principales son:

- Ancho de banda absoluto: rango de frecuencia fuera del cual el espectro de frecuencia de la señal vale cero. El ancho de banda absoluto de una señal dada tiende al infinito.
- Ancho de banda de 3dB: rango de frecuencia en donde la potencia de la señal cae 50% de su máximo valor.
- Ancho de banda de potencia: rango de frecuencia en donde se concentra el 99% de la potencia de la señal.
- Ancho de banda de primer nulo: rango de frecuencia por debajo del primer cruce por cero del espectro de frecuencia.

En la figura siguiente, se puede ver el ancho de banda de 3db para una frecuencia fundamental o central fc; se puede apreciar que las frecuencias inferior f1 y superior f2 tienen una diferencia de potencia de ±3db con respecto a fc. A todos los armónicos comprendidos entre f1 y f2 se les denomina ancho de banda.

Figura 11. Frecuencia (Hz) vs. Amplitud (db)

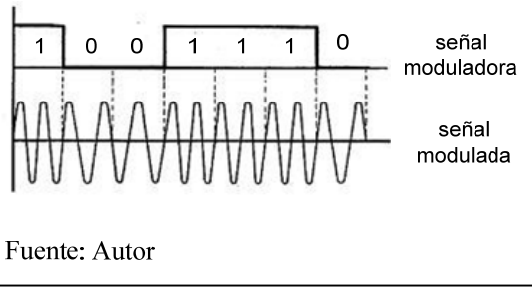


Fuente: Autor

3.4.2 Modulación en GSM.

Existe una modulación FSK conocida como modulación por desplazamiento mínimo -MSK o *Minimum Shift Keying*, el cual consiste en un tipo de FSK coherente de amplitud constante, con un índice de modulación en frecuencia de m = π/2 rad. Es decir para generar la señal modulada, la portadora varía su frecuencia en exactamente ± 90º permaneciendo en fase continua según el bit de entrada sea 1 o 0; consecuentemente, la separación de fase entre f1 y f2 es de π rad o 180º. Además debe cumplir con la condición de que la tasa de bits de la señal moduladora sea exactamente 4 veces la variación de frecuencia de la señal portadora con relación a f1 y f2. Estas condiciones proporcionan una máxima diferencia de fase para una mínima diferencia en frecuencia u ocupación de espectro. La siguiente figura ilustra este concepto.

Figura 12. Modulación MSK



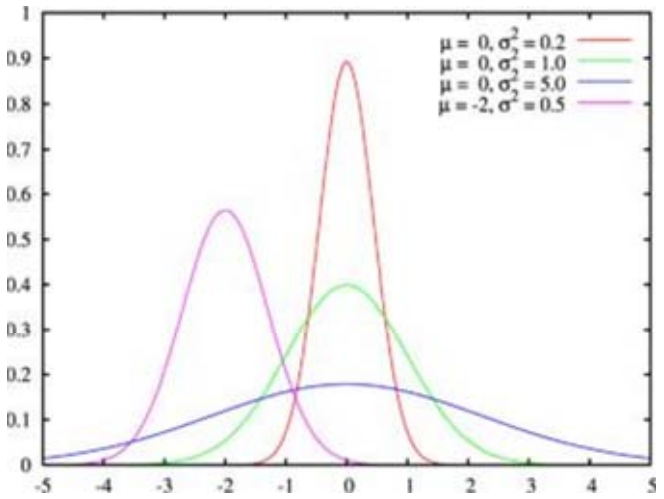
Fuente: Autor

GSM utiliza un tipo de modulación donde se emplea MSK, llamado GMSK o *Gaussian Minimum Shift Keying*. En GMSK, la señal moduladora es pasada por un filtro gaussiano antes de proceder con la modulación. "Un filtro es un dispositivo que discrimina una frecuencia o una determinada gama de frecuencias de una señal radioeléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase." (Wikipedia, Filtro párr. 1).

El filtro gaussiano se denomina así debido a que está basado en la función gaussiana definida por la expresión exponencial: $f(x) = ae^{-(x-b)^2/2c^2}$, la cual toma la forma de una distribución estadística normal, donde *a* es la altura de la campana, el centro o media es el punto *b*, y *c* es el ancho de la distribución.

El resultado de la onda que pasa a través de este filtro es una señal cuya potencia máxima se concentra en un armónico central y la potencia de los demás disminuye conforme se avanza hacia los extremos; esta disminución será más pronunciada cuanto menor sea el valor de la desviación estándar de la distribución. El siguiente gráfico ilustra diversas distribuciones con diferentes valores de media y varianza.

Figura 13. Distribución normal o gaussiana



- La media es μ, la desviación estándar es σ y la varianza es σ^2.
- La línea verde corresponde a la distribución normal estándar.

Fuente: Wikipedia
http://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_normal

Como se ha visto anteriormente, la señal moduladora digital de entrada varía su amplitud, cambiando instantáneamente entre dos valores discretos de potencia para representar los bits de entrada, formando pulsos rectangulares. Un pulso rectangular contiene mayor cantidad de armónicos que un pulso senoidal, y consecuentemente ocupa un ancho de banda mayor. Este ancho de banda debe reducirse antes de enviar el pulso al modulador con el fin de disminuir el ancho de banda requerido para la señal modulada, pues debemos recordar que la amplitud o potencia de la señal moduladora es uno de los parámetros que intervienen en cualquier tipo de modulación. La tarea de reducción del ancho de banda la realiza el filtro. Cuando la señal moduladora pasa por él, discrimina ciertas frecuencias consiguiéndose que los pulsos digitales filtrados dejen de ser rectángulos, convirtiéndose en ondas senoidales.

El filtro gaussiano aplicado antes de modular tiene el efecto de nivelar las transiciones instantáneas de fase de MSK, con lo que se consigue estabilizar las variaciones de frecuencia de la señal modulada durante el tiempo de transmisión. El parámetro de filtrado *BT* de GMSK se usa para describir el ancho de banda *B* de potencia o de 3db del filtro en relación a la tasa de bits *T* de la señal moduladora. El mejor rendimiento se obtiene para BT = 0.3, que es el usado en GSM.

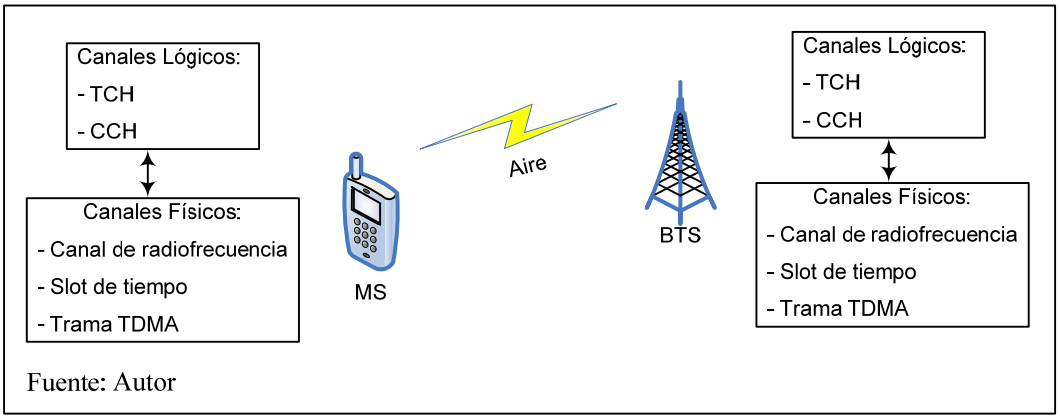
3.4.3 Parámetros de transmisión en GSM.

En un analizador de espectros se puede comprobar que si una secuencia constante de ceros o unos se transmite usando modulación MSK sin intervención de un filtro gaussiano, la señal modulada logra un incremento de fase estable de 360º o 2π radianes cuando los valores de frecuencia de f1 o f2 son ±67.708 kHz con relación a la portadora. Esta cifra es entonces la mayor diferencia de fase coherente a la que la que se puede operar para una minima diferencia de frecuencia. Si sumamos a este hecho que una de las condiciones de MSK es que la tasa de bits sea cuatro veces la variación de f1 o f2 sobre la portadora; obtenemos que la tasa de transmisión es de 270.833 kbps. Estas cifras tanto en diferencia de frecuencia sobre la portadora, como en tasa de transmisión son empleadas por GSM.

Para posibilitar el uso de TDMA, la señal digital moduladora de 270,833 kbps es dividida en el dominio del tiempo en 8 slots cuya duración es de 0,57692 ms cada uno. Cada slot de tiempo se conforma de 156,25 bits. La duración de una ráfaga completa con el contenido de los 8 slots o trama de 1250 bits es de 4,615 ms. Entonces se puede deducir que en GSM se transmiten 216.667 tramas por segundo.

En GSM además de los canales físicos de radiofrecuencia, existen canales lógicos creados por TDMA que sirven para transmitir las tramas; las tramas pueden contener las comunicaciones de voz y/o datos provenientes del abonado o la información de control y señalización. Existen dos tipos de canales lógicos principales: los canales de tráfico *TCH*, y los canales de señalización y control *CCH*. Cualquiera de ellos puede cumplir cualquier tarea que se le adjudique; es decir, no están preasignados para cumplir con una función particular, aunque siempre existe un número mínimo de canales lógicos que realiza cada tarea. La siguiente figura ilustra el concepto.

Figura 14. Canales físicos y lógicos en GSM



Fuente: Autor

3.5 Servicios en GSM.

Los servicios básicos de GSM están divididos en tres categorías: servicios portadores, teleservicios y servicios suplementarios. Los dos primeros mencionados se denominan servicios básicos.

Los servicios portadores dan al abonado la capacidad para trasmitir información, es decir su funcionalidad es la de una interfaz red-usuario. En GSM la aplicación como tal no es incluida. Existen seis servicios portadores distintos, los principales son:

- Tráfico hacia la red telefónica - PSTN
- Tráfico hacia la Red Digital de Servicios Integrados - ISDN
- Acceso asíncrono a otras redes de datos: soporta tráfico hacia las redes públicas de conmutación de paquetes y conmutación de circuitos, necesitando un interfaz en función de cada propósito.

Los teleservicios permiten a un abonado establecer comunicaciones con otro abonado, estos servicios se definen de punto a punto. Hay nueve servicios distintos:

- Telefonía de voz.
- Llamadas de emergencia.
- Fax.
- Voz y fax alternados.
- SMS punto a punto.
- SMS broadcast.
- Módem en banda base.
- Buzón de voz.
- Buzón de fax.

Los servicios suplementarios modifican o apoyan a los servicios básicos y no pueden nunca ser ofrecidos por separado a los abonados; necesariamente un servicio suplementario debe ser ofrecido junto con uno o más servicios básicos de telecomunicaciones. Existen 8 clases de servicios suplementarios, cada hasta con seis servicios definidos, en total son 26 servicios suplementarios distintos. Algunos de ellos son:

- Identificación de llamadas
- Desvío de llamadas
- Llamada en espera
- Restricción de llamadas salientes y entrantes
- Multiconferencia
- Aviso de tarifa
- Uso simultáneo de servicios

3.6 El servicio SMS.

3.6.1 Introducción.

Los mensajes cortos de texto son los sucesores de los mensajes de teletexto transmitidos por una central hacia los dispositivos buscapersonas o *beepers* que fueron populares hasta la mitad de la década pasada. El uso de mensajes de texto tiene ventajas muy apreciables en comparación con los de teletexto, tales como: comunicación directa entre terminales, mayor cobertura, la comunicación puede ser en dos vías, pueden generarse acuses de recibo, pueden emitirse mensajes multidestino o *broadcast*, etc.

En otros sistemas de telefonía móvil como TDMA, CDMA, UMTS, etc, el proceso de envío y recepción de mensajes se desarrolla en forma parecida a GSM, aunque siempre los procedimientos son transparentes a nivel del usuario. Este apartado abarcará el estudio del servicio SMS únicamente en redes GSM.

En el entorno GSM, SMS del inglés *Short Message Service*, es un servicio punto a punto que permite la transmisión de mensajes alfanuméricos cortos entre dos MS que cuenten con capacidad de gestionar el mismo. Se entiende como MS todo dispositivo GSM cuya definición se encuentra en la sección “2.3.2.3 Otros elementos de la red

GSM" del presente trabajo. [Un mensaje alfanumérico corto, tal como lo mencionan las normas GSM 03.40 y GSM 03.38 emanadas por la ETSI, puede tener una longitud de hasta 160 caracteres, y cada caracter está codificado mediante un alfabeto de 7 bits; es decir, existen 127 caracteres que pueden ser empleados dentro de este tipo de comunicaciones.] (Peterson, SMS párr. 1).

El listado de los caracteres admitidos se puede ver en el Apéndice 1 del presente trabajo. En adelante, se utilizará el nombre de mensajes SMS o simplemente mensajes para referirnos a este tipo de comunicaciones.

El estándar GSM no reglamenta la interacción entre la MS y cualquier otro dispositivo que ésta pueda tener acoplada para explotar el servicio; por ejemplo: si una MS sirve como pasarela de transmisión de un servidor que provea alguna prestación particular, entonces la unión de ambos: la MS y el servidor se consideran una sola entidad dentro de la red GSM. Otro tipo de entidades pueden ser: servidores o buzones de correo mediante SMS, servidores de generación de avisos SMS implementados por el operador, servidores para gestión automática de consultas mediante SMS, un SMSC remoto -posteriormente se lo definirá-, etc. También en lo posterior se denominará entidad o SME a cualquier dispositivo que en conjunción o independientemente de una MS sea capaz de procesar mensajes.

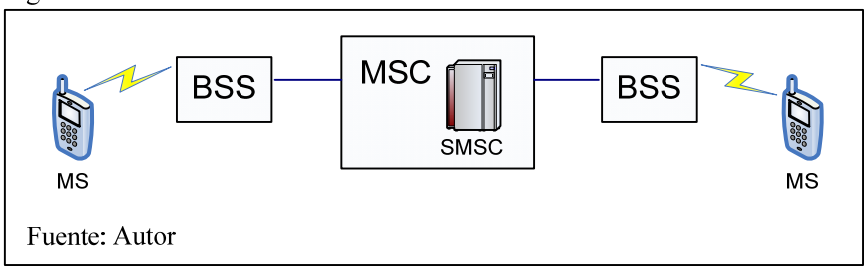
3.6.2 Descripción y Arquitectura.

SMS es un servicio no orientado a conexión; es decir, el intercambio de información entre el emisor y el receptor, y viceversa, se realiza sin necesidad de establecer un canal de comunicación entre ellos. SMS también es un servicio orientado hacia la entrega, en consecuencia la MS que envía el mensaje siempre recibe una notificación que le informa si el mensaje pudo ser enviado o no. Finalmente, SMS es un servicio que utiliza poco ancho de banda y en condiciones normales de operación no obstaculiza el tráfico de la red. Esto se debe a que la red GSM emplea los canales de señalización y control CCH para transmitir los mensajes mediante ráfagas cortas de información, sin utilizar la banda asignada a los canales de tráfico TCH que anteriormente se describieron. Por lo tanto, una MS puede hacer uso del servicio SMS en forma simultánea con cualquiera de los demás servicios de transmisión de voz y/o datos.

El procedimiento empleado por la MS para transmitir un mensaje, es transformar el texto alfanumérico introducido por el usuario en un paquete de datos o datagrama que incorpora toda la información necesaria para convertirlo en un objeto autónomo durante su tránsito por la red. El MSC que provee el servicio a la MS se encarga de hacer la conmutación y redirigir el paquete hacia el destino apropiado. Para hacer esta tarea, el MSC dispone de un Centro de Servicios SMS o SMSC, cuya función es almacenar, retransmitir y encaminar el tráfico de mensajes entre las diferentes MS o SME que usan el servicio.

En el siguiente apartado se explicará al detalle el funcionamiento del proceso de envío y recepción de mensajes. Para tener una idea previa, la siguiente figura muestra la disposición física de la red para la prestación del servicio SMS; en este gráfico se omiten otros componentes de la red GSM que también intervienen durante la prestación del servicio. Refiérase a la Figura 7 para visualizar detalladamente los demás componentes de la red GSM.

Figura 15. Gestión de SMS en una red GSM



Fuente: Autor

3.6.3 Funcionamiento del servicio SMS.

El servicio SMS comprende dos servicios punto a punto básicos: los servicios iniciados en la MS o *Mobile Originated Short Message* MO-SM; y los servicios finalizados en la MS o *Mobile Terminated Short Message* MT-SM.

Los MO-SM son los mensajes que salen desde una MS o entidad origen y se trasladan hacia el SMSC que cubre el área de la entidad destino, este SMSC destino puede estar en la misma red o una red externa. Un MO-SM siempre genera el retorno de algún tipo de evidencia a la MS que lo origina, la cual puede ser una confirmación envío exitoso o un reporte de error que identifica la razón por la cual el mensaje no puede ser enviado.

Los MT-SM son los mensajes que se trasladan desde el SMSC destino hacia las MS o SME que finalmente reciben el mensaje. Igualmente, este servicio también genera un reporte de entrega exitosa o en su defecto un código de error que notifica la causa del fallo. Nótese que un MO-SM siempre se convierte en un MT-SM en el momento en que el SMSC destino recibe el mensaje dirigido al receptor final.

A continuación se exhibe un ejemplo de lo que ocurre con un MO-SM típico, enumerando los pasos que sigue durante su trayecto.

1. La MS transfiere un mensaje hacia el MSC de su área de cobertura.
2. El MSC consulta con el VLR si el mensaje que se intenta transferir está en conformidad con los servicios concedidos al abonado y también verifica que no existen restricciones tales como MS en lista negra, saldo insuficiente, destino inalcanzable, número incorrecto, etc. Si existe algún tipo de restricción se informa el error a la MS origen, caso contrario se prosigue con el proceso.
3. El MSC transfiere el mensaje hacia el SMSC y notifica al VLR para facturar el mensaje.
4. El SMSC envía el mensaje al SMSC destino. En este punto, el mensaje se convierte en un MT-SM. En caso de que la MS origen haya contratado el servicio de acuse de recibo o de confirmación de entrega, el SMSC destino notificará al SMSC origen cuando el mensaje sea efectivamente entregado a la MS destino, y si esto no pudo ser posible, el SMSC destino responderá al de origen con una notificación de error.
5. El SMSC origen reporta al MSC que el mensaje se envió exitosamente.
6. El MSC notifica a la MS que su mensaje fue enviado.

Ahora se verá lo que sucede con un MT-SM; en este caso, todo lo que involucre una acción de un componente de la red GSM se entenderá que sucede en el área a la que pertenece la MS destino, a no ser que explícitamente se indique lo contrario.

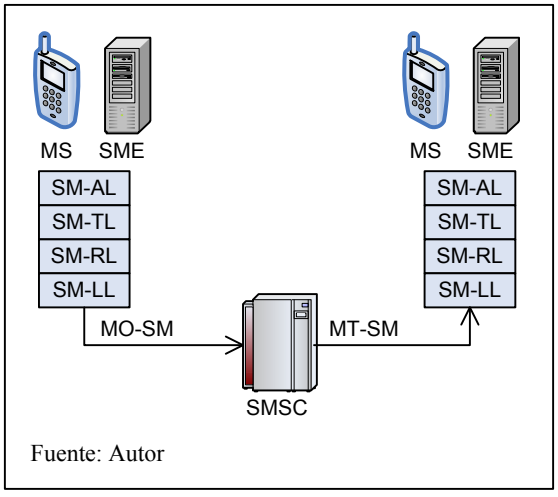
1. El SMSC es notificado de un MO-SM entrante.
2. Antes de que el SMSC almacene el mensaje, realiza una consulta al HLR y recibe la información sobre el enrutamiento que debe aplicar al paquete.
3. Si la MS está activa, el SMSC entrega el paquete al MSC con la información de ruteo obtenida. Si la MS no está activa, el SMSC almacena el mensaje

4. El MSC autentifica la MS mediante consulta con el VLR.
5. El MSC transfiere el mensaje hacia la MS y devuelve al SMSC la confirmación de entrega.
6. El SMSC borra el mensaje de su base de datos y opcionalmente genera un acuso de recibo exitoso que se envía al SMSC origen.

3.6.4 El modelo de capas de SMS.

El servicio SMS se estructura mediante un modelo de cuatro capas superpuestas cada una de las cuales sirve a su inmediata superior implementando su propio protocolo. Estas son: capa de aplicación *Short Message Aplication Layer* SM-AL, capa de transferencia *Short Message Transfer Layer* SM-TL, de repetición *Short Message Relay Layer* SM-RL y capa inferior *Short Message Lower Layers* SM-LL. El SMSC destino sirve de enlace a nivel de la capa inferior. El modelo se visualiza en la figura siguiente:

Figura 16. Capas del servicio SMS



Fuente: Autor

La capa SM-AL se encarga de proporcionar la interfaz de usuario, el protocolo y opcionalmente las aplicaciones para que el abonado pueda explotar el servicio SMS. A nivel de una MS, ésta capa se encarga de ofrecer el editor de mensajes, los avisos de mensajes entrantes y salientes, la gestión y almacenaje de los mensajes en forma

de archivos, etc. A nivel de SME las aplicaciones pueden variar desde una terminal de texto a un programa de gestión avanzado que involucre hardware y software. Una de las interfaces que pueden ser usadas para que el usuario interactúe con las capas más bajas es el conjunto de comandos AT, que consiste en una serie de instrucciones especiales estandarizadas que permiten la manipulación de una MS tal como si se tratara de un módem convencional. En el siguiente capítulo del presente trabajo se tratará este tema.

La capa SM-TL proporciona a la capa SM-AL el servicio de transporte de mensajes y la obtención de reportes sobre transmisiones efectuadas entre las MS o SME relacionadas. En esta capa se realiza la construcción lógica de la trama o paquete de datos que viajará por la red en forma autónoma y será luego interpretada por la entidad destino. El paquete se trata como una PDU o *Protocol Data Unit* la cual es una definición genérica para expresar los paquetes de datos que intercambian dos entidades emparejadas a un mismo nivel o capa.

En la capa de transporte el paquete de datos se denomina TPDU o *Transport Layer PDU*, aunque la mayoría de autores se refieren a éstos simplemente como PDU debido a que en esta capa los paquetes cobran mayor notoriedad por la razón de que pueden ser manipulados directamente desde una SME o desde una terminal acoplada a la MS. Existen seis tipos diferentes de TPDU, cada uno los cuales o bien cumple una función específica o bien revela el resultado de una transmisión, se enumeran a continuación:

- SMS-DELIVER: Transporta un mensaje a entregar desde el SMSC a la MS. Viaja desde el SMSC a la MS.
- SMS-DELIVER-REPORT: Notifica el motivo de una recepción fallida de un mensaje solamente si la hubo. Viaja desde la MS al SMSC.
- SMS-SUBMIT: Transporta un mensaje remitido desde el MS al SMSC. Viaja desde la MS al SMSC.
- SMS-SUBMIT-REPORT: Notifica el motivo de una recepción fallida de un mensaje solamente si la hubo. Viaja desde el SMSC a la MS.
- SMS-STATUS-REPORT: Transmite un informe del estado en que se encuentra un mensaje desde el SMSC al MS.
- SMS-COMMAND: Transmite un comando desde el MS al SMSC.

En la capa SM-TL los protocolos usados varían de acuerdo al fabricante del equipo SMSC. Los protocolos se agrupan bajo la denominación de SM-RP, aunque en redes más modernas los mensajes se encapsulan y transportan usando GPRS.

La capa SM-RL proporciona servicios al nivel de transferencia que le permiten enviar TPDU *Transfer Protocol Data Units* a su entidad gemela. Esta capa permite el transporte de un mensaje entre varios elementos de la red. Un elemento de la red puede guardar un mensaje temporalmente si el próximo elemento al cual es remitido no está disponible. En la capa repetición, el MSC se ocupa de dos funciones a más de sus funciones usuales.

- La primera función llamada consiste en recibir el mensaje proveniente de un SMSC e interrogar el HLR para obtener información sobre la asignación de una ruta para entregar el mensaje a un destinatario de la red.
- La segunda función consiste en recepción un mensaje proveniente una terminal móvil y entregarlo al MSC para que ejecute la tarea ruteo.

A nivel de esta capa, las dos funciones anteriores se consideran equivalentes desde el punto de vista de un paquete SMS. Las SME se comunican con sus entidades gemelas empleando el protocolo SM-RP *Short Message Relay Protocol*, el cual provee las funcionalidades para interactuar con los protocolos de capa superior residentes en el MSC. En esta capa, los paquetes se consideran RPDUs o *Relay Protocol Data Units*.

Las capas inferiores o SM-LL proporcionan a la capa SM-RL el control del flujo de datos a nivel físico. [Una de estas capas es la CM-Sub o *Connection Manager Sublayer*, que hace uso del protocolo SM-CP o *Short Message Control Protocol* que contiene primitivas para proveer control de flujo de datos, acuses de recibo y avisos que determinan las causas de error y/o aborto de las comunicaciones.] (Lin, diap. 19).

3.6.5 Modos de operación SMS.

A nivel de la capa SM-TL existen tres diferentes maneras de implementar el control de transmisiones SMS por parte de las aplicaciones, éstos son: el modo de paquetes o *Block Mode* implementado inicialmente en GSM, el modo de texto basado en comandos AT *Text Mode* y el modo PDU basado en comandos AT *PDU Mode*. El

primero de los anteriores está ahora en desuso y ha sido reemplazado por el modo PDU.

El modo de paquetes Block Mode es un protocolo binario síncrono para textos. Los paquetes o TPDUs tienen un inicio y fin plenamente definidos, pues se adicionan marcadores al final de cada transmisión. En este modo la información a transmitir se construye concatenando a los paquetes todas las tareas que necesite usando un conjunto predefinido de instrucciones binarias, de forma que los paquetes se vuelven autoejecutables. Se puede considerar a este modo como un antecesor del modo PDU sin los comandos AT que éste provee. Una de las ventajas es que aporta mayor corrección de errores debido a que los paquetes contienen *checksum* o autoaseguramiento en caso de que por ejemplo el enlace de radio esté débil o ausente. La mayor desventaja de este modo es que no puede trabajar en forma simultánea con otras tareas, entonces otros servicios de voz y/o datos no pueden utilizarse cuando cualquier aplicación de la MS está haciendo empleo del servicio de mensajes de texto; esto no sucede con los otros modos mencionados.

El modo de texto Text Mode opera transfiriendo el texto de caracter en caracter. A diferencia de Block Mode, la capa de transporte se encarga primero de alistar y verificar los parámetros de la red antes de proceder con la transmisión. Una vez hecho esto, la MS usa los parámetros recibidos para construir el paquete TPDU que es equivalente al del modo PDU, aunque codificado en forma de texto legible por la terminal. Las principales ventajas son su simplicidad y facilidad de uso, pudiendo ser implementados en terminales en cuyo caso los usuarios no necesitan de conocimientos sobre construcción y codificación del paquete. Las mayores limitaciones tienen que ver, a más de las listadas para el modo PDU, con su reducida implementación por parte de los fabricantes de equipos y a que dichos fabricantes han creado sus propias instrucciones, muchas veces inconsistentes, para responder a peticiones de comandos AT en modo de texto.

El modo PDU combina características de los dos modos anteriores. Su funcionamiento radica en transmitir en forma binaria TPDUs autónomos que se codifican usando el alfabeto Hexadecimal. Su similitud con el modo de texto es que ambos implementan el mismo conjunto comandos AT. En el modo de texto, la información que puede ser transmitida se limita al conjunto de caracteres soportado

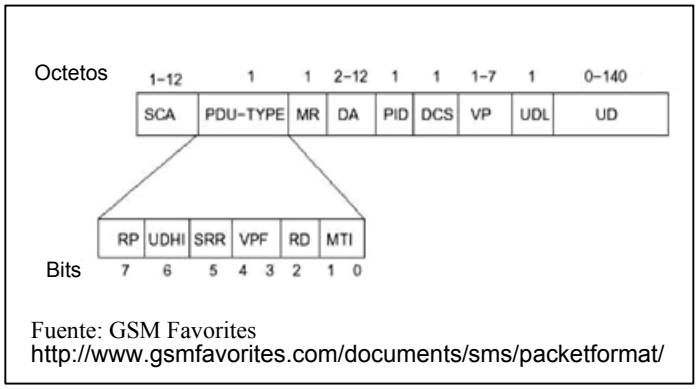
por la terminal, mientras que en modo PDU otro tipo de información tal como tonos, datos, etc, puede ser codificada y transmitida hacia el destinatario. Sus principales ventajas radican en que se hallan soportados por todos los fabricantes y puede ser implementado con cualquier aplicación que provea los drivers adecuados. Las desventajas principales tienen que ver con la imposibilidad de establecer una conexión continua como sucede con Block Mode, pues se requiere de una verificación del enlace para cada paquete a transmitir.

3.6.6 La trama TPDU.

Como se dijo anteriormente, existen 6 diferentes tipos de TPDU en GSM. Dependiendo del tipo de terminal que se use, el número de TPDU soportado puede variar, pero siempre deben tener la capacidad de manejar al menos las tramas SMS-SUBMIT y SMS-DELIVER. Estas tramas se codifican empleando *octetos*, que se definen como unidades de información que a diferencia de los bytes, pueden no contener 8 bits de datos codificados, aunque en su representación final si los contienen. Un ejemplo de octeto es la codificación BCD.

En la codificación de los SMS en GSM, los mensajes se contruyen con un alfabeto de 7 bits por caracter pero para la transmisión se emplean octetos de 8 bits. El paquete TPDU a más de contener el mensaje de hasta 160 caracteres, lleva la información necesaria para que el mensaje pueda llegar a su destino. La estructura de los TPDUs tipo SMS-SUBMIT y SMS-DELIVER se muestra a continuación:

Figura 17. Trama SMS-SUBMIT

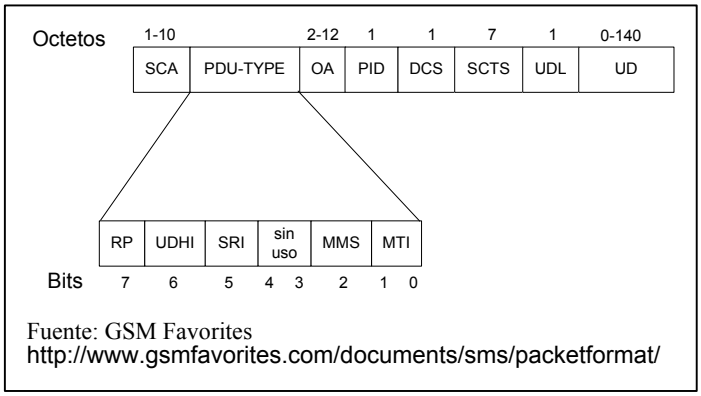


Fuente: GSM Favorites
http://www.gsmfavorites.com/documents/sms/packetformat/

Como de dijo anteriormente, esta trama corresponde a los mensajes enviados desde la MS al SMSC, se compone de los siguientes campos:

- SCA o Service Center Address: Dirección del SMSC. A su vez se descompone en los campos *longitud*: 1 octeto que contiene el número de dígitos del teléfono del MSC; *tipo de número*: 1 octeto cuyo valor puede ser 81h para un número telefónico nacional o 91h para un número internacional; y finalmente el campo *número del MSC* que contiene el número telefónico del SMSC, codificado en dígitos BCD.
- PDU - TYPE: Contiene información sobre el tipo de TPDU, consta de los campos: *RP* o *Reply Path* que indica si existe camino de respuesta; *UDHI* o *User Data Header Indicator*, que indica si el campo *UD* contiene sólo el mensaje corto -UDHI=0 o si existe una cabecera antes del mensaje corto -UDHI=1; *SRR* o *Status Report Request*, que indica si se deben solicitar o no reportes de estado al SMSC; *VPF* o *Validity Period Format* que indica si el campo VP está o no presente y su formato; *RD* o *Reject duplicates*, que permite que el SMSC acepte un SMS-SUBMIT para un mensaje que todavía lo está almacenando; *MTI* o *Message type indicator* cuyo primer y segundo bits se colocan en 0 y 1 respectivamente para indicar que el tipo de mensaje es un SMS-SUBMIT .
- MR o *Message-Reference*: Parámetro identificador del mensaje, es un número sucesivo de 0 a 255.
- DA o *Destination Address*: Número de teléfono de la SME o MS destino.
- PID o *Protocol Identifier*: Identifica el protocolo de la capa superior. Es el parámetro que indica al SMSC como debe procesar el mensaje, por ejemplo como fax, tono, etc.
- DCS o *Data Coding Scheme*: Identifica el tipo de codificación o alfabeto que se usará dentro del UD o datos de usuario.
- VP o *Validity Period*: Periodo de validez o vigencia del mensaje.
- UDL o *User Data Length*: Longitud del campo UD o de la cadena de datos.
- UD: Datos del usuario que son introducidos por él en la MS, se trata del mensaje propiamente dicho.

Figura 18. Trama SMS-DELIVER



Fuente: GSM Favorites
http://www.gsmfavorites.com/documents/sms/packetformat/

Esta trama corresponde a los mensajes enviados desde el SMSC a la MS, sus campos son:

- SCA o Service Center Address: Dirección del SMSC desde donde llega el mensaje. En este caso el subcampo longitud es 0. El resto de la información es similar al de la trama SMS-SUBMIT. El SCA es un campo opcional y algunas MS no lo admiten.
- PDU - TYPE: Contiene información sobre el tipo de TPDU, consta de los campos: *RP* o *Reply Path* que indica si existe camino de respuesta; *UDHI* o *User Data Header Indicator*, que indica si el campo *UD* contiene sólo el mensaje corto -UDHI=0 o si existe una cabecera antes del mensaje corto -UDHI=1; *SRI* o *Status Report Indicationt* que indica si se devuelven o no reportes de estado al SME; *MMS* o *More Messages to Send* que indica existe una cola de mensajes a entregarse; *MTI* o *Message type indicator* cuyo primer y segundo bits se colocan en 0 y 0 respectivamente para indicar que el tipo de mensaje es un SMS-DELIVER.
- OA o *Originator Address*: Número de teléfono de la SME o MS origen.
- PID o *Protocol Identifier*: Identifica el protocolo de la capa superior.
- DCS o *Data Coding Scheme*: Identifica el tipo de codificación del UD
- SCTS o *Service Centre Time Stamp*: Es un parámetro que identifica la fecha y hora en la que el SMSC recibió el mensaje.
- UDL o *User Data Length*: Longitud del campo UD o de la cadena de datos.
- UD: Datos recibidos por el usuario.

3.6.6.1 Codificación del campo UD a modo PDU.

Como se puede ver, en el campo UD es donde finalmente se guardan los mensajes que intercambian las MS a nivel del usuario. Cuando se emplea el modo de texto, la información se codifica a modo PDU para poder ser enviada. Se puede notar también que mientras un mensaje de texto almacena 160 caracteres, el campo UD solo puede guardar hasta 140. La diferencia radica en la codificación que emplea el modo PDU para empaquetar los datos, la cual hace un "corrimiento" a nivel de bits de la información contenida en el mensaje, de modo que para cada 9 caracteres que se transmiten se necesitan 8 octetos para representarlos.

A continuación se explican los pasos que se dan para codificar un mensaje en alfabeto de 7 bits a octetos interpretables por el modo PDU; en este caso el campo UD resultante corresponde al de un TPDU tipo SMS-SUBMIT. Luego se muestra un ejemplo práctico.

1. Se separa cada carácter del mensaje y se convierte a su equivalente en ASCII decimal.
2. El se transforma el número decimal obtenido en su equivalente binario. Si el número binario resultante tiene menos de 7 bits, se rellena con ceros por la izquierda hasta completar 7 bits.
3. Invertimos el orden de los bits en cada grupo de 7 bits obtenido.
4. Formamos una sola secuencia de con los números binarios obtenidos, y luego se procede a dividirla en grupos completos de 8 bits, empezando por la izquierda. Si el último grupo no tiene 8 bits exactos se procede a rellenar con ceros a la derecha.
5. Dividimos cada grupo de 8 bits en dos grupos de 4 bits
6. Intercambiamos de posición entre parejas contiguas, es decir: el primer grupo con el segundo, el tercero con el cuarto, el quinto con el sexto, y así sucesivamente hasta completar todos los grupos.
7. Se aplica una codificación BCD a cada grupo resultante; las equivalencias son las siguientes: 0000=0, 1000=1, 0100=2, 1100=3, 0010=4, 1010=5, 0110=6, 1110=7, 0001=8, 1001=9, 0101=A, 1101=B, 0011=C, 1011=D, 0111=E, 1111=F. La unión de los caracteres resultantes conforma la UD dentro del SMS-SUBMIT.

El cuadro siguiente muestra los pasos anteriormente descritos para la palabra "mensaje". Los bits en azul son los que han sufrido corrimiento entre los bloques de 7 bits, y los bits en rojo son los que se han adicionado al final de la trama para conservar el formato de 8 bits.

Cuadro 6. Conversión a modo PDU del campo UD de SMS-SUBMIT

	m		e		n		s		a		j		e	
Paso 1	99		111		110		115		117		108		116	
Paso 2	1101101		1100101		1101110		1110011		1100001		1101010		1100101	
Paso 3	1011011		1010011		0111011		1100111		1000011		0101011		1010011	
Paso 4	10110111010011011101111001111000011010101111010011													
Paso 5	1011	0111	0100	1101	1101	1110	0111	1000	0110	1010	1110	1001	1000	0000
Paso 6	0111	1011	1101	0100	1110	1101	1000	0111	1010	0110	1001	1110	0000	1000
Paso 7	E	D	B	2	7	B	1	E	5	6	9	7	0	1
UD	ED B2 7B 1E 56 97 01													

Fuente: Autor

Cuando se trata de decodificar un campo UD proveniente de un TPDU tipo SMS-DELIVER, el proceso es simétricamente inverso. A continuación se presentan los pasos:

1. Se decodifica cada símbolo mediante BCD, con las equivalencias dadas anteriormente.
2. Cada secuencia de 4 bits resultante se intercambia de posición con la siguiente, en parejas: la primera con la segunda, la tercera con la cuarta, etc.
3. Unimos todas las secuencias de 4 bits en una sola cadena.
4. Se procede a separar la cadena en grupos de 7 bits desde la izquierda, los bits sobrantes se descartan.
5. Invertimos el orden de los bits de cada secuencia obtenida.
6. Transformamos el código binario a su equivalente en ASCII decimal.
7. Transformamos el código ASCII decimal en su caracter equivalente. DE la unión de ellos se obtiene el campo UD.

El siguiente cuadro muestra la decodificación de la secuencia UD "EDB27B1E569701", proveniente de un TPDU SMS-DELIVER. Los bits en rojo se han descartado durante el proceso.

Cuadro 7. Conversión a modo PDU del campo UD de SMS-DELIVER

	E	D	B	2	7	B	1	E	5	6	9	7	0	1
Paso 1	0111	1011	1101	0100	1110	1101	1000	0111	1010	0110	1001	1110	0000	1000
Paso 2	1011	0111	0100	1101	1101	1110	0111	1000	0110	1010	1110	1001	1000	0000
Paso 3	10110111010011011101111001111000011010101110100110000000													
Paso 4	1011011		1010011		0111011		1100111		1000011		0101011		1010011	
Paso 5	1101101		1100101		1101110		1110011		1100001		1101010		1100101	
Paso 6	99		111		110		115		117		108		116	
Paso 7	m		e		n		s		a		j		e	

Fuente: Autor

3.7 Conclusiones.

- GSM -Global System for Mobile Communications es un estándar de telefonía celular basado en TDMA, FDMA y SDMA, que fue desarrollado en Europa y empezó a operar en 1991. Desde su lanzamiento ha ido implementando más servicios y aplicaciones hasta llegar a ser empleado por más de dos mil millones de abonados de telefonía celular en todo el mundo.

- Una red GSM se conforma de tres elementos físicos principales: el subsistema de estación base -BSS, el subsistema de red y conmutación -NSS, y el subsistema de soporte y operación -OSS. Otros elementos son la terminal móvil –MS y las interfaces.

- La modulación es el proceso de colocar la información contenida en una señal y adecuarla de modo que sea transmisible por el canal de comunicación usado. Existen tres tipos principales de modulación digital-analógica: modulación por desplazamiento de amplitud -ASK *Amplitude Shift Keying*, modulación por desplazamiento de frecuencia -FSK *Frequency Shift Keying*, y modulación por desplazamiento de fase -PSK *Phase Shift Keying.*

- El ancho de banda es el rango de frecuencias donde se concentra la mayor parte de la intensidad de la señal emitida, y resulta de la diferencia entre las frecuencias más alta y más baja donde transcurre la onda, con una aproximación de alrededor del 98%.

- Los servicios básicos de GSM están divididos en tres categorías: servicios portadores, teleservicios y servicios suplementarios. Los dos primeros mencionados se denominan servicios básicos.

- SMS es un servicio GSM punto a punto que permite la transmisión de mensajes alfanuméricos cortos de hasta 160 caracteres entre dos móviles que cuenten con capacidad de gestionar el servicio. Cada caracter está codificado mediante un alfabeto de 7 bits.

- SMS es un servicio no orientado a conexión, orientado hacia la entrega y que utiliza poco ancho de banda. En condiciones normales de operación no obstaculiza el tráfico de la red.

- El servicio SMS comprende dos servicios punto a punto básicos: los servicios iniciados en la MS o *Mobile Originated Short Message* MO-SM; y los servicios finalizados en la MS o *Mobile Terminated Short Message* MT-SM.

- El servicio SMS se estructura mediante un modelo de cuatro capas superpuestas cada una con su propio protocolo. Son: la capa de aplicación, la capa de transferencia, la capa de repetición y la capa inferior.

- A nivel de la capa de transporte existen tres diferentes maneras de implementar el control de transmisiones, éstos son: el modo de paquetes, el modo de texto basado en comandos AT y el modo PDU basado en comandos AT *PDU Mode*. El primero de los anteriores está ahora en desuso.

CAPITULO 4: INSTALACION Y MANIPULACION DEL MODEM

4.1 Introducción.

El presente capítulo explicará la forma de instalar el módem embebido en el teléfono celular Motorola L6, a renglón seguido se expondrán breves demostraciones del funcionamiento del software propietario Motorola Phone Tools. Hecho esto se procederá realizar una breve introducción a los comandos AT. Finalmente se expondrán descripciones y ejemplos explicativos de algunos de los comandos de uso mas frecuente y se presentarán las conclusiones del capítulo.

4.2 Instalación del módem.

4.2.1 Consideraciones previas

Los drivers del módem embebido en el teléfono celular Motorola L6 que será empleado en el presente trabajo fueron proporcionados en un CD en conjunto con la aplicación Motorola Phone Tools versión 4.02, cuyos derechos de copia pertenecen a Avanquest Software, y está destinado a uso personal y no comercial. La versión del driver es la 3.4.0 y el proveedor es Motorola Corporation, Inc. Pueden existir otras versiones de drivers y/o software que permitan el uso comercial; es posible también que pueda proporcionarse el driver por separado. El autor del presente trabajo declara que en el desarrollo de esta tesis no usará el software anteriormente mencionado con fines de lucro, sino con propósitos netamente educativos.

Antes de proceder a la instalación del módem, los requerimientos mínimos de hardware, software y equipamiento son los siguientes:

- PC IBM compatible: Pentium III 800Mhz o superior, 128Mb RAM o superior, 120Mb de disco duro libres, sistema operativo Windows XP, ME, 2000, NT 4.0.
- 1 puerto USB v1.1 o superior disponible.
- 1 cable USB tipo MachoA – MiniB de 5 pines.
- 1 teléfono celular Motorola L6 abonado a operadora de telefonía celular.

El teléfono celular que se usará en el presente trabajo corresponde al modelo L6-SA3322A, fabricado en Hong Kong; el sistema operativo del computador es Windows XP Professional service pack 2 y la operadora de telefonía celular empleada variará indistintamente entre Conecel S.A y Otecel S.A al intercambiar la tarjeta SIM suscrita al servicio. A continuación se muestra una imagen del equipo y el resumen de sus principales características técnicas.

Figura 19. Motorola L6

Cuadro 8. Motorola L6 especificaciones básicas

Dimensiones	4,3 x 1,9 x 0,4 (110 x 49 x 11 mm)
Banda operativa	GSM 900/1800/1900Mhz
Peso	3.0 oz (85 g)
Pantalla	CSTN, 128 x 160 píxeles, 16bit
Conectividad	Bluetooth, USB
Tipo de batería	Li - Ion 820mAh
Batería tiempo de conversación	4,00 horas
Batería Stand-by tiempo	310 horas
Diseño de antena	Interna
Global Roaming	Sí
Datos	GPRS
Modem	Integrado, 48kbps
Memoria	10 MB de memoria compartida
SMS	Enviar, recibir
Mensajeria multimedia	EMS/MMS
WAP	2.0 / xHTML
Java	MIDP 2.0

Fuente: Motomanual L6
Manual Nº6887370Z26