

# **SIMULACION DE TRAMAS DE COMUNICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR AMPS Y GSM**

*L. Guerrero-Ojeda, D. Báez-López, V. Alarcón-Aquino, C. Pérez.*

*Universidad de las Américas, Puebla. Depto. de Ingeniería Electrónica.*

*Santa Catarina Mártir Cholula, Puebla, México. A.P. 100. C.P. 72820.*

*Tel. (222) 2-29-26-32. Fax. (222) 2-29-26-06.*

*e-mail: lgojeda@mail.udlap.mx*

## **RESUMEN**

Se presenta un software desarrollado con fines didácticos, el cual realiza simulaciones de las tramas o protocolos de comunicación de dos sistemas celulares, uno analógico (AMPS) y otro digital (GSM). Las tramas de comunicación que se simulan, para AMPS, son: Arranque de la unidad móvil, Llamada de móvil a móvil (en la misma célula y en diferente célula), Llamada de móvil a PSTN, Llamada de PSTN a móvil y Hand-Off. Las tramas de comunicación que se simulan, para GSM son: Inicialización de la unidad móvil, Procesos Básicos en la Administración de una Llamada (Cuatro tramas), IMSI (Dos tramas), Llamada de móvil a móvil (en la misma célula y en diferente célula), Llamada de móvil a PSTN, Llamada de PSTN a móvil, Handover (Dos tramas). El sistema se denomina SITCAG (Simulador de Tramas de Comunicación de AMPS y GSM) y se desarrolló en Visual Basic de Microsoft, Flash de Macromedia y en html. SITCAG se ejecuta en Explorer de Microsoft.

## **LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS**

AMPS:	Advanced Mobile Phone System.
AuC:	Authentication Center
BS:	Base Station.
BSC:	Base Station Controller.
BSS:	Base Station Subsystem.
BTS:	Base Transceiver Subsystem.
CCH:	Control Channels.
Dm:	Control channel
EIR:	Equipment Identity Register.
FOCCH:	Forward Control Channel.
FOVCH:	Forward Voice Channel.
GSM:	Global System for Mobile Communications.
HLR:	Home Location Register
IMSI:	International Mobile subscriber identity
ISDN:	Integrated Services Digital Network
Kc:	Cipher key
LAPDm:	Link Access Protocol on the Dm channel
MSISDN:	Mobile International ISDN Number
MSRN:	A code that is allocated to a Mobile Station.
MSC:	Mobile Switching Center.
MTX:	Mobile Transmission.
MS:	Mobile Station.
PSTN:	Public Switched Telephone Network.
RAND:	Random number to be used as challenge in a challenge response protocol.
RECCH:	Reverse Control Channel.
SFH	Slow Frequency Hopping
SRES:	Signed Response
TCH:	Traffic Channels.
TMSI:	Temporary Mobile subscriber Identity
WCDMA:	Wide Band Code Division Multiple Access

## 1. INTRODUCCIÓN

En los Estados Unidos la planeación de los sistemas de telefonía celular inició a mediados de la década de los 40's, en 1978 se inició el servicio de telefonía celular a modo de prueba y el servicio estuvo comercialmente disponible hasta 1983. Muchos factores tuvieron que ver para el retraso entre la planeación, la prueba y el lanzamiento, entre ellos podemos mencionar que: El desarrollo tecnológico no era suficiente, las compañías telefónicas no estaban interesadas en invertir en este servicio y las regulaciones acerca del espectro, los protocolos y los estándares no se habían realizado [1]. Actualmente la telefonía celular ha adquirido un papel muy importante y en la mayoría de los países, en muchos círculos sociales son considerados indispensables. Es importante mencionar también que los servicios que actualmente ofrece la telefonía celular son muy variados (Voz, datos, video conferencia, etc.) y esto ha sido posible gracias al gran desarrollo tecnológico actual, sin embargo, también ha obligado a que los sistemas celulares evolucionen con mucha frecuencia y constantemente se proponen nuevos: Servicios, estándares, protocolos, sistemas y tecnologías. En muchos planes de estudio, en universidades alrededor del mundo, la telefonía celular ya se imparte como un curso o materia que forma parte de las carreras de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, Telecomunicaciones o carreras afines.

## 2. EL ESTANDAR AMPS

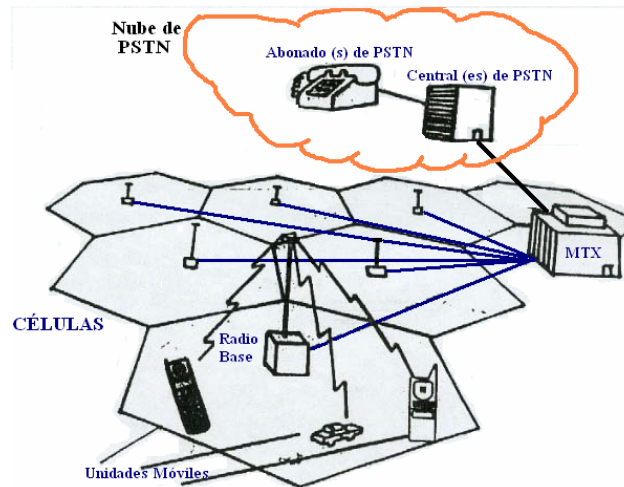
Aunque AMPS actualmente es un sistema de radio celular obsoleto, su importancia radica en que a partir de éste se desarrollaron los sistemas celulares posteriores (y actuales), tanto analógicos como digitales y tiene su antecedente en el sistema STAC (Servicio de Telefonía de Alta Capacidad) desarrollado por AT&T y propuesto a la FCC en 1968 [2]. AMPS se considera un estándar celular analógico ya que el canal de voz utiliza una técnica de modulación analógica (FM) y la técnica de acceso múltiple es FDMA. En la tabla 1 se muestran las principales características de este estándar.

CONCEPTO	PARAMETRO
Técnica de Acceso Múltiple	FDMA
Número Total de canales	832.
Cantidad de Canales de Voz	790
Cantidad de Canales de Control	42
Ancho de Banda de Canal	30 KHz
Cantidad de Canales de Voz Full Dúplex (Foward-Link & Down-Link)	395
Cantidad de Canales de Control Full Dúplex (Foward-Link & Down-Link)	21
Rango de Frecuencias del canal de bajada (Down-Link o Forward-Link)	869 - 894 MHz
Rango de Frecuencias del canal de subida (Up-Link o Reverse-Link)	824 - 849 MHz
Modo de transmisión	Full duplex
Modulación en el canal de Control	FSK
Modulación en el canal de Voz	FM
Velocidad de transmisión de datos en canal de control	10 Kbps
Codificación para la transmisión de datos.	BCH (40, 28) en el canal de bajada. BCH (48, 36) en el canal de subida.

**Tabla 1.** Resumen de las principales características de AMPS.[2, 3, 4]

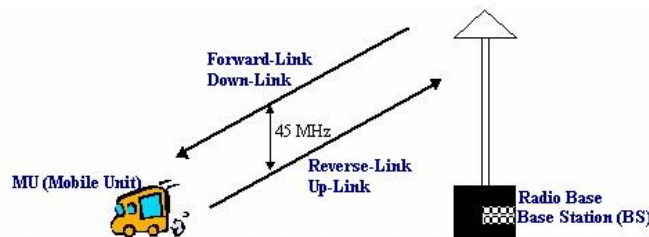
La principal aportación de AMPS a los sistemas de comunicaciones móviles inalámbricas fue el reuso de frecuencias, basado en la división del área de servicio en pequeñas sub-áreas llamadas células, las cuales teóricamente son de forma hexagonal. Ver figura 1 [3].

Los principales elementos de AMPS son: MTX ó MSC, Unidades Móviles, MS, Radio Bases o BS, Elementos de Conexión entre Radio Base y MTX ( $T_1$  ó  $E_1$ ), Conexiones hacia la PSTN, enlace inalámbrico entre BS y MS (Forward-Link & Reverse-Link), ver figura 1.



**Figura 1.** Arquitectura de AMPS.

El canal de comunicación entre la Radio Base y el móvil es un canal de radio formado por dos portadoras, una para Tx y otra para Rx. Conceptualmente se divide en: Forward ó Down Link y Reverse ó Up Link. El Forward-Link se compone de: FOCCH y FOVCH. El reverse Link se compone de: RECCH y REVCH, ver figura 2.



**Figura 2.** Enlaces o “Links” de AMPS.

### 3. EL ESTANDAR GSM

A principios de los 80's surgieron sistemas de telefonía celular en diversas partes del mundo, particularmente en Europa, en países como Francia, Alemania, la región de Escandinavia y el Reino Unido [5]. Cada uno de los países o regiones mencionados desarrollaron su propio sistema de telefonía celular (analógico, de primer generación, 1G), estos sistemas eran incompatibles entre ellos (por diversas razones). Esta situación era indeseable ya que además de que la unidad móvil quedaba limitada a utilizarse en una sola región o país, no era posible ofrecer otro tipo de servicios, como el roaming internacional. Algunos de estos sistemas eran : AMPS, TACS (Total Access Communication System), NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation), NMT (Nordic Mobile Telephone) y C-450 [3]. En Europa se trató de remediar esta situación desarrollando un sistema común denominado actualmente GSM. La CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications) fue quien dio gran impulso al desarrollo de GSM creando, en 1982, lo que se conoció como Groupe Spécial Mobile (GSM) [6].

El objetivo de este grupo de investigación y desarrollo era estudiar y desarrollar un sistema Pan-Europeo de telefonía convencional y móvil, el cual debía cumplir los siguientes criterios:

- Buena calidad de voz
- Bajo costo de las terminales móviles y de servicio
- Soporte de roaming internacional
- Capacidad de asumir nuevos servicios y facilidades
- Eficiencia espectral
- Compatibilidad con la ISDN

Como cualquier sistema de telefonía celular digital, GSM tiene sus principales antecedentes en sistemas analógicos de telefonía celular, los cuales se utilizaron, en la mayoría de los casos, hasta 1992. En 1989 la responsabilidad de GSM fue transferida al ETSI (European Telecommunication Standards Institute) y la fase 1 de las especificaciones de GSM fue publicada en 1990. El servicio comercial dio inicio a mediados de 1991 y para 1993 ya estaban en servicio 36 redes de GSM en 22 países diferentes [6]. Aunque GSM se desarrolló y estandarizó en Europa, actualmente no se utiliza únicamente en Europa. Cerca de 200 redes de GSM (incluyendo DCS1800 y PCS 1900) operan actualmente en 110 países alrededor del mundo. A principios de 1994 ya habían 1.3 millones de usuarios de GSM [6] y para 1997 esta cifra había crecido a 55 millones [6]. Cuando Norte América adoptó GSM, con PCS 1900, GSM pasó a ser un sistema utilizado en los cinco continentes, actualmente el acrónimo GSM significa Global System for Mobile Communications. GSM es un sistema completamente digital, utiliza TDMA como técnica de acceso múltiple y ésta trabaja soportando ocho canales por portadora. Ver la tabla 2.

ESPECIFICACIÓN	RANGO
Método de acceso	TDMA
Bandas de frecuencia	Ver figura 2
Número total de canales	124
Ancho de banda por canal	200 KHz
Modulación	GMSK
Tasa de bit	270.833 Kbps
Filtro	0.3 Gausiano
Codificador del canal de voz	RPE-LTP Convolucional
Duración de un Frame (Interleaving)	4.615 ms

**Tabla 2.** Especificaciones y características del sistema GSM [5, 6, 7].

En diferentes partes del mundo por cuestiones de disponibilidad del respectivo espectro se tienen diferentes asignaciones para el sistema GSM, como se muestra en la tabla 3.

Banda de frecuencia GSM	Bandas disponibles	Disponibilidad
400 MHz	450.4 - 457.6 MHz / 460.4 - 467.6 MHz 478.8 - 486.0 MHz / 488.8 - 496.0 MHz	Europa.
800 MHz	824 - 849 MHz / 869 - 894 MHz	América.
900 MHz	880 - 915 MHz / 925 - 960 MHz	Europa, Asia, Pacífico, África.
1800 MHz	1710 - 1785 MHz / 1805 - 1880 MHz	Europa, Asia, Pacífico, África.
1900 MHz	1850 - 1910 MHz / 1930 - 1990 MHz	América

**Tabla 3.** Bandas de frecuencia de GSM [5, 6, 7].

La arquitectura del sistema GSM es más compleja, pero a la vez eso la hace más robusta y más versátil que la de AMPS y otros estándares analógicos de telefonía celular. Se ha observado que la arquitectura de GSM ha servido como base para el desarrollo de otros estándares como WCDMA [8]. La nomenclatura de GSM también difiere de la de AMPS y se observa que hay elementos “nuevos”, ver figura 3.

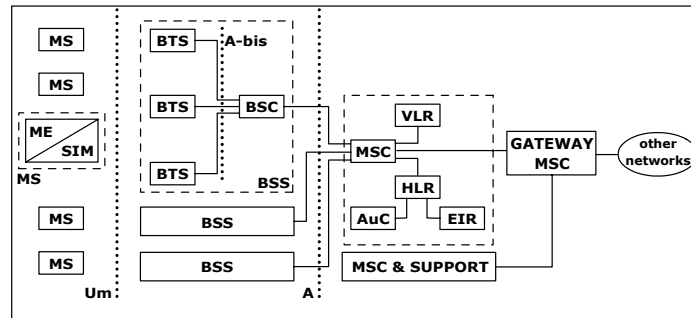


Figura 3. Arquitectura de GSM [5, 6, 7].

### 3.1 Interfaces de GSM [5, 6, 7]

En esta sección se describen brevemente los principales elementos, enlaces e interfaces de GSM [5, 6, 7]:

#### Interfaz Um:

Es la interfaz que existe entre una unidad móvil y la BTS. La capa física de la interfase Um emplea la estructura de TDMA definida para GSM y el enlace de datos está basado en el protocolo LAPDm. Ver figura 3 y sección 2.5.

#### Interfaz A-bis:

Esta es una interfaz entre la BTS y la BSC. Ver figura 3.

#### Interfaz A:

Es la interfaz que existe entre la MSC y la BSC las cuales están conectadas a una capa física, y transmiten datos empleando uno o más sistemas de transmisión a 2048 Kbps, donde los 31 canales de voz y señalización de datos son usados con un canal de sincronización. Ver fig. 3.

### 3.2 La estación Móvil (MS)

El suscriptor que está inscrito dentro de la red de GSM, emplea de forma directa una estación móvil (MS) o unidad móvil para poder recibir y realizar llamadas. La unidad móvil está compuesta de dos partes principales que son: el modulo de identificación del suscriptor (SIM, Subscriber Identity Module). Ver figura 3.

### 3.3 Descripción del subsistema de estaciones base (BSS)

#### El BTS (Base Transceiver Subsystem):

la BSS desarrolla todas las funciones de transmisión y recepción relacionadas con la interfaz de radio de GSM. de cierta forma la BTS puede ser considerada como un radio módem complejo que toma los enlaces de subida que provienen de las unidades móviles. La BTS se compone de transceptores y de controladores y por lo general siempre está localizada en el centro de la célula. una MS se comunica con una BTS por medio de la interfaz de radio Um. ver figura 3. [5, 6, 7]

#### El BSC (base station controller):

Aunque la estación base está relacionada con la transmisión y recepción por la interfase de radio, el manejo de la interfase de radio se lleva a cabo en el controlador de radio bases (BSC). el control de las funciones incluye la asignación de los canales de radio a los móviles en el establecimiento de la llamada, determinando el momento en que un Hand-Over es necesario e identificando la posible nueva estación base que tomará a la unidad móvil, así como controlando la potencia de transmisión de una MS para asegurar que esta potencia sea suficiente para la radio base que le está sirviendo ver figura 3. [5, 6, 7]

### 3.4 Otros elementos de la arquitectura de GSM [5, 6, 7]

#### El EIR (Equipment Identity Register):

el registro de identidad del equipo (EIR) almacena la identidad internacional del equipo móvil, MS, que es usado en el sistema. Un EIR tiene tres diferentes listas: *lista blanca*, *lista negra* y *lista gris*.

#### El AUC (Authentication Center):

El centro de autenticación está asociado con el HLR y almacena la clave de autenticación del suscriptor, Ki, así como su correspondiente IMSI (Internacional Mobile Subscriber Identity), los cuales son introducidos a la unidad en el momento de la suscripción. la clave Ki, es usada para generar la tripleta de parámetros de autenticación (Kc, SRESs y RAND). ver figura 3.

#### El Gateway MSC (GMSC):

Este centro (GMSC) es un MSC que se encuentra ubicado entre una red de PSTN y otras MSC's en la red de GSM. Su función es rutear llamadas entrantes a la MSC's apropiadas. ver figura 3.

#### El VLR (Visitor Location Register):

el VLR constituye una base de datos que almacena y retroalimenta datos de los abonados en roaming, "roamers". Dentro de los datos que se almacenan se encuentran: IMSI, MSISDN, MSRN, TMSI, área local donde el móvil fue registrado, categoría del móvil, última localización, e inicialización del móvil.

#### El HLR:

El HLR contiene los registros permanentes de suscriptores locales. cada perfil de información de un suscriptor es almacenado en un solo HLR y se incluye la siguiente información: IMSI, MSISDN, información de la categoría de la unidad móvil, posibles restricciones de roaming, datos de los miembros de un grupo cerrado (CUG), parámetros de servicios suplementarios y clave de autenticación. el HLR y el VLR también son utilizados en AMPS, aunque los datos que almacenan podrían variar.

### **3.5 Canales físicos de GSM**

Cuando un móvil y una BTS establecen una comunicación, lo hacen en un par específico de portadoras de RF, una es empleada para el enlace de subida (Reverse-Link) y otra es empleada para el enlace de bajada (Forward-Link), esto dentro de una ranura de tiempo de cada "frame" de TDMA consecutivo, ver figura 3. La combinación de las ranuras de tiempo y la portadora de frecuencia dan forma a lo que se conoce como canales físicos. Un canal de RF soporta ocho canales físicos en las ranuras de tiempo que van de la cero a la siete. Por otra parte un *canal lógico* porta la información del tipo específico y número de estos canales que pueden ser combinados antes de ser "canalizados" dentro del mismo canal físico.

### **3.6 Canales lógicos de GSM**

Existen dos tipos de canales en GSM: Canales de Tráfico (TCH) y Canales de Control (CCH). Los canales lógicos son "canalizados" en ranuras de los canales físicos. La transmisión de voz digitalizada es transmitida en los canales TCH, los cuales pueden ser tanto de "full-rate" como de "half-rate" y pueden portar tanto voz digitalizada como datos de los usuarios. En la tabla 4 se muestran los distintos tipos de canales TCH y CCH y en la figura 4 se muestra un frame de GSM [5, 6, 7, 9].

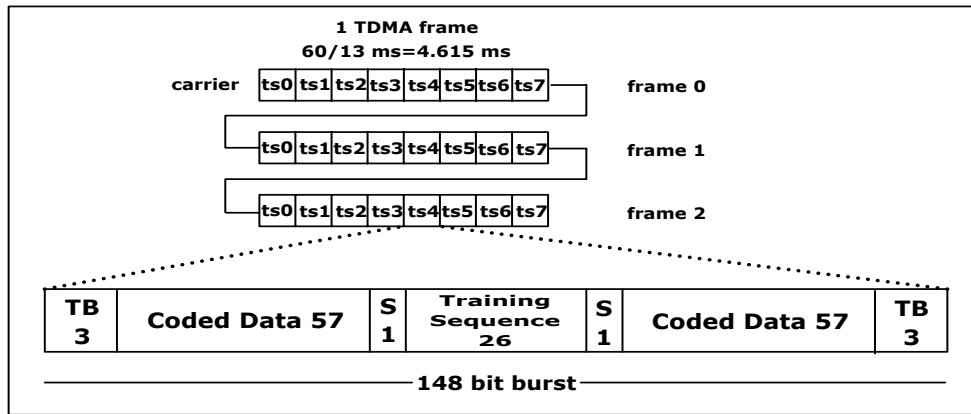


Figura 4. Frame y canales físicos del sistema GSM [5, 6, 7, 9].

Canal	Nombre	Tipo de Direccionamiento
Full Rate Speech Channel	TCH/FS	Forward-Link/Reverse-Link
Full-Rate Data Channel for 9600bps	TCH/F9.6	Forward-Link/Reverse-Link
Full-Rate Data Channel for 4800bps	TCH/F4.8	Forward-Link/Reverse-Link
Full-Rate Data Channel for 2400bps	TCH/F2.4	Forward-Link/Reverse-Link
Half-Rate Speech Channel	TCH/HS	Forward-Link/Reverse-Link
Half-Rate Data Channel for 4800bps	TCH/H4.8	Forward-Link/Reverse-Link
Half-Rate Data Channel for 2400bps	TCH/H2.4	Forward-Link/Reverse-Link
Broadcast Channel	BCCH	Forward -Link
Frequency Correction Channel	FCCH	Forward -Link
Synchronization Channel	SCH	Forward -Link
Paging Channel	PCH	Forward -Link
Random Access Channel	RACH	Reverse-Link
Access Grant Channel	AGCH	Forward -Link
Stand Alone Dedicated Control Channels	SDCCH	Forward-Link/Reverse-Link
Slow Associated Control Channel	SACCH	Forward-Link/Reverse-Link
Fast Associated Control Channel	FACCH	Forward-Link/Reverse-Link

Tabla 4. Canales lógicos de tráfico y de control [5, 6, 7, 9].

### 3.7 Frequency Hopping en GSM

El canal de radio móvil es un canal que presenta desvanecimiento de frecuencia selectivo, lo cual significa que las condiciones de propagación son diferentes para cada frecuencia individual de radio, también se presenta propagación en trayectoria múltiple la cual causa efectos indeseables en la propagación de la señal de RF. Para reducir los problemas de propagación que ocasiona este tipo de fenómenos y de esa manera mejorar la calidad de la señal, se utiliza “Slow Frequency Hopping” (SFH).

La tasa de “hopping” es de 216.7 hops/s el cual corresponde a la duración de un frame de duración. Entonces un móvil transmite a una frecuencia durante una ranura de tiempo y debe saltar a una frecuencia diferente antes de la siguiente ranura de tiempo. SFH también añade diversidad de frecuencias de un canal [6].

### 3.8 Handover

El proceso de handover se define como el procedimiento de transferencia automática de una llamada en progreso a otra célula o sector que se encuentra adyacente a la anterior y esto se puede deber a diferentes causas (movimiento del móvil, administración y mantenimiento, evitar el efecto ping-pong), sin embargo, siempre se dispara el handover debido a la pérdida de potencia en la señal enviada por la unidad móvil a la BSS [4, 5, 6]. En AMPS también se utiliza el Handover y sus propósitos son básicamente los mismos, pero el nombre que recibe

es Hand-Off. Existen tres razones principales para la realización del Hand-off. primeramente se puede utilizar para el rescate de una llamada, la cual solicita una transferencia de célula, si esta transferencia no es ejecutada rápidamente la llamada puede ser perdida. El segundo propósito puede ser reducir la interferencia que una llamada en una célula causa a otra en diferente célula. Como tercer propósito se podría manejar facilitar la congestión de tráfico moviendo algunas llamadas de una célula altamente congestionada a otra con menor tráfico en ese momento.

#### **4. TRAMAS DE COMUNICACIÓN**

Una trama de comunicación es una manera gráfica de ilustrar el desarrollo de los distintos protocolos de los sistemas celulares. En una trama se indican las distintas señales (Solicitudes, respuesta a comandos, “Acknowledge”, Datos, etc.) que se envían entre los elementos que intervienen en el protocolo, también se muestran los elementos (MTX, Unidad Móvil, Radio Base, PSTN); se pueden agregar características y nombres de los enlaces y de los canales utilizados (FOCCH, RECCH, FOVCH, Troncal T<sub>1</sub> o E<sub>1</sub>, etc.)

##### **4.1 Tramas de AMPS.**

Las tramas de comunicación de los protocolos de AMPS son sencillas comparadas con las de GSM, ya que como se ha observado, AMPS tiene menos canales que GSM y en general el sistema AMPS es más sencillo. Los principales protocolos de AMPS son [2, 4]:

- Arranque del móvil.
- Llamada de móvil a móvil que se encuentran dentro de la misma célula.
- Llamada de móvil a móvil que se encuentran en diferente célula.
- Llamada de un móvil a un usuario de PSTN.
- Llamada un usuario de PSTN a un móvil que se encuentra en cualquier célula.
- Hand-Off.

##### **4.2 Tramas de GSM**

Debido a la complejidad de los protocolos y por consiguiente de las tramas de comunicación de GSM, fue necesario crear tramas denominadas básicas (algo equivalente a las subrutinas en programación), las cuales intervienen (“son llamadas”) en tramas más complejas (denominadas avanzadas), las cuales necesitan de las primeras para poder completar cada protocolo. Los protocolos y/o tramas de GSM son [5, 6, 7]:

- Inicialización de la unidad móvil.
- Procesos básicos de la administración de una llamada:
  - Solicitud de conexión.
  - Identificación de la unidad móvil.
  - Autenticación.
  - Encriptamiento.
- IMSI:
  - Sujetación del IMSI
  - Desenlace del IMSI.
- Llamada de móvil a móvil que se encuentran dentro del mismo BSC.
- Llamada de móvil a móvil que se encuentran en diferente BSC.
- Llamada de un móvil a un usuario de PSTN.
- Llamada un usuario de PSTN a un móvil que se encuentra en cualquier célula.
- Protocolos de Handover:
  - Dentro de la misma BSC.
  - En distintas BSC's.



## 5. DESARROLLO DEL SITCAG

Con el fin de permitir que los estudiantes conozcan y entiendan cómo trabajan y cómo se desarrollan los distintos protocolos, así como visualizar qué elementos intervienen en los mismos, se desarrolló una herramienta que permite la visualización del desarrollo de los protocolos en el dominio del tiempo.

Las simulaciones se desarrollaron en MACROMEDIA FLASH MX, ya que era necesario que tuvieran animación. Además, los proyectos desarrollados utilizando Flash pueden visualizarse utilizando Flash Player, el cual se puede conseguir, sin costo, en el sitio Web de Macromedia. Además, pueden visualizarse utilizando un browser de internet, como Microsoft Explorer ó Netscape Navigator.

De esta manera, se puede mostrar al estudiante el funcionamiento y desarrollo de los distintos protocolos como si fuese un intercambio de información entre los distintos elementos que intervienen en el mismo (MS, BTS, BSS, MSC, etc.); también se muestran las vías o enlaces utilizados para este intercambio de información y los canales utilizados (FCCH, RECCH, FVCH, REVCH, Um, Canal de Radio, etc.).

SITCAG es el acrónimo de Simulador de Protocolos de AMPS y GSM. Al utilizar SITCAG los estudiantes también pueden apreciar las diferencias entre los dos sistemas celulares (AMPS y GSM), así como las ventajas y desventajas de cada uno, además de tener una mejor comprensión de:

- Cómo trabaja cada protocolo de comunicaciones utilizado en AMPS y en GSM
- Qué características técnicas requiere cada protocolo: Técnica de Modulación, Ancho de Banda, etc.
- La arquitectura de cada sistema celular.

## 6. RESULTADOS

Los resultados que se muestran a continuación son los de las tramas correspondientes a los protocolos de AMPS, en la figura 5 se observa la simulación de una llamada de móvil a móvil. De la figura 5, se muestran los elementos que intervienen en el mencionado protocolo: MTX, las estaciones móviles, MS, (usuarios A y B) y la radio base.

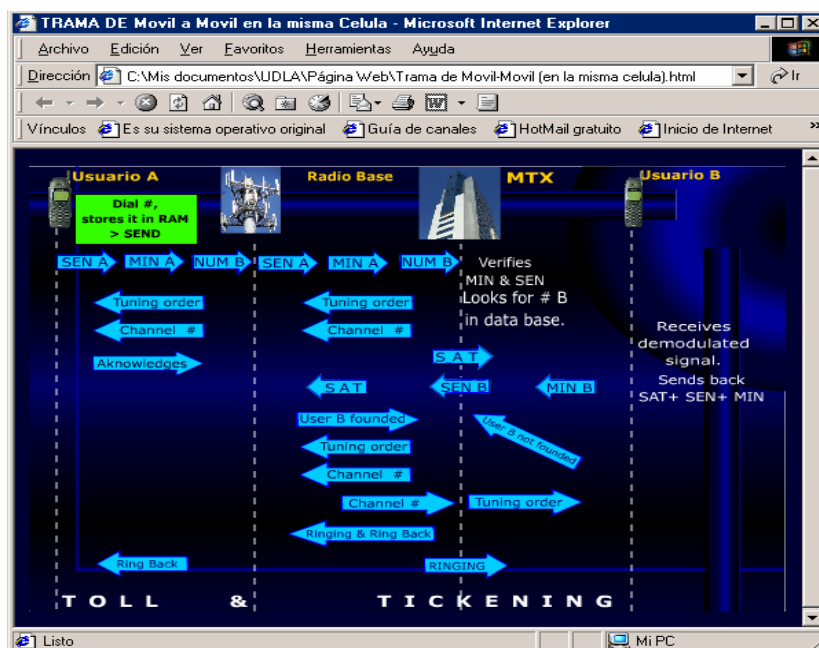
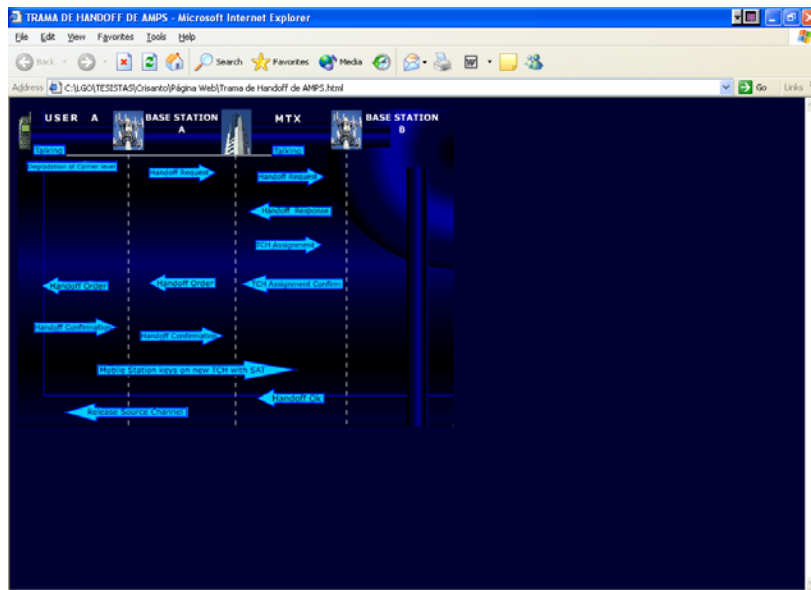


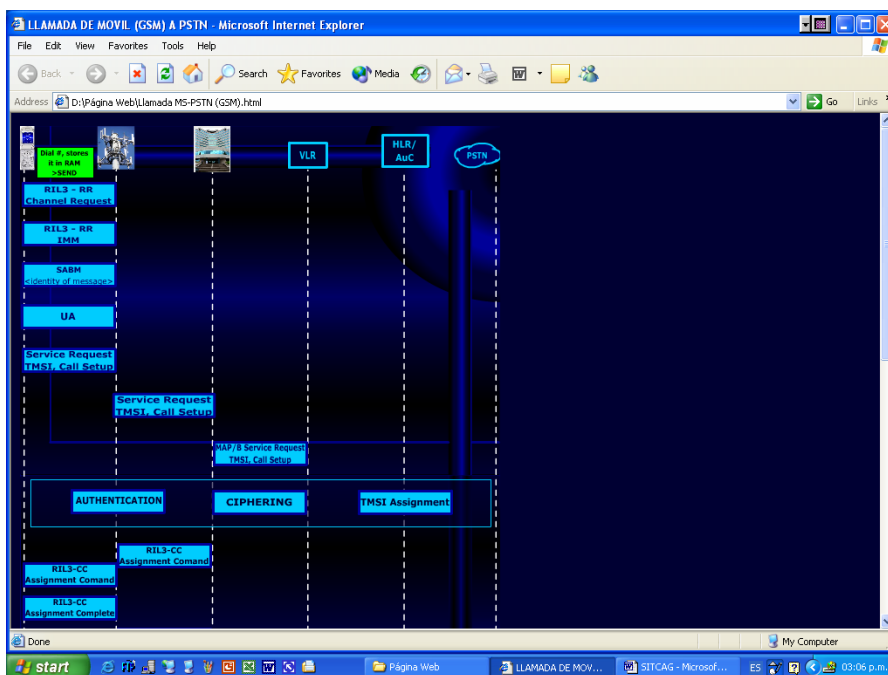
Figura 5. Simulación de la trama de: "llamada de móvil a móvil" en AMPS.

El cuadro que se observa en color verde (figura 5) es interactivo (al igual que los nombres y/o figuras correspondientes a los elementos), ya que al posicionar el “mouse” en él se muestran más detalles como: tipo de enlace (inalámbrico), así como los detalles del mismo (FM ó FSK, 30 Khz, etc.). En la figura 6 se ilustra la trama correspondiente al protocolo de Hand-Off.



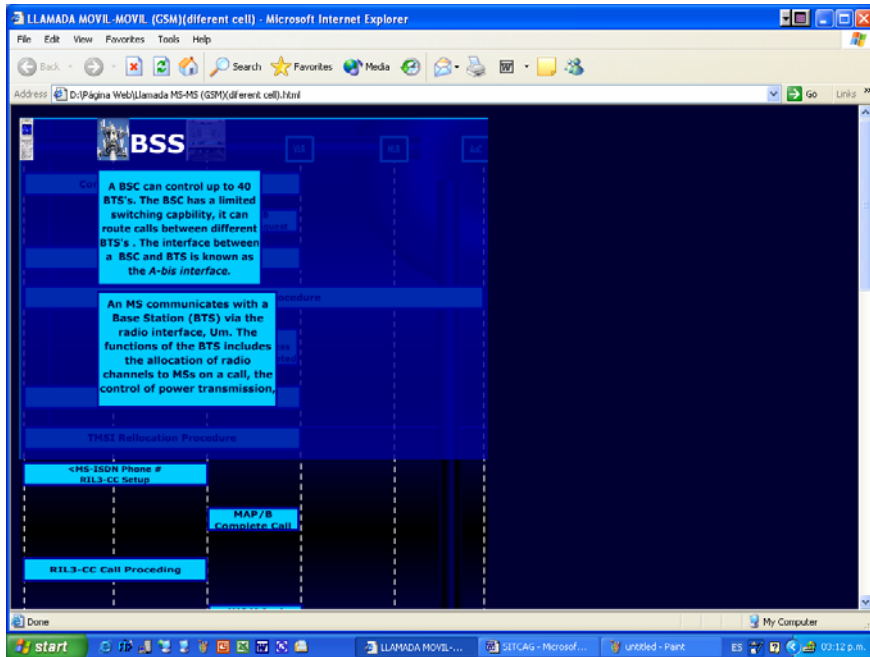
**Figura 6.** Simulación de la trama del Hand-Off en AMPS.

En la figura 7 se muestra la trama correspondiente al protocolo de llamada de móvil a PSTN de GSM.



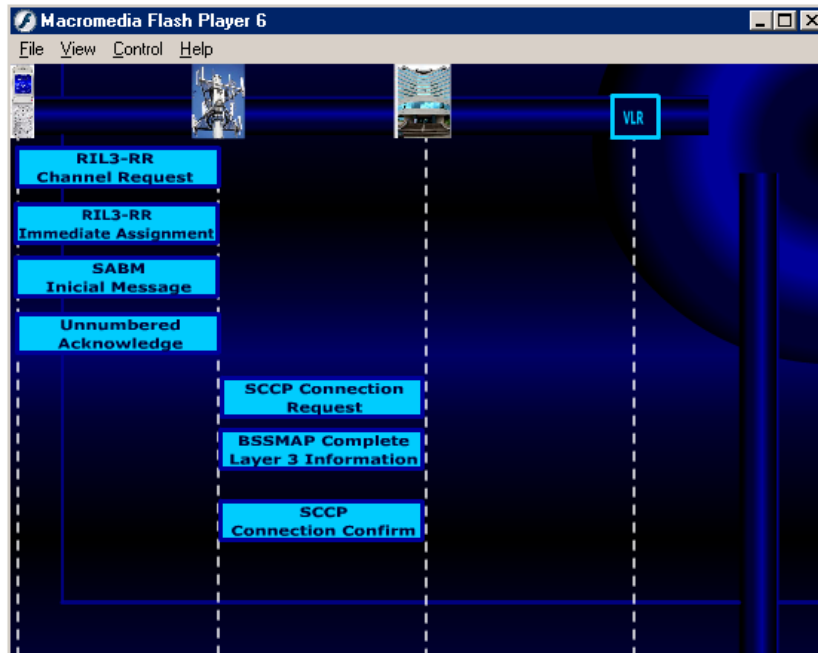
**Figura 7.** Simulación de la trama de: “llamada de móvil a PSTN” en GSM.

En la figura 8 se muestran los comentarios que “aparecen” al colocar el “mouse” sobre la figura de un elemento (interactivo) de la trama. En este caso se muestran los comentarios que “aparecen” al colocar el “mouse” sobre el BSS en la trama “Llamada de móvil a móvil, diferente célula” para GSM.



**Figura 8.** Simulación de la trama: “Llamada de móvil a móvil, diferente célula” para GSM.

En GSM, cada vez que se va a realizar una llamada se requiere de una solicitud de conexión por parte del móvil en donde éste solicita a la BSS un canal que se encuentre disponible para poder llevar a cabo el proceso que haría falta para poder completar el servicio (envío de datos o llamada) que se requiera en ese momento, la BSS asigna un canal al móvil, para después avisarle al MSC de dicha asignación; este proceso se le denomina “solicitud de conexión de un móvil” y es uno de los denominados “procesos básicos”. En la figura 9 se muestra la trama correspondiente a: “solicitud de conexión de un móvil”. Fue necesario desarrollar los procesos básicos, e incluirlos, como una forma de simplificar las tramas (ver conclusiones) ya que debido a la complejidad de GSM, los protocolos y por consiguiente sus correspondientes tramas son excesivamente largas y muy complejas, inclusive no es posible mostrar la trama completa en una sola “pantalla” del monitor de la computadora.



**Figura 9.** Solicitud de conexión de una unidad móvil en GSM.

## 7. CONCLUSIONES

El simulador (SITCAG) se utiliza desde internet explorer, por lo tanto, puede ser accesado desde una página o portal web. Se presenta un menú de inicio en donde se le da la opción al usuario de elegir ña simulación de las tramas de AMPS o las de GSM, en el subsecuente submenú puede elegir simular cualquiera de las tramas de AMPS o GSM. Las tramas tienen animación y se van desarrollando en el orden secuencial en el que ocurren; en cada paso o etapa de la trama (animación) se incluyen los datos pertinentes a cada caso, por ejemplo:

- **Tipo de enlace:** a) inalámbrico (para la comunicación entre Radio Base y móvil o entre BSC-BTS y móvil) o b) de troncal (para el caso de la comunicación entre el MTX y la Radio Base o entre el MSC y la BTS),

- **Tipo de modulación utilizado** (para el caso de las comunicaciones inalámbricas),

- **El canal utilizado** (Forward-Link, Reverse-Link, de Voz, de Control, de Acceso, etc).

Esto se lleva a cabo utilizando la “sensitividad/Interactividad” de las figuras o nombres correspondientes a los mensajes de cada etapa, es decir, al colocar el “mouse” de la computadora sobre ellas se despliegan comentarios y datos complementarios acerca del objetivo de esa etapa y de las características técnicas de la misma, por ejemplo se indica si el enlace es del Forward-Link o del Down-Link, la velocidad del enlace para el caso de los canales digitales (tanto alámbricos como inalámbricos), los datos que se envían (SEN, MIN, Acknowledge, etc).

Las animaciones fueron realizadas con fines didácticos, para emplearse como auxiliar de un curso impartido en la Universidad de las Américas, Puebla, en la República Mexicana (<http://gente.pue.udlap.mx/~lgojeda/apuntes/sistcom/ie472home.htm>) y al desarrollarlas como usuario se pueden notar claramente las diferencias marcadas que existen entre AMPS y GSM, una de ellas es que AMPS no cuenta con una protección en cuanto a encriptamiento de las conversaciones como lo hace GSM.

En el presente documento se realizó una introducción mucho más amplia para GSM debido a que es un sistema de reciente introducción en México y que se utiliza como estándar de telefonía celular de 3G [9].

Se ha implementado una serie de herramientas que antes no existían, por ejemplo, se crearon los ”procesos básicos”, los cuales son utilizados como etapas independientes en el desarrollo de los distintos protocolos de GSM: la autenticación de la unidad móvil, la solicitud de conexión, los métodos de encriptamiento, para cerciorarse de que la transmisión pueda ser lo mas confiable.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. K. GARG, *Wireless Network Evolution*, Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA. 2002.
- [2] W. TOMASI, *Electronic Communication Systems*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey., 2001.
- [3] T. S. RAPPAPORT, *Wireless Communications, Principles and Practice*. Prentice-Hall, USA, 2002.
- [4] S. FARUQUE, *Cellular Mobile Systems Engineering*, Artech House Publishers, USA, 1997.
- [5] A. MEHROTRA, *GSM System Engineering*. Artech House Publishers, USA, 1997.
- [6] V. K. GARG, WILKES, J. E., *Principles & Applications of GSM*. Upper Saddle River, New Jersey, USA. 1999.
- [7] S. M. REDL, M. K. WEBER, M. W. OLIPHANT, *An Introduction to GSM*, Artech House Publishers, USA, 1995.
- [8] J. KORHONEN, *Introduction to 3G Mobile Communications*. Artech House Publishers, USA, 2001.
- [9] R. STEELE, C. LEE, AND P. GOULD, *GSM, CDMAONE and 3G Systems*, John Wiley & Sons LTD, West Sussex, England, 2001.
- [10] C. PÉREZ, *Simulation of Protocols for AMPS and GSM*, B.S. Thesis, Universidad de las Américas,( in spanish), México, 2003.