



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Eléctrica

**IMPACTO, BENEFICIOS Y FACTIBILIDAD DE LA TRANSMISIÓN
DE VOZ SOBRE IP A TRAVÉS DE UNA RED GSM EN
GUATEMALA**

Carlos Alberto Yac Rojop

Asesorado por el Ing. Julio César Solares Peñate

Guatemala, junio de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPACTO, BENEFICIOS Y FACTIBILIDAD DE LA TRANSMISIÓN DE
VOZ SOBRE IP A TRAVÉS DE UNA RED GSM EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

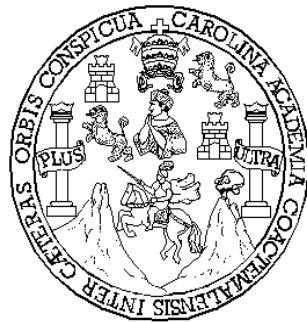
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ALBERTO YAC ROJOP

ASESORADO POR: ING. JULIO CÉSAR SOLARES PEÑATE
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivone Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Erwin Efraín Segura Castellanos
EXAMINADOR	Ing. Manuel Fernando Barrera Pérez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPACTO, BENEFICIOS Y FACTIBILIDAD DE LA TRANSMISIÓN DE VOZ SOBRE IP A TRAVÉS DE UNA RED GSM EN GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 21 de septiembre 2005.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Alberto Yac Rojop'. The signature is stylized and somewhat cursive, with a large, prominent 'R' at the end.

Carlos Alberto Yac Rojop

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 17 de mayo 2006.

Ingeniero
Coordinador Area de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Estimado Ingeniero:

Por este medio le infomo que he revisado el trabajo de graduación titulado: **Impacto, beneficios y factibilidad de la transmisión de voz sobre IP a través de una red GSM en Guatemala**, elaborado por el estudiante Carlos Alberto Yac Rojop.

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,


Ing. Julio Cesar Solares Peñate
ASESOR

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala, 24 de mayo 2006.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
Impacto, beneficios y factibilidad de la transmisión de voz sobre IP a través de una red GSM en Guatemala, desarrollado por el estudiante, Carlos Alberto Yac Rojop, por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador Area de Electrónica

JCSP/sro

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación de la estudiante; Carlos Alberto Yac Rojop titulado: **Impacto, beneficios y factibilidad de la transmisión de voz sobre IP a través de una red GSM en Guatemala**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renán Escobedo Márquez
DIRECTOR



GUATEMALA, 26 DE MAYO 2,006.

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centro: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.196.06

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **IMPACTO, BENEFICIOS Y FACTIBILIDAD DE LA TRANSMISIÓN DE VOZ SOBRE IP A TRAVÉS DE UNA RED GSM EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Alberto Yac Rojop**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, junio de 2006



/cc

Todo por ti, Carolingia Mía
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS	Por ser la fuente de sabiduría.
Mis padres	Por ser mi fuente de inspiración.
Mis hermanos	Como muestra de que los objetivos propuestos son alcanzables.
A mi esposa e hijo	Parte fundamental en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mis padres:** Por el apoyo moral, sentimental y económico brindado para poder culminar mis estudios.
- Mis hermanos:** Gracias por su apoyo incondicional.
- Mis abuelitos:** Pedro, Maria Soledad (†); Julián (†) y Gregoria (†) por su muestra de afecto y comprensión.
- Compañeros de estudio:** Por brindarme su amistad y apoyo. En especial, a Christian Gutiérrez, Carlos Pérez y Rubén Rodas.
- Ing. Julio César Solares Peñate** Por su asesoría en la elaboración y desarrollo de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GSM	1
1.1. Arquitectura GSM	4
1.1.1. Celdas	5
1.1.2. Controladores de Celdas	7
1.1.3. Conmutador	7
1.1.4. Base de Datos	8
1.2. Interfase de Aire	10
1.2.1. Canales Físicos	11
1.2.2. Canales Lógicos	12
1.2.3. Control de Potencia	13
1.2.4. Handover	14
1.2.5. Proceso de una llamada de voz	14
2. GPRS	17
2.1. Arquitectura	17
2.1.1. Unidad de Control de Paquetes	20
2.1.2. SGSN	21

2.1.3.	GGSN	22
2.1.4.	DNS	23
2.1.5.	CG	23
2.2.	Sección de Movilidad	24
2.2.1.	Location Area	24
2.2.2.	Routing Area	25
2.2.3.	GPRS attach y dettach	26
2.3.	Estado de movilidad de los móviles	28
2.3.1.	Estado Idle	29
2.3.2.	Estado Ready	29
2.3.3.	Estado Standby	29
2.4.	Sección de Sesión	29
2.4.1.	Activación de PDP Context	30
2.4.2.	Desactivación de PDP Context	31
2.5.	Modulación GMSK	32
2.6.	Interfaz de Aire	33
2.6.1.	Canales Físicos	36
2.6.2.	Canales Lógicos	36
2.6.3.	Control de Potencia	39
2.6.4.	Handover	39
2.7.	Codificación de Canales	41
2.7.1.	CS-1	41
2.7.2.	CS-2	42
2.7.3.	CS-3	42
2.7.4.	CS-4	43
3.	PoC	45
3.1.	Conmutador de llamadas de VoIP.....	49
3.2.	Base de Datos	50

3.3. Protocolos	51
3.3.1. TCP/IP	53
3.3.2. SIP	54
3.3.3. SDP	55
3.3.4. RTP	56
3.3.5. SCTP	56
3.3.6. Proceso de una llamada de VoIP	58
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
4.1. Utilización de ancho de banda en llamada de voz convencional	61
4.2. Utilización de ancho de banda en llamada de VoIP	63
4.3. Comparación de Voz convencional en GSM y VoIP en GSM.	64
5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	67
5.1. Justificación	67
5.1.1. Procedimiento para la Implementación	68
5.1.2. Mercado	68
5.2. Análisis de costos	69
5.2.1. Proyección a 5 años	70
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Distribución espectral de frecuencia	2
2	Estructura del IMSI	4
3	Elementos básicos de una red GSM	5
4	Tipos de sectorización	6
5	Arquitectura de red GSM	9
6	Trama GSM	11
7	Formulas para cálculo de canales	12
8	Proceso de llamada	15
9	Arquitectura de red GSM/GPRS	19
10	Elementos de red GPRS	20
11	Unidad de control de procesamiento de paquetes	21
12	Estructura jerárquica de RA y LA para GPRS	26
13	Procedimiento de GPRS Attach	28
14	Procedimiento de Activación de PDP Context	30
15	Cambio de fase en la modulación MSK	32
16	Modulación GMSK	33
17	Capas del protocolo de la Interfase de Aire	34
18	Canal de servicio de datos para GPRS	37
19	Clasificación de canales lógicos GPRS	38
20	Escenarios para mantenimiento de llamada de datos	40
21	Estructura de un bloque de radio	41
22	Velocidad contra Seguridad	44

23 VoIP en Internet	46
24 VoIP desde Internet hacia un celular	48
25 Diagrama de red GSM, GPRS y módulos de VoIP	49
26 Capas del modelo OSI	53
27 Arquitectura de protocolos	57
28 Proceso de registraci3n en GSM/GPRS/VoIP	59
29 Utilizaci3n de ancho de banda en una llamada de voz en GSM	62
30 Utilizaci3n de ancho de banda para una llamada de VoIP	63
31 Características de una llamada de voz convencional contra VoIP	65
32 Crecimiento de usuarios m3viles mundiales por tecnología	66

GLOSARIO

ABIS	Interfase que une a las estaciones base con el controlador de estaciones base.
ANCHO DE BANDA	Es la parte mínima o máxima que se utiliza para enviar y recibir información a través de un medio. Se establece como la diferencia de dos frecuencias específicas.
AVL	Localización automática de vehículos. Servicio que ofrece el control de todos los movimientos de un vehículo.
BSC	Controlador de Estaciones Base. Se encarga de administrar a todas las celdas de una red celular.
BTS	Subsistema de Estaciones Base. Conjunto de elementos que hacen posible la transmisión y recepción de información.
CANAL FÍSICO	Es el medio de transmisión de radio frecuencia que utiliza GSM para voz o datos. Tiene un ancho de banda de 200 Khz.

CANAL LÓGICO	Utilizados por GSM para el control, supervisión y mantenimiento de una llamada de voz o de datos.
CS	Esquemas de Codificación. Establecen las diferentes velocidades que se pueden manejar en una plataforma de datos sobre GSM.
DOWN LINK	Frecuencias específicas utilizadas para transmitir desde una estación base hacia los móviles o teléfonos.
E1	Medio físico que se utiliza para unir dos elementos de red y que consta de 32 canales.
FULL DUPLEX	Término utilizado en telecomunicaciones para indicar que un sistema transmite y recibe al mismo tiempo.
GGSN	Punto de Soporte para GPRS. Dispositivo capaz de comunicar a varios elementos de red.
GMSK	Modulación Gausiana. Utilizada por GSM y GPRS para transformar una señal binaria a análoga para su respectiva transmisión.

GPRS	Servicio General de Paquetes de Radio. Es una plataforma para envío y recepción de paquetes de información.
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles. Tecnología usada a nivel mundial en redes celulares. Basa su funcionamiento en TDMA.
HANDOVER	Es un procedimiento que indica el momento en el cual un teléfono cambia de sector servidor en una llamada.
IMSI	Identidad del Subscriptor Móvil Internacional. Se refiere a un número que lo identifica en cualquier parte del mundo.
LA	Área de Localización. Identifica a la zona en la que se encuentre un móvil o teléfono.
MCC	Código Móvil de País. Código que se le asigna al país donde está ubicada, físicamente, una red determinada.
MNC	Código Móvil de Red. Código que se le asigna a las redes de un determinado país.
MSC	Controlador de Conmutación Móvil. Su tarea es manejar todas las llamadas de voz.

MSISDN	Subscriber Móvil. Define el número telefónico que un usuario.
PDP CONTEXT	Protocolo de Paquete de Datos. Es un procedimiento para el establecimiento de una sesión de datos.
PROTOCOLO	Conjunto de hardware y software dedicados a una tarea específica.
RA	Área de Ruta. Definen a un conjunto de celdas destinadas a GPRS.
SGSN	Punto de Soporte para Servicio de GPRS. Es el elemento de red dedicado a proporcionar acceso a la red de datos.
SIM	Modulo identificador del Subscriber. Es un micro chip que contiene información propia del usuario.
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo. Modulación que permite que varios usuarios utilicen recurso en tiempos diferentes.
TS	Ranura de Tiempo. Corresponde a la parte de tiempo mínima que puede ser utilizada para enviar información.

UP LINK

Hace referencia a una frecuencia determinada que utilizan los móviles para comunicarse con la red celular.

VoIP

Voz sobre IP. Es un método para transmitir voz a través de un medio, utilizando direccionamiento IP.

WAP

Protocolo de Aplicación Inalámbrica. Es un medio de acceso hacia servidores de contenido textual.

RESUMEN

Enfocado en el campo de las telecomunicaciones, se establecen todos los conceptos para determinar cómo funciona y cuál es el impacto, ventajas, desventajas y factibilidad de transmitir voz sobre IP a través de una red GSM en general

Se inicia especificando las funciones principales de los elementos de una red GSM para determinar cuál es el recurso que una llamada de voz convencional toma de los elementos de red. Se hace mención de un sitio de celda, un controlador de celdas, un conmutador de llamadas y de las respectivas interfaces que unen a los elementos mencionados.

Luego, se hace referencia a la plataforma de transmisión de paquetes de datos y se especifican funciones de un SGSN, GGSN así como los procedimientos de GPRS Attach y PDP Context. Así mismo se muestra como se interconectan la red GSM con la plataforma GPRS.

En la parte final, se abordará la plataforma de Voz sobre IP y se mencionan los diferentes protocolos que se utilizan, además de se determina la utilización de recurso de una llamada de Voz sobre IP culminando con una comparación de la transmisión de voz convencional y una transmisión de voz sobre IP, sobre una red GSM.

OBJETIVOS

General

Mostrar que una red GSM híbrida puede transmitir voz sobre IP utilizando direccionamiento IP para hacer una mejor utilización del ancho de banda.

Específicos

1. Definir los conceptos básicos en los se basa la tecnología GSM, medio de transmisión de datos GPRS y Servidor PoC.
2. Ejemplificar que elementos de red son necesarios para soportar una transmisión de voz sobre IP.
3. Mostrar los principios básicos y protocolos que permiten el establecimiento de una llamada de voz sobre IP.
4. Mostrar el desempeño de una llamada de voz sobre IP para determinar como esta utilizando el ancho de banda y compararla con una llamada convencional.
5. Mostrar en que medida se logra una disminución de costos utilizando una red GSM híbrida, para transmitir voz sobre IP.
6. Determinar cuales son las ventajas y desventajas de la transmisión de voz sobre IP.

INTRODUCCIÓN

Los tiempos modernos exigen a cualquier proveedor de servicios la máxima calidad y diversidad que puedan proporcionar a sus clientes. En el caso particular de las telecomunicaciones, actualmente, ofrecen servicios, tales como: mensajería de texto, mensajería multimedia, Internet y localización de vehículos entre otros.

Como inicio de un nuevo concepto en la forma de comunicación entre usuarios de redes móviles, aparece el servicio de voz sobre IP el cual utiliza protocolos especiales dedicados al manejo y control de paquetes de información. La transmisión de voz sobre IP esta siendo explotada, sobre el medio de transmisión de Internet. Pero, a partir de algunos años atrás, se está implementando este concepto sobre una red GSM.

Esta nueva forma de comunicación hace una utilización de recurso diferente a la de la voz convencional. Es por ello que se debe conocer los nuevos elementos de red que requiere este nuevo servicio, para determinar cuáles serán los beneficios que puede proporcionar en comparación con la transmisión de voz convencional de GSM.

1. GSM

En el año de 1982 fue establecido en Europa el *Groupe Special Mobile* a quien se le asignó la tarea de implementar un nuevo concepto en las comunicaciones ya que por aquella época los sistemas existentes eran análogos. Este grupo estableció los estándares que regirían a la nueva tecnología, y subdividió todo el recurso humano y físico en los siguientes tres bloques:

- Interfase de Radio.
- Transmisión y definición de protocolos de señalización.
- Arquitectura de la red y las diferentes interfaces de interconexión.

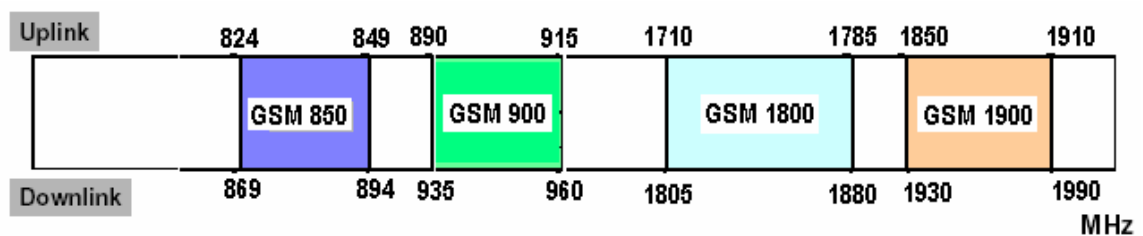
Para el año de 1986 el *Groupe Special Mobile* presenta el informe de su investigación y establece los conceptos que deberían de implementarse en la nueva tecnología digital. En el año de 1988 se realiza las primeras pruebas en la interfase de radio y se demuestra que el nuevo concepto tiene futuro y que es funcionalmente factible su operabilidad. En ese mismo año el *Groupe Special Mobile* resuelve sumarse a la ETSI que es la *European Telecommunication Standards Institute*, la cual rige los estándares técnicos de las telecomunicaciones de Europa. Con esta unión se logró tener una visión más amplia para poder utilizar esta nueva tecnología a nivel mundial. Finalmente en el año 1992 se lanza comercialmente en Finlandia el concepto GSM que por sus siglas en inglés fue definido como *Global Systems for Mobile Communications* o Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

Actualmente ésta tecnología es mundialmente conocida y en términos de frecuencia, esta siendo explotada de la siguiente forma:

- En el continente Europeo se están manejando dos bandas, la cuales espectralmente están ubicadas en los 900 y 1800 MHz.
- Para el continente Americano, dicha tecnología maneja las bandas de 800 y 1900 MHz.

En la gráfica 1 se muestra como está distribuida cada una de las Bandas en el espectro de frecuencias.

Figura 1. Distribución espectral de frecuencias



Para el caso de Guatemala, todos los operadores que actualmente ofrecen el servicio celular móvil utilizan la banda conocida como PCS (*Personal Communication System*) y que tiene un ancho de banda de 60 MHz, además de la banda de 850 MHz la cual tiene un ancho de banda de 25 MHz.

Para lograr una identificación única de la red Celular y de los subscriptores, se establecieron requerimientos los que se detallaran a continuación. Con respecto a las redes celulares, se establecieron los siguientes códigos:

- MCC, *Mobile Country Code* de tres dígitos.
- MNC, *Mobile Network Code* de dos dígitos.

El primer termino MCC, corresponde al código que identifica al país en donde esta la red de GSM. El segundo código MNC corresponde al identificador que tendrá la red celular GSM. Este segundo código generalmente lo tiene que asignar el departamento del gobierno del país que maneja el área de las telecomunicaciones. Por ejemplo: a Guatemala se le asigno el MCC igual a 704 y la Superintendencia de Telecomunicaciones determino que el MNC seria 01 para PCS Digital, 02 para Comcel y 03 para Telefónica.

Un usuario en GSM es único en cualquier parte del mundo, y para ello se le identifica con el IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) y MSISDN. El IMSI esta compuesto por 15 dígitos y tiene la siguiente estructura.

MCC + MCN + MSIN

Donde MCC es el código móvil del país, MNC es el código móvil de la red y el MSIN (*Mobile Subscriber Identification Number*) que corresponde específicamente a cada subscriptor. El MSIN se compone de 10 dígitos donde los primeros 2 corresponden al identificador del HLR que utiliza la red GSM. Los 8 dígitos restantes establecen que una red GSM puede llegar a tener 10 millones de subscriptores. En la figura 2 se puede observar lo que se describió anteriormente.

Figura 2. Estructura del IMSI

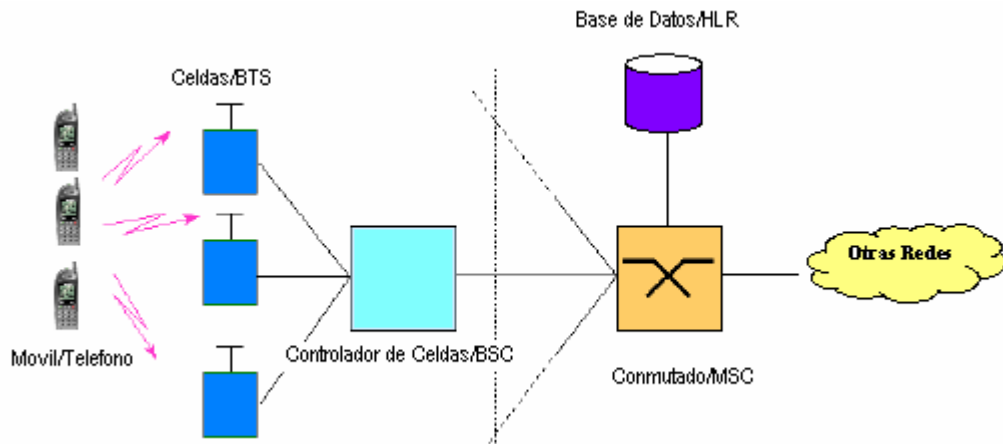


El MSISDN (*Mobile Subscriber ISDN*), es el número telefónico que tendrá el suscriptor para poder ser identificado por todos los usuarios de la red. Tanto el IMSI como el MSISDN estarán alojados en un chip conocido con el nombre de SIM (*Subscriber Identity Module*). Este chip también guarda un algoritmo que utilizara para autenticarse y registrarse en la red GSM a través de un teléfono.

1.1. Arquitectura GSM

Una red básica de GSM esta constituida por las estaciones base (BTS) o celdas y representa el primer contacto con los móviles. Ya interno en la red se encuentra el controlador de celdas (BSC), el cual tiene como finalidad mantener el control de todas las celdas que posee la red. Otro elemento importante, es el Conmutador (MSC) el cual permite el manejo simultáneo de varias llamadas dependiendo de su capacidad en hardware. Existe además una base de datos (HLR y VLR), la cual guarda todos los datos de los usuarios a quienes la red les brinda servicio. En la figura 3 se muestra un esquema en el cual se detalla los elementos que conforman una red GSM

Figura 3. Elementos básicos de una red GSM



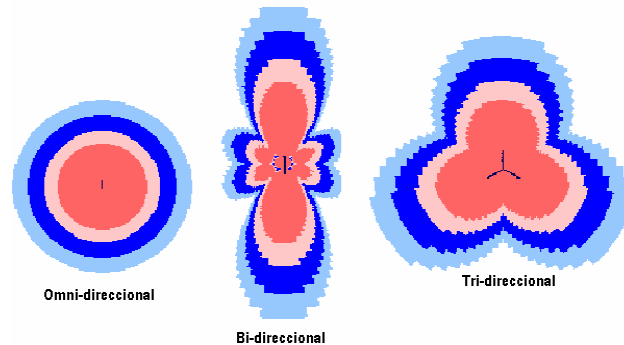
1.1.1. Celdas

Definiremos como BTS (*Base Transceiver Station*) al conjunto de hardware y software que tienen como finalidad servir a los móviles a una frecuencia determinada por medio de un transmisor/receptor y un sistema radiante. En el diseño de una celda se debe considerar aspectos como: Cobertura, tráfico, sectorización y Plan de Frecuencias.

La cobertura de la celda dependerá de la topografía del lugar y de la población que pretenda cubrir, que puede ser rural o urbana. Generalmente una celda que se ubique en un área urbana tendrá un alcance máximo de 8 Km. Para una celda que se este área rural, su alcance puede ser de 35 Km.

El tráfico es muy importante ya que da un cálculo de la capacidad que debe tener una celda instalada, para poder cubrir la demanda.

Figura 4. Tipos de sectorización



Se entiende por sectorización al tipo de cobertura que puede brindar un celda a un área específica. Existen tres tipos de sectorización: Omni, Bi y Tri-direccional.

En la figura 4 se observa la diferencia en los tipos de sectorización y se concluye que hay antenas que pueden tener patrón de radiación cubriendo los 360 grado, la cuales reciben el nombre de antenas Omni-direccionales. Con respecto a los tipos Bi y Tri-direccional, se utiliza 1 antena por patrón de radiación considerando que estos patrones de radiación pueden variar dependiendo de diseño y fabricante.

Una celda o BTS (*Base Transceiver Station*) realiza las siguientes funciones:

- Procesamiento de la Señal.
- *Handover*.
- Control de Potencia.
- Salto de Frecuencia.

1.1.2. Controladores de Celdas

Un controlador de estación base o BSC (*Base Station Controller*) es un ente capaz de monitorear, configurar y re-establecer todo el funcionamiento de una o varias celdas a nivel de interfaz gráfica o comandos de programación. Las celdas se conectan al controlador a través de la interfase *Abis* la cual puede ser un enlace vía micro-ondas o conexión directa de E1/T1's. La interfase *Abis* maneja modulación PCM con 32 canales (*timeslots*) con un ancho de banda de 2.048 Mbps, un T1 maneja 24 canales con 1.544Mbps. Para propósitos de voz el BSC y BTS utilizan Codificadores adicionales para poder enviar en un TS 4 conversaciones. Las funciones básicas del BSC son:

- Manejo de enlaces de radio.
- Conmutación de canales entre la BTS y el MSC.
- Procesamiento del acceso vía radio.
- Asignación de canales de tráfico y señalización.
- Configuración de BTS's.
- Administración, supervisión y funcionalidad de BTS.
- Control para los *Handover*.

1.1.3. Conmutador

Este es el corazón de una red celular, se le conoce como MSC (*Mobile Switch Center*) y su tarea principal es el procesamiento de llamadas. El MSC esta conectado hacia la BCS a través de la interfase A la cual utiliza E1/T1. Para el caso de transmisión de voz, 1 TS o canal puede llevar una sola llamada desde el BSC hasta el MSC. El proceso de una llamada dependerá de las opciones que el usuario tenga habilitadas en la base de datos (HLR).

Las funciones que desempeña el conmutador (MSC) son:

- Procesamiento de llamadas.
- Enrutamiento de llamadas.
- Señalización.
- Manejo de Servicios Suplementarios, tales como desvío y bloqueo de llamadas, llamada en espera.
- Es punto de interconexión hacia redes de telefonía pública.

1.1.4. Base de Datos

Todos los datos de un suscriptor se guardan en una base de datos conocida como HLR (*Home Location Register*), la función de esta base de datos es validar los servicios que al MSC le estén requiriendo y almacenar los datos de los suscriptores. Los servicios pueden ser:

- Mensaje Corto (SMS, *Short Message Service*).
- Llamada en Espera.
- Desvío de llamadas.
- Bloqueo de llamadas.
- Llamadas Tripartitas.
- GPRS.

Los datos de suscriptor que el HLR guarda son:

- El MSISDN.
- El IMSI.

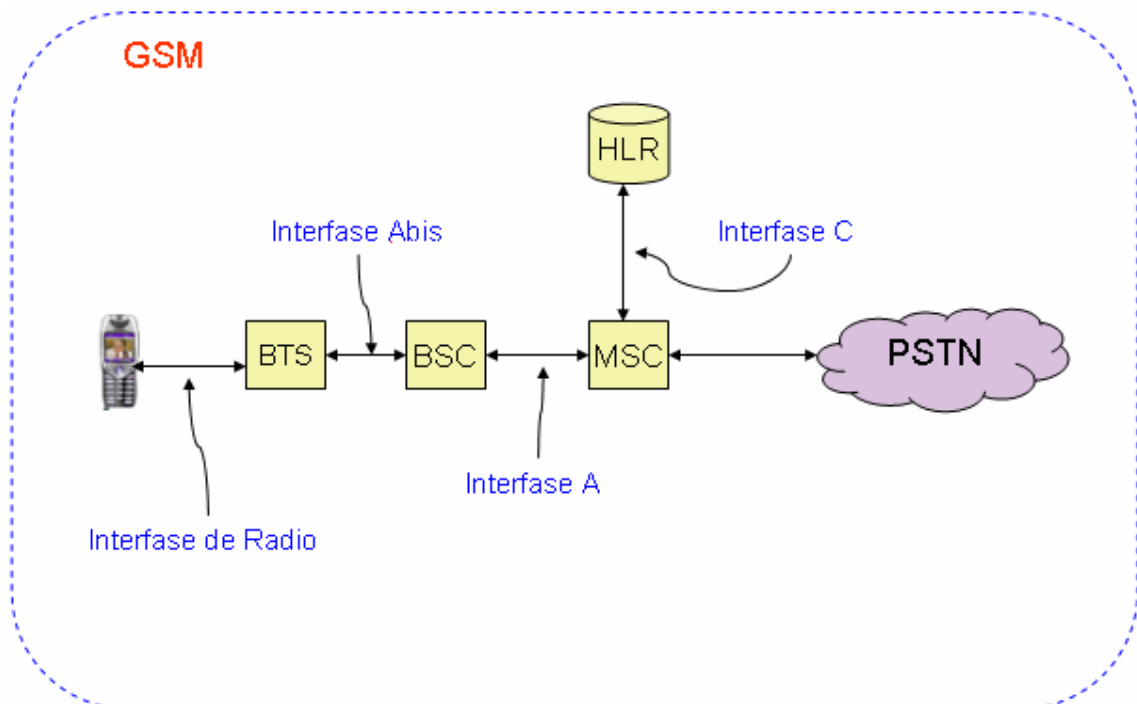
Cuando un suscriptor está de visita en una red en particular, ocurre un procedimiento conocido como *Roaming* y para este caso el HLR guarda los siguientes datos temporales:

- VLR de la red propia del Suscriptor.
- Dirección del SGSN.

En cuanto al VLR, este es una copia del HLR y se diferencia en que el VLR tiene solamente en su base de datos a todos los suscriptores que están activos y que pueden generar y recibir llamadas, además el VLR si conoce donde esta ubicado un suscriptor en particular.

En la figura 5 se observa la interacción de todos los elementos que conforman una red GSM, especificando las respectivas interfaces de interconexión.

Figura 5. Arquitectura de red GSM

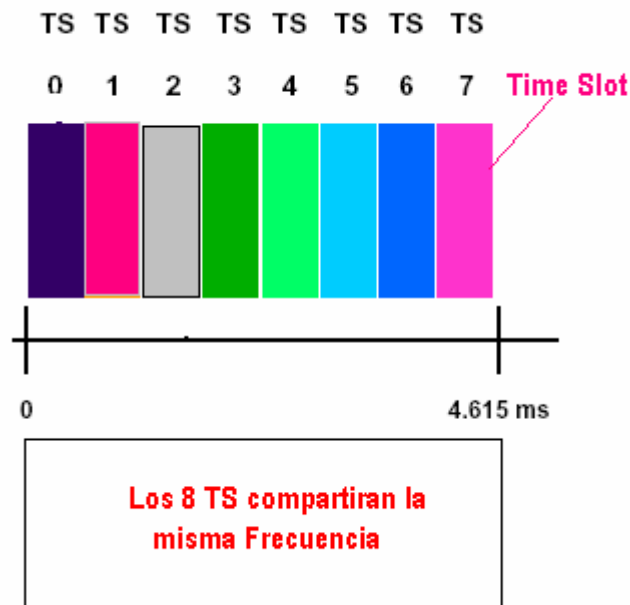


1.2. Interfase de Aire

La interfase de aire cumple dos funciones, la primera es servir como medio de transporte para la información de voz y datos. La segunda es para el intercambio mutuo de mensajes de señalización entre el móvil y la red. Para las dos tareas descritas, GSM utiliza un esquema de acceso basado en TDMA (*Time Division Multiple Access*) la cual permite dividir un segmento de tiempo en partes iguales en una misma frecuencia, lo que da como resultado que varios usuarios compartan la misma frecuencia pero con un *timeslot* de tiempo diferente.

El acceso basado en TDMA, consta de una trama con una duración de 4.615385 milisegundos, la cual contiene 8 ranuras o *timeslots* (TS) de 0.576923 ms. Es decir que una trama podrá utilizar la misma frecuencia y permitirá que 8 canales estén habilitados para canales de voz o de datos. En la figura 6 se observa la estructura de una trama y sus correspondientes TS.

Figura 6. Trama GSM



1.2.1. Canales Físicos

Un canal físico es el medio que utilizan todos los móviles (teléfonos) para poder acceder a una red celular. GSM utiliza canales con un ancho de banda de 200 KHz, lo que significa que con la modulación TDMA un canal de 200 KHz puede manejar una trama de 8 TS, que es igual a 8 llamadas simultáneamente. Para determinar cuantos canales útiles puede utilizar un operador en base al ancho de banda que tenga asignado, se utilizan las formulas contenidas en la figura 7.

Figura 7. Formulas para cálculo de canales

GSM 850:	$Fl(n) = 824.2 + 0.2*(n - 128)$	$(128 \leq n \leq 251)$	$Fu(n) = Fl(n) + 45,$
GSM 900:	$Fl(n) = 890 + 0.2*n$	$(1 \leq n \leq 124)$	$Fu(n) = Fl(n) + 45,$
GSM 1800:	$Fl(n) = 1710.2 + 0.2*(n-512)$	$(512 \leq n \leq 885)$	$Fu(n) = Fl(n) + 95,$
GSM 1900:	$Fl(n) = 1850.2 + 0.2*(n-512)$	$(512 \leq n \leq 810)$	$Fu(n) = Fl(n) + 80.$

Debido a que una comunicación debe de ser *full duplex*, GSM utiliza un canal para la comunicación del móvil hacia la red (Up link) y otro para que la red se comunique con el móvil (*Down link*), ambos canales están separados por un ancho de banda de 80 MHz. Se ha establecido que un móvil utilizara las frecuencias bajas para el enlace hacia la red.

1.2.2. Canales Lógicos

Estos son utilizados para realizar diversas tareas entre las que se encuentran las siguientes:

- Portadores de mensajes en el acceso del móvil en la red.
- Portadores de mensajes de tráfico para Voz.
- Portadores de mensajes de señalización para los servicios suplementarios.
- Portadores de mensajes para la sincronización entre el móvil y la BTS.

Los canales lógicos están divididos en Canales de Tráfico y de control. Los de control se subdividen en:

- Canales de Transmisión (BCCH).
- Canales de Control Común (CCCH).
- Canales de Control Dedicados (DCCH)
- Canales de Tráfico (TCH).

1.2.3. Control de Potencia

El control de la potencia es un punto muy importante en una red, debido a que ayuda a mantener en los límites permisibles la señalización y también alarga la carga útil de la batería de los móviles. El aumento de la señalización se puede dar cuando por desperfectos del móvil, éste no acepte ordenes de parte de la BTS y aumente su transmisión a su máxima potencia con lo que provocará que más BTS lo escuchen independientemente de que las celdas estén o no capacitadas para darle servicio. Lógicamente la característica de la carga útil vendrá a menos cuando el móvil mantenga su transmisión a su máxima potencia. El control de potencia se establece al inicio y durante toda la duración de una llamada. Existe un procedimiento llamado *Timing Advance*, el cual utiliza la BTS en conjunto con el BSC para enviar un mensaje al móvil a través del canal de control dedicado, en el cual se le pide que se reporte y en base al tiempo que transcurre entre el envío y recepción del mensaje, el BSC podrá calcular la distancia a la cual se encuentra el móvil con respecto a la sector de la BTS que le está dando servicio. De manera que el BSC a través del sector de la BTS, enviara un nuevo mensaje indicándole al móvil que aumente o disminuya su potencia de acuerdo a la posición inicial.

1.2.4. Handover

Este es un procedimiento que tiene como finalidad darle continuidad a una llamada en curso, cuando el móvil esta en movimiento y esta cambiando de celda continuamente. Básicamente la tarea de la continuidad la realiza el BSC en conjunto con la BTS, y se realiza en el siguiente orden:

- El móvil establece una llamada con un sector específico de una BTS.
- El móvil con la llamada en curso conoce quienes son sus posibles sectores servidores.
- La toma de la llamada por parte de otro sector se establece cuando decaen los niveles de potencia de recepción o que por aspectos de diseño, el sector servidor este limitado por distancia.

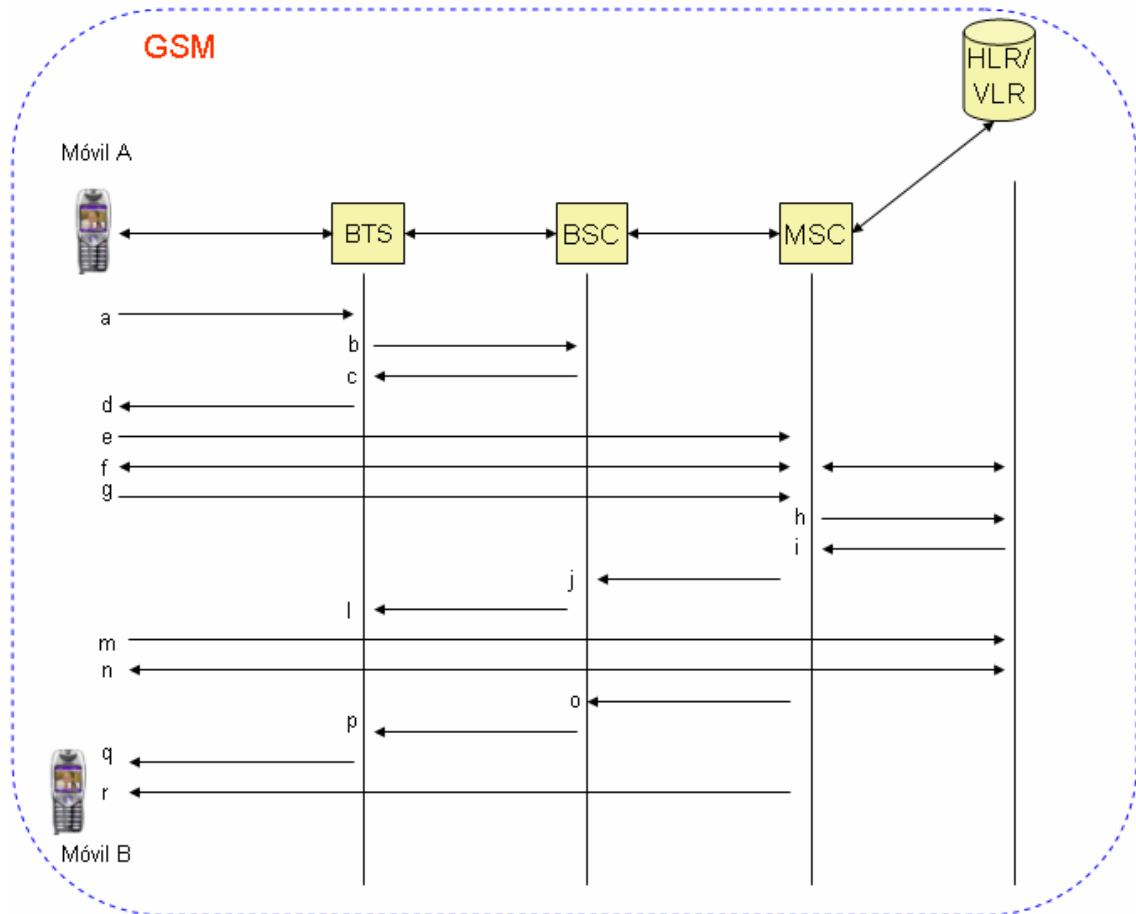
Los *handover* que se llevan a cabo en una red GSM son:

- *Handover* entre sectores de la misma Celda o BTS.
- *Handover* entre sectores de diferente celda.
- *Handover* entre sectores de BTS que son servidas por diferente BSC's.
- *Handover* entre sectores de BTS que son servidas por diferente MSC.

1.2.5. Proceso de una llamada de voz

El establecimiento de una llamada de voz implica la interacción de toda la red celular (parte física y lógica) con el móvil. En la figura 8 muestra lo descrito y a continuación se detalla el procedimiento de la llamada.

Figura 8. Proceso de llamada



- a. El móvil A origina la llamada, enviando un mensaje de solicitud de asignación de canal al la BTS.
- b. La BTS recibe el mensaje y lo reenvía al BSC.
- c. La BSC le responde a la BTS ordenándole que le asigne un canal de Trafico (TCH).
- d. La BTS le concede un canal de tráfico al móvil.
- e. El móvil envía un mensaje de requerimiento de servicio al MSC.
- f. Se establece la comunicación entre el móvil y el VLR para definir la autenticación del suscriptor y del servicio que esta solicitando.

- g. El numero que se marca en el móvil A, es enviado al MSC.
- h. El MSC se comunica con el VLR solicitándole la última ubicación que tuvo el móvil B que corresponde al número que esta marcando el móvil A.
- i. El VLR responde con el LAC.
- j. El MSC envía la información al BSC.
- k. El BSC analiza la información y de acuerdo al LAC, puede determinar que celdas tienen configurada dicho LAC.
- l. EL BSC ordena a todas las BTS que tengan configurado el LAC específico, enviar un mensaje de localización al móvil B, por el canal de *Paging*.
- m. El móvil B responde, enviando al VLR datos de localización.
- n. El VLR lo autentica y verifica que el subscriptor con el numero B tenga habilitado el servicio de voz y se lo comunica al MSC.
- o. El MSC le indica al BSC que le asigne un canal de tráfico.
- p. El MSC le dice la BTS que le esta dando cobertura al móvil B que le asigne un canal de tráfico.
- q. La BTS asigna canal de tráfico.
- r. El móvil B genera el tono de llamada entrante y cuando el usuario del móvil B acepte la llamada, la comunicación se establecerá.

2. GPRS

2.1. Arquitectura

Para cubrir la demanda de transmisión de datos entre un móvil y una red externa de paquetes para utilizar los servicios de Internet, transmisión de Fax y WAP, en GSM se implemento un medio de transmisión de paquetes que utiliza la técnica de Circuitos Conmutados para el establecimiento y mantenimiento de la conexión entre dos puntos. Es decir que al momento de que un móvil requiera un servicio específico, la red de datos le asigna un canal físico y lógico al móvil de forma permanente, este hecho hizo que al momento de aumentar la demanda por los servicios, el recurso fuera limitado ya que la asignación de canales de forma fija, aun cuando los usuarios no estuvieran realizando ninguna transferencia de paquetes provocaba que cualquier otro usuario no obtuviera éxito en su conexión. Además de ello esta red de transmisión no posee Calidad de Servicio para tratamiento de paquetes, es decir que todos los servicios que ofrezca el operador son tratados por la red de transporte de igual manera.

Por todo lo que adolece la transmisión de paquetes por circuitos conmutados y al surgimiento de nuevos servicios, aparece una nueva opción de transporte conocida como GPRS (*General Packet Radio Service*) que por sus siglas en inglés significa Servicio General de Radio por Paquetes. Esta nueva red se caracteriza por utilizar la técnica de Paquetes Conmutados que permite mantener conectados a varios usuarios simultáneamente.

Esto se logra a través del establecimiento de una conexión lógica, la cual no utilizará recurso de ancho de banda, sino que hasta el momento de enviar o recibir información desde o hacia una red externa de datos.

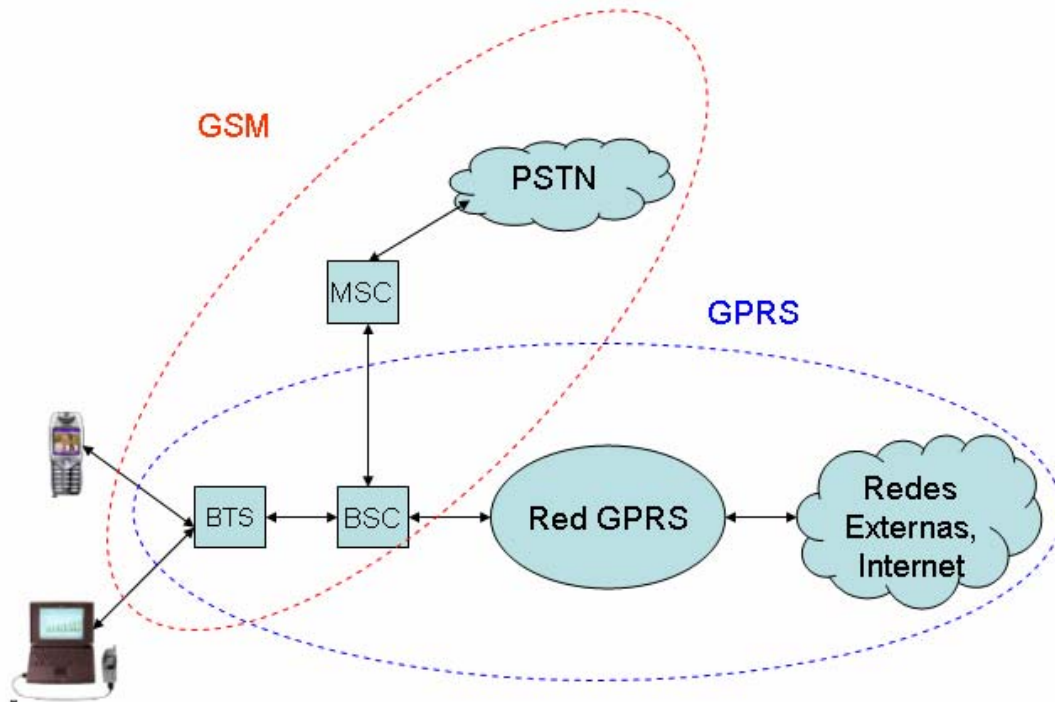
Para lograr el establecimiento de una conexión GPRS, se necesitan los siguientes elementos:

- Interfase de Radio.
- El *core* GPRS.
- Acceso a Red Externa.

La interfase de radio esta referida al acceso vía radio frecuencia que el conjunto de celdas y controlador de celdas proporcionara al móvil y que será el mismo que utiliza GSM para transmisión de voz, considerando que los canales de acceso serán diferentes. El *core* de GPRS corresponde al conjunto de elementos de red que hacen posible el envío y recepción de paquetes de un móvil hacia una red externa y viceversa. Básicamente el *core* realiza la traducción de los protocolos de GSM a los protocolos de IP.

El punto de acceso a una red externa, es el último enlace entre GPRS y la red externa de Datos. En la gráfica 9 se observa de forma general como es la interacción de GSM, GPRS y la red externa.

Figura 9. Arquitectura de red GSM/GPRS

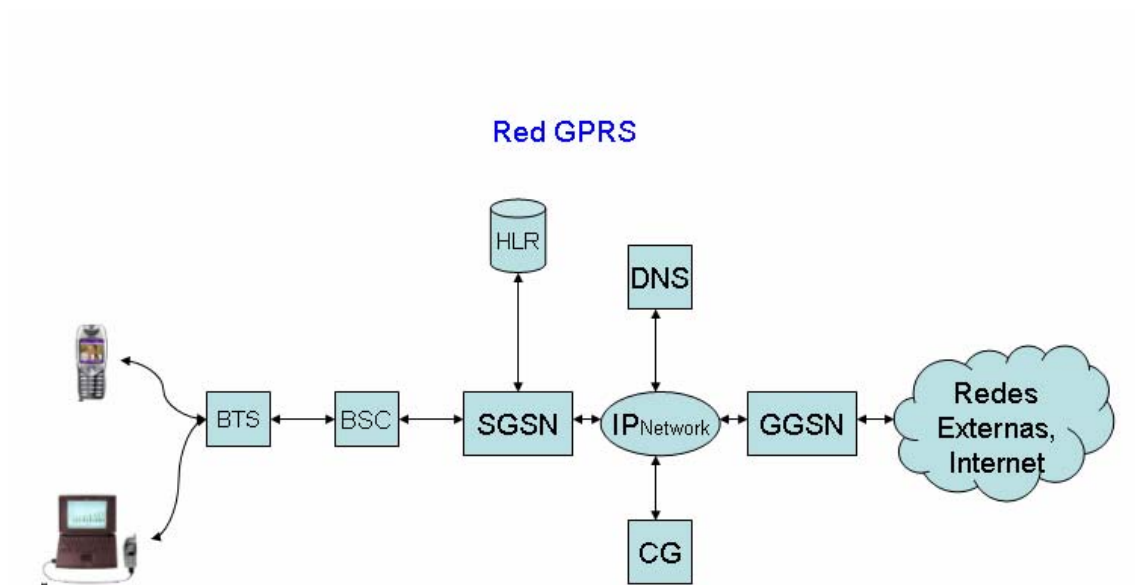


GPRS, ofrece las siguientes ventajas sobre la transmisión de circuitos conmutados que la convierten en un medio de transporte más eficaz y eficiente.

- No se necesitan conexiones físicas.
- El recurso de ancho de banda es compartido.
- Se permiten los tiempos de espera entre envíos de paquetes.
- Permite el cobro por volumen de paquetes enviados o recibidos.
- Posee corrección de errores.
- Soporta y permite más servicios de valor agregado tales como envío/recepción de mensajes multimedia MMS, sesiones WAP, Internet, AVL y VoIP.

El Core, esta compuesto por un SGSN, un GGSN, un DNS, y CG, los cuales son expuestos en la figura 10 y serán el tema a discutir en los siguientes párrafos.

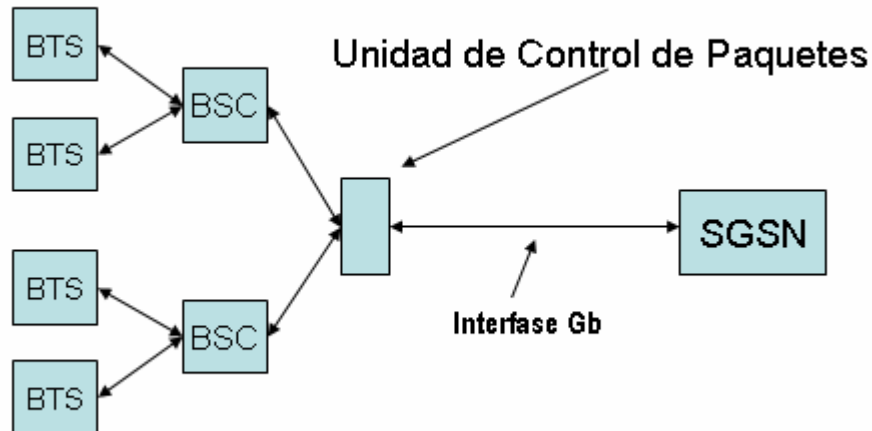
Figura 10. Elementos de red GPRS



2.1.1. Unidad de Control de Paquetes

Esta unidad suele considerarse como un modulo extra pero que pertenece al controlador de celdas y que sirve como medio para interconectar al SGSN con el controlador de estaciones base mediante la interfase *Gb*. Esta interfase utiliza *Frame Relay* como tecnología para realizar la conexión entre dos puntos. Hasta aquí podemos decir que una o varias celdas son manejadas por un controlador de celdas, lo que a su vez a nivel de sesiones GPRS una Unidad de Control de Paquetes maneja una o dos Controladoras de celdas. Lo anteriormente expuesto se puede observar en la figura 11.

Figura 11. Unidad de control de procesamiento de paquetes



2.1.2. SGSN

El primer elemento de Red GPRS es el SGSN (*Serving GPRS Support Node*) que significa Nodo de Soporte de Servicios GPRS, es el encargado de darle acceso a los móviles a la red GPRS mediante su registración conocida como *GPRS Attach*. Las funciones que desempeña este elemento son:

- Conversión de protocolos IP a *Frame Relay* de los BSC.
- Autenticación de los usuarios GPRS.
- Administración y acceso de usuarios pegados (*Attach*) a la red GPRS.
- Administración de la movilidad de los usuarios.
- Enrutador de Datos.
- Comunicación con el HLR y GGSN.

En cuanto a la administración de los usuarios de GPRS, el SGSN esta conformado por módulos específicos que tienen la capacidad de administrar a un determinado numero de subscriptores.

El SGSN se comunica con el HLR a través de la interfase *Gr* y lo hace para autenticación de usuarios. Para comunicarse con el GGSN, utiliza interfase *Gi*.

2.1.3. GGSN

El GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), es el elemento de red que dentro de sus múltiples funciones se encarga del enrutamiento final de los paquetes a la red externa de datos, o a los equipos de servicios de valor agregado tales como MMS, WAP, etc. Las funciones del GGSN son:

- Asignación dinámica o estática de IP's a los móviles.
- Enrutamiento de datos que vienen de una red externa al respectivo SGSN.
- Enrutamiento de paquetes de información proveniente de los móviles hacia la determinada red externa de datos o servicios de valor agregado.
- Sirve de interconexión hacia redes IP mediante la interfase *Gi* externa.
- Verifica que las IP's estén activas.

2.1.4. DNS

Un DNS (*Domain Name Server*), es un servidor de nombres de dominios y cumple un papel importante en convertir nombres IP en direcciones IP. Es decir que el DNS recibe solicitudes para poder llegar a otros servidores que el conoce con un formato de texto, por ejemplo recibe www.google.com y entregara una IP 132.48.20.0 Generalmente en la implementación de una Red GPRS, existen dos DNS ejecutando distintas tareas. El primero se encarga de resolver o convertir Los APN's que el operador tenga designado para sus servicios en una dirección IP, que generalmente corresponde a la dirección del GGSN el cual enrutara los paquetes a la red externa. El segundo DNS resolverá todo lo relacionado a Internet.

2.1.5. CG

El CG (*Charging Gateway*) en una base de almacenamiento y procesamiento de registros de tarificación recibidos de los elementos SGSN y GGSN. Estos archivos conocidos como CDR's (*Charging Data Register*) contienen información referente a:

- Servicio Utilizado el cual puede ser MMS, WAP, Internet, etc.
- Cantidad de datos enviados/recibidos los cuales se especifican en bytes.
- Fecha y Hora de la transferencia de paquetes.
- MSISDN e IMSI del subscriber.

2.2. Sección de Movilidad

Esta sección hace referencia a la manera en que se pueden ordenar e identificar a cada una de las celdas, para que la tarea del SGSN sea más fácil al momento de darle acceso a los móviles y conservar su permanencia dentro de GPRS. Ya que como se menciono anteriormente un área de cobertura se divide en sectores que pertenecen a una celda la cual será manejada por una controladora de celdas.

2.2.1. Location Area

En GSM se maneja el concepto de área de localización (LA) la cual es referida a un conjunto de celdas con el objetivo de que el Conmutador (MSC) y VLR las puedan identificar y manejarlas eficientemente. Un LA tiene un LAI (*Location Area Identifier*) identificador de área de localización en el cual esta contenida la siguiente información.

- MCC (*Mobile Country Code*) que es el Código móvil de ciudad.
- MNC (*Mobile Network Code*) es el Código móvil de Red.
- LAC (*Location Area Code*) es el código de área de localización.

Todo lo anterior fue pensado para evitar un aumento abrupto en la señalización y utilización del canal de *paging*, al momento de localizar a un móvil para trasferirle una llamada. Por ejemplo, si una región se divide en 10 LA y el VLR tiene en su base de datos que la última ubicación del móvil fue en la LA2, todas las celdas que estén en la LA2 a través del canal de *paging* enviarán un mensaje al móvil para que se reporte y con ello pueda tomar la llamada.

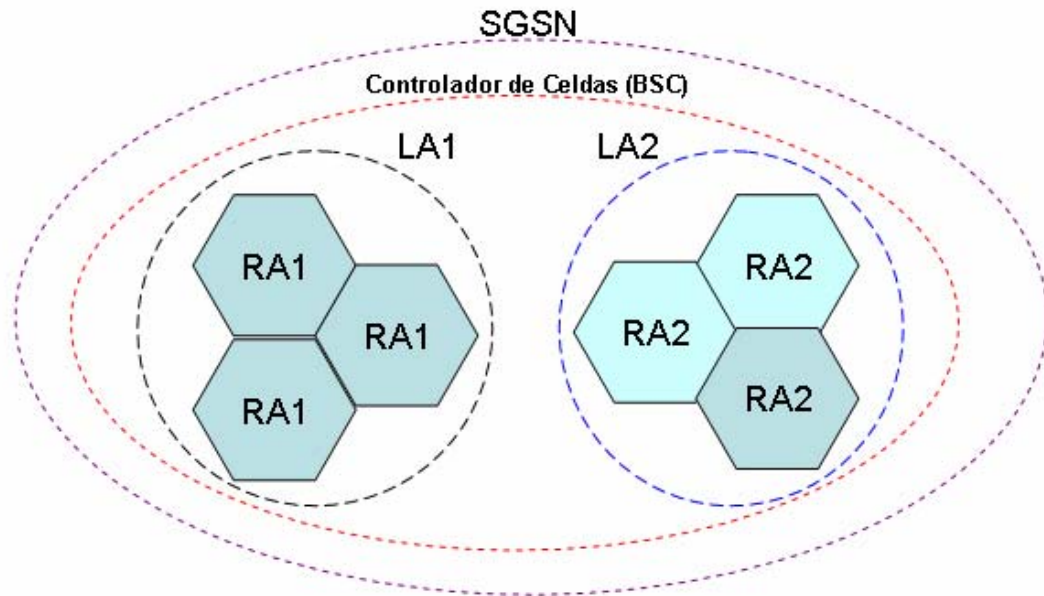
2.2.2. Routing Area

De forma similar a GSM, GPRS asigna un identificador adicional a cada celda para propósitos de utilización de *paging* y señalización conocido como RA (*Routing Area*) o área de asignación de ruta. Es decir que un RA es un o conjunto de celdas, que tienen un RAI (*Routing Area Identity*) Identidad de asignación de ruta que esta compuesto por los siguientes elementos.

- MCC (*Mobile Country Code*) que es el Código móvil de ciudad.
- MNC (*Mobile Network Code*) es el Código móvil de Red.
- LAC (*Location Area Code*) es el código de área de localización.
- RAC (*Routing Area Code*) corresponde al Código de área de asignación de ruta.

En la figura 12 se puede observar la interacción de un LA y un RA tomando en consideración que un RA esta contenido dentro de un LA.

Figura 12. Estructura jerárquica de RA y LA para GPRS



2.2.3. GPRS Attach y Dettach

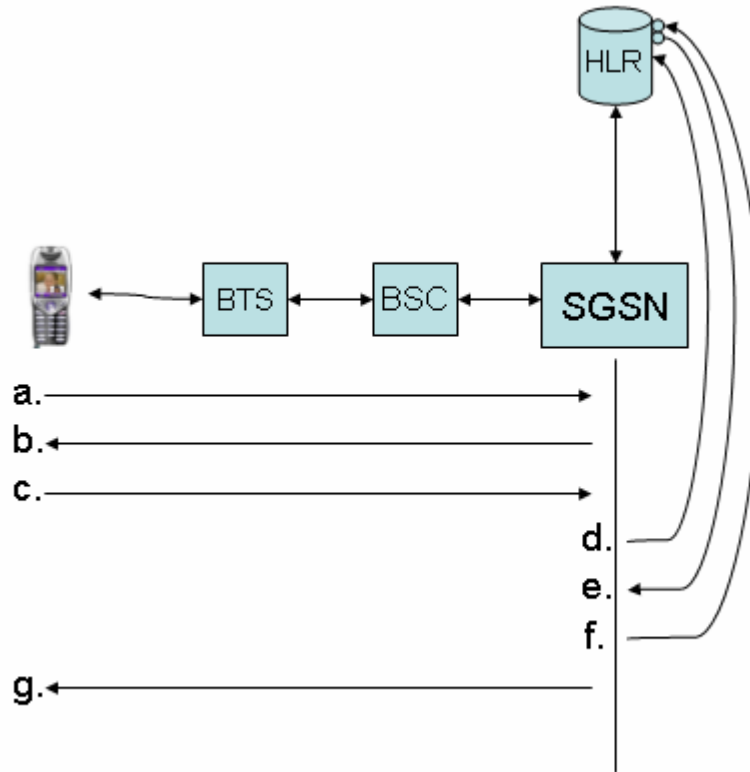
Aquí inicia el primer contacto de un móvil (teléfono) con la Red GPRS, es el SGSN quien se encarga de permitir o negarle el acceso mediante un procedimiento conocido como *GPRS Attach/Dettach*. La condición de que un teléfono este anclado (*Attach*) a la red, esta determinado por la configuración que tenga dicho teléfono y que puede ser:

- Siempre *Attach*.
- *Attach* cuando sea necesario.

Cuando el teléfono se configura con la opción de siempre *Attach*, dicho teléfono estará anclado al SGSN siempre y cuando este encendido. Para el caso de *Attach* cuando sea necesario, estará anclado solamente en el tiempo que dure la transferencia de información. El procedimiento que sigue un teléfono para registrarse y permanecer en el SGSN es el siguiente.

- a. Considerando la Fig. 13, el móvil o teléfono envía un requerimiento de *GPRS Attach* a través de la celda, controlador de celda hasta llegar al SGSN.
- b. El SGSN le solicita al móvil que envíe su identidad.
- c. El móvil envía el IMSI.
- d. Si es la primera vez que se registra el suscriptor en la red de GPRS, el SGSN le envía una solicitud de actualización de localización al HLR.
- e. El HLR valida al usuario de acuerdo al IMSI, entregándole al SGSN todos los datos del Suscriptor.
- f. El SGSN confirma la recepción de los datos del suscriptor.
- g. El SGSN acepta la solicitud de *GPRS Attach*.

Figura 13. Procedimiento de GPRS Attach



2.3. Estado de movilidad de los móviles

El SGSN debe de ser capaz de permitir y mantener el acceso a la red no importando si el móvil o teléfono esta en un lugar fijo o en movimiento. Por ello los teléfonos tienen tres tipos de estados que les permiten en conjunto con el SGSN mantenerse mutuamente comunicados.

2.3.1. Estado Idle

Estado en el que el teléfono está registrado en el HLR/VLR de la red de GSM, pero no está anclado (*Attach*) en el SGSN. En otras palabras el móvil está configurado como *Attach* cuando sea necesario y en este estado no consume recurso del SGSN.

2.3.2. Estado Ready

En este punto el teléfono está anclado (*Attach*) en el SGSN y está enviando o recibiendo información hacia o desde una red externa de datos. Además el SGSN conoce en qué área de cobertura anda el móvil, así como la IP que se le ha asignado.

2.3.3. Estado Standby

Es el estado que toma y mantiene el móvil cuando finaliza el envío o recepción de datos. Este estado se cumple sí y solo sí el teléfono está configurado como siempre *Attach*. En esta modalidad el SGSN conoce el área de cobertura en el que anda el móvil.

2.4. Sección de Sesión

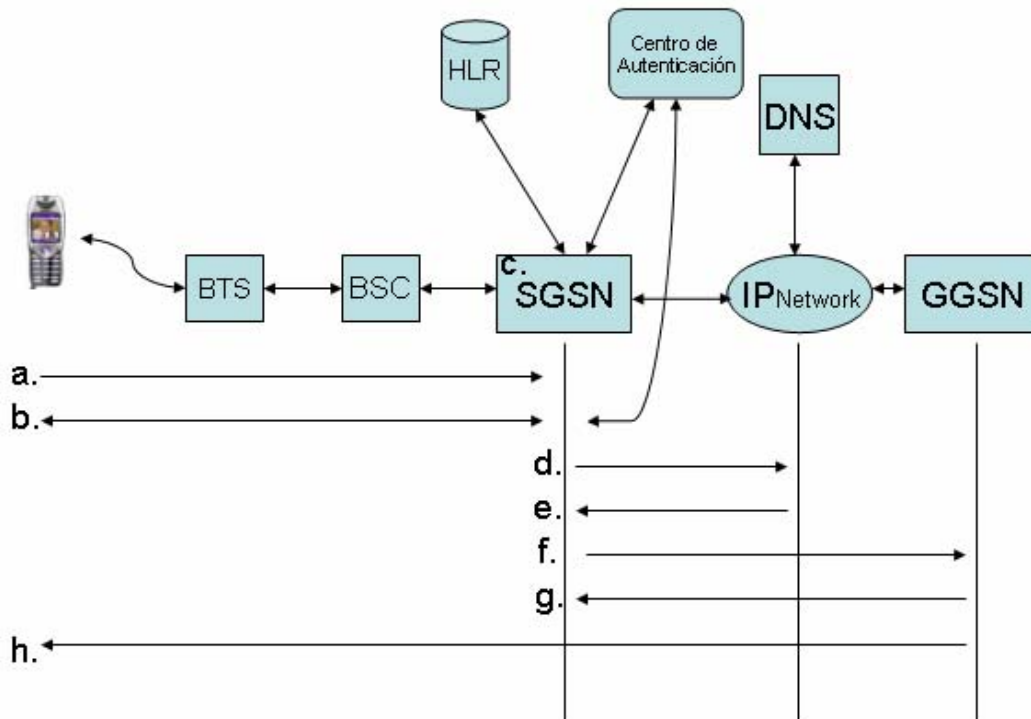
Una vez que el teléfono obtenga acceso a la red GPRS, ésta red debe ser capaz de proporcionar la conexión de manera permanente con la red externa de datos.

La conexión permanente se logra mediante un procedimiento conocido como Activación de *PDP Context*. Este procedimiento será detallado en el apartado siguiente.

2.4.1. Activación de PDP Context

Se entiende como *PDP Context* al procedimiento en cual el GGSN le asigna una IP a un móvil para que éste pueda establecer la conexión a una determinada red externa o a un elemento que brinde al servicio de valor agregado.

Figura 14. Procedimiento de Activación de PDP Context



En base a la figura 14 se procederá a explicar como es el procedimiento de establecimiento de conexión.

- a. Luego del *Attach*, el móvil enviara un Requerimiento de Activación de *PDP Context* al SGSN, el cual incluye el APN que desea utilizar el subscriptor.
- b. El teléfono puede o no pasar por autenticación, considerando para esto su IMEI.
- c. El SGSN utiliza su base de datos la cual es una copia del HLR/VLR para verificar que el usuario tenga habilitado el APN que esta intentando utilizar.
- d. El SGSN envía el APN al DNS.
- e. El DNS le responde al SGSN proporcionándole una dirección IP, la cual corresponde al SGSN que será el enlace a la red externa de datos.
- f. El SGSN envía el mensaje de Creación de *PDP Context* que contiene el APN, al GGSN.
- g. El GGSN responde al SGSN el mensaje de Creación de *PDP Context*, adjuntando la dirección IP que utilizara el móvil y archivos para tarificación. Además determinara cual será la red externa de datos que proporcionara el servicio que el usuario este requiriendo.
- h. El SGSN recibe la respuesta de Creación de *PDP Context* y la envía al móvil par que inicie su transferencia de paquetes de datos.

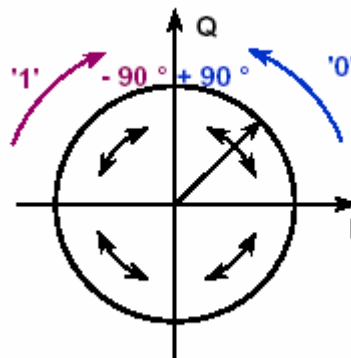
2.4.2. Desactivación de PDP Context

Es el final del procedimiento de *PDP Context* el cual es establecido por el móvil o por la red de GPRS. Si es generado por el móvil, esta se establece cuando termina el envío/recepción de paquetes de información. Cuándo es provocado por la red, puede deberse a congestión o a desvanecimiento de la potencia de la señal.

2.5. Modulación GMSK

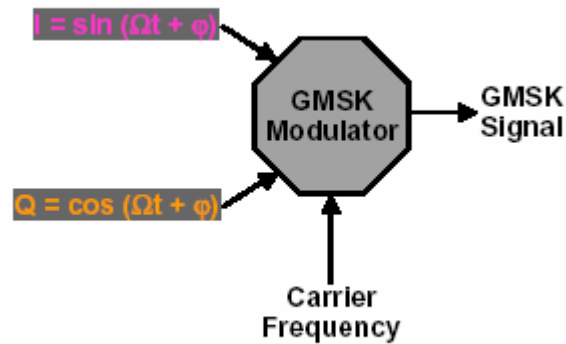
Modulación, significa transformar una señal binaria en una señal análoga en la frecuencia y momento correcto. GSM y GPRS utilizan la modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) para mantener una alta eficiencia espectral y una considerable resistencia a los efectos de interferencia. Además envía dos bits de información al mismo tiempo. Realmente GMSK es una variante de la modulación MSK (*Minimum Shift Keying*), la cual se caracteriza por enviar dos bits en fases distintas continuamente, es decir envía un 0 con un cambio de fase de $+90^\circ$ y un 1 con un cambio de fase de -90° tal y como se muestra en la figura 15

Figura 15. Cambio de fase en la modulación MSK



De modo que para obtener GMSK, la señal MSK debe de pasar a través de un filtro pasa bajos *gausiano* para poder minimizar los cambios de fase y con ello lograr mayor eficiencia espectral. La figura 16 hace referencia al trabajo que desempeña un Modulador GMSK.

Figura 16. Modulación GMSK

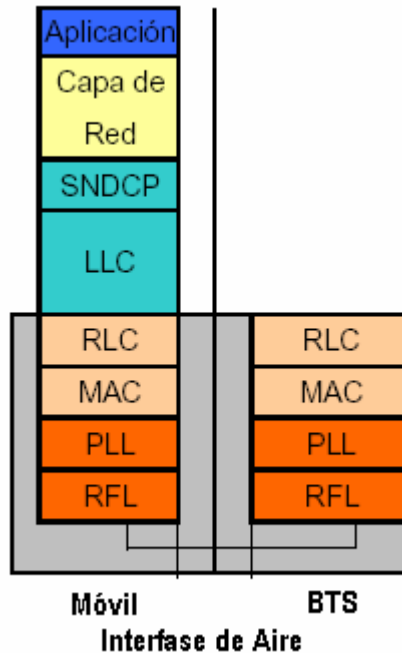


2.6. Interfase de Aire

La interfase de aire en GPRS es la misma que se utiliza en GSM, es decir se aplica TDMA como método de acceso, con una trama de 4.615385 ms subdividido en 8 canales o *timeslots* disponibles para asignarlos como canales de tráfico.

Un móvil utilizará el medio de transmisión TDMA para poder llegar a la red GPRS y adicionalmente un protocolo de comunicación para poder establecer un enlace necesario en la transferencia de información. En la figura 17 se muestra como esta estructurado el protocolo que interactúa con el móvil, BTS.

Figura 17. Capas del protocolo de la interfase de aire



Básicamente un protocolo esta estructurado por capas, la cuales ejecutan diferentes funciones tales como:

- Recepción de paquetes de información.
- Ejecución de procesos.
- Envío de paquetes de información.

Para el Caso de GPRS, las capas de la interfaz de aire son mencionadas en base a la jerarquía son:

- Capa RFL (*Physical RF Layer*).
- Capa PLL (*Physical Link Layer*).
- Capa MAC (*Medium Access Control*).
- Capa RLC (*Radio Link Control Layer*).

La capa enlace de RF (RFL) es la de menor jerarquía dentro del protocolo, pero contradictoriamente es la que más problemas causa, si no se tiene un control de calidad para esta. Las funciones que desempeña son:

- Modulación de la secuencia de bits de información provenientes de la capa superior (PLL).
- Desmodulación de la información proveniente del móvil. Ambas funciones utilizan la técnica GMSK.

PLL es la capa física de enlace y desempeña las tareas de:

- Detección y corrección de errores.
- Asignación de los paquetes de información en los TS o canales.
- Codificación de canales.
- Realiza procedimientos para la sincronización del móvil con la red.
- Monitorea la calidad del enlace de radio.
- La capa de Control de acceso al Medio (MAC) es de jerarquía mayor a la de la Control en la señalización.
- Multiplexación de los datos enviados del móvil hacia GPRS y Viceversa.
- Detección de colisiones de paquetes.

La capa de control de Radio (RLL), es la última capa que maneja la BTS en relación al móvil, y desempeña las siguientes funciones.

- Determina si es necesario realizar una retransmisión de paquetes.
- Establece comunicación con las capas superiores.

2.6.1. Canales Físicos

GPRS utiliza el mismo canal físico que se administra en GSM, el cual tiene un ancho de banda de 200Khz y que se puede subdividir en 8 *timeslots* (TS) lo que proporciona más recurso para ser compartido por varios usuarios. Para sesiones de datos un solo TS, puede ser compartido por varios usuarios. Caso contrario a lo que sucede en transmisión de voz, ya que un TS será utilizado por un solo usuario.

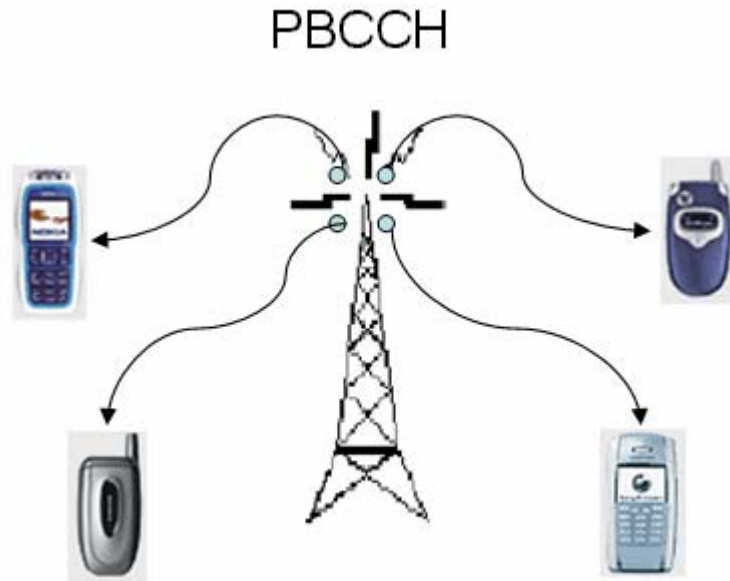
2.6.2. Canales Lógicos

Definiremos como canales lógicos de enlace hacia arriba (*Up link*), a aquellos que son utilizados por el móvil para tener comunicación con la BTS y canales de enlace hacia abajo (*Down link*) a los que utiliza la BTS para comunicarse con el móvil. Los canales lógicos están subdivididos de la siguiente forma:

- Canal de Transmisión o emisión (PBCCH).
- Canales de Control Común (PCCCHs) y se subdividen en PRACH, PPCH y PAGCH.
- Canales de Tráfico (PDTCH) y canales asociados PACCH y PTCCH.

El canal PBCCH (*Packet Broadcast Control Channel*) es el canal que brinda servicio a todos los teléfonos GPRS cuando están en el estado *Standby*. Este canal solamente funciona de la BTS hacia los teléfonos (*Down link*). En la figura 18 se aprecia la direccionalidad de este canal.

Figura 18. Canal de servicio de datos para GPRS



Los canales de control común de paquetes de datos, son utilizados por GPRS para el control de la señalización. A continuación se describen cada uno de ellos.

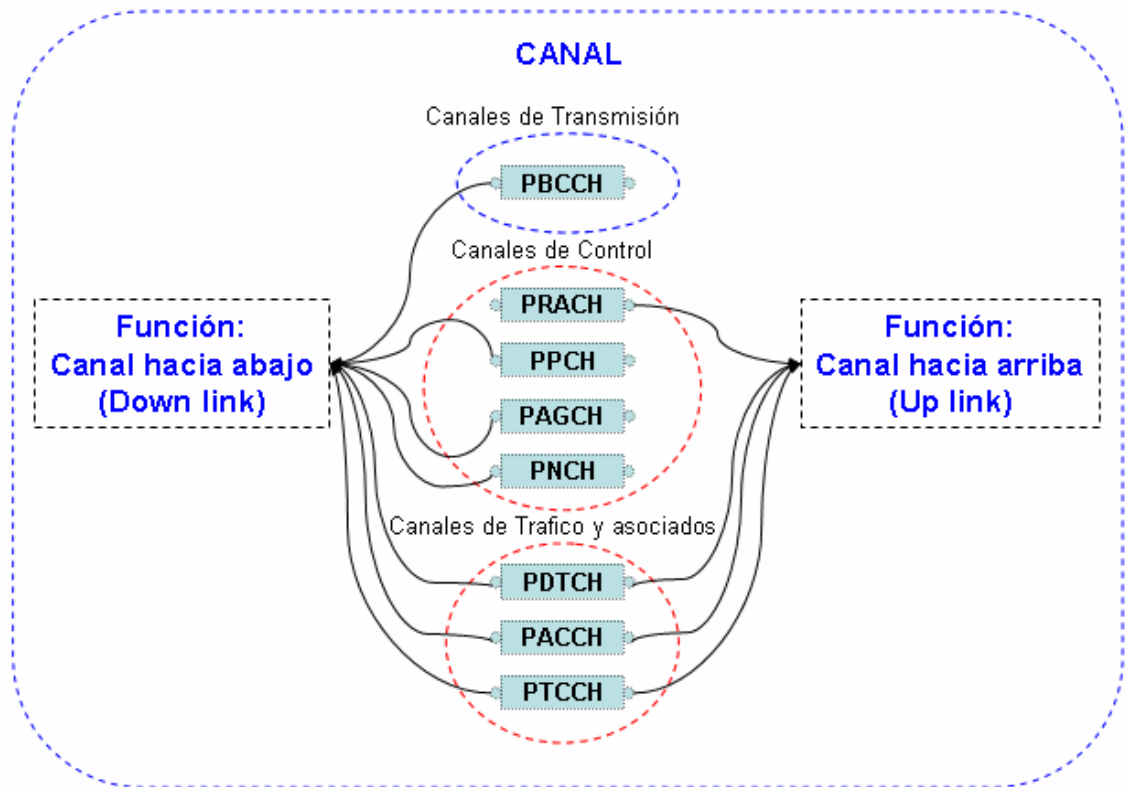
- PRACH (*Packet Random Access Channel*), es un canal de comunicación hacia arriba, y es utilizado por el móvil para hacer un requerimiento de canal de tráfico de datos.
- PPCH (*Packet Paging Channel*), es un canal que utiliza la BTS para ubicar al móvil previo a iniciar una transferencia de datos.
- PAGCH (*Packet Acces Grant Channel*), canal que usa la BTS para la asignación de recurso durante la transferencia de paquetes de información.

Finalmente los canales PDTCH (*Packet Data Traffic Channel*) son los canales dedicados a la transferencia de paquetes de información desde el móvil hacia la red GPRS y viceversa.

Los canales PACCH son utilizados por el móvil y BTS para la señalización referente a control de potencia y asignación de recursos.

El canal PTCCH, es utilizado por el móvil y BTS para poder determinar a cuanta distancias se encuentra el móvil de la BTS. En la figura 19 se puede observar una clasificación de los canales lógicos utilizados en GPRS.

Figura 19. Clasificación de canales lógicos GPRS.



2.6.3. Control de Potencia

El control de potencia en GPRS se establece mediante algoritmos que se manejan en el acceso hacia la BTS. Es decir que el control de potencia se establece mediante mediciones que realiza el móvil con respecto a la señal recibida y que luego las envía a través del canal PACCH.

2.6.4. Handover

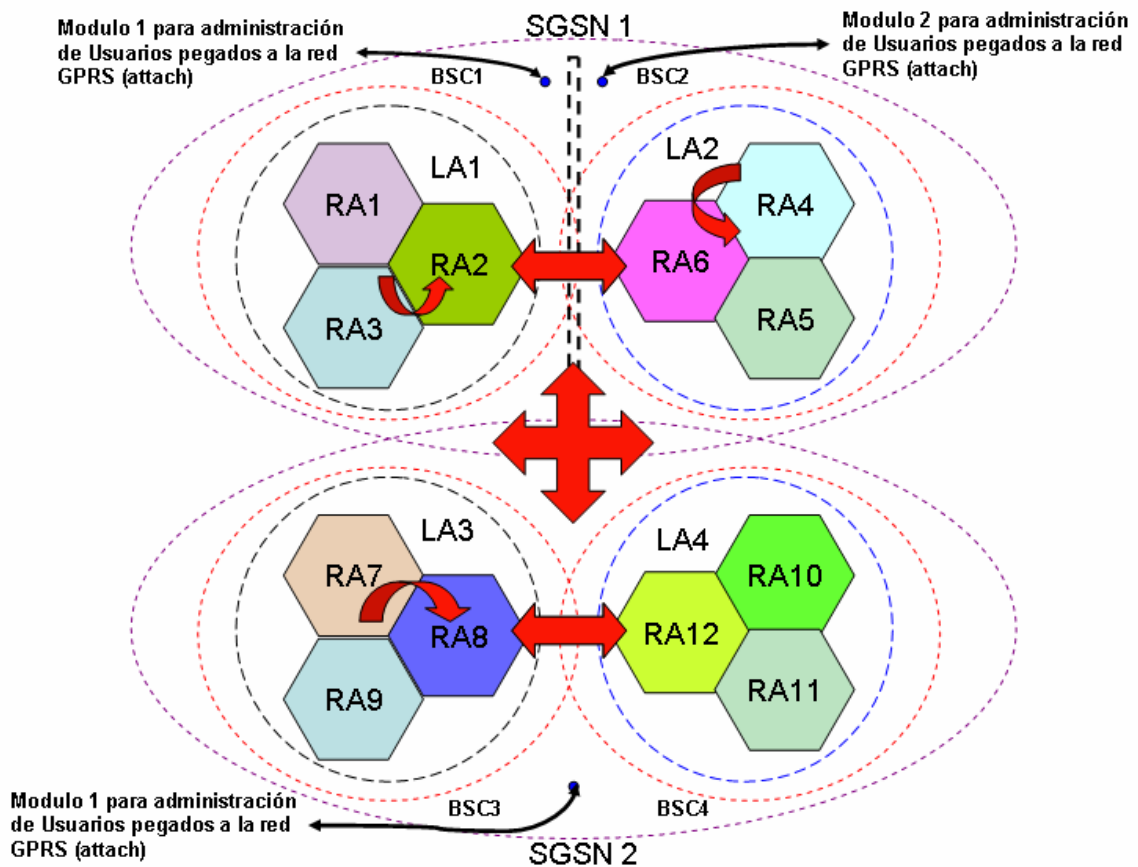
En GPRS se aplica otro termino en lugar de *handover* y es conocido como *Cell Reselection*, el cual es un procedimiento que realiza el móvil de acuerdo a un algoritmo que considera la potencia recibida, el radio de cobertura y la distancia de la celda que le esta sirviendo. Esta información la compara con datos de celdas vecinas que pueden llegar a ser su próxima servidora. Los escenarios selección de celda que se presentan en GPRS son:

- *Cell Reselection* entre sectores de una misma sitio de celda.
- *Cell Reselection* entre sectores de diferente sitio de celda, administrados un el mismo BSC.
- *Cell reselection* entre sectores de diferente sitio de celda, administrados por diferente BSC.
- A nivel de la propia red de GPRS, se establece un procedimiento llamado *Routing Area Update* para mantener la continuidad de una llamada de datos. Este procedimiento se puede dar en los siguientes escenarios.
- *Routing Area Update* entre un mismo BSC, administrados por un modulo de manejo de usuarios del SGSN.

- *Routing Area Update* entre diferentes BSC's, administrados por un módulos de manejo de usuarios de un mismo SGSN.
- *Routing Area Update* entre diferentes BSC's, administrados por diferente módulos de manejo de usuarios de un mismo SGSN.
- *Routing Area Update* entre diferentes BSC's, administraos por un modulo de manejo de usuarios de diferente SGSN.

En la figura 20 se muestra los diferentes escenarios que se dan en la red GPRS, para poder mantener una llamada o sesión de datos.

Figura 20. Escenarios para mantenimiento de llamada de datos



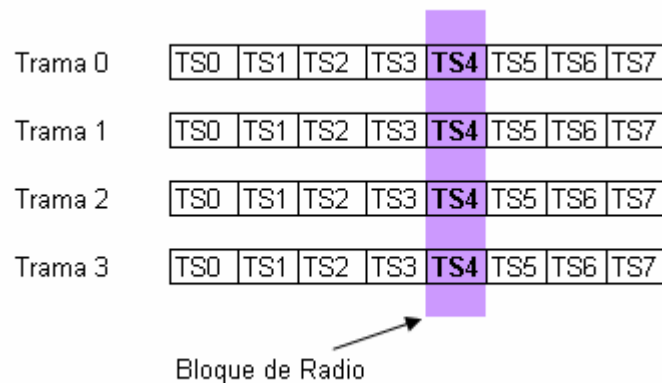
2.7. Codificación de Canal

La codificación se establece para mejorar la calidad de la transmisión y velocidad de envío de paquetes de información. Ya que con la modulación GMSK la interfaz de aire puede manejar un máximo de 22.8 Kbps, se hace necesario diseños de codificación que ayuden a mantener una velocidad constante contrarrestando los efectos del ruido e interferencia. Para GPRS se han creado cuatro esquemas o diseños de codificación llamados CS-1, CS-2, CS-3 y CS-4.

2.7.1. CS-1

En GPRS se define Bloque de Radio a la estructura de 1 mismo TS alojado en 4 tramas diferentes consecutivas tal y como se observa en la figura 21.

Figura 21. Estructura de un bloque de radio



Teóricamente un TS puede transportar 114 bits a través de su ancho de banda, entonces un bloque de radio puede transmitir $4 \times 114 = 456$ bits de información, pero no todos los 456 bits se utilizan como bits de información debido a que es necesario garantizar la protección de la información y encabezados del bloque. La protección esta referida a la corrección y detección de errores. A continuación, se especifican las características del esquema o diseño CS-1.

- 181 es el número de bits enviados en un bloque de radio.
- La duración de un bloque de radio es 20 ms.
- El número de bits utilizado para el encabezado (seguridad y control) es 275.
- La velocidad alcanzada con este diseño de codificación es de 9.05 Kbps.

2.7.2. CS-2

El diseño de codificación CS-2, realiza una variante en cuanto a los bits que se enviarán en un bloque de radio, dando como resultado lo siguiente.

- 268 es el número de bits enviados en un bloque de radio.
- La duración de un bloque de radio es 20 ms.
- El número de bits utilizado para el encabezado (seguridad y control) es 188.
- La velocidad alcanzada con este diseño de codificación es de 13.4 Kbps.

2.7.3. CS-3

Como se hace notar se esta arriesgando un poco la seguridad, para garantizar más de velocidad. Para el CS-3 se logra las ventajas siguientes.

- 312 es el número de bits enviados en un bloque de radio.
- La duración de un bloque de radio es 20 ms.
- El número de bits utilizado para el encabezado (seguridad y control) es 144.
- La velocidad alcanzada con este diseño de codificación es de 15.6 Kbps.

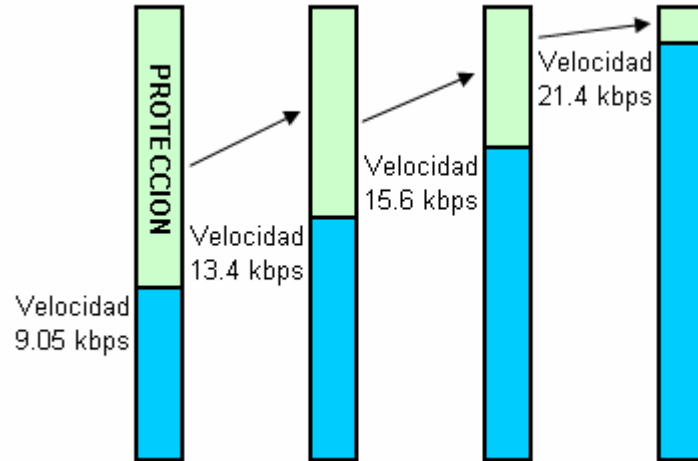
2.7.4. CS-4

El mejor diseño de codificación que ofrece mayor velocidad es el CS-4. Dicho diseño se basa en las características siguientes.

- 428 es el número de bits enviados en un bloque de radio.
- La duración de un bloque de radio es 20 ms.
- El número de bits utilizado para el encabezado (seguridad y control) es 28.
- La velocidad alcanzada con este diseño de codificación es de 21.4 Kbps.

En la figura 22 se observa el valor de la velocidad a expensas de la seguridad de la información que un móvil esta enviando o recibiendo.

Figura 22. Velocidad contra Seguridad



3. PoC

PoC (*Push to Talk over Celular*) significa Presione Para Hablar Sobre un Celular, es un tipo de comunicación *half duplex*, es decir que opera en ambos sentidos pero que solo una persona puede hablar a la vez. Esta tecnología actualmente esta en pleno desarrollo ya que hay varias compañías como Motorola, Siemens y Nokia las cuales ofrecen a los operadores de redes celulares la capacidad de implementar este servicio, agregando componentes adicionales que permitan que un móvil o teléfono tenga la capacidad de transmitir voz sobre IP (VoIP). VoIP es enviar/recibir la voz en paquetes de datos en tiempo real, utilizando protocolos TCP/IP para el transporte.

Actualmente la tecnología de VoIP se desarrolla varios escenarios, cada uno de ellos encaminados a obtener un servicio de buena calidad a un costo considerablemente bajo. Los escenarios son:

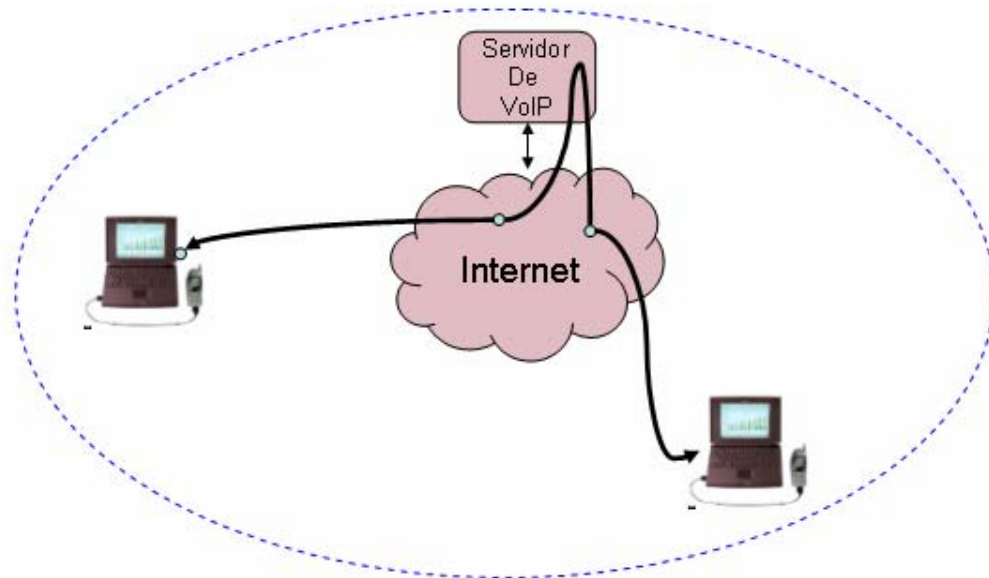
- VoIP entre dos computadoras.
- VoIP de una computadora hacia un teléfono celular.
- VoIP desde y hacia un móvil celular.

En el caso de la comunicación de dos computadoras, se necesita lo siguiente:

- 2 Computadoras.
- Acceso a Internet para las dos Computadoras.
- Software para establecimiento de llamada.
- Suscripción para la utilización del servicio de VoIP.
- Protocolo TCP/IP.

Este escenario basa su funcionamiento en la utilización de Internet como medio de transporte y un software aplicativo para el establecimiento de la llamada. Es decir que cuando las dos computadoras ya estén conectadas a la Internet utilizando protocolos TCP/IP, tanto el usuario A que intenta comunicarse con el usuario B tendrán que pasar por un procedimiento de autenticación en el Servidor del software aplicativo para poder establecer una llamada. La ventaja de este servicio es de que no importa en donde estén ubicadas las dos computadoras, siempre logran el establecimiento de la llamada con tan solo cumplir con una suscripción a este servicio el cual actualmente esta dado por varias empresas que operan en la Internet. En la gráfica 23 se observa los diferentes elementos que se integran en la comunicación de 2 computadoras.

Figura 23. VoIP en Internet



Para el caso de que un usuario que utiliza una computadora desee comunicarse con un teléfono celular, se requiere lo siguiente.

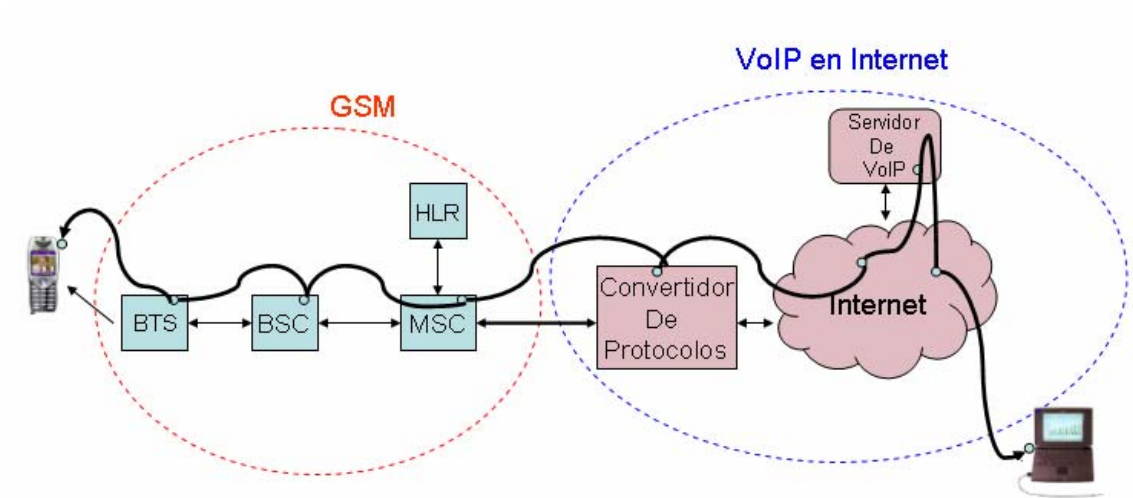
- Una red Celular existente.
- Un teléfono celular.
- Una computadora.
- Acceso a Internet para la computadora.
- Un servidor y software aplicativo.
- Acuerdos Legales entre la empresa que brinda el servicio basado en Internet y la empresa que brinda el servicio celular.

Este método de comunicación esta en pleno desarrollo y permite que un usuario de una red celular, pueda recibir una llamada proveniente de un computador que se encuentra en cualquier lugar del mundo conectado a Internet. El proceso de una llamada de este tipo de escenario es el siguiente:

- El usuario conecta su computador a Internet.
- El usuario se autentica en el servidor que brinda este servicio de VoIP.
- El usuario establece la llamada desde su computador a través de un software aplicativo.
- La llamada la recibirá un Servidor que esta en Internet, el cual enrutara la llamada a la red celular con la cual se tenga establecido la interconexión correspondiente.
- La llamada es recibida por la red celular para que ésta la lleve al usuario Final.

En la figura 24 se muestra los elementos que interactúan en este tipo de servicio.

Figura 24. VoIP desde Internet hacia un celular

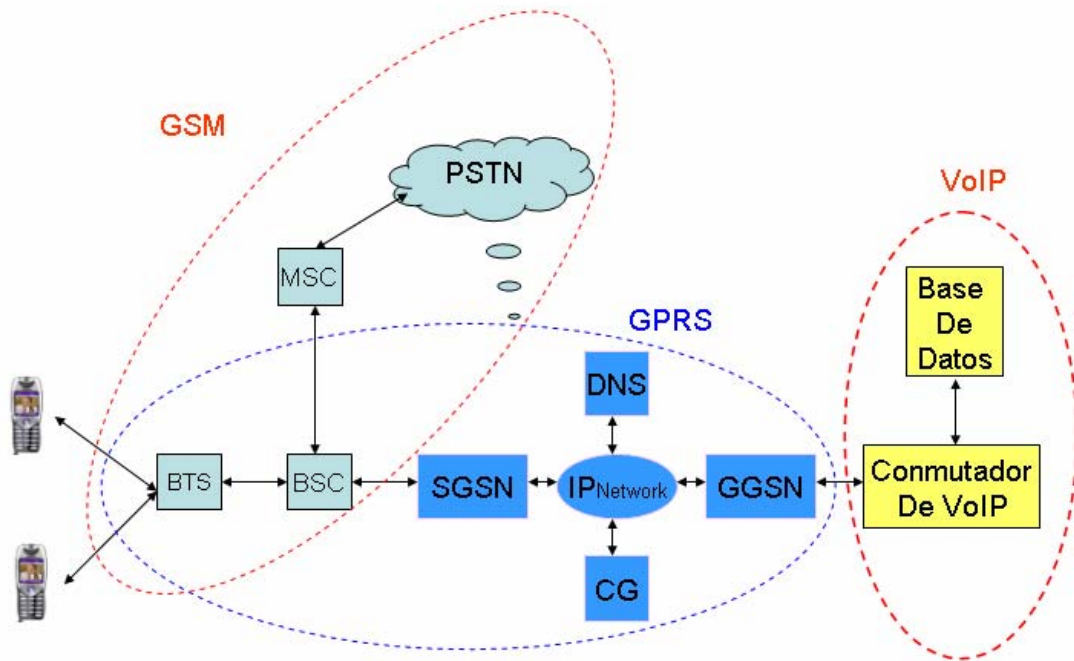


Para transmitir VoIP desde y hacia un teléfono en una Red Celular se necesita los siguientes elementos.

- Una red celular ya establecida.
- Una plataforma de transmisión de datos.
- Un modulo para manejo de llamadas de VoIP.
- Protocolos para tratamiento de paquetes de información.
- Teléfonos especiales para soportar llamadas de VoIP.

En la figura 25 se muestra un diagrama esquemático de la forma en que se interconecta los módulos de VoIP a una red celular GSM/GPRS.

Figura 25. Diagrama de Red GSM, GPRS y módulos de VoIP



A continuación se describirá los elementos que conforman el módulo de tratamiento de VoIP en una red GSM.

3.1. Conmutador de llamadas de VoIP

Es el elemento creado especialmente para controlar todas las llamadas de VoIP que se puedan establecer en una red Celular, claro esta que el tema de la cantidad de llamadas que pueda soportar un conmutador esta limitado de acuerdo a la capacidad establecida por el hardware del equipo. Este elemento se apoya en diferentes protocolos

basados en direccionamiento IP, para el manejo de dichas llamadas. Además es capaz de soportar los siguientes escenarios de llamadas.

- Llamada individual.
- Llamada Grupal.

La llamada punto a punto esta referida al establecimiento de la conversación entre dos usuarios. Referente a la llamada Grupal, el conmutador de acuerdo a su configuración puede establecer una conversación entre varios usuarios. La restricción hasta el día de hoy es que solamente puede hablar una persona a la vez.

El conmutador genera registros de todo lo que pasa en una llamada, los cuales se pueden manejar para determinar la calidad del servicio que se esta prestando. Entre los registros están:

- Total de Registros.
- Intentos totales de llamada.
- Total de llamadas completadas.
- Total de llamadas fallidas.
- Tiempo total de la llamada.
- Total de llamadas grupales.

3.2. Base de Datos

El conmutador de llamadas de VoIP, necesita saber quienes son los usuarios que están autorizados para utilizar el servicio, es por ello que la plataforma de transmisión de

VoIP utiliza una base de datos similar al HLR de la red GSM. Esta base de datos maneja la siguiente información:

- MSISDN.
- IMSI.
- TIPO DE USUARIO, puede ser Prepago o Post pago.
- Estado del Usuario, es decir si esta apagado o encendido.
- Nombre de un Grupo de contactos, así como los integrantes.
- Cantidad de contactos por grupo.
- IP asignada al teléfono.

Similar al HLR de GSM, es en la Base de Datos donde se le autoriza o se le niega el acceso a un usuario para utilizar el servicio de VoIP, también se puede determinar el área donde se encuentran ubicados los teléfonos.

3.3. Protocolos

Para el caso particular de una red celular, el transmitir VoIP implica la utilización de protocolos dedicados al control y manejo de los paquetes de información ya que la llamada de VoIP se enfrentará al factor interfase aire que es causa de muchos de los problemas de una red Celular. Los protocolos que maneja una red celular para dar un servicio de VoIP son:

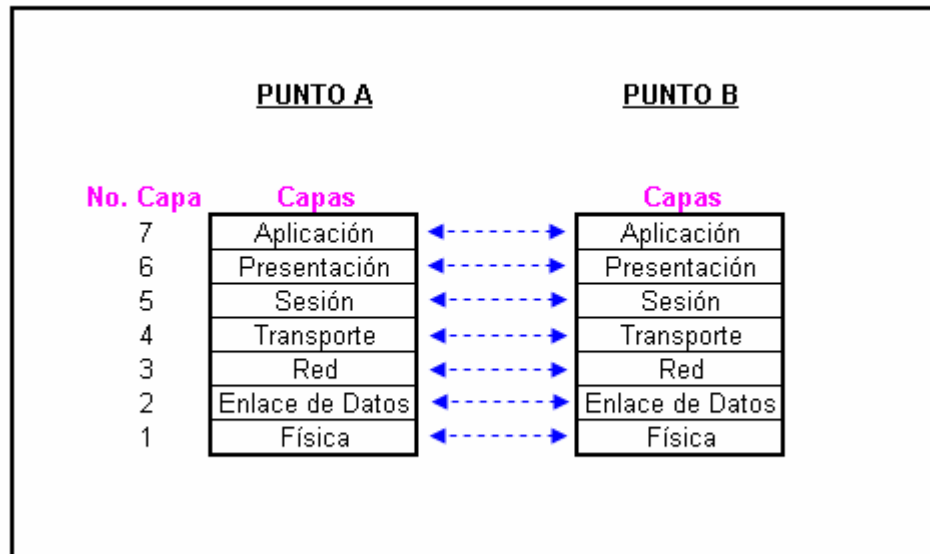
- TCP/IP (*Transport Control Protocol/IP*).
- SIP (*Session Initiation Protocol*).
- SDP (*Session Description Protocol*).
- RTP (*Real Time Protocol*).

A manera de introducción, se describirán las capas que conforman al modelo OSI (*Open System Interconnection*), el cual fue elaborado para el diseño de redes. El propósito de dar a conocer el modelo es saber que tarea desempeña cada capa ya que en la actualidad existen nuevos protocolos que de alguna forma encajan en determinada capa del modelo OSI. La arquitectura del modelo OSI es el siguiente:

- Capa 7, Aplicación: tal como su nombre lo indica es la capa que se encarga de la comunicación entre la aplicación que se esta manejando por ejemplo HTTP para Internet, POP3 para correo electrónico, etc.
- Capa 6, Presentación: se encarga del formato que llevara la información desde un punto A y que al llegar al punto B, debe ser capaz de dar la misma información que se ve en el punto A.
- Capa 5, Sesión; su función es mantener la conexión entre dos puntos.
- Capa 4, Transporte: es el ente que da la conexión entre dos puntos y que además realiza la detección y recuperación de errores.
- Capa 3, Red; establece el direccionamiento lógico de una conexión, es decir que esta capa sabe enlutar o encaminar los paquetes a otras direcciones lógicas.
- Capa 2, Enlace de Datos: encargada de regular el acceso a un punto, cuando en un momento dado hay más de dos solicitudes queriendo ser atendidas. Además se encarga del direccionamiento físico.
- Capa 1, Capa Física: es la responsable por la conexión física, es decir que considera el cable, conectores, etc.

De acuerdo a lo que se expuso acerca del modelo OSI, en la transmisión de VoIP el medio físico sobre el cual se enviará la información es la interfase de aire. A continuación se detallarán los protocolos que se utilizan en la transmisión de VoIP. En la figura 26 se pude observar la arquitectura del modelo OSI.

Figura 26. Capas del Modelo OSI



3.3.1. TCP/IP

TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) significa Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo Internet, tuvo sus inicios por lo años 70 y hoy por hoy constituye un protocolo que es manejado y entendido por los sistemas operativos existentes. TCP/IP es un modelo abierto al cambio y esta constituido por una serie de protocolos, a continuación se detallaran los más importantes.

- PPP (*Point to Point Protocol*).
- SLIP (*Serial Line Internet Protocol*).
- IP (*Internet Protocol*).
- ICMP (*Internet Control Messaging Protocol*).
- UDP (*User Datagram Protocol*).
- TCP (*Transmission Control Protocol*).
- DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).

- DNS (*Domain Name Server*).
- FTP(*File Transfer Protocol*).
- HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*).

Como se pudo notar TCP/IP representa un modelo que ayuda a interpretar el funcionamiento de una arquitectura de Red. En una red celular se utilizan varios de los protocolos mencionados, por ejemplo cuando un usuario necesita encontrar una dirección en Internet deberá de utilizar los protocolos DHCP, HTTP, y DNS entre otros.

3.3.2. SIP

Por sus siglas en ingles SIP (*Session Initiation Protocol*) significa Protocolo de Inicio de Sesión, y desempeña las siguientes funciones:

- Provee información de direccionamiento.
- Establece, modifica y finaliza una sesión.
- Movilidad, es decir que ayuda a la registración y localización de los móviles.
- Gestión, en la administración de los usuarios y tipos de usuarios.
- Señalización, a través de los diferentes mensajes que maneja.

Este protocolo puede enviar dentro de su encabezamiento información referente al MSISDN del usuario, así como la IP que le fue asignada. En cuanto a la señalización, maneja los siguientes mensajes:

- INVITE, se da en el establecimiento de una llamada.
- ACK, utilizado para confirmar la recepción de una solicitud.
- BYE, para terminar una llamada.

- CANCEL, mensaje que determina la cancelación de un mensaje INVITE.
- REGISTER, genera el registro de un móvil en el servicio de VoIP.

Durante el establecimiento de una llamada, SIP maneja mensajes de respuesta para confirmar las peticiones que se realicen. A este tipo de mensaje se le conoce como 200 OK.

3.3.3. SDP

SDP (*Session Description Protocol*) es el protocolo encargado del control de la sesión. Tiene las siguientes funciones.

- Acarrea la dirección IP de destino.
- Lleva información para poder habilitar una llamada de VoIP.
- Información del contacto al que se desea comunicar.
- Registra los tiempos en que esta activa una sesión.
- Sabe que tipo de codificadores se utilizaran en la llamada.

Por lo tanto SDP trabaja en conjunto con SIP para poder mantener una llamada de VoIP.

3.3.4. RTP

El Protocolo de Transporte en tiempo real RTP (*Real Time Transport Protocol*), es el ente capaz de establecer una llamada de VoIP entre dos móviles con la ayuda del protocolo UDP para transportar los paquetes de información de un punto a otro en tiempo real. RTP ofrece las siguientes funciones:

- Seguridad, encriptando la información.
- Sincronización.
- Detección de pérdida de paquetes.

RTP, se utiliza hoy en día para transmitir:

- Sonido.
- Vídeo.
- Datos.

Entre las aplicaciones que se utiliza RTP pueden ser VoIP, conferencias multimedia con múltiples participantes, monitoreo de tráfico vehicular a través de cámaras de video, etc.

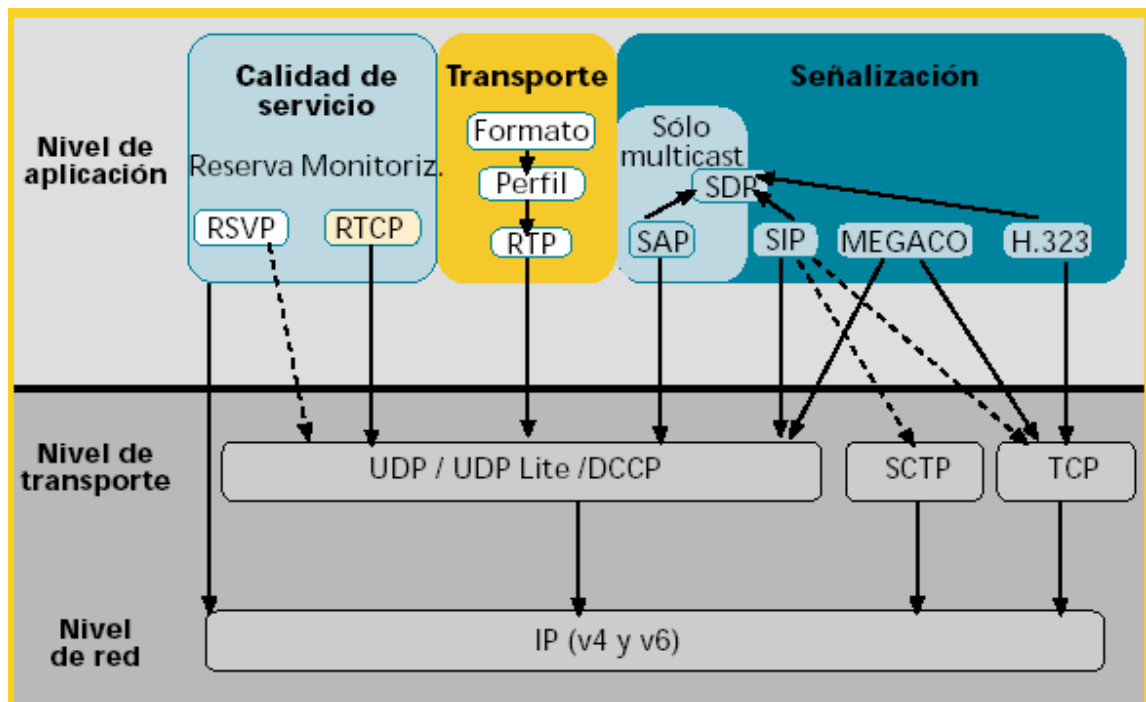
3.3.5. SCTP

SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) realiza la función de seguridad para transportar mensajes de señalización cuando ya se tiene establecida una llamada de VoIP.

Esta diseñado para que ocupe menos espacio en los encabezados de la información, comparado con el protocolo TCP. También se utiliza como medio de comunicación entre el conmutador de VoIP y su respectiva base de datos.

En la figura 27 se puede observar la arquitectura de los protocolos que se utilizan en una red celular que ofrece el servicio de VoIP.

Figura 27. Arquitectura de protocolos



Fuente: www.fokus.gmd.de/mobis/siptutorial/

3.3.6. Proceso de una llamada de VoIP

Para lograr el establecimiento de una llamada de VoIP son necesarios los siguientes requisitos:

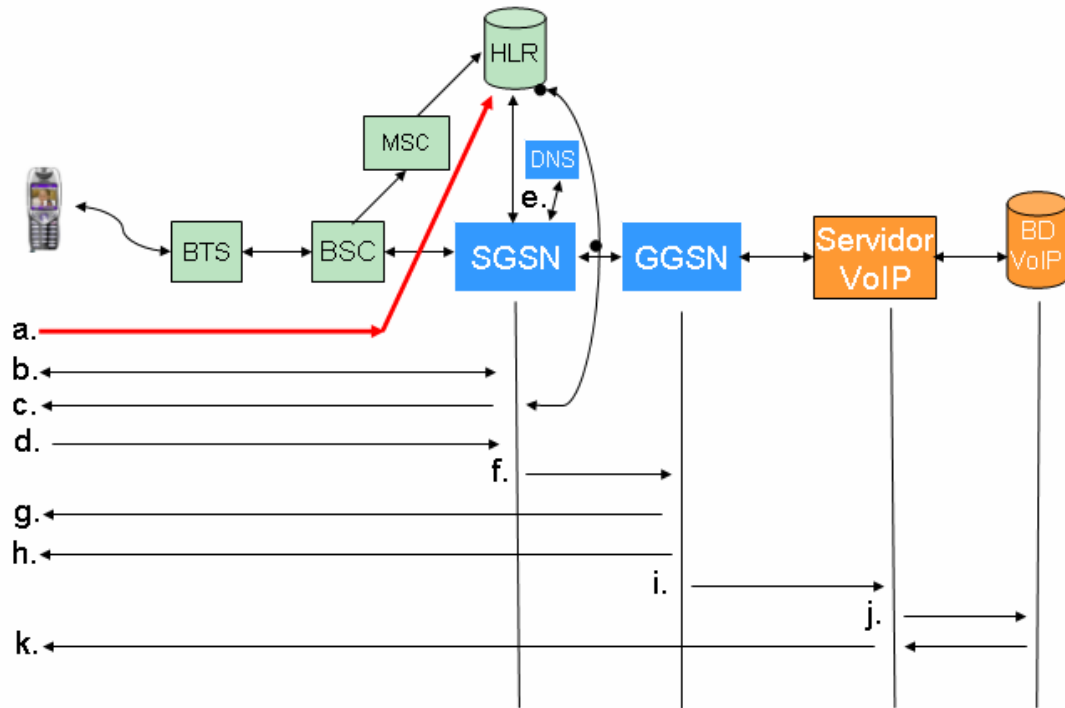
- Teléfonos especiales que soporten VoIP.
- Que el usuario tenga aprovisionado los servicios de GPRS en el HLR de GSM.
- Aprovisionar el servicio de VoIP en la base de datos de la plataforma de VoIP.

Cuando el usuario ya tenga configurado todos los permisos en los equipos de GSM, GPRS y VoIP, éste debe de pasar por el siguiente procedimiento de registraci3n.

- Primero se registra en la Red de GSM bajo el concepto de *IMSI Attach*.
- Luego en la plataforma de datos GPRS utilizando el proceso conocido como *GPRS Attach*.
- Finalmente se registra en la plataforma de VoIP.

En la figura 28 se muestra el procedimiento de registraci3n de un usuario en la plataforma de VoIP.

Figura 28. Proceso de registraci3n en GSM/GPRS/VoIP.



A continuaci3n describir3 lo que se observa en la figura 28

- Primero el tel3fono solicita autorizaci3n para registrarse en la red de GSM. El m3vil enva un mensaje en el cual incluye el IMSI hacia el MSC, el cual se lo reenva al HLR quien es el modulo que se encarga de validar al usuario. El HLR compara la informaci3n con la que tiene almacenada en una base de datos y si el resultado es satisfactorio, el m3vil se registra en la red de GSM. A todo el procedimiento descrito se le conoce como *IMSI Attach*.
- El siguiente paso es registrarse en la red de GPRS. Esto se logra mediante el procedimiento conocido como *GPRS Attach*, en el cual el m3vil enva una solicitud de *GPRS Attach* al SGSN. Dicho mensaje es enviado al HLR, para que se verifique que el usuario cumple con todos los requisitos para poder obtener acceso a la red de datos.

- c. Una vez que el HLR autentique al usuario, el SGSN ya puede asignarle un espacio lógico al móvil para que ya pueda utilizar primeramente el SGSN.
- d. Ahora el móvil envía un mensaje especificando el APN de VoIP al SGSN.
- e. El SGSN le consulta al DNS para que este le indique cual es el GGSN que proporcionará el servicio de VoIP.
- f. El SGSN luego de la consulta al DNS ya conoce cual es el GGSN que esta en la capacidad de abrir un *PDP Context* y por ello le envía la solicitud a dicho GGSN.
- g. El GGSN recibe la solicitud y concede la apertura de *PDP Context* al móvil.
- h. El GGSN envía un mensaje al móvil en el cual especifica la IP que utilizará en cualquier llamada de VoIP que realice.
- i. Ya con el *PDP Context* abierto, el móvil envía una solicitud de registro hacia el conmutador de VoIP utilizando el protocolo SIP. Este mensaje lleva consigo la IP asignada al móvil, MSISDN de la SIM e información referente la celda que le esta brindando así como LAC y RAC. Esta información será utilizada por la plataforma de VoIP, para poder ubicar a los usuarios.
- j. El Conmutador de VoIP envía la IP y MSISDN del móvil a la base de datos, para propósitos de autenticación.
- k. Cuando procede la autenticación, la base de datos (análoga al HLR) le notifica al Conmutador para que éste le confirme al móvil que puede utilizar el servicio de VoIP, mediante un mensaje del protocolo SIP.

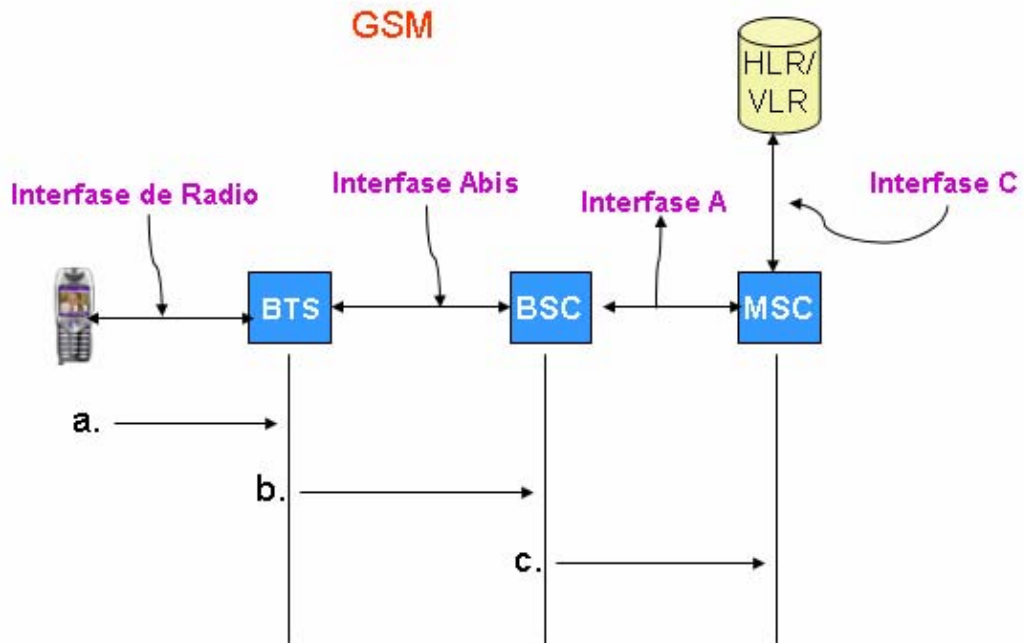
Luego del paso j, el usuario podrá utilizar el servicio de VoIP sin ninguna restricción.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Utilización de ancho de banda en llamada de voz convencional

En Telecomunicaciones, se hace mucho énfasis en la buena planificación del uso del espectro electromagnético ya que cada operador de cualquier parte del mundo tiene asignado un ancho de banda específico para poder transmitir su señal. Dicha banda tiene un límite que depende de la cantidad de usuarios y servicios que maneje un determinado operador celular. A continuación se detallará como es la utilización de este ancho de banda a nivel de *timeslot*, en cada una de las interfaces que maneja GSM para una llamada de voz normal. La discusión se basará en la figura 29.

Figura 29. Utilización de ancho de banda en una llamada de voz en GSM



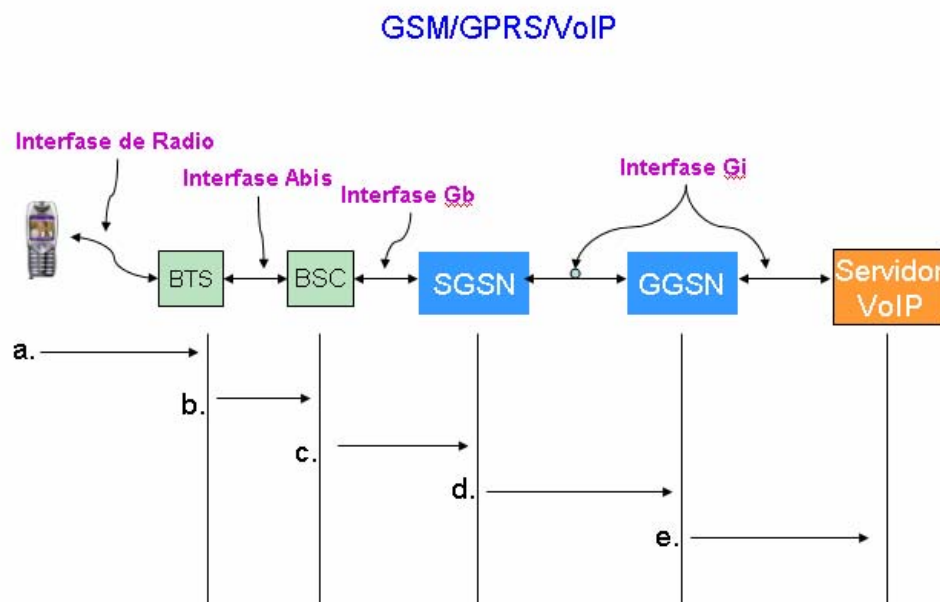
- a. Una BTS transmite la señal electromagnética hacia los móviles, utilizando TDMA como multiplexación para poder proporcionarle el acceso al móvil que así lo desee. La técnica TDMA maneja tramas de 8 ranuras o *timeslots*, de manera que en la interfase de aire un *timeslot* aloja a una llamada de voz.
- b. La interfase *Abis* que comunica a una BTS con el BSC, utiliza enlace E1 como medio de transmisión. A través de un E1 que cuentan con 32 TS, la interfase *Abis* puede manipular 4 llamadas en un solo TS, con la ayuda de codificadores especiales. Esto obedece a que cada TS de un E1 puede manipular una velocidad de 64 Kbps.

- c. La comunicación entre un BSC y un MSC se lleva a cabo mediante la interfase A, la cual también utiliza E1 como medio de comunicación con 32 TS cada uno de 64 Kbps de velocidad. En esta parte es donde se encuentra un tipo de embudo, ya que el MSC solo puede manejar una llamada por TS.

4.2. Utilización de ancho de banda en llamada de VoIP

Cuando un usuario inicia una llamada de VoIP, el móvil o teléfono internamente muestrea la voz que percibe a través del micrófono y luego la subdivide en paquetes de información que enviara hacia la red de GSM, GPRS y VoIP. Para más detalles nos referiremos a la figura 30.

Figura 30. Utilización de ancho de banda para una llamada de VoIP



- a. Una llamada de VoIP utiliza la interfase aire como medio de acceso hacia la BTS. Lo que significa que utiliza uno o varios *timeslots* dedicados a datos. Estos *timeslots* tienen la misma duración en tiempo que los utilizados para una llamada de Voz. Lo que diferencia es de que se configuran exclusivamente para transportar paquetes de información con la ayuda de los canales dedicados a tráfico de datos, tal es el caso de los PDTCH's (*Packet Data Traffic Channels*). Una llamada de VoIP puede ocupar en promedio una taza de 5.6 Kbps lo que significa que un TS puede manejar un mínimo de 2 llamadas simultaneas.
- b. La BTS se comunica con el BSC a través de la interfase *Abis*, la cual puede manejar 4 llamadas de voz en un solo canal del E1. Lo que equivale a manejar 8 llamadas de VoIP en un canal del E1.
- c. La interfase Gb, utiliza tecnología *Frame Relay* para el manejo de los paquetes de información. En este punto el PCU de GSM se comunica con el SGSN para el enrutamiento de los paquetes a través de E1 los cuales pueden manejar hasta 2.048 Mbps.
- d. La interfase Gi, que comunica al SGSN y GGSN esta basada en direccionamiento IP para el transporte de información.
- e. La Gi también se utiliza para la comunicación entre el GGSN y el Servidor de VoIP.

4.3. Comparación de Voz convencional en GSM y VoIP en GSM.

En las figura 31 se encuentra el resumen de las ventajas y desventajas de una llamada de voz convencional versus la llamada de VoIP a través de una red GSM.

Figura 31. Características de una llamada de Voz convencional contra VoIP.

Característica	Voz Convencional	VoIP
Conversación simultanea en dos vías	SI	NO
Utilización del TS asignado	Completo	Parcial
Numero de llamadas por TS en la interfase aire	1	2
Numero de llamadas por TS en la interfase Abis	4	8
Tipo de Teléfono	Normal	Especial
Puede establecer llamadas múltiples	SI	SI
Cantidad de llamadas que puede establecer un usuario	Generalmente 2	1-20 (configurable)
Elementos de Red Necesarios	GSM	GSM/GPRS/VoIP

Uno de los mayores retos de la transmisión de VoIP en una red celular, es la de poder establecer una conversación en ambas vía (*full duplex*), es decir que dos usuarios puedan hablar al mismo tiempo ya que actualmente en dicha tecnología un usuario habla y el otro escucha.

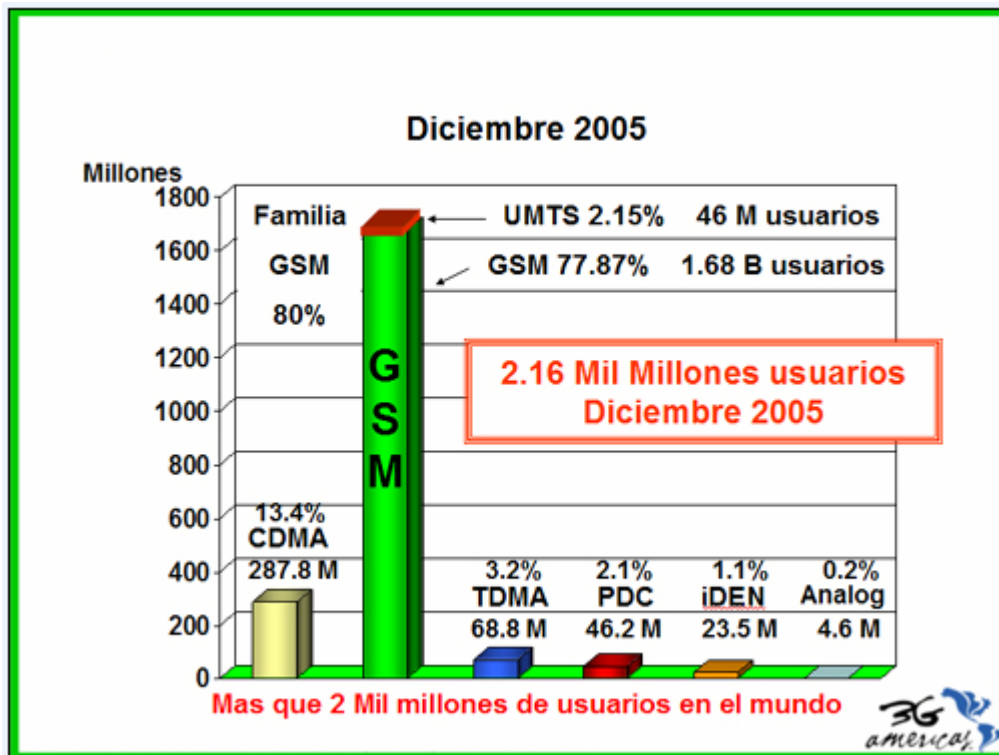
En cuanto a la utilización de un *timeslot*, VoIP aumentaría en un 50% la capacidad de una red. Así mismo un TS de la interfase *Abis* puede manejar el doble de las llamadas de voz convencional de GSM.

Un punto a favor de VoIP es que un usuario puede establecer una conversación con más de una persona al mismo tiempo, sin tener que hacer una nueva marcación. La cantidad de usuarios que puedan escuchar la conversación, es configurable y pueden llegar a un número de 20 personas conectadas simultáneamente.

Como se puede notar, VoIP es una alternativa para las operadoras de redes celulares GSM que desean competir en el mercado en cuanto a servicios nuevos.

Se menciona GSM debido a su crecimiento a nivel mundial por sobre otras tecnologías, este crecimiento se puede notar en la figura 32.

Figura 32. Crecimiento de usuarios móviles mundiales por tecnología.



Fuente: www.3gamerica.org/Spanish/Statistics/

5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

5.1. Justificación

Una red GSM que brinde únicamente servicios de voz a sus usuarios no representa competitividad en la interacción con el avance de la globalización. Es por ello que la mayoría de los operadores de redes celulares han optado por la implementación de plataformas que le brinden la capacidad de ofrecer nuevos servicios. Tal es el caso de GSM que en sus inicios optó por una red de datos basada en circuitos conmutados. En nuestros días la mayoría de operadores tiene instalada y en operación una plataforma de datos la cual tiene como principio de operación la conmutación de paquetes y que es conocida como GPRS. Vale la pena mencionar que GSM al igual que GPRS son tecnologías abiertas lo que significa que su desarrollo puede ser realizado por cualquier científico que reciba el respectivo apoyo económico. Lo anterior ha tenido como recompensa el éxito de GSM sobre otras tecnologías. De manera que técnicamente la implementación de transmitir voz sobre IP en una red GSM es viable ya que esta aplicación necesita de una red GSM y una plataforma GPRS para ser funcional.

Desde el punto de vista de capacidad, en GSM una llamada de voz ocupa todo el *timeslot* aun cuando la persona no este conversando. Con la implementación de un servicio basado en VoIP, la capacidad aumentaría en un 50 por ciento debido a que en un TS se puede enviar hasta dos conversaciones. Un punto importante es la ocupación del TS, ya que éste estará ocupado solo cuando un usuario este conversando y permanecerá libre el resto del tiempo hasta cuando sea requerido.

5.1.1. Procedimiento para la Implementación

La planeación para implementar y proporcionar el servicio de VoIP en GSM conlleva a los siguientes pasos:

- a. A nivel de BTS, definir los TS dedicados al nuevo servicio. O compartir los que ya estuviesen dedicados para tratamiento de paquetes. Lo de compartir se menciona considerando que cuando existe una red GPRS, también existen servicios que son manejados como paquetes de información, por ejemplo MMS, WAP e Internet.
- b. En cuanto a la plataforma de GPRS, se tiene que definir el nuevo APN que identifica al servicio. Además de configurar los elementos de red GPRS, para que puedan interactuar con el nuevo servidor de VoIP.
- c. Aprovisionar a los usuarios tanto en la base de datos de GSM, como en la de la plataforma de VoIP.
- d. Configurar de fábrica a los móviles (teléfonos) para que puedan interactuar con el servicio de VoIP.

5.1.2. Mercado

El paradigma de todo usuario de una red celular en cuanto a una conversación, es la de poder hablar y escuchar al mismo tiempo. Esto da como resultado que la aceptación de un usuario común por el servicio no sea del todo aceptable debido a que los inicios de la transmisión de VoIP sobre GSM solamente permiten hablar o escuchar a la vez. Quizá el mercado que abarque sea en la industria y comercio en donde una persona les podría enviar una notificación al mismo tiempo a varias personas a la vez.

5.2. Análisis de costos

Para determinar si es económicamente factible la implementación del servicio de VoIP, se tomarán los costos de una BTS de tres sectores los cuales podrán manejar por sector un máximo de 7 TS para llamadas de voz o 14 de datos simultáneamente.

Costo de una plataforma de VoIP	\$ 840,000
BTS de 3 sectores	\$ 37,500
Costo inicial de la inversión	\$ 877,500

Asumiendo que una persona habla en promedio 1 minuto y medio, en una hora la cantidad de llamadas que se pueden generar es de:

$$60 \text{ minutos} / 1.5 \text{ minutos} = 40 \text{ llamadas en una hora}$$

Considerando un sector, la cantidad de llamadas que podrá manejar será:

$$40 \text{ llamadas} * 7 \text{ TS} = 280 \text{ llamadas}$$

Asumiendo una ocupación del 60 % del total de la capacidad instalada, tenemos que:

$$280 * .6 = 168 \text{ llamadas por sector}$$

Si el costo por minuto de una llamada es de Q 1.00, se obtiene:

$$168 * 1 = 168 \text{ Quetzales.}$$

Si se visualiza que el comportamiento del tráfico generalmente es de 8:00AM a 5 PM, de lunes a viernes, tendremos 9 horas hábiles por día para generar dinero.

$$9 \text{ horas} * 5 * 168 \text{ quetzales} = 7560 \text{ quetzales/ semana.}$$

Recordando que definimos una celda con tres sectores y que idealmente absorberían el mismo tráfico, obtenemos que el total de dinero generado es:

$$3 \text{ sectores} * 7560 \text{ quetzales} = 22,680 \text{ quetzales/semana}$$

5.2.1. Proyección a 5 años

$$\begin{aligned} \text{Dinero generado} &= 5 \text{ años} * 52 \text{ semanas} * 22,680 \text{ quetzales} \\ &= 5,896,800 \text{ quetzales} \end{aligned}$$

Y se tiene una tasa de cambio del 7.6 por dólar,

$$\begin{aligned} &= 5,896,800 / 7.6 \\ &= \mathbf{775,894.73 \text{ dólares}} \end{aligned}$$

Prediciendo que el comportamiento del tráfico de VoIP se comporte de igual manera que el tráfico de GSM, se obtiene:

$$2 * 775,894.73 \text{ dólares} = \mathbf{1,551,789.47 \text{ dólares}}$$

De acuerdo al análisis realizado, se observa que la implementación del servicio de VoIP es factible tanto técnica como económicamente ya que el valor de la inversión para una sola BTS se recupera en 4 años y 9 meses.

CONCLUSIONES

1. Transmitir Voz sobre IP en GSM requiere de una plataforma de datos, basada en conmutación de paquetes para optimizar la utilización del recurso de hardware y ancho de banda.
2. La transmisión de VoIP a través de una red GSM actual, no es del todo basada en conmutación de paquetes de datos, debido a que las celdas y controladores de celdas aún operan bajo el concepto de conmutación de circuitos para el manejo de datos.
3. Para poder transmitir VoIP a través de una red celular, no es necesario instalar nuevos sitios de celda, ya que, los existentes puede ser utilizados con sólo asignar los *timeslots* necesarios para datos.
4. El protocolo clave para el establecimiento de una llamada de VoIP es el SIP. Este es utilizado en GSM e Internet.
5. Voz sobre IP en GSM permite duplicar la capacidad instalada en el acceso.
6. Voz sobre IP en GSM no permite una comunicación en dos vías simultáneamente, por lo que su mercado de inicio no es la de un usuario común.

RECOMENDACIONES

1. Debido a que una llamada de voz sobre IP se enfrenta a las mismas condiciones de la interfase de aire, se hace necesario garantizar que todo el acceso este lo más limpio posible para evitar que exista pérdida de paquetes, lo que provocaría escuchar la conversación de forma incompleta.
2. GPRS es una plataforma que depende del recurso instalado en las BTS para garantizar una velocidad considerable para la transmisión de datos, es por ello que se debe de analizar cuál debe ser el recurso mínimo y máximo que se le puede brindar a los usuarios de voz sobre IP.
3. La transmisión de voz sobre IP en GSM, se realiza mediante una llamada de datos lo que representa transportar en tiempo real los paquetes hacia los diferentes elementos de la red. Esto hace necesario que se apliquen normas de calidad de servicio en los diferentes elementos de red de GSM y GPRS para garantizar que los paquetes de información referentes a voz, sean tratados como prioridad uno por sobre los demás servicios que se ofrezcan.

BIBLIOGRAFÍA

1. **GSM Americas** <www.3gamericas.org>2005.
2. Hill, Brian. **Manual de referencia Cisco**. 2da Edición. McGraw-Hill. Madrid 2003
3. Huidobro Moya, José Manuel. **Comunicaciones Móviles**. Thomson Paraninfo. España 2002.
4. Motorola, **PoC Operations Maintenance & Administration**. México 2002.
5. Muños Rodríguez, David y otros. **Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal**. Marcombo. México 2002.
6. Nichols, Randall K. y Panos C. Lekkas. **Seguridad para Comunicaciones Inalámbricas**. 2da. Edición. McGraw-Hill. Madrid 2003.
7. Nokia Network, **GPRS System**. Brasil 2002.
8. Nortel Networks. **Helmsman GSM**. USA 2002.
9. **Protocolo SIP** < www.fokus.gmd.de/mobis/siptutorial/>
10. Tisal, Joachim. **La red GSM**. Paraninfo. Dunod, Paris 1999.