



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.
Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**Implementación de un sistema de ubicación y discernimiento entre
tecnología celular GSM y satelital para el seguimiento de unidades móviles**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que
presenta el bachiller:**

CESAR ANTONIO SHIMABUKO SHIMABUKURO

ASESOR: MARCO MAYORGA MONTOYA

LIMA – PERÚ

Lima, junio de 2010

Resumen

El presente proyecto de tesis propone la implementación de un sistema de rastreo alternativo a los existentes en el mercado. Esta propuesta se da debido a que los sistemas de rastreo de vehículos actuales basados en transmisión satelital tiene un costo operativo alto, mientras que los basados en transmisión por la red celular tienen un costo operativo bajo, pero se encuentran limitados a la disponibilidad del servicio celular.

Por ello se plantea la alternativa de integrar estas dos tecnologías de transmisión formando un sistema de bajo costo, pero a la vez confiable.

Para la implementación de este proyecto se ha hecho uso de las tecnologías de comunicación celular GSM y satelital, adicionalmente al Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Además para la programación del equipo se realizó mediante lenguaje de programación Java junto con comandos de comunicación ATcommands.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES

- Título : Implementación de un sistema de ubicación y discernimiento entre tecnología celular GSM y satelital para el seguimiento de unidades móviles
- Área : Tecnologías flexibles 82
- Asesor : Ing. Marco Mayorga Montoya
- Alumno : Cesar Antonio Shimabuko Shimabukuro
- Código : 20052180
- Fecha : 20 de enero de 2010



Descripción y Objetivos:

Descripción:

El presente proyecto de tesis plantea la elaboración del planteamiento, diseño e implementación de un sistema de rastreo de móviles, por medio de las tecnologías GSM, satelital y GPS, con el fin de brindar un servicio de seguridad eficiente, innovador, de menor costo y alternativo a los existentes.

Objetivos:

El objetivo de esta tesis es la creación de un sistema de rastreo de móviles el cual combine la confiabilidad de la transmisión satelital y el bajo costo de la comunicación mediante la red celular, a fin de hacer más accesible este servicio a mayor cantidad de usuarios.

PONTIFICA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Especialidad de Ingeniería de las Telecomunicaciones


Ing. LUIS ANGELO VELARDE CRIADO
Coordinador


Daniel Torrealva Dávila
Decano



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES

Título : Implementación de un sistema de ubicación y discernimiento entre tecnología celular GSM y satelital para el seguimiento de unidades móviles

Índice:

Introducción

1. Marco teórico

2. Propuesta tecnológica

3. Diseño técnico

4. Implementación del sistema

5. Pruebas del sistema

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Especialidad de Ingeniería de las Telecomunicaciones

Ing. LUIS ANGEL VELARDE CRIADO
Coordinador



Agradecimientos

A mi familia por el constante apoyo brindado y la confianza depositada para lograr mi desarrollo personal.

A todas las personas con las que he podido compartir esta etapa universitaria de los cuales he logrado aprender mucho.

A mi asesor en Ingeniero Marco Mayorga por el apoyo brindado en todo momento.

A mis compañeros con los cuales he podido compartir en todo este tiempo.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABLAS	IX
CAPITULO 1.....	11
MARCO TEÓRICO	11
1.1 <i>Evolución de las tecnologías de comunicación móvil.....</i>	11
1.1.1 <i>Primera Generación (1G).....</i>	12
1.1.2 <i>Segunda Generación (2G).....</i>	15
1.1.3 <i>Generación 2.5 (2.5G)</i>	21
1.1.4 <i>Tercera Generación (3G)</i>	24
1.2. <i>Sistema de posicionamiento Global.....</i>	26
1.2.1 <i>Funcionamiento de los sistemas GPS.....</i>	26
1.3. <i>Sistema de comunicación Satelital</i>	29
1.4. <i>Lenguaje de programación Java y Comandos AT.....</i>	34
CAPÍTULO 2.....	35
PROPIUESTA TECNOLÓGICA.....	35
2.1. <i>Problemática.....</i>	35
2.1.1 <i>Definición del Problema</i>	35
2.1.2 <i>Justificación</i>	36
2.2 <i>Análisis comparativo del costo de la red celular y el ancho de banda satelital ...</i>	36
2.2.1 <i>Ancho de banda satelital</i>	36
2.2.2 <i>Red celular</i>	37
2.3. <i>Propuesta de diseño.....</i>	39
2.4. <i>Estudio de cobertura y tecnología celular en el país.....</i>	40
2.5. <i>Estudio y elección de los equipos en el mercado.....</i>	42

CAPÍTULO 3.....	44
DISEÑO TÉCNICO	44
3.1. <i>Arquitectura del sistema</i>	44
3.2. <i>Parámetros y variables del sistema</i>	47
3.3. <i>Módulo de decisión</i>	49
CAPÍTULO 4.....	51
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	51
4.1. <i>Configuración de módem y PC</i>	52
4.2. <i>Comandos AT</i>	54
4.3. <i>Programación</i>	57
4.3.1. <i>Subprograma timer</i>	57
4.3.2. <i>Subprograma de envío de comandos AT</i>	58
4.3.3. <i>Subprograma GPS</i>	58
4.3.4. <i>Subprograma de envío de SMS</i>	59
4.3.5. <i>Subprograma de lectura de URC's</i>	59
4.3.6. <i>Subprograma de monitoreo de nivel de señal</i>	59
4.3.7. <i>Programa principal</i>	60
CAPÍTULO 5.....	61
PRUEBAS DEL SISTEMA.....	61
5.1. <i>Pruebas por módulos</i>	61
5.2. <i>Pruebas del sistema</i>	64
5.2.1. <i>Pruebas de manera estática con buena calidad y señal de celular</i>	64
5.2.2. <i>Pruebas de manera estática con mala calidad y señal de celular</i>	67
5.2.3. <i>Pruebas de manera móvil</i>	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
Conclusiones	71
Recomendaciones	72
Trabajos futuros.....	73

Lista de Figuras

<i>Figura 1-1: Evolución de los sistemas de telefonía móvil.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 1-2: Arquitectura de una Red AMPS.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 1-3: Factor de reuso de frecuencias respecto al valor D/R</i>	<i>14</i>
<i>Figura 1-4 Arquitectura de una Red GSM</i>	<i>17</i>
<i>Figura 1-5 Proceso de codificación estación-equipo móvil</i>	<i>19</i>
<i>Figura 1-6 Proceso de codificación equipo móvil-estación</i>	<i>20</i>
<i>Figura 1-7 Arquitectura de una Red CDMA</i>	<i>21</i>
<i>Figura 1-8 Arquitectura de la plataforma GPRS</i>	<i>23</i>
<i>Figura 1-9 Conexión entre el SGSN y el GGSN</i>	<i>24</i>
<i>Figura 1-10 Arquitectura UTRAN.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 1-11 Determinación de la posición respecto de un solo satélite.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 1-12 Determinación del lugar geométrico de la posición</i>	<i>27</i>
<i>Figura 1-13 Determinación de la posición por medio de la triangulación</i>	<i>28</i>
<i>Figura 1-14 Error producido por la perdida de sincronismo</i>	<i>29</i>
<i>Figura 1-15 Orbitas de los satélites</i>	<i>30</i>
<i>Figura 1-16 Red de acceso único</i>	<i>31</i>
<i>Figura 1-17 Red de acceso múltiple mediante FDMA.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 1-18 Red de acceso múltiple mediante TDMA.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 1-19 Equipamiento básico de un sistema TDMA</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2-1 Diagrama de flujo del sistema de transmisión</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3-1 Arquitectura del sistema de Transmisión.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3-2 Arquitectura del sistema de rastreo</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3-3 Formato de posición.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3-4 Gráfica de los niveles de RSSI.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3-5 Diagrama de flujo del módulo de decisión</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4-1 Interfase del módulo de intercambio.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4-2 Configuración para el uso del puerto serial</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4-3 Configuración del puerto serial.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 4-4 Configuración del puerto serial.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5-1 Verificación del número de satélites sincronizados</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5-2 Captura de posición del modem.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5-3 Prueba de envío de mensajes de texto</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5-4 Prueba testeo del nivel y calidad de señal de la red celular.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5-5 Inicio de ejecución del programa principal.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 5-6 Inicio de ejecución del programa principal.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 5-7 Envío de la información por medio de la red celular</i>	<i>66</i>
<i>Figura 5-8 Mensaje recibido desde nuestro sistema de rastreo por la red GSM.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 5-9 Mensaje recibido desde nuestro sistema de rastreo por puerto serial</i>	<i>67</i>
<i>Figura 5-10 Resultados en el GIS en los primeros minutos de la prueba</i>	<i>68</i>
<i>Figura 5-11 Resultados en el GIS luego de la sincronización de satélites.....</i>	<i>69</i>

Lista de tablas

Tabla 1-1 Comparación tecnologías 2G y 3G	22
Tabla 1-2 Bandas para comunicaciones satelitales	33
Tabla 2-1 Planes tarifarios Globalstar.....	37
Tabla 2-2 Planes tarifarios Movistar	38
Tabla 2-3 Planes tarifarios Claro	38
Tabla 2-4 Densidad de líneas cada 100 habitantes.....	41
Tabla 2-5 Número de distritos con cobertura.....	41
Tabla 2-6 Cantidad de MMS y SMS enviados	43
Tabla 3-1 Relación Frecuencia de envío vs Velocidad	47
Tabla 3-2 Valores de referencia RSSI	48
Tabla 3-3 Valores de referencia BER	49
Tabla 4-1 Respuestas relacionadas al comando PIN	55
Tabla 4-2 Tipos de mensajes SMS.....	56
Tabla 4-3 Valores para el parámetro action del GPS.....	56
Tabla 4-4 Valores para el parámetro OpenMode del GPS.....	57

Introducción

El presente proyecto consiste en la elaboración del planteamiento, diseño e implementación de un sistema de rastreo de móviles con el fin de brindar un servicio de seguridad eficiente, innovador, de menor costo y alternativo a los existentes.

Este propósito contempla el uso de un sistema transmisor acoplado en el móvil a rastrear, que maneje la tecnología GPS (Sistema de Posicionamiento Global) que permitirá la obtención del posicionamiento del móvil, y un sistema de discernimiento entre las tecnologías GSM (Sistema Global de Comunicaciones Móviles) y satelital para el envío posterior de la información de manera automática y predefinida a un receptor, haciendo uso de la tecnología más adecuada de acuerdo a las condiciones de cobertura de la red GSM a utilizar, que será la tecnología usada por defecto. Esto se debe a que el uso de la tecnología GSM contempla un costo económico mucho menor que la tecnología satelital, por lo que se lograría abaratar los costos en servicio.

El uso de la tecnología GSM en este proyecto se debe a que esta tecnología integra diversos servicios tales como el acceso a Internet, conexión remota a computador, recepción y envío de e-mail, acceso a una red corporativa, envío de mensajes cortos (SMS) y por supuesto telefonía. Es por esta gran ductilidad que ofrece esta tecnología que ha sido elegida como la más conveniente para la implementación de esta aplicación.



Capítulo 1

Marco Teórico

1.1 Evolución de las tecnologías de comunicación móvil

Las comunicaciones móviles como las conocemos hoy en día han pasado por diversas etapas de mejoras, es así que actualmente podemos diferenciar las diversas etapas de la evolución de la tecnología en las comunicaciones móviles. Podemos apreciar en los años 1970's la aparición de la Primera Generación Celular con la tecnología AMPS (Advance Mobile Phone Service) usando un sistema analógico. A inicios de los años 1990 apareció la Segunda Generación Celular ya con un sistema digital que utiliza la tecnología CDMA (Code Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access) y GSM (Global System for Mobile Communication). Y por último, hoy tenemos en nuestro país la Tercera Generación, la cual brinda una mejor calidad y una mayor velocidad en la transmisión de datos en comparación a los sistemas de Segunda Generación haciendo uso de las tecnologías WCDMA (Wideband CDMA), CDMA 2000, TD-SCDMA (time division-synchronous CDMA), UWC-136 y DECT [Col2001] [Cur2002]

En la siguiente Figura 1-1, se aprecia de manera gráfica la evolución de los sistemas celulares.

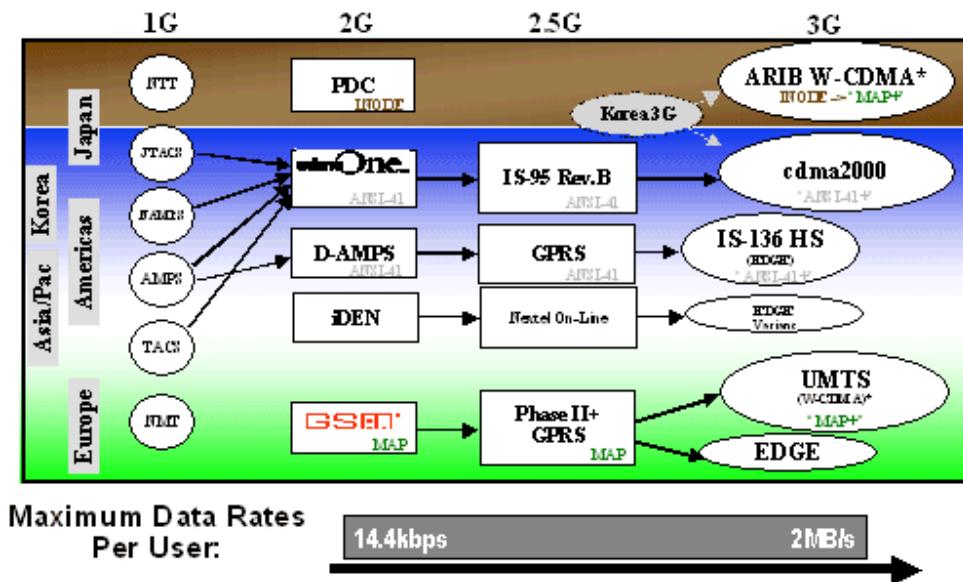


Figura 1-1: Evolución de los sistemas de telefonía móvil

Fuente: Wireless Internet Network Communications Architecture[IEC2007]

A continuación veremos las diversas generaciones de las comunicaciones móviles haciendo hincapié en las tecnologías que utilizan cada una de ellas y además hacer una breve explicación del funcionamiento de dichas tecnologías.

1.1.1 Primera Generación (1G)

La Primera Generación de la telefonía celular utilizaba las tecnologías Advanced Mobile Phone System (AMPS) y Total Access Communication Services, las cuales operaban en las bandas de 800 MHz y 900 MHz.

Cabe resaltar que esta generación utilizaba un sistema analógico para la transmisión de la señal digital. Además todas las tecnologías de esta generación hacían uso del Time Division Multiple Access (TDMA).

La arquitectura que se desarrolla en la Primera Generación celular es dividida en tres partes como se muestra en la Figura 1-2.

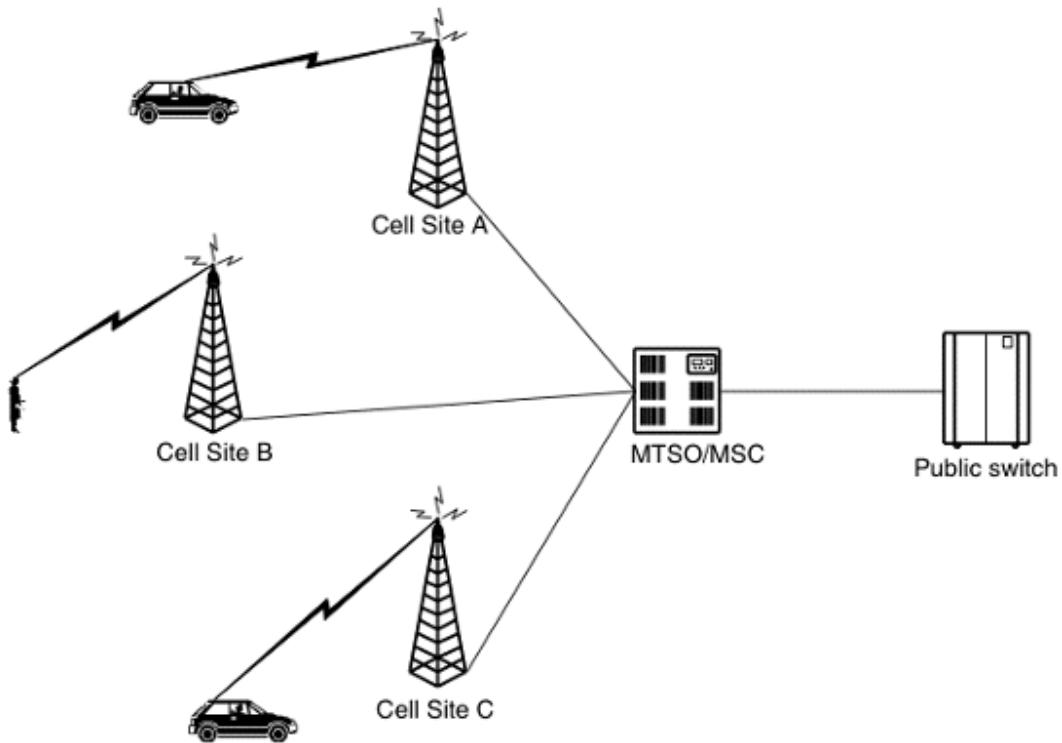


Figura 1-2: Arquitectura de una Red AMPS

Fuente: 3G Wireless Networks [Col2001]

- Como primera parte tenemos a los usuarios con sus respectivos equipos móviles, los cuales producirán el tráfico y se comunicarán por medios inalámbricos con la estación base.
- Como segunda parte tenemos a las estaciones en las cuales se da una transmisión vía radio mediante una configuración full-duplex entre el usuario y la estación. Es de esta forma que la estación recepciona la información del usuario, le da un formato de tramas E1 ó T1 y la envía al MTSO/MSC por un medio físico o un medio inalámbrico. A la vez este proceso se realizará de manera inversa para la comunicación entre el MTSO/MSC y el usuario.
- Como última parte de nuestro sistema, tenemos al Mobile Telephone System Office (MTSO) el cual interconecta diversas celdas o estaciones. El MTSO tiene como función realizar el procesamiento de las comunicaciones y de servir como gestor de todas las comunicaciones. De esta manera el MTSO debe encargarse de mantener la base de datos con las llamadas realizadas por el cliente,

actualizar y verificar su estado y realizar la interconexión de las comunicaciones de los usuarios a su propia red o a la PSTN.

Esta generación de tecnología celular también hacía uso de conceptos como el Handoff, gracias al cual se puede dar el proceso de transferencia de canal dentro o fuera de la misma estación sin perder la comunicación.

También hace uso del concepto del reuso de frecuencias gracias al cual se puede utilizar el mismo grupo de frecuencias en muchas estaciones sin producir una interferencia en las otras comunicaciones. El valor de la interferencia entre frecuencias iguales se da gracias al valor de C/I (Carrier to interference), el cual debe ser como mínimo de 17dB. A la vez, también se debe establecer un factor de reuso de frecuencias el cual es hallado gracias a la relación entre el radio de cobertura de la estación y la distancia hacia las estaciones (D/R) que utilizarán el mismo juego de frecuencias. En la Figura 1-3, se muestra los valores de distancias que se deben de tomar y una tabla que relaciona los valores de D/R y el factor de reuso. [Col2001]

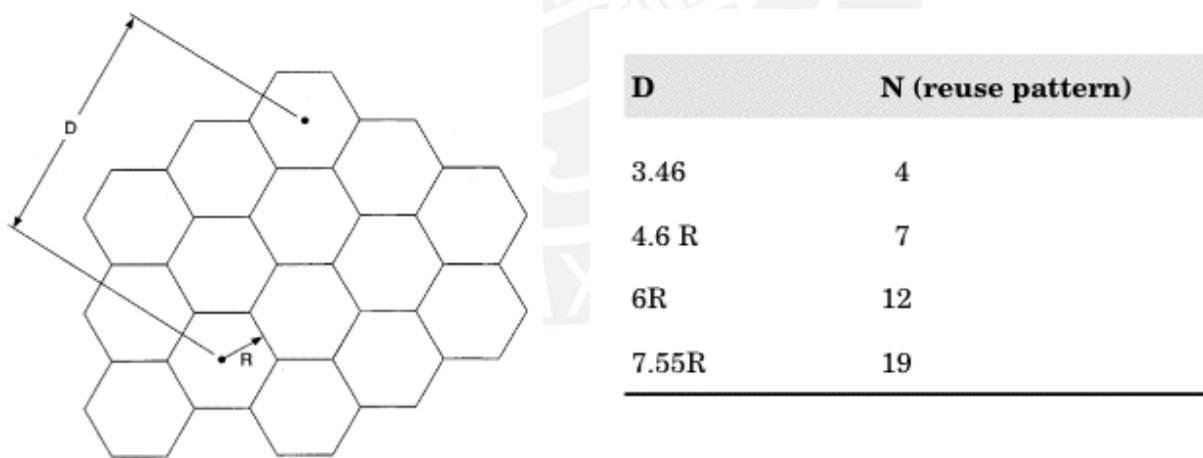


Figura 1-3: Factor de reuso de frecuencias respecto al valor D/R

Fuente: 3G Wireless Networks [Col2001]

1.1.2 Segunda Generación (2G)

La segunda generación celular creada a mediados de los años 1980's, tiene una velocidad de transmisión de datos de 9.6 Kbps la cual era más que suficiente para las aplicaciones y servicios que existían hasta ese momento.

Dentro de las tecnologías más resaltantes de la Segunda Generación tenemos a Global System for Mobile Communications (GSM) y Code Division Multiple Access (CDMA), las cuales pasaremos a detallar luego. [Bat2002] [Col2001]

1.1.2.1 Global System for Mobile Communications (GSM)

GSM es un estándar europeo de sistemas celulares digitales. La comunicación mediante esta tecnología hace uso de canales de radio con un ancho de banda de 200KHz para una portadora de información. Además aunque esta tecnología fue originalmente creada para operar en la banda de 900 MHz también puede trabajar en diversas frecuencias como de 1800 y 1900 MHz.

La arquitectura básica de una red GSM esta conformada por los siguientes elementos:

- La estación móvil que esta conformado por dos elementos el equipo móvil (Mobile Equipment, ME), el cual cuenta con un IMEI para su identificación y la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) la cual es una pequeña tarjeta en la cual se almacena toda la información del usuario.
- Como segundo elemento de nuestra arquitectura de red tenemos a la Base Transceiver Station (BTS), la cual provee la interconexión entre el usuario y la red celular a través de la una interfase aérea. La BTS tiene como elemento más importante al transceptor o transceiver el cual es capaz de realizar la transmisión y recepción de datos a través de un circuito.
- Como tercer punto importante tenemos al Base Station Controller (BSC). Este elemento esta conectado a una o varias BTS y provee de diversas funciones relacionadas al control de recursos de radio, al manejo del área de cobertura de las estaciones, configuración de tráfico soportado por la red de la estación entre otras. El sistema conformado por la unión de la BTS y la BSC se le llama Base Station Subsystem (BSS).

- Como cuarto elemento de la red tenemos al Mobile Switching Center (MSC), el cual está conectado al BSC por medios alámbricos o inalámbricos. El MSC tiene como función principal la conmutación de llamadas así como el enrutamiento de éstas. Además el MSC contiene bases de datos llamadas VLR (Visitor Location Register) las cuales contienen la información de una parte de todos los usuarios.

Adicionalmente, conectados al MSC tenemos diversas bases de datos tales como el HLR (Home Location Register), el cual también es una base de datos pero con todos los usuarios, el EIR (Equipment Identity Register) contiene la lista de todos los IMEI habilitados para realizar llamadas y los IMEI a los cuales no se les debe brindar servicio. Por último tenemos al AUC (Authentication Center) el cual realiza la verificación de los datos del usuario con respecto de la información del SIM mediante algoritmos.

Además el MSC se conecta con un GMSC (Gateway MSC) para poder salir a otras redes como la PSTN.

Otro elemento que tenemos es el SMSC (Short Message Service Center), el cual realiza el envío y recepción de los mensajes cortos. Estos mensajes típicamente no pueden exceder los 160 caracteres, este elemento también es el encargado de brindar otros servicios como el de e-mail y el de buzón de voz.

Por último tenemos al IWF (Interworking Function), el cual funciona como un módem capaz de soportar servicios de data y fax a una velocidad de subida de 9.6 Kbps.

En la Figura 1-4, se muestra la interconexión entre los diversos elementos de red del sistema GSM.

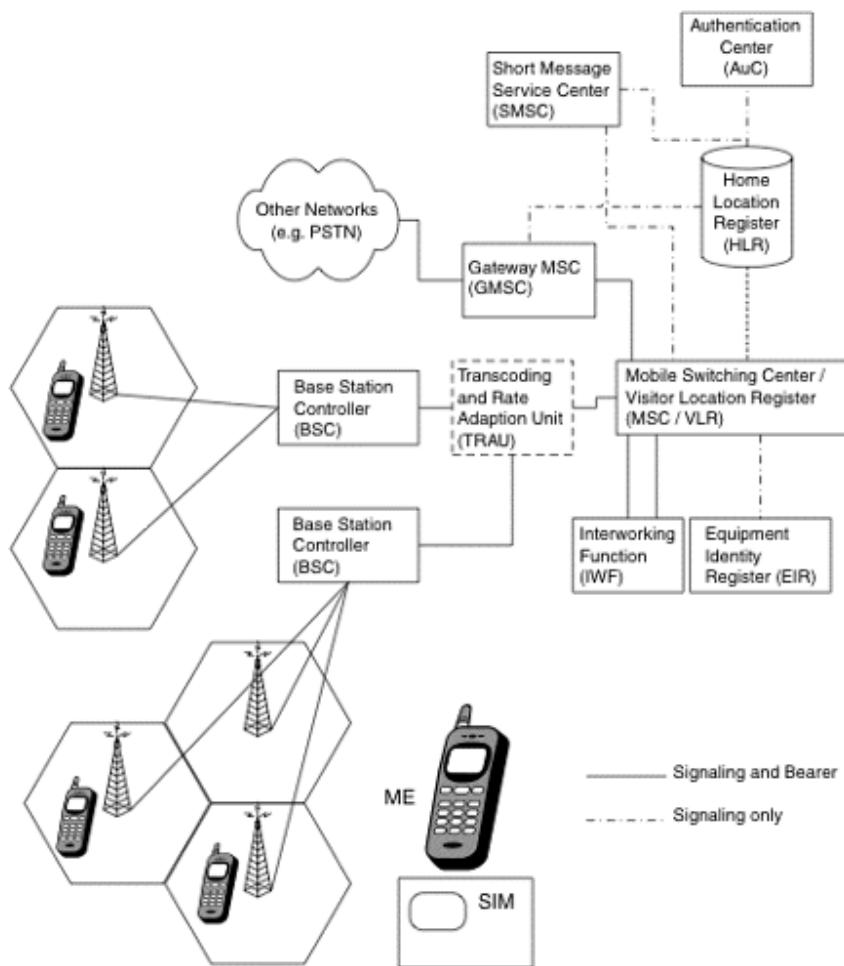


Figura 1-4 Arquitectura de una Red GSM

Fuente: 3G Wireless Networks [Col2001]

Para la interfase usuario - BTS la tecnología GSM utiliza un sistema TDMA con FDD (Frequency Division Duplex) mediante una modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Además gracias al uso del FDD el sistema GSM divide el espectro en una parte de uplink y otra de downlink. Cada portadora de GSM de uplink y downlink cuenta con un ancho de banda de 20KHz por portadora. La portadora transmisión y recepción para la misma comunicación se encuentran separadas 45 MHZ. [Bat2002] [Col2001]

1.1.2.2 Code Division Multiple Access (CDMA)

El CDMA también conocido como IS-95 ó J-STD-008 hace uso de la técnica del espectro extendido gracias a la cual es capaz de hacer que hasta 64 usuarios puedan

compartir el mismo canal de radio. Esto se da debido a que cada usuario tendrá un código único mediante el cual dicho usuario podrá diferenciarse de los demás.

El sistema CDMA hace uso de los códigos ortogonales o códigos de Walsh los cuales no guardan relación entre ellos. Debido a esto, la técnica del espectro extendido combina diversos canales de comunicación en un único espectro los cuales parecerán ruido.

Los códigos de Walsh tienen una longitud de 64 bits y son usados para la modulación en sistemas CDMA debido a que hacen uso de su ortogonalidad entre ellos. Esto quiere decir que un código no causará interferencia con respecto al otro. [Har1999]

El proceso que debe realizar la voz desde la estación base al equipo móvil es algo más complicado que en el caso del sistema GSM, ya que debe pasar por distintas etapas que serán enumeradas a continuación:

- Voice Encoder/Decoder (Vocoder): en esta parte del proceso se comprime la voz en muestras de 20 mseg cada una. Los datos que producen estos vocoder son medidos en bits.
- Forward Error Correction (FEC) and repetition: estos se dan para proveer a los datos de una redundancia al momento de la recepción. Los símbolos repetirán una constante para mantener constante la velocidad de símbolo a través de la modulación del canal. La cantidad de repeticiones dependerá del nivel de energía a la salida del vocoder.
- Interleaving: codifica porciones de 20 mseg de forma predeterminada de tal manera que previene una pérdida de datos consecutivos.
- Scrambling: aplica un código pseudo aleatorio de ruido aleatorizando (FN) la data, con lo cual es capaz de dividir los datos en 64 canales lógicos independientes y de esta manera provee de privacidad.
- Spreading: extiende los símbolos haciendo uso de los códigos de 64 bits de Walsh. Este código separa los datos de otros que provengan de la misma estación. Además aumenta en un factor de 64 el promedio de datos.
- Quadrature Spreading: aplicará un código de pseudo ruido aleatorio a la señal de ruido generada anteriormente para identificarla como señal de dicha celda.

La modulación para la transmisión usada en CDMA es la de fase y cuadratura. Mediante esta modulación es posible la transmisión de símbolos representados por 2 bits. Mediante los pasos anteriores las estaciones bases son capaces de combinar diferentes códigos digitales de señal. Es así que es posible transmitir hasta 64 códigos por un canal de 1.23MHz de ancho banda de señal. [Har1999]

En la Figura 1-5, se muestra el proceso de codificación desde la estación hacia el equipo móvil.

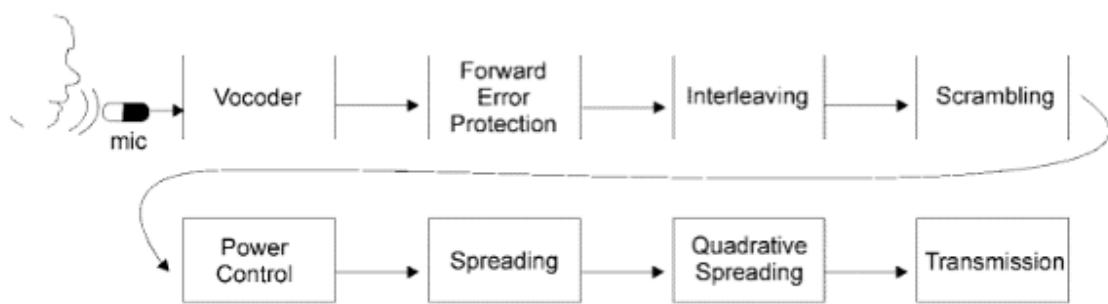


Figura 1-5 Proceso de codificación estación-equipo móvil

Fuente: CDMA IS-95 for Cellular and PCS [Har1999]

Para la etapa inversa, es decir desde el equipo móvil hacia la estación base, las etapas que debe seguir la señal para ser capaz de obtener una señal digitalizada de 64 Kbps son las siguientes.

- Voice Encoder/decoder (Vocoder): en esta parte del proceso se comprime la voz en muestras de 20 mseg cada una, al igual que en caso de la transmisión.
- Forward Error Correction (FEC) and Repetition: estos se dan para proveer a los datos de una redundancia al momento de la recepción, al igual que en caso de la transmisión.
- Interleaving: codifica porciones de 20 mseg de forma predeterminada de tal manera que proveyendo una pérdida de datos consecutivos.
- Orthogonal Signaling: en esta etapa se selecciona uno de los 64 códigos ortogonales a ser transmitidos. Esta etapa incrementa el promedio de los datos en factor de once.

- Spreading: en esta etapa se procede al ensanchamiento de cada dígito del usuario en cuatro dígitos de códigos de ruido pseudo aleatorio.
- Quadrature Spreading: en esta etapa se vuelve a aplicar un código de ruido pseudo aleatorio, pero esta vez no se incrementara el promedio de datos.
- Burst Randomizer: en esta etapa se elige al azar un grupo de símbolos repetido que van a ser transmitidos.

En la Figura 1-6, se muestra el proceso de codificación desde el equipo móvil hacia la estación.

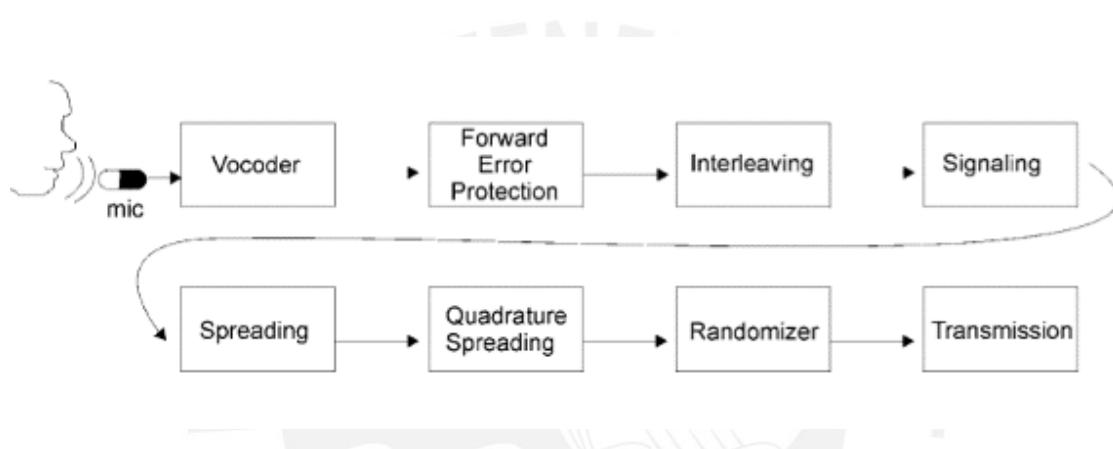


Figura 1-6 Proceso de codificación equipo móvil-estación

Fuente: CDMA IS-95 for Cellular and PCS [Har1999]

La arquitectura del sistema CDMA es básicamente la misma que en los sistemas GSM, es de esta manera que también tenemos el equipo móvil: la Estación Base (BTS), Base Station Controle (BSC), el Mobile Switching Center (MSC), el VLR (Visitor Location Register), el HLR (Home Location Register), el AUC (Authentication Center) y el OMC (Operation Maintenance Center).

En la Figura 1-7, se muestra de manera gráfica la Arquitectura de una Red CDMA.

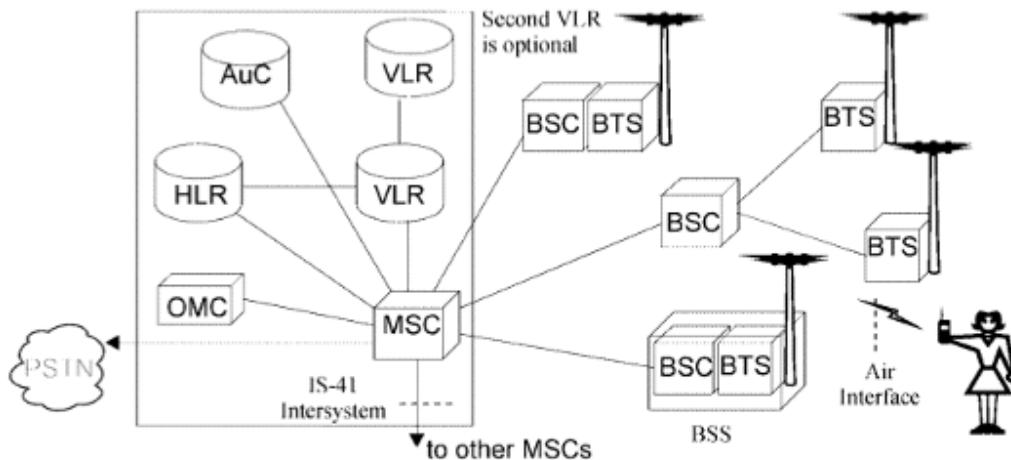


Figura 1-7 Arquitectura de una Red CDMA

Fuente: CDMA IS-95 for Cellular and PCS [Har1999]

1.1.3 Generación 2.5 (2.5G)

Entre la Segunda Generación celular y la Tercera tenemos a la generación 2.5, en la cual se realiza la introducción de plataformas para la transmisión de datos con lo cual se obtienen mejoras con respecto de los sistemas 2G en lo que respecta a las velocidades de transmisión de datos por lo cual se alcanzan velocidades mayores a 14.4 Kbps la cual era el límite en 2G.

En la Tabla 1-1, se hace una pequeña comparación de las diversas tecnologías celulares en las generaciones 2G y 2.5G en lo concerniente con la transmisión de datos.

Tabla 1-1 Comparación tecnologías 2G y 2.5G

Fuente: 3G Wireless Networks [Col2001]

2G Technology	3G Technology	Enhancements	Migration to 3G Platform
GSM	GPRS	High speed packet data services(144.4K) Uses existing radio spectrum	WCDMA
IS-136	EDGE	High speed packet data services(144.4K) Uses existing radio spectrum	WCDMA
CDMA	CDMA 2000 (phase 1)	High speed packet data services(144.4K) Uses existing radio spectrum 1XRTT used	CDMA2000 - MC multicarrier

Para la adecuación de los sistemas 2G a 2.5G, el cual será un paso para llegar a las tecnologías 3G, se utilizaran diversas plataformas las cuales pueden ser GPRS/EDGE, High-Speed-Circuit Switched Data (HSCSD) y CDMA2000 las cuales se pasarán a detallar a continuación. [Col2001] [Hei2003]

1.1.3.1 General Radio Packet Service(GPRS):

Mediante el uso de esta plataforma GPRS teóricamente es posible obtener velocidades de 171Kbps, pero en la práctica se llega a obtener velocidades máximas de 100Kbps y en promedio se obtiene velocidades alrededor de 40 a 53 Kbps.

La tecnología GPRS hace uso de una portadora con un ancho de banda de 200KHz, dividiendo esta en 8 timeslots

La arquitectura de la plataforma esta conformada por los elementos mostrados en la Figura 1-8.

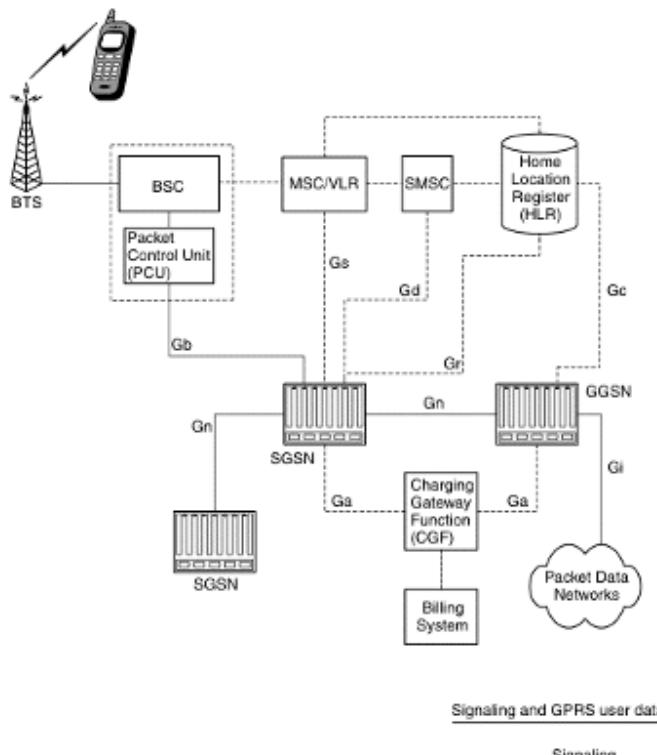


Figura 1-8 Arquitectura de la plataforma GPRS

Fuente: 3G Wireless Networks [Col2001]

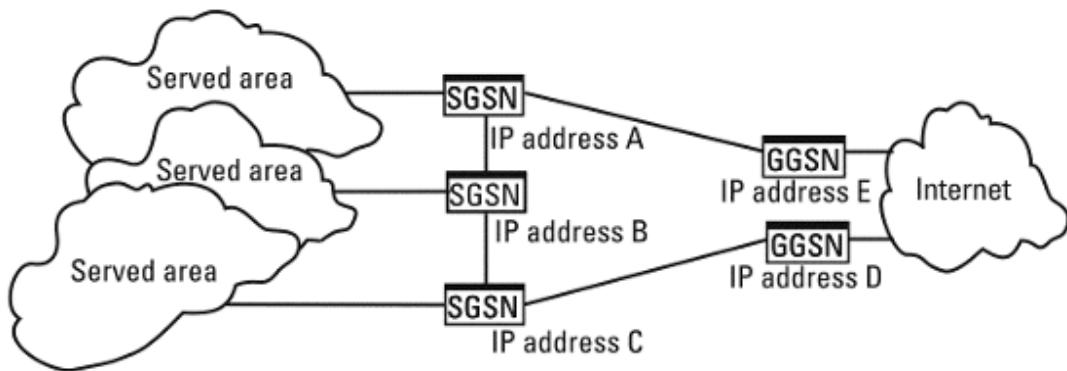
Vemos que los componentes más importantes de la plataforma GPRS son Serving GPRS Support Node (SGSN) y Gateway GPRS Support Node (GGSN).

SGSN este elemento realiza funciones de conmutación parecidas a las realizadas por el MSC y a la vez las funciones del VLR. Es por ello que la función principal de este elemento de la red es la conmutación y el envío de paquetes de datos.

Además de las funciones mencionadas el SGSN realiza la encriptación de la información desde el equipo móvil del usuario hasta el SGSN a diferencia del sistema GSM que realizaba la encriptación solo entre el equipo móvil y la BTS.

GGSN este elemento tiene como función principal la de crear una interfase de comunicación entre la red GPRS y la red externa de paquetes de datos (Internet) [Col2001] [Hei2003]

En la Figura 1-9, se muestra la conexión entre el SGSN y el GGSN.

**Figura 1-9 Conexión entre el SGSN y el GGSN**

Fuente: 3G Wireless Networks [Col2001]

1.1.3.2 Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE):

La plataforma EDGE nació como una mejora y reemplazo de la plataforma GPRS. Esta mejora se da mediante el cambio del tipo de modulación de Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) usada en GSM a 8 Phase Shift Keying (8-PSK), alcanzando teóricamente velocidades de 384 Kbps.

La arquitectura de la plataforma EDGE es casi idéntica que la de GPRS, ya que el único cambio preponderante es el tipo de modulación usada. [Col2001] [Hei2003]

1.1.4 Tercera Generación (3G)

Dentro de la tercera generación de la tecnología celular tenemos dos vertientes las cuales son la europea con la tecnología UMTS-WCDMA y la norteamericana UMTS-CDMA2000 las cuales explicaremos brevemente a continuación.

- **WCDMA**

La tecnología Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) hace uso de un ancho de banda de 5MHZ y de los códigos OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) para la transmisión de datos a una mayor velocidad que los sistemas 2G. Además provee de otras cualidades como la diversidad multirayecto.

Además el sistema WCDMA soporta el concepto de ancho de banda bajo demanda. Es decir se puede ir cambiando la capacidad del enlace trama a trama según la necesidad del usuario.

- CDMA2000

La tecnología CDMA2000 integra un grupo de estándares que evolucionaron del CDMA es así que hoy tenemos CDMA 1X, CDMA 3X y ahora ultimo el CDMA2000.

El CDMA2000 usa un ancho de banda de 3.75MHz (3x1.25MHz).

Ambas tecnologías usan la arquitectura UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Dicha tecnología esta conformada por diversos elementos, los cuales se detallarán a continuación. [Hol2005]

En la Figura 1-10, se muestra la Arquitectura UTRAN.

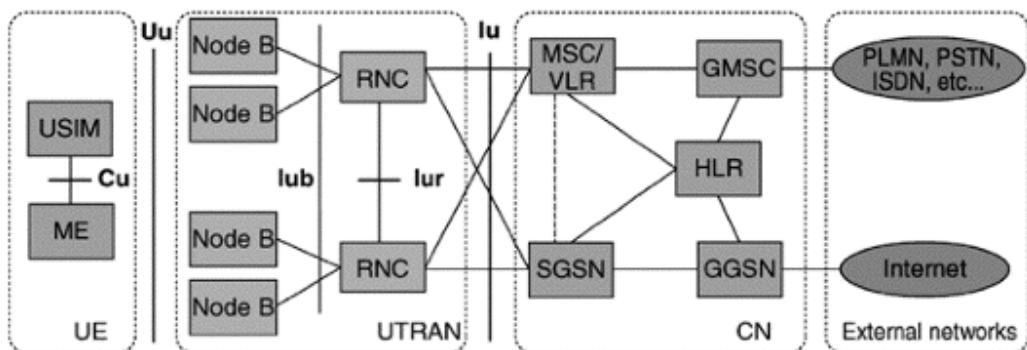


Figura 1-10 Arquitectura UTRAN

Fuente: WCDMA for UMTS : Radio Access for Third Generation Mobile Communications
[Hol2005]

- *User Equipment:* El UE esta conformado por dos elementos el USIM y el ME.
 - ◆ El Mobile Equipment (ME) es el equipo de radio utilizado para la radiocomunicación.
 - ◆ El UMTS Subscriber Identity Module (USIM) es una tarjeta la cual cuenta con los datos de identificación del abonado y realiza la autenticación del usuario entre otras funciones.
- Nodo B: Este elemento es el encargado de la conversión de los datos entre las interfaces usuarios y la RNC. Además realiza la gestión de los recursos de radio y gestión de potencia. Este elemento es el paralelo a las estaciones base en la tecnología GSM.

- Radio Network Controller (RNC) es el encargado del control de recursos de los nodos B, además también es el encargado de la asignación de códigos para los enlaces de radio que son establecidas en las estaciones que controla.

Además la arquitectura UTRAN cuenta con elementos como el MSC/VLR, HLR, GMSC, SGSN y GGSN los cuales cumplen las mismas funciones que en el caso de la tecnología GSM o CDMA.

1.2. Sistema de posicionamiento Global

La tecnología GPS (Global Positioning System) tiene sus inicios en la implementación realizada por el Sistema de defensa de los Estados Unidos en los años 1960's como un sistema de navegación para la Marina de ese país. Luego con los años se fue mejorando los métodos de obtención de la posición al igual que se fue aumentando la cantidad de satélites con lo cual en el año 1978 entró en funcionamiento la primera generación del sistema GPS como actualmente lo conocemos, conocido también como Block I, para lo cual se envió doce satélites de los cuales once quedaron operativos.

Luego entre los años 1989 al 1990 se lanzaron nueve satélites lo que conformó la segunda generación de GPS (BlockII) y durante los años 1990 y 1997 se lanzaron 19 satélites conformando el Block IIA. Actualmente se cuenta con una constelación de 24 satélites compuestos por el Block II y el Block IIA, de los cuales 21 se encuentran operativos en seis órbitas planas y se cuenta con 3 como respaldo.

1.2.1 Funcionamiento de los sistemas GPS

El método que emplean los receptores para poder encontrar su posición es el time of arrival (TOA). Esta técnica consiste en la medición del tiempo que toma la señal desde que sale del transmisor hasta que llega al receptor.

TOA = Instante de tiempo de arribo – Instante de tiempo de transmisión

Además como lo que se desea calcular es la distancia del receptor respecto de los satélites el otro dato necesario será la velocidad de la señal, la cual al ser de naturaleza electromagnética tendrá una velocidad de propagación semejante a la de la velocidad

de la luz (3×10^8 m/s). Es de esta manera que es posible hallar el lugar geométrico (esfera) en el cual se encontrará nuestro receptor respecto de un satélite, el cual se muestra en la Figura 1-11.

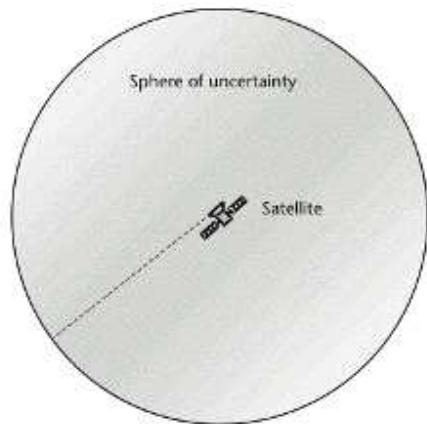


Figura 1-11 Determinación de la posición respecto de un solo satélite

Fuente: Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems[Pra2005]

Luego si se tuviera la posición con respecto a dos satélites se formaría un lugar geométrico más limitado que para este caso sería un círculo, el cual se muestra en la Figura 1-12.

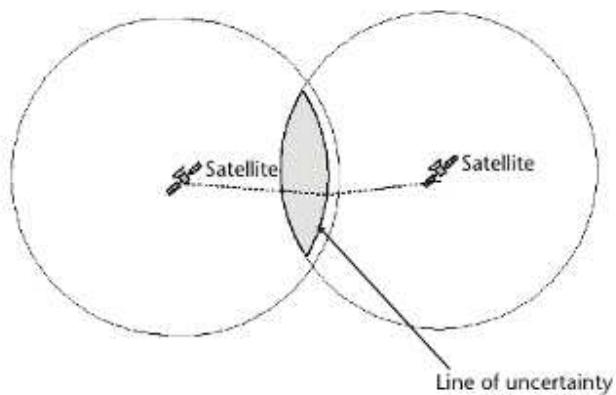


Figura 1-12 Determinación del lugar geométrico de la posición

Fuente: Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems[Pra2005]

Por último para la ubicación de la posición del móvil se utilizará un tercer satélite con lo cual se obtendrá como solución dos puntos uno de los cuales será fácilmente eliminado, tal como se muestra en la Figura 1-13

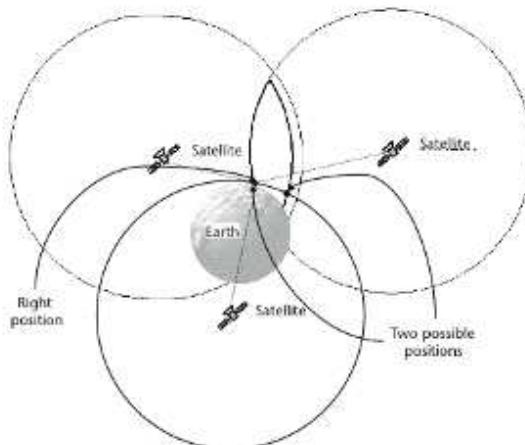


Figura 1-13 Determinación de la posición por medio de la triangulación

Fuente: Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems[Pra2005]

Para que la fórmula del TOA sea aplicada sin introducir errores es necesario que el transmisor y el receptor se encuentren sincronizados entre si de manera que tengan una referencia común. Lamentablemente esto no se puede lograr a cabalidad ya que aunque los satélites cuentan con relojes atómicos, los cuales poseen una gran precisión también poseen un alto costo lo cual lo hace inalcanzable para los sistemas receptores,. Por ello se introduce un pequeño error, tal como se muestra en la Figura 1-14.

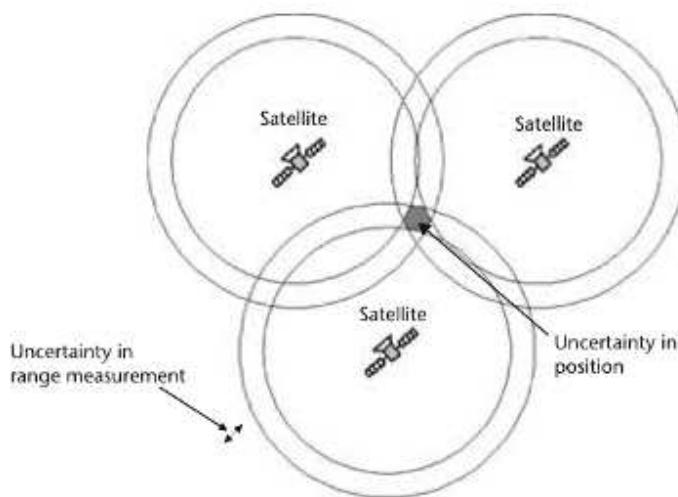


Figura 1-14 Error producido por la perdida de sincronismo

Fuente: Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO and Augmentation Systems [Pra2005]

Es por esto que aunque el sistema GPS usa la técnica de triangulación para poder obtener la posición del móvil es necesaria la presencia de un cuarto satélite para la ubicación exacta del móvil de manera que con la información de estos cuatro satélites se puedan realizar las correcciones y estimaciones a un valor más exacto de la posición. [Pra2005]

1.3. Sistema de comunicación Satelital

Las comunicaciones satelitales se han convertido en una forma muy importante de interconexión de usuarios separados largas distancias ya que gracias a las características que estos tienen es posible abarcar grandes áreas con un solo satélite. Al igual es de vital importancia para zonas de difícil acceso para las redes cableadas o de microondas.

Una característica de los sistemas satelitales es su alto costo independiente de la distancia recorrida por la señal por lo que lo hace un sistema poco rentable para usuarios de poco tráfico. [Rod2006]

Los sistemas satelitales se dividen de acuerdo a su ubicación con respecto a la altura desde la Tierra. Es así que tenemos satélites en órbita GEO (Geostationary Earth

Orbiting) los cuales se encuentran a una distancia de 35580 Km de la tierra y realizan su recorrido completo en 24 horas por lo que desde la tierra se divisará como un punto fijo en el espacio, MEO (Medium Earth Orbiting) los cuales se encuentran a una distancia de 10390 Km de la tierra, LEO (Low Earth Orbiting) los cuales se encuentran entre los 700 y 1400 Km desde la tierra. [Gre2000]

En la Figura 1-15, se muestra de manera gráfica las tres posibles alturas de los satélites.

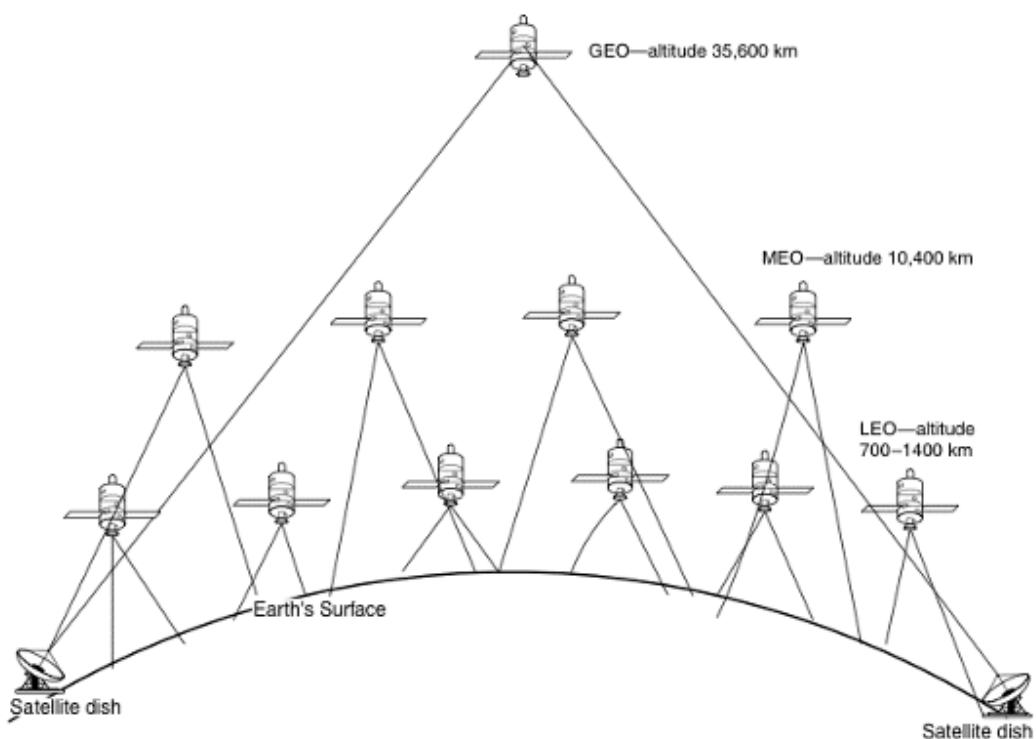


Figura 1-15 Órbitas de los satélites

Fuente: Irwin Handbook of Telecommunications [Gre2000]

Una red satelital cuenta básicamente con tres elementos: un transpondedor y por lo menos dos estaciones terrenas. Para estaciones con alto tráfico el transpondedor tendrá un canal permanentemente habilitado para la estación terrena, aunque lo común es que el transpondedor sea usado por varias estaciones terrenas a la vez, a este modo de operación se le denomina de acceso múltiple, los métodos utilizados para realizar este acceso son FDMA (Frequency division multiple access), TDMA (Time division multiple access) y CDMA (Code division multiple access).

Acceso único: mediante el acceso único una sola portadora modulada ocupará todo el ancho de banda del transpondedor. Para este tipo de sistemas se establece una ruta de tráfico pesado y se requiere de grandes antenas para la comunicación, por ejemplo Telesat Canada cuenta con este servicio y para ello las estaciones terrenas utilizan antenas de 30 metros de diámetro.

En la Figura 1-16, se muestra una Red satelital de acceso único.

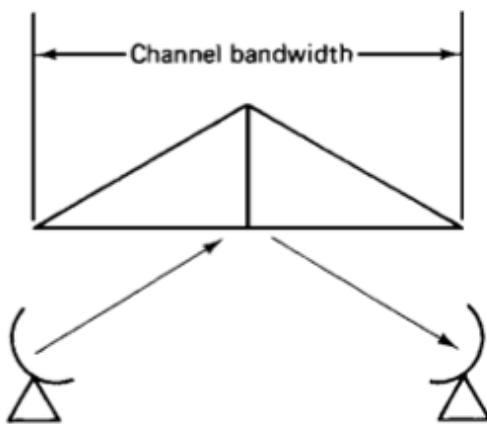


Figura 1-16 Red de acceso único

Fuente: Satellite Communications [Rod2006]

Acceso múltiple por FDMA: para este tipo de acceso se utiliza una portadora la cual cuenta con un grupo de subportadoras, las cuales podrán ser moduladas de forma independiente (PSK, QPSK) y además se deberá contar con una banda de guarda entre canales adyacentes.

En la Figura 1-17, se muestra una Red satelital de acceso múltiple por FDMA.

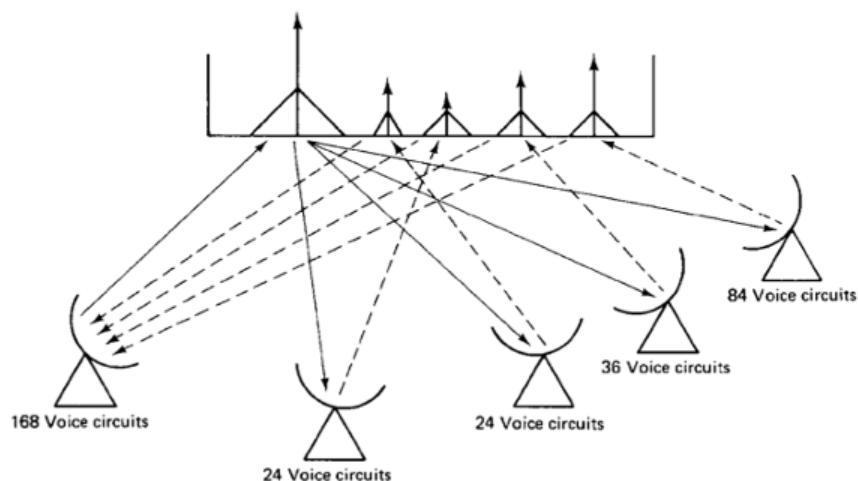


Figura 1-17 Red de acceso múltiple mediante FDMA

Fuente: Satellite Communications [Rod2006]

Acceso múltiple por TDMA: para este tipo de acceso se utiliza una sola portadora del transpondedor pero cada usuario accede uno a la vez en un tiempo dado. Para ello normalmente se usan tramas de 125 µs con modulación PCM (Pulse-code modulation). [Rod2006]

En la Figura 1-18, se muestra una Red satelital de acceso múltiple por FDMA.

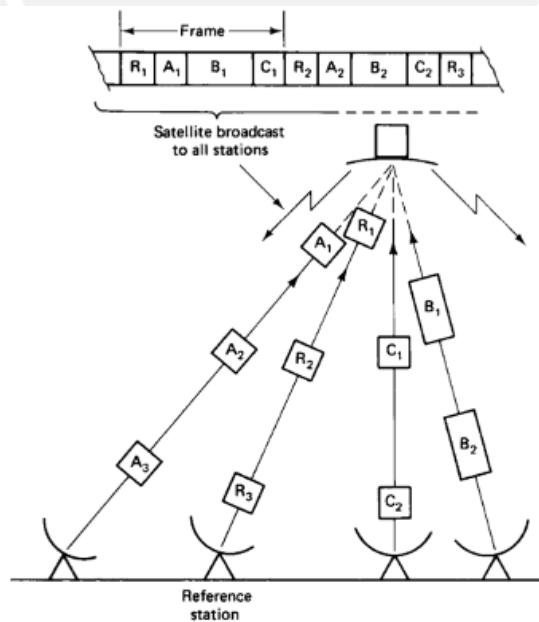


Figura 1-18 Red de acceso múltiple mediante TDMA

Fuente: Satellite Communications [Rod2006]

Para el proceso básico de la formación de una trama TDMA se utiliza un multiplexor para la transmisión y un demultiplexor para el proceso de recepción de la señal, tal como se muestra en la Figura 1-19.

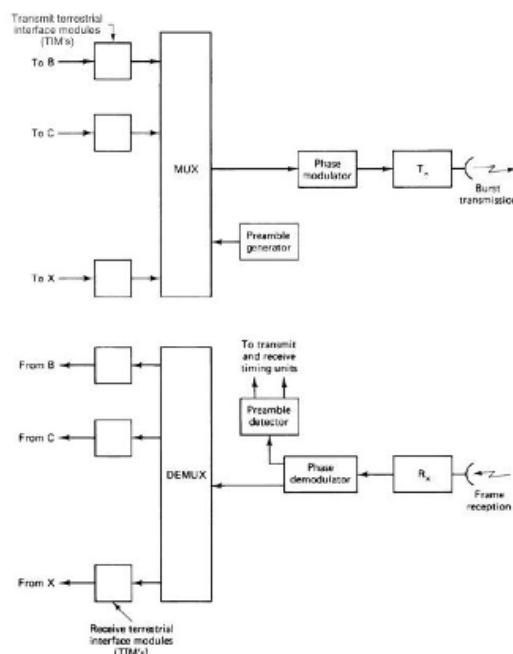


Figura 1-19 Equipamiento básico de un sistema TDMA

Fuente: Satellite Communications [Rod2006]

Las frecuencias usadas normalmente para las comunicaciones satelitales son las bandas Ku, K, Ka, C y L, esta ultima mayormente usada para los servicios móviles de satélites y sistemas de navegación. [Bat2002]

En la Tabla 1-2, se muestra las Bandas de frecuencia para los enlaces Satelitales.

Tabla 1-2 Bandas para comunicaciones satelitales
Fuente: Global Services Mobile Communications [Bat2002]

Bandas	Rango de frecuencias (GHz)
L	1.0 - 2.0
C	4.0 - 8.0
K	12.0 - 18.0
Ku	18.0 - 27.0
Ka	27.0 - 40.0

1.4. Lenguaje de programación Java y Comandos AT

Los comandos AT o AT Commands son instrucciones para el manejo de módems y fueron creados en un inicio por la empresa Hayes para el manejo de sus equipos con el nombre de Hayes commands. Luego fue copiado por otros fabricantes cambiándole de nombre a lo que hoy conocemos como AT Commands. [Dur2004]

El lenguaje de programación Java es un lenguaje orientado a objetos creado en los años 1990's por la empresa Sun Microsystem. Desde esa fecha el lenguaje de programación Java ha sido adecuado para diversas aplicaciones tales como aplicaciones Web, móviles entre otras debido a su robustez, seguridad y arquitectura.

Además el lenguaje Java cuenta con diversos API (Application Program Interface) los cuales contienen clases e interfaces para el desarrollo de programas en Java. Es de esta manera que en la plataforma Java 2 se introdujeron tres API's, los cuales se detallaran a continuación: [Lia 2007]

- Java 2 Standard Edition (J2SE): es aplicado para el desarrollo de aplicaciones del lado del cliente o applets.
- Java 2 Enterprise Edition (J2EE): es aplicado para el desarrollo de aplicaciones del lado del servidor como Java Servlets y Java Server Pages
- Java 2 Micro Edition (J2ME): es aplicado para aplicaciones para equipos móviles o teléfonos celulares.



Capítulo 2

Propuesta tecnológica

En este capítulo se presentará la propuesta teórica de diseño y se sustentará de la elección de las tecnologías a utilizar en la presente implementación.

2.1. Problemática

En este subcapítulo daremos a conocer el problema que ataca esta tesis, así como la justificación del porque es factible la solución planteada.

2.1.1 Definición del Problema

El aumento constante de los asaltos en las carreteras del Perú, en especial en los vehículos de transporte de mercancías, y la poca capacidad operativa de la policía teniendo como referencia los datos estadísticos en donde se indica que la Policía Nacional del Perú solo puede custodiar el 25% de las carreteras del país, por lo cual se cuenta con un escaso nivel de seguridad en el país. [Elc2008]

Reducida cantidad de opciones para el rastreo de móviles que brindan servicios de transporte público o de mercancías haciendo uso de un sistema de bajo costo y gran cobertura como la red celular.

Además los sistemas de seguridad que actualmente se encuentran en el mercado no tienen un impacto positivo en la población debido a que estos servicios son poco aceptados por los clientes debido al alto costo que presentan. [Abe2007] [Per2008]

2.1.2 Justificación

Brindar un sistema de rastreo que haga uso de la tecnología GSM como medio de comunicación, con lo cual se reducirán los costos del servicio y hará accesible el servicio a un mayor público.

El uso de la tecnología GSM en el sistema de transmisión será cada vez mayor debido al constante crecimiento que tiene dicha red por parte de los operadores que se encuentran actualmente en el mercado, ya que se contará con mayor cobertura mediante dicha tecnología y a la vez paulatinamente se reducirán los costos de dicho servicio con lo que se conseguirá un servicio accesible a todo nivel económico.

2.2 Análisis comparativo del costo de la red celular y el ancho de banda satelital

En este subcapítulo se realizará una revisión de los costos del uso de la red celular y la satelital para la transmisión de los datos de nuestro sistema.

2.2.1 Ancho de banda satelital

Actualmente existen diversas compañías que brindan servicios de ancho de banda satelital.

A continuación se listará en detalle los costos de la empresa Globalstar, la cual cuenta con cobertura en territorio peruano y en gran parte de América, esto hace más

adecuada la elección en caso que nuestro móvil realice un recorrido fuera de nuestras fronteras.

El plan de comunicación de datos que ofrece Globalstar brinda una velocidad de 56Kbps, el cual es suficiente para el tipo de dato que enviará nuestro sistema. Además tiene la característica que solo se contabiliza el consumo real, ya que se desconecta automáticamente en los momentos de inactividad.

En la Tabla 2-1, se presentan las opciones de los planes anuales del servicio de Internet satelital. [Glo2010]

Tabla 2-1 Planes tarifarios Globalstar

Fuente: Globalstar [Glo2010]

Plan Anual de Internet	Anualidad	Minutos incluidos	Valor minuto	Costo minuto adicional
Plan 600	\$470.0	600	\$0.78	\$0.35
Plan 1200	\$700.0	1200	\$0.58	\$0.35
Plan 1800	\$940.0	1800	\$0.52	\$0.35
Plan 2400	\$1170.0	2400	\$0.49	\$0.35

La elección del plan dependerá la frecuencia del envío de datos. Además también se deberá tener en cuenta que la red satelital solo se usara como redundancia para la red celular.

2.2.2 Red celular

Ahora veremos los costos de los mensajes de texto en las dos operadoras más importantes y que cuentan con mayor cobertura en el país.

Debido a los estudios que se detallarán más adelante el crecimiento de la cobertura de las empresas celulares esta en rápido y constante aumento, siendo las de mayor competencia Claro y Movistar. [Osi2009]

A continuación en la Tabla 2-2 y Tabla 2-3, se detallarán los costos de los mensajes de texto dependiendo de los planes.

Tabla 2-2 Planes tarifarios Movistar

Fuente: Movistar [Mov2010]

Planes	Costo	Número de SMS incluidos	Costo SMS adicional
Súmate 15.99	\$ 15.99	286	\$ 0.056
Súmate 18.99	\$ 18.99	339	\$ 0.056
Súmate 21.99	\$ 21.99	393	\$ 0.056
Súmate 25.99	\$ 25.99	464	\$ 0.056
Súmate 33.99	\$ 33.99	607	\$ 0.056
Súmate 39.99	\$ 39.99	714	\$ 0.056
Súmate 49.99	\$ 49.99	893	\$ 0.056

Tabla 2-3 Planes tarifarios Claro

Fuente: Claro [Cla2010]

Planes	Costo	Bonos de SMS	Costo SMS
Plan 39	S/. 39	40	S./ 0.20
Plan 59	S/. 59	60	S./ 0.20
Plan 79	S/. 79	80	S./ 0.20
Plan 99	S/. 99	100	S./ 0.20
Plan 149	S/. 149	100	S./ 0.20
Plan 199	S/. 199	100	S./ 0.20
Plan 249	S/. 249	100	S./ 0.20
Plan 319	S/. 319	100	S./ 0.20

Vemos que los planes que brindan ambas empresas son bastante similares, la diferencia en la elección del proveedor del servicio se podría dar mediante factores de coberturas en ciertos lugares del país o en la posibilidad de la creación de un plan especial en caso se adquiera gran número de líneas.

Luego de apreciar las ofertas en el mercado tanto para la transmisión satelital o mediante la red celular, podríamos llegar a la conclusión que los costos operativos del de nuestro sistema de rastreo serían mucho mayores en caso sólo se utilizara el medio satelital como único medio de transmisión. Además la menor latencia en la transmisión del servicio celular sería otro beneficio para el sistema.

2.3. Propuesta de diseño

En la Figura 2-1, se muestra el diagrama de flujo de nuestro sistema de transmisión.

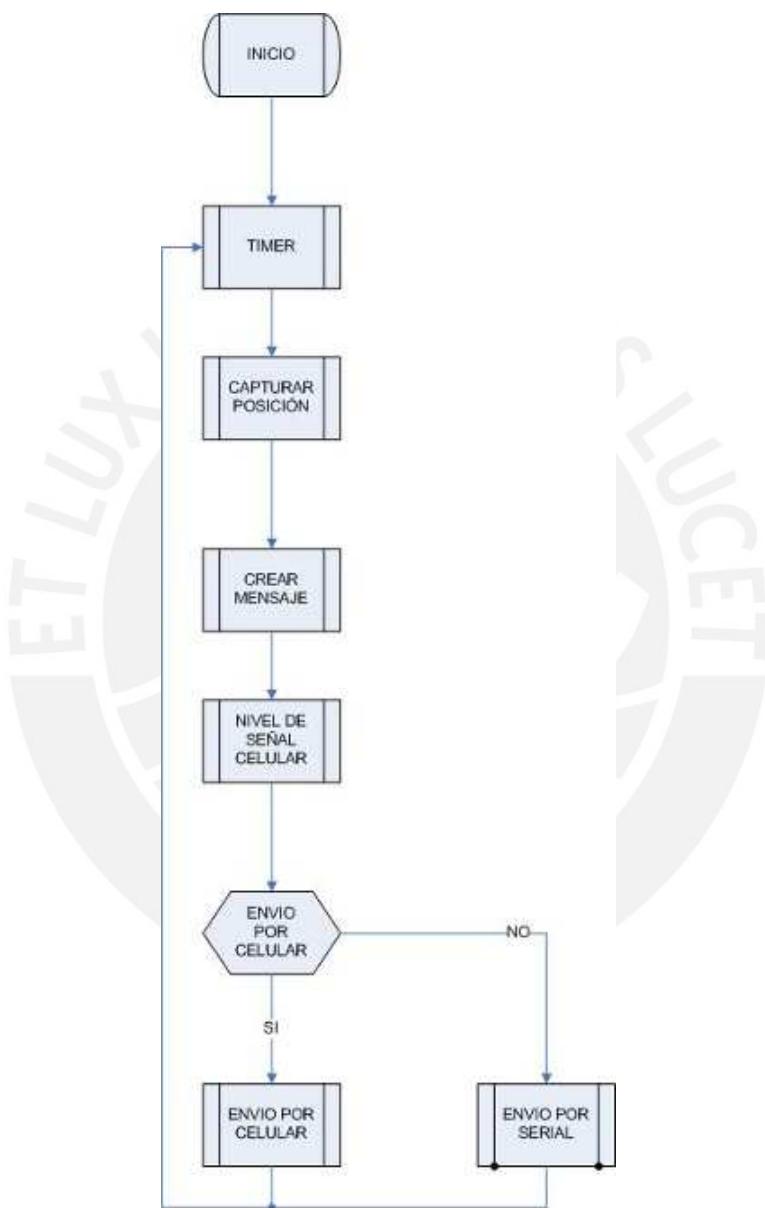


Figura 2-1 Diagrama de flujo del sistema de transmisión

Fuente: Creación propia

La propuesta de diseño esta constituida por siete módulos, visto en la Figura 2-1, los cuales se pasarán a detallar a continuación.

- Timer: este módulo tendrá como función el sincronismo del envío de la información de acuerdo al tiempo configurado previamente.
- Módulo de captura de posición: este módulo debe ser capaz de obtener la posición del móvil de manera continua.
- Módulo de creación de mensaje: dicho módulo deberá procesar la información obtenida y darle formato para el envío haciendo uso de un lenguaje de programación o algún tipo de comandos.
- Módulo de obtención de señal: este módulo debe ser capaz de captar la señal de la red celular y establecer los niveles de potencia recibidos.
- Módulo de decisión: este módulo es el encargado de procesar mediante lenguaje de programación y comandos la información obtenida anteriormente, además de ser capaz de decidir la fiabilidad del uso de la red celular.
- Módulo de envío: este módulo debe ser capaz de realizar el envío de mensajes dependiendo de la tecnología definida por el módulo anterior.

2.4. Estudio de cobertura y tecnología celular en el país

Según las estadísticas ofrecidas por el Organismo Regulador de las Telecomunicaciones y las empresas operadoras de telefonía móvil en el país, se puede apreciar un aumento constante en la cobertura y la capacidad de comunicación que ofrecen las compañías de servicios de comunicación móvil.

Es de esta manera que podemos apreciar en la Tabla 2-4 el crecimiento año de la densidad de líneas por cada 100 habitantes en las diversas provincias del país año por. [Osi2009]

Tabla 2-4 Densidad de líneas cada 100 habitantes

Fuente: Osiptel [Osi2009]

	2006	2007	2008	Mar-09
Amazonas	5.3	13.0	23.3	24.9
Ancash	18.4	37.4	53.8	55.9
Apurímac	6.7	16.3	26.7	28.5
Arequipa	42.4	75.3	95.1	97.7
Ayacucho	11.0	28.0	46.5	50.5
Cajamarca	10.9	23.7	36.6	38.8
Cusco	18.0	35.6	53.8	58.6
Huancavelica	2.5	6.0	10.5	11.6
Huánuco	9.0	18.2	30.9	33.7
Ica	34.9	64.1	85.5	88.7
Junín	18.8	38.9	60.2	64.4
La Libertad	27.2	53.6	71.9	74.8
Lambayeque	26.8	54.8	76.6	79.0
Lima y Callao	57.4	90.3	115.5	119.3
Loreto	8.6	16.6	24.2	25.8
Madre de Dios	22.0	47.3	72.4	77.0
Moquegua	43.9	72.1	89.1	91.7
Pasco	11.3	28.1	43.2	45.8
Piura	18.5	36.5	50.9	53.3
Puno	15.6	36.9	54.6	57.2
San Martín	8.8	21.9	39.2	42.1
Tacna	49.5	84.0	103.1	105.9
Tumbes	32.9	56.7	74.3	77.7
Ucayali	17.2	33.4	48.7	52.0
Total Perú	31.9	55.6	74.9	78.0

También podemos apreciar el crecimiento en la cobertura en los distintos distritos del país de las dos operadoras más importantes, el cual se aprecia en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5 Número de distritos con cobertura

Fuente: Osiptel [Osi2009]

	Total de distritos atendidos		Tasa de crecimiento anual	
	Telefónica Móviles	América Móvil	Telefónica Móviles	América Móvil
Mar-09	1,132	1,369	13%	11%
Dic-08	1,125	1,357	29%	14%
Sep-08	1,116	1,343	31%	24%
Jun-08	1,090	1,316	35%	30%
Mar-08	1,001	1,238	35%	34%

Por último, en lo concerniente al uso de los mensajes de texto tenemos que estos también han tenido un crecimiento importante en los últimos años, lo cual lo vemos en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6 Cantidad de MMS y SMS enviados

Fuente: Osiptel [Osi2009]

		2006	2007	2008
América Móvil	MMS	4,617,518	5,735,212	6,280,251
	SMS	419,677,242	1,588,395,879	1,597,706,223
Nextel del Perú S.A.	MMS	191,728	335,991	2,866,086
	SMS	19,252,774	17,909,275	17,945,498
Telefónica Móviles	MMS	4,739,921	4,838,986	7,017,163
	SMS	358,131,605	1,320,828,636	1,377,689,123
		Total MMS	9,549,167	10,910,189
		Total SMS	797,061,621	2,927,133,790
				2,993,340,844

Cabe resaltar que la tecnología para la transferencia de datos desde el equipo móvil más usado en el Perú es la GPRS.

2.5. Estudio y elección de los equipos en el mercado

Para el estudio y la elección del equipo se realizó una búsqueda exhaustiva en diversos proveedores de equipos, los criterios para la elección del equipo serán los siguientes:

- Tecnología de comunicación GSM, esto se debe a que la mayoría de proveedores de servicio en el país hace uso de esta tecnología.
- Comunicación de datos mediante GPRS, esto se debe a que en la mayoría de regiones del país se cuenta con esta tecnología a diferencia de la tecnología EDGE que solo se encuentra disponible en las grandes ciudades.
- Obtención de posición mediante GPS.
- Habilitación del uso de lenguaje Java y comandos AT, esto es de vital importancia para poder realizar los módulos de decisión, envío de mensajes y darle formato de éstos.

Luego de la búsqueda en la Internet entre diversos proveedores se eligió el módulo Cinterion XT65, el cual cumple con todas las características descritas anteriormente.
[Mob2008]





Capítulo 3

Diseño técnico

En este capítulo se planteará la arquitectura que tendrá nuestra aplicación. Además se dará una breve descripción de las variables a utilizar y de los niveles de señal de la red celular para la elección de la forma de transmisión.

3.1. Arquitectura del sistema

El sistema de rastreo contará con cuatro elementos de vital importancia, que se pasarán a describir a continuación:

- Elemento de procesamiento: este elemento será el encargado de la ejecución del programa creado para el funcionamiento del sistema. Para ello nuestra unidad de procesamiento deberá ser capaz de la ejecución de archivos desarrollados en lenguaje Java.
- Receptor GPS: este elemento será el encargado de capturar las coordenadas de los satélites del Sistema de posicionamiento Global, realizar

la triangulación y entregarnos la información de la fecha y hora según referenciados al meridiano de Greenwich y la ubicación del equipo. Para la correcta obtención de la información es necesario el uso de una antena GPS así mismo no se deberá tener ningún obstáculo entre la antena y la atmósfera.

- Transmisor GSM: este elemento del sistema tendrá como función la conexión con la red celular GSM mediante la tecnología de transmisión de datos GPRS. La comunicación con este elemento se realizará mediante el uso de comandos AT y solo será usada como medio de transmisión en caso se cuente con servicio celular GSM con niveles mínimos de calidad que más adelante serán detallados.
- Transmisor Satelital: este elemento del sistema realizará la transmisión vía satélite de la información capturada por nuestro sistema. Sólo se hará uso de este elemento en caso no se cuente con una adecuada calidad del servicio celular GSM o en caso exista algún impedimento del envío de información a través del elemento anterior.

Cabe destacar que los tres primeros elementos de nuestra arquitectura se encuentran concentrados en nuestro módem Siemens XT65, así mismo el transmisor satelital será simulado mediante una conexión con una PC mediante un cable serial debido al costo que acarrea dicho equipo. En la Figura 3-1 vemos de manera gráfica la Arquitectura del sistema de transmisión.

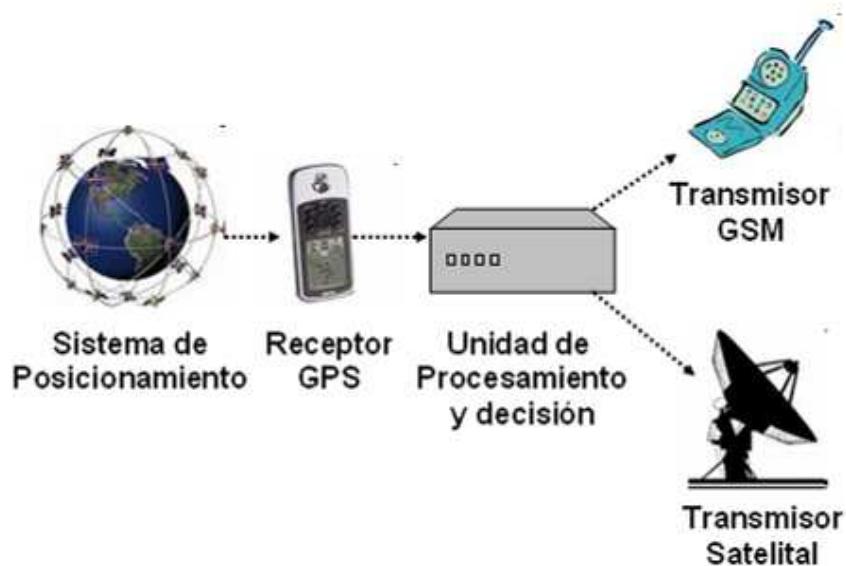


Figura 3-1: Arquitectura del sistema de Transmisión

Fuente: Creación propia

Luego haberse realizado el proceso de captura, procesamiento y envío de la información ésta deberá ser procesada y almacenada en un centro de monitoreo o control. En la Figura 3-2 vemos de manera gráfica la Arquitectura del sistema de rastreo.



Figura 3-2 Arquitectura del sistema de rastreo

Fuente: Creación propia

3.2. Parámetros y variables del sistema

En este punto se hará un listado de los parámetros y variables más importantes que son usados en nuestra implementación.

- Crono: esta variable es un contador que aumentará su valor cada 10 segundos y será el que defina la frecuencia de envío de la información de la posición.

En la Tabla 3-1 se expresa la distancia en metros recorrida por el móvil respecto a la velocidad de este y a la frecuencia de envío.

Tabla 3-1 Relación Frecuencia de envío vs Velocidad

Fuente: Creación propia

		Frecuencia de envío(segundos)				
		20	30	40	50	60
Velocidad (Km/h)	30	167	250	333	417	500
	50	278	417	556	694	833
	80	444	667	889	1111	1333
	100	556	833	1111	1389	1667

- Posición: la variable posición contendrá la información capturada del sistema GPS, esta será actualizada cada cinco segundos. Además se trabajará con dicha variable para poder obtener el formato de la Figura 3-3.

AAAA/MM/DD,hh:mm:ss,XX.XXXXXXXXX,S,YYYY.YYYYYYYY,W
 _____ _____ _____ _____
 Fecha Hora Latitud Longitud

Figura 3-3 Formato de posición

Fuente: Creación propia

- Señal: esta variable expresará el nivel de RSSI. El RSSI significa Receive Signal Strength Indication y nos indica el nivel de potencia de señal radioeléctrica que llega a nuestro equipo.

Dicho valor se encuentra expresado en dBm, actualmente cualquier equipo perteneciente a redes inalámbricas utiliza este parámetro como medición de su radio enlace.

En la tecnología GSM este valor varía entre los -110dBm y los -38dBm. Esta magnitud está representada mediante una escala propia de nuestro equipo la cual será definida en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2 Valores de referencia RSSI

Fuente: Creación propia

RSSI	Valor nominal
0	-113 dBm or menos
1	-111 dBm
2..30	-109... -53 dBm
31	-51 dBm o mayores
99	No detectada

Además se ha interpolado los valores intermedios para poder tener una idea que valores nominales nos representarán todos los posibles valores que nos pueda dar nuestro equipo, lo cual se muestra en la Figura 3-4.

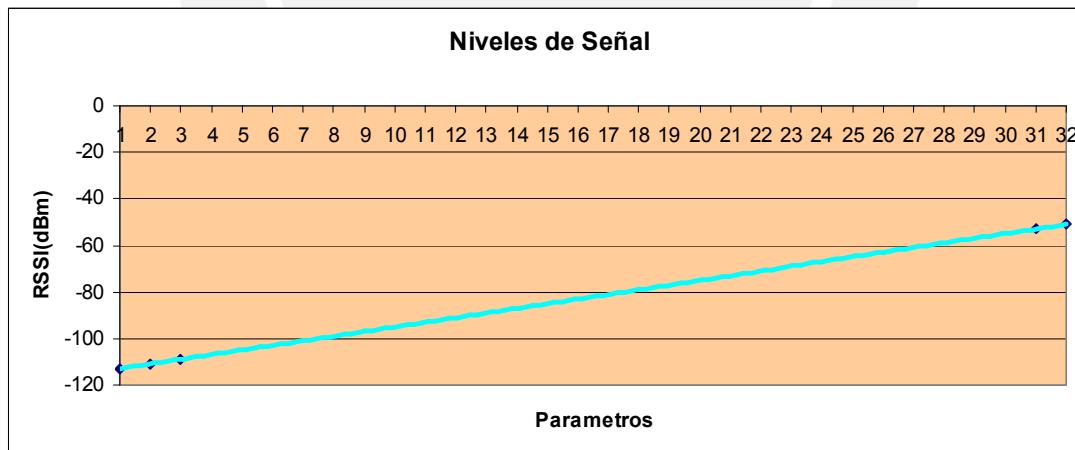


Figura 3-4 Gráfica de los niveles de RSSI

Fuente: Creación propia

Para nuestro diseño tomaremos que esta variable señal deberá estar entre los -100dBm y los -38dBm, para poder tener la seguridad que la calidad de señal es la mínima

adecuada. Debido a que nuestro equipo expresa el RSSI en otra escala de referencia tendremos que esta variable se limitará entre el valor 3 y 32. [Roh2000]

- BER: esta variable nos expresa la relación entre los bits errados y la totalidad de los bits recibidos. Esta variable se encuentra entre el 0.14% y el 18.10% según las especificaciones técnicas de GSM. [Sha2004]

El BER está ligado directamente con la calidad de la información recibida dentro de los enlaces en cualquier tipo de medio.

Para la variable BER tenemos la Tabla 3-3 con valores nominales relacionados a los valores que nos dará nuestro equipo.

Tabla 3-3 Valores de referencia BER

Fuente: Creación propia

BER	Valor nominal
RXQUAL_0	BER < 0.2 %
RXQUAL_1	0.2 % < BER < 0.4 %
RXQUAL_2	0.4 % < BER < 0.8 %
RXQUAL_3	0.8 % < BER < 1.6 %
RXQUAL_4	1.6 % < BER < 3.2 %
RXQUAL_5	3.2 % < BER < 6.4 %
RXQUAL_6	6.4 % < BER < 12.8 %
RXQUAL_7	12.8 % < BER

Aunque para la transmisión de voz es necesario BER menores a 4% es posible que para nuestra aplicación se pueda aceptar un BER menor a 6.4%.

3.3. Módulo de decisión

Para el desarrollo de este módulo se tomarán como parámetros de decisión las variables Señal y BER

Para nuestro diseño e implementación se ha dispuesto que un nivel de calidad de señal aceptable se dará en aquellos casos en los cuales se tenga niveles de RSSI mayores a -100dBm y valores de BER menores a 6.4%. [Roh1999] [Roh2000]

Este módulo deberá direccionar el envío de información según se cumplan los parámetros indicados anteriormente, además también será el encargado de determinar el momento del envío de la información gracias a la variable crono.

Así mismo se verificará que el envío mediante la red celular se realice de manera correcta, en caso no suceda esto se enviará la información por la red satelital.

Es de esta forma que para nuestro módulo de decisión se seguirá la lógica presentada en la Figura 3-5.

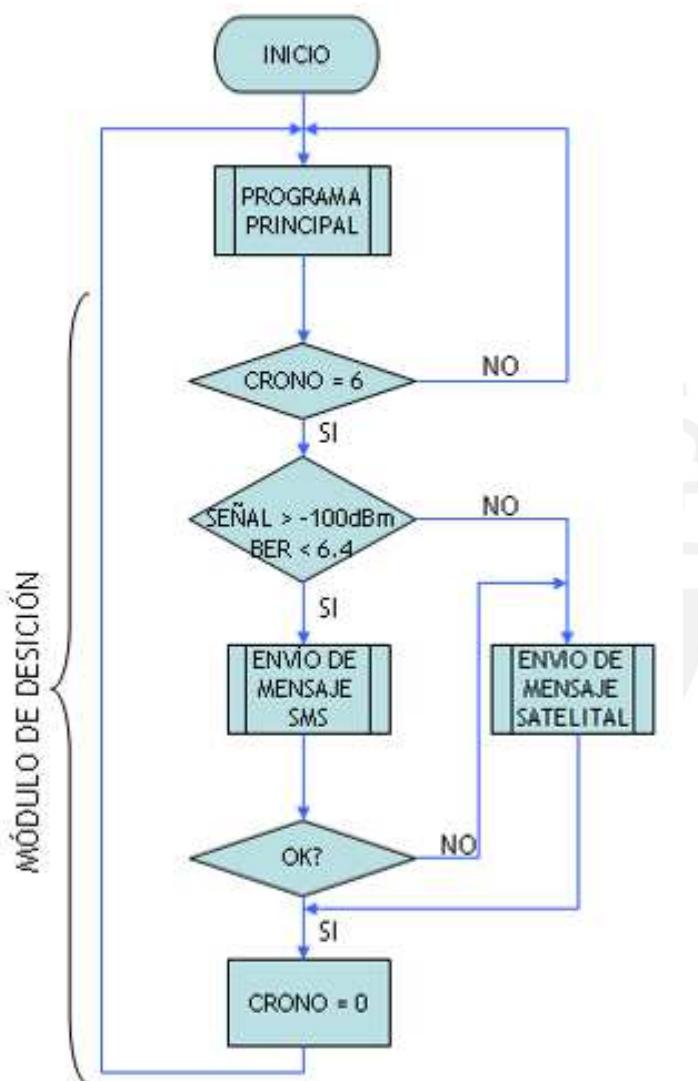
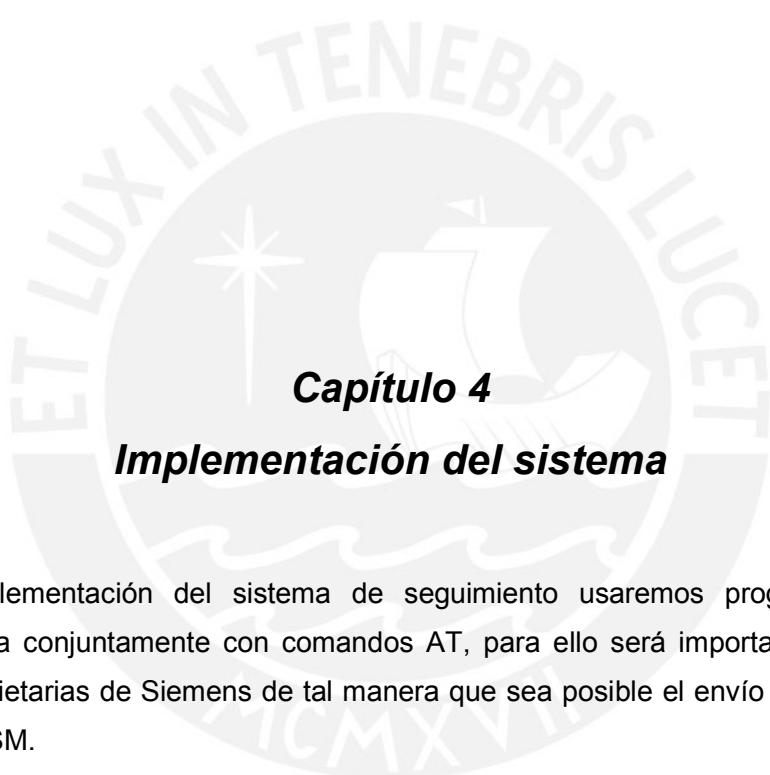


Figura 3-5 Diagrama de flujo del módulo de decisión

Fuente: Creación propia



Capítulo 4

Implementación del sistema

Para la implementación del sistema de seguimiento usaremos programación en lenguaje Java conjuntamente con comandos AT, para ello será importante el uso de librerías propietarias de Siemens de tal manera que sea posible el envío de sentencias al módem GSM.

La estructura usada para la programación ha sido la creación de un programa principal el cual hará uso de subprogramas o métodos para la gestión del módem.

A continuación se pasará a detallar la manera de implementación del programa principal y de los subprogramas, así como los pasos necesarios para una correcta ejecución de nuestro sistema.

4.1. Configuración de módem y PC

Para poder tener conexión con el módem Siemens XT65, poder grabar y ejecutar archivos en él es necesario la instalación del módulo de intercambio el cual es propietario de Siemens. La instalación de este software se realiza mediante la ejecución del archivo Setup.exe que está incluido en el Siemens Mobility Toolkit, el punto más importante en esta instalación es la debida elección del puerto que se utilizará para la interconexión entre el equipo y la PC.

En la Figura 4-1, se muestra la interfase que se nos presenta luego de la instalación y que nos será útil para guardar archivos en la memoria del equipo.

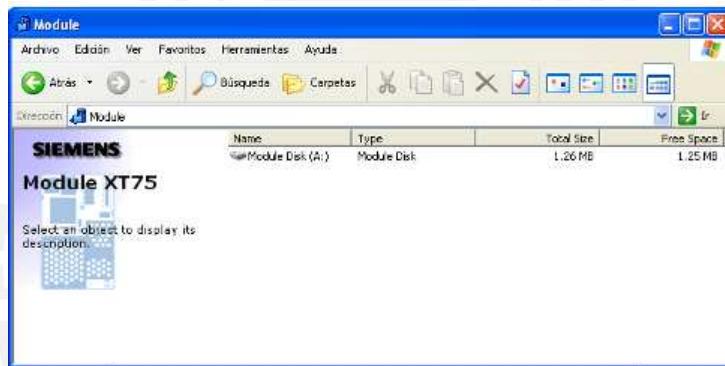


Figura 4-1 Interfase del módulo de intercambio

Fuente: Creación propia

Además del módulo de intercambio, la comunicación entre el módem y la PC se entablará a través del aplicativo hiperterminal para lo cual es necesario configurar el módem para realizar la comunicación con el puerto serial de nuestra PC o en toda caso haciendo uso de un adaptador USB serial.

Como primer paso será necesario elegir la conexión por medio del COM1, como se aprecia en la Figura 4-2.



Figura 4-2 Configuración para el uso del puerto serial

Fuente: Creación propia

Como segundo paso será necesario la configuración del puerto, para ello se debe elegir 115200 bits por segundo, ocho bits de dato y sin paridad, como lo podemos apreciar en la Figura 4-3.



Figura 4-3 Configuración del puerto serial

Fuente: Creación propia

Dentro de la configuración del módem debemos configurar que las respuestas a los comandos sean enviados por el puerto serial de éste, dicha configuración se realiza con el siguiente comando.

```
AT^SCFG="Userware/Stdout", "ASC0"
```

El parámetro Userware/Stdout nos indica que vamos a configurar la salida del equipo y el parámetro ASC0 indica que hemos elegido el puerto serial como salida.

4.2. Comandos AT

Para el desarrollo de nuestro aplicativo será necesario el uso de los comandos AT ya que esta será la única forma de que nuestro equipo pueda entender las órdenes que nosotros queremos brindarle. A continuación se listará de manera genérica los comandos AT así como sus parámetros necesarios para su uso, luego se detallará su

funcionamiento de manera más detallada cuando se comience a describir cada subprograma y el programa principal. [Sie2007]

- AT^SJRA=nombre

Mediante este comando se ejecuta el programa previamente guardado en la memoria interna de nuestro equipo. Para la correcta ejecución de este comando se debe tomar en cuenta que el archivo deberá tener extensión .jar y se deberá poner correctamente la ruta donde fue guardado.

Para el llamado a ejecución del programa “java.jar”, se usará el comando siguiente:

AT^SJRA=a:/GPS.jar

- AT+CPIN?

Mediante este comando se realiza la consulta si la tarjeta SIM se encuentra bloqueada mediante un código de acceso PIN. Las posibles respuestas de este comando las vemos en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1 Respuestas relacionadas al comando PIN

Fuente: Creación propia

Respuesta	Significado
+CPIN: SIM PIN OK	Se necesita ingresar número de PIN
+CPIN: READY	No es necesario PIN
+CME ERROR: SIM blocked	SIM bloqueada
+CME ERROR: SIM busy	No se tiene acceso momentáneamente

- **AT+CPIN= PIN**

Mediante este comando se ingresa el PIN al módem, la respuesta que nos dará será la siguiente:

 AT+CPIN=1234
 OK

- **AT+CMGF=<mode>**

Mediante este comando se configura el tipo de SMS. Los valores de <mode> podrán ser los de la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Tipos de mensajes SMS

Fuente: Creación propia

<mode>	Descripción
0	Mensaje tipo PDU
1	Mensaje tipo texto

- **AT+CMGS**

Mediante este comando se realiza el envío de los SMS. A continuación se muestra la sintaxis del comando:

 AT+CMGS= + numero +\r
 >"Texto a enviar" control+Z
 +CMGS:
 OK

- **AT^SGPSS=<action>,<openmode>**

Mediante este comando se activa o desactiva el GPS, los posibles valores de los parámetro son los que se aprecian en la Tabla 4-3 y Tabla 4-4:

Tabla 4-3 Valores para el parámetro action del GPS

Fuente: Creación propia

<action>	Descripción
0	Desactivar GPS
1	Activar GPS
2	Activar sleep mode
3	Despertar del sleep mode
4	Activar modo transparente

Tabla 4-4 Valores para el parámetro OpenMode del GPS

Fuente: Creación propia

<OpenMode>	Descripción
0	Modo de comunicación mediante ATcommands
1	Modo transparente, utiliza el protocolo Ubx.

- AT^SGPSP

Mediante este comando se determina el intervalo de tiempo para realizar la captura de la posición de GPS.

```
AT^SGPSP=<Interval>
>^SGPSP: <Interval>
OK
```

El parámetro intervalo varía entre los valores de 0 a 255

- AT+CSQ

Mediante este comando se realizará la captura del nivel de señal (RSSI) y la calidad de señal (BER)

```
+CSQ: <rsssi>,<ber>
OK
```

4.3. Programación

Para la implementación es necesaria la creación de un programa principal con varios subprogramas que realizarán tareas específicas, dicho subprogramas serán descritos a continuación.

4.3.1. Subprograma timer

El subprograma *timer* será usado para temporizar el envío de las coordenadas periódicamente del móvil a rastrear.

Para este subprograma se ha hecho uso de la librería Java.util, la cual tiene desarrollada una clase con métodos para temporizar eventos. Los puntos más importantes de este subprograma son los siguientes:

```
Timer timerMon = new Timer();

Monitor mon = new Monitor();

timerMon.schedule(mon, 0, 10000);
```

En la primera línea se crea el objeto *timermon* para hacer uso de la clase *timer*.

En la segunda se crea un objeto de la clase *monitor* la cual será la que contenga todos los eventos que se deben realizar de forma periódica.

Por último la tercera línea hace uso del método *Schedule*, el cual tiene como primer parámetro lo que se deberá ejecutar, como segundo parámetro el retardo para la ejecución y el tiempo que se desee contar expresada en milisegundos.

4.3.2. Subprograma de envío de comandos AT

En este subprograma se usa el método propietario de Siemens para el envío de comandos AT.

Por ello lo más importante de este subprograma es la siguiente línea:

```
ATC.SEND(str + "\r")
```

Los parámetros son *str* que será el comando AT y el \r simboliza el enter.

4.3.3. Subprograma GPS

Con este subprograma se inicializa el requerimiento de las coordenadas del móvil. Para ello se hace uso del siguiente comando:

```
AT^SGPSS=1,0
```

Este comando sirve para activar o desactivar el servicio de GPS. Entre los valores más importantes del primer parámetro, que determina la acción, tenemos el valor de “0” para desactivar el servicio y “1” para activarlo. En lo que respecta el segundo parámetro se definirá la forma de cómo se desea realizar la comunicación, es de esta manera que se tiene el modo *AT commands* que es igual a “0”.

Para este subprograma también será necesario el siguiente comando:

AT^SGPSP=tiempo

Con este comando se configura el intervalo de tiempo entre los requerimientos de coordenadas, el parámetro tiempo deberá ser expresado en segundo.

4.3.4. Subprograma de envío de SMS

Este programa hará posible el envío de mensajes de texto vía la red GSM. Para ello se utilizará los siguientes comandos:

AT+CMGF=1
 AT+CMGS=" numero "

Por medio de este comando se realiza el envío del mensaje y tiene como parámetro el número destino, luego se deberá dar un *enter* para agregar el texto del mensaje, para el envío del mensaje se tendrá que realizar la secuencia control + Z.

4.3.5. Subprograma de lectura de URC's

Los URC (Unsolicited Result Codes) son las respuestas que generará el módem sin la necesidad de un comando directo para ello. Estas respuestas pueden darse en caso se halla programado el pedido periódico de la posición del móvil, la recepción de una llamada o mensaje de texto, conexiones a servicios de Internet o en general en cualquier evento que suceda sin la necesidad de un requerimiento expreso.

Para la implementación de este método se ha hecho uso de la librería propietaria de *Siemens ATCommandListener*, en la cual sólo se ha realizado pequeñas modificaciones de tal manera que podamos distinguir cuando se produzcan los URC que nos interesan para el desarrollo de nuestro sistema.

4.3.6. Subprograma de monitoreo de nivel de señal

Mediante este subprograma es posible el monitoreo constate de la calidad de señal de la red GSM en las diversas ubicaciones del móvil. [Roh1999] Para ello utilizará el siguiente comando:

```
AT+CSQ
+CSQ: 23, 0
```

Este parámetro nos dará como respuesta dos valores, como se muestra anteriormente, el primer parámetro nos definirá el nivel de señal expresado en el parámetro RSSI y el segundo parámetro nos representara el BER.

4.3.7. Programa principal

El programa principal será el encargado de realizar el llamado para la ejecución de los subprogramas presentados anteriormente. Además el programa principal será el que se ejecutará cuando se realice el envío del siguiente comando:

```
AT^SJRA=a:/GPS.jar
```

A continuación en la Figura 4-4 se presenta como se ejecuta el programa principal desde la interfase de comunicación hiperterminal:

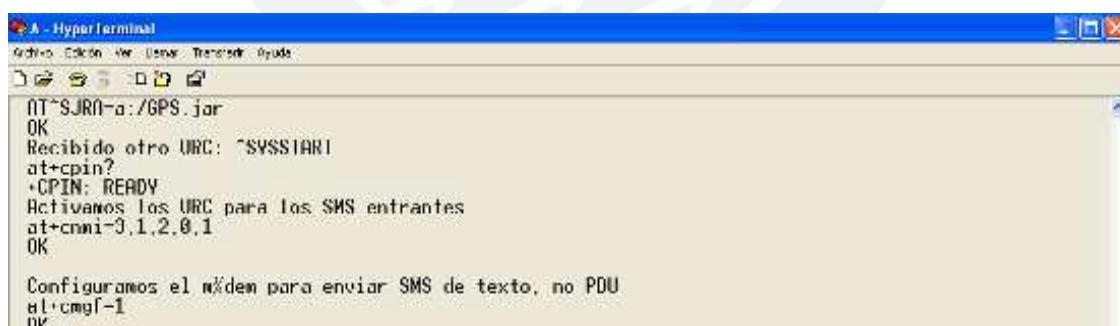

 A screenshot of a Windows HyperTerminal window titled "A - HyperTerminal". The window shows a command-line interface. The user has entered the command "AT^SJRA=a:/GPS.jar" and pressed Enter. The terminal then displays several lines of text indicating the execution of the program, including "OK", "Recibido otro URC: ^SVSS1#RT", "at+cpin?", "+CPIN: READY", "Activamos los URC para los SMS entrantes", "at+cnmi=0,1,2,0,1", "OK", and "Configuramos el módem para enviar SMS de texto, no PDU". The window has a standard Windows title bar and menu bar at the top.

Figura 4-4 Configuración del puerto serial

Fuente: Creación propia

Capítulo 5

Pruebas del sistema

En este capítulo se procederán a describir las pruebas realizadas a nuestro sistema, las cuales fueron realizadas módulo por módulo y de manera conjunta.

Para las pruebas generales del sistema se plantearon dos escenarios de pruebas, gracias a los cuales se verificará si los parámetros configurados en nuestro sistema son los correctos.

Por último en este capítulo se realizarán los comentarios de las simulaciones realizadas.

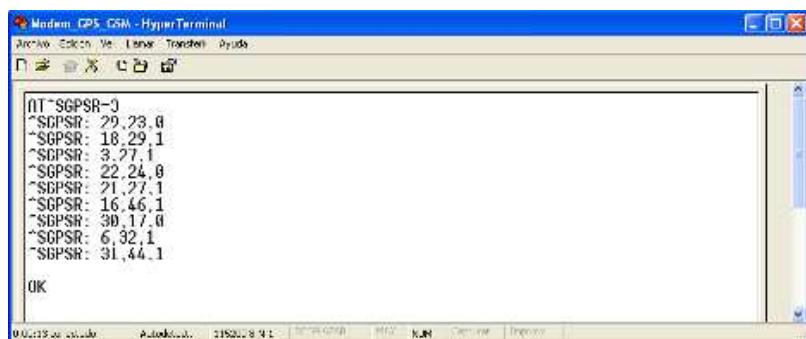
5.1. Pruebas por módulos

Esta etapa de pruebas se realizó en todo el proceso de implementación de nuestro sistema. Para esta etapa se realizaron las pruebas de todos los módulos del sistema de manera independiente.

Como primer paso se realizó el envío de comandos AT de manera directa por medio del programa hiperterminal. Con esto se procedió a corroborar el correcto funcionamiento de nuestro módem.

- Captura de posición: esta prueba se realizó gracias a los siguientes comandos:

- AT^SGPSR=3, con este comando se verificó la cantidad de satélites sincronizados con nuestro equipo y de esta manera se determinó las ubicaciones en donde se realizará de manera adecuada la captura de la posición del módem. Los resultados pueden ser apreciados en la Figura 5-1.

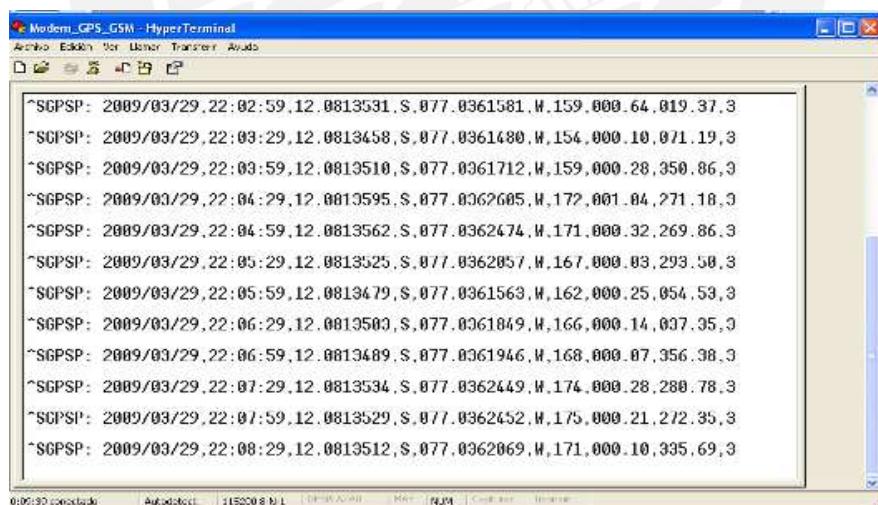


```
AT^SGPSR=3
^SGPSR: 29,23,8
^SGPSR: 18,29,1
^SGPSR: 3,27,1
^SGPSR: 22,24,8
^SGPSR: 21,27,1
^SGPSR: 16,46,1
^SGPSR: 30,17,0
^SGPSR: 6,32,1
^SGPSR: 31,44,1
OK
```

Figura 5-1 Verificación del número de satélites sincronizados

Fuente: Creación propia

- AT^SGPSP=30, con este comando se procedió a capturar la posición del módem cada 30 segundos. Los resultados pueden ser apreciados en la Figura 5-2.



```
^SGPSP: 2009/03/29,22:02:59,12.0813531,$,077.0361581,W,159.000.64.019.37,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:03:29,12.0813458,$,077.0361480,W,154.000.10.071.19,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:03:59,12.0813510,$,077.0361712,W,159.000.28.350.86,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:04:29,12.0813595,$,077.0362605,W,172.001.04.271.18,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:04:59,12.0813562,$,077.0362474,W,171.000.32.269.86,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:05:29,12.0813525,$,077.0362857,W,167.000.03.293.58,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:05:59,12.0813479,$,077.0361563,W,162.000.25.054.53,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:06:29,12.0813503,$,077.0361849,W,166.000.14.007.35,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:06:59,12.0813489,$,077.0361946,W,168.000.07.356.38,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:07:29,12.0813534,$,077.0362449,W,174.000.28.280.78,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:07:59,12.0813529,$,077.0362452,W,175.000.21.272.35,3
^SGPSP: 2009/03/29,22:08:29,12.0813512,$,077.0362069,W,171.000.10.335.69,3
```

Figura 5 -2 Captura de posición del módem

Fuente: Creación propia

- Envío de mensajes de texto: en esta etapa se procedió al envío de mensajes de texto para probar el correcto envío de éstos, para esta prueba se hizo uso del comando `at+cmgs="número"`. Esta prueba se aprecia en la Figura 5-3.

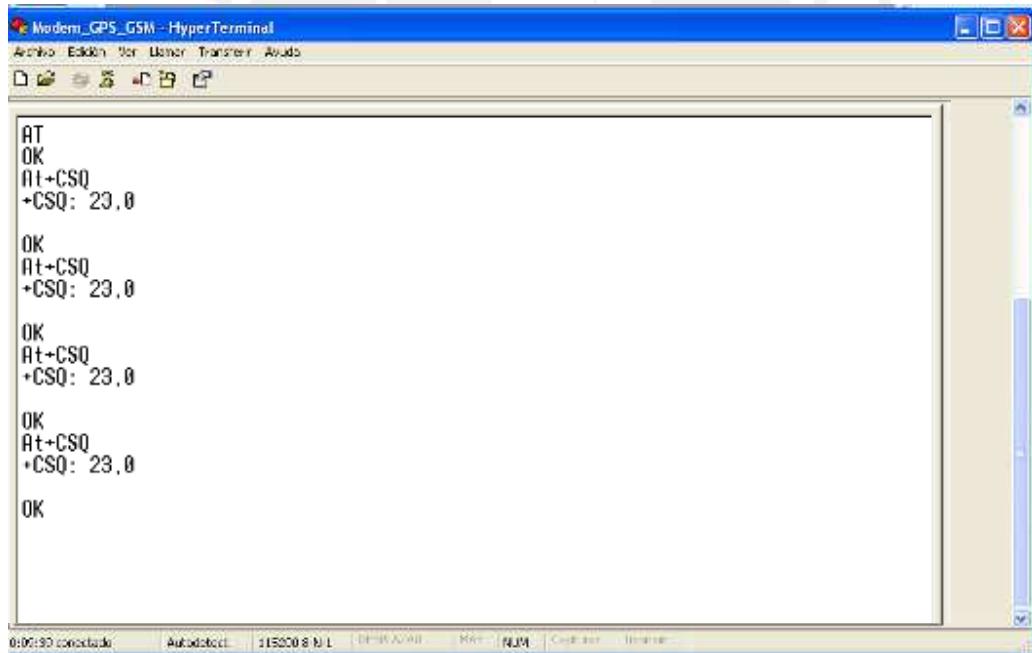
```

OK
at+cmgs=997891730
> asssssssssssss+
+CMGS: 5
OK
-
```

Figura 5-3 Prueba de envío de mensajes de texto

Fuente: Creación propia

- Evaluación de calidad y nivel de señal de la red celular: en esta etapa se procedió a probar el nivel de señal que tiene nuestro módem en un escenario con buen nivel y calidad de señal. Estas pruebas se realizaron con el siguiente comando `AT+CSQ`, como se muestra en la Figura 5-4.



The screenshot shows a HyperTerminal window titled "Modem_GPS_GSM - HyperTerminal". The menu bar includes "Archivo", "Edición", "Ver", "Diseño", "Transferir", and "Ayuda". The main window displays the following text output from the modem:

```

AT
OK
AT+CSQ
+CSQ: 23,0

OK
AT+CSQ
+CSQ: 23,0

OK
AT+CSQ
+CSQ: 23,0

OK
AT+CSQ
+CSQ: 23,0

OK

```

The status bar at the bottom shows "0:00:00 conectado", "Autodetect: 115200 8 N 1", and several other connection parameters.

Figura 5-4 Prueba testeo del nivel y calidad de señal de la red celular

Fuente: Creación propia

Con estas pruebas se comprobó el correcto funcionamiento del módulo y se corroboró que los parámetros y comandos propuestos para la implementación del sistema final son los adecuados.

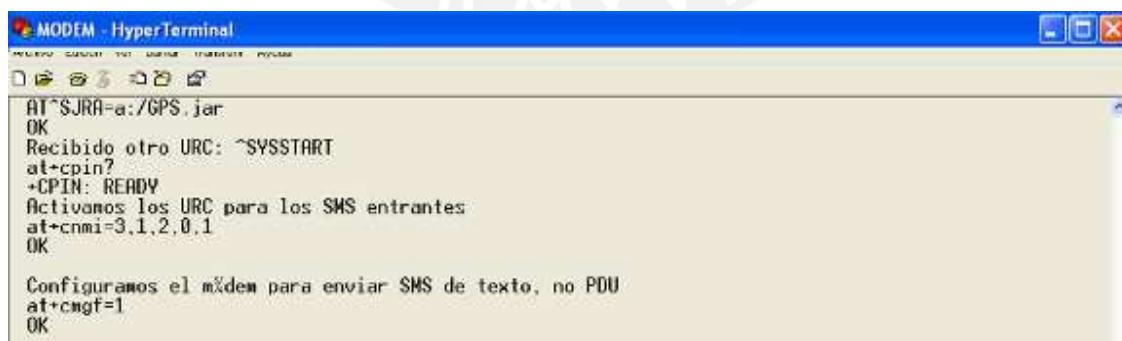
5.2. Pruebas del sistema

Las pruebas realizadas al sistema en su totalidad fueron realizadas en tres escenarios, el primero de ellos fue realizado de modo estático contando con buena calidad y nivel de señal, el siguiente se realizó también de modo estático pero con una mala calidad y nivel de señal y por último se realizó una prueba de manera móvil.

Cabe destacar que luego de la ejecución de nuestro programa será necesario que se espere un minuto aproximadamente para que nuestro módulo de captura de posición pueda darnos las coordenadas correctas de nuestra posición, ya que para el correcto funcionamiento de un sistema GPS deberá por lo menos sincronizarse con cuatro satélites ya que además de la longitud, latitud y altura los sistemas de GPS nos brindan la hora y otros parámetros que para nuestro sistema no serán utilizados.

5.2.1. Pruebas de manera estática con buena calidad y señal de celular

Para las pruebas de manera fija se ejecutó el archivo GPS.jar desde nuestro hiperterminal, luego de lo cual nos dará la siguiente información para poder verificar el correcto funcionamiento de nuestro programa principal, tal como se muestra en la Figura 5-5.



```
MODEM - HyperTerminal
AT^SJRA=a:/GPS.jar
OK
Recibido otro URC: ^SYSSTART
at+cpin?
+CPIN: READY
Activamos los URC para los SMS entrantes
at+cnmi=3,1,2,0,1
OK

Configuramos el módem para enviar SMS de texto, no PDU
at+cmgf=1
OK
```

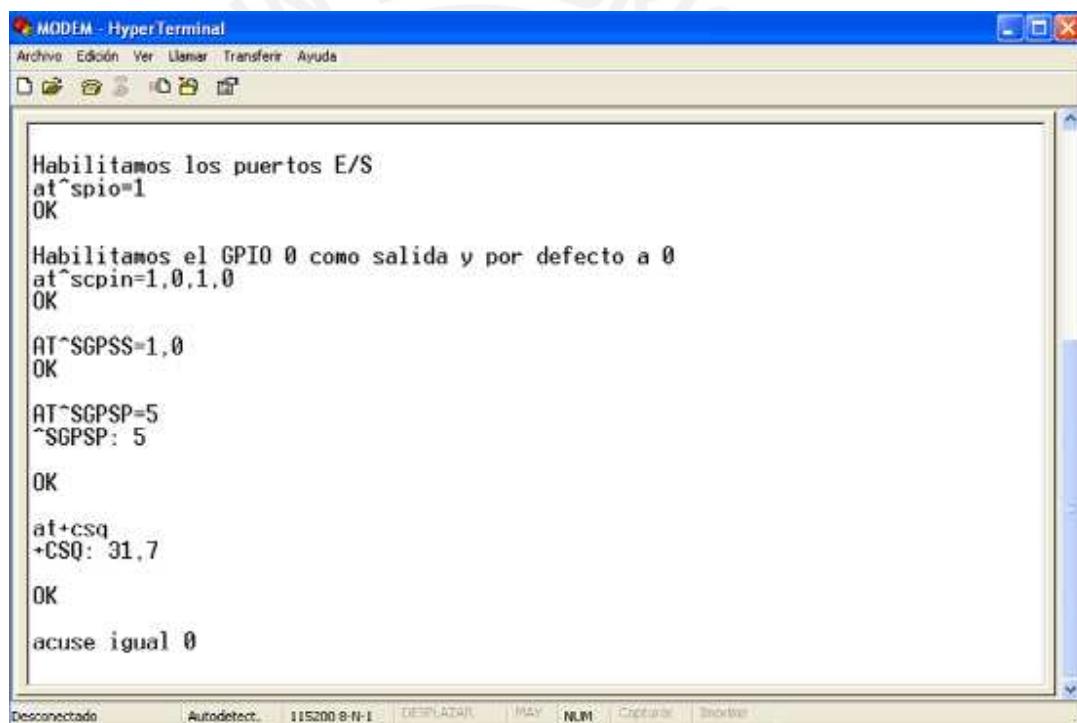
Figura 5-5 Inicio de ejecución del programa principal

Fuente: Creación propia

Podemos apreciar que la ejecución mediante el comando AT^SJRA=a:/GPS.jar ha sido aceptada por el módem ya que este nos da un OK. Adicional a este comando vemos la ejecución de otras tareas para proceder con la configuración inicial como la activación de los SMS y la configuración del tipo de SMS a enviar.

Cabe resaltar que para nuestro prototipo final no se apreciará en pantalla los comandos ni los resultados de estos debido a que se cancelará el envío de información por puerto serial, ya que nuestro computador simulará nuestro enlace satelital

Luego de la activación del programa en el módem, este enviará de manera automática y temporizada los comandos y podremos ver en pantalla los resultados generados por éstos, como se aprecia en la Figura 5-6.



```

Habilitamos los puertos E/S
at^spio=1
OK

Habilitamos el GPIO 0 como salida y por defecto a 0
at^scpin=1,0,1,0
OK

AT^SGPSS=1,0
OK

AT^SGPSP=5
^SGPSP: 5
OK

at+csq
+CSQ: 31,7
OK

acuse igual 0

```

Figura 5-6 Inicio de ejecución del programa principal

Fuente: Creación propia

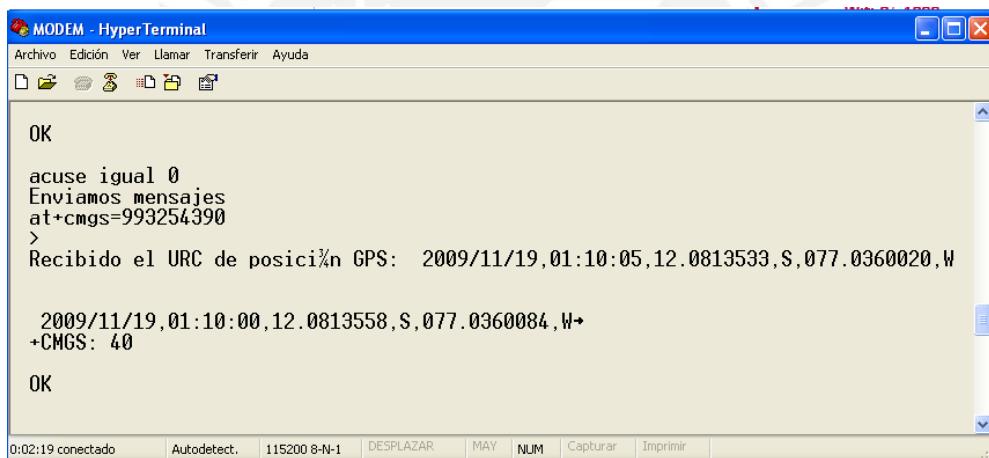
Como vemos en la imagen anterior en un inicio se esta habilitando los puertos del módem, luego se activa la sincronización de los satélites con el comando AT^SGPSS=1,0 y se configura en el tiempo de requerimiento de la ubicación de nuestro equipo. Por último se realiza la evaluación de la calidad y nivel de señal de la

red celular mediante el comando AT+CSQ, con lo cual se obtiene una respuesta dada luego de las siglas +CSQ.

Al final de la ejecución de los comandos de configuración se enviarán mensajes con la información del equipo, estos mensajes serán recibidos en un equipo celular, que para esta prueba simuló nuestra central de monitoreo, o por medio del hiperterminal en nuestro computador que simula el enlace satelital con la central de monitoreo.

Luego de la realización de esta prueba se comprobó que los parámetros BER y RSSI tomados para configurar nuestro módulo de decisión son los adecuados ya que en el escenario propuesto con buena calidad y nivel de señal el 100% de los mensajes enviados fueron enrutados por la red celular.

En la Figura 5-7, se parecía la secuencia de comandos al momento del envío del mensaje.



```

MODEM - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
OK
acuse igual 0
Enviamos mensajes
at+cmgs=993254390
>
Recibido el URC de posicion GPS: 2009/11/19,01:10:05,12.0813533,S,077.0360020,W
2009/11/19,01:10:00,12.0813558,S,077.0360084,W+
+CMGS: 40
OK

```

0:02:19 conectado Autodetect. 115200 8-N-1 DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir

Figura 5-7 Envío de la información por medio de la red celular

Fuente: Creación propia

Además de poder corroborar que nuestro módulo de decisión funciona correctamente con estas pruebas también podemos apreciar que el módulo de envío de SMS funciona de manera adecuada y no se da ninguna clase de error en la etapa de envío de mensaje. También se comprueba que la sintaxis del mensaje es la estipulada para que nuestra central de monitoreo no tenga ninguna clase de problema para poder leer y procesar la información enviada. La recepción del mensaje se aprecia en la Figura 5-8.

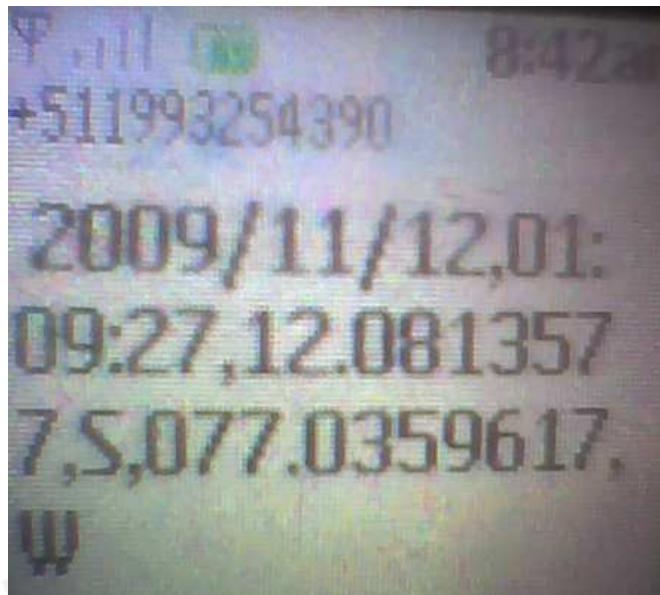


Figura 5-8 Mensaje recibido desde nuestro sistema de rastreo por la red GSM

Fuente: Creación propia

5.2.2. Pruebas de manera estática con mala calidad y señal de celular

Para esta prueba se realizaron los mismos pasos iniciales que en el caso anterior pero con la diferencia que se desconectó la antena que se conecta con la red celular GSM y se trató que el módem no pueda captar de buena forma la señal de la red celular.

Luego de que nuestro programa se ejecutó de manera satisfactoria se observó que el proceso de envío de mensajes utilizó nuestra conexión serial para el envío de éstos, lo cual confirmó que nuestro módem realiza de manera correcta la toma de decisión y envío de la información por el medio más adecuado de acuerdo al escenario en el cual se maneje, ello se aprecia en la Figura 5-9.

```

MODEM - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
Recibido el URC de posición GPS: 2009/11/19, 01:09:45, 90.000000, N, 000.0
Recibido el URC de posición GPS: 2009/11/19, 01:09:50, 12.0813633, S, 077.0
at+csq
0:04:48 conectado Autodetect. 115200 8-N-1 DESPLAZAR MAY NUM Capturar Imprimir
  
```

Figura 5-9 Mensaje recibido desde nuestro sistema de rastreo por puerto serial

Fuente: Creación propia

Con la prueba anteriormente realizada se confirmó que nuestro módulo decisión funciona correctamente en escenarios de poca o nula calidad y nivel de señal, con los cuales también fue posible que nuestro medio de transmisión fundamental será la red celular GSM y se tendrá como respaldo la red satelital simulada en estas pruebas con un enlace serial a nuestro computador.

5.2.3. Pruebas de manera móvil

Las pruebas de manera móvil se realizaron de manera conjunta con el sistema receptor que para nuestro caso será nuestra central de monitoreo. Dichas pruebas fueron realizadas en el campus universitario de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Para la realización de dichas pruebas se adaptó a nuestro módem una pequeña batería de características de voltaje y corriente similares a la suministrada por la fuente eléctrica de nuestro equipo.

Para iniciar estas pruebas se procedieron a realizar los pasos descritos en las anteriores pruebas, luego de que se ejecutara la configuración inicial para nuestro módem éste procedió con el envío de mensajes a la central de monitoreo, con lo cual se obtuvo el gráfico de la Figura 5-10.

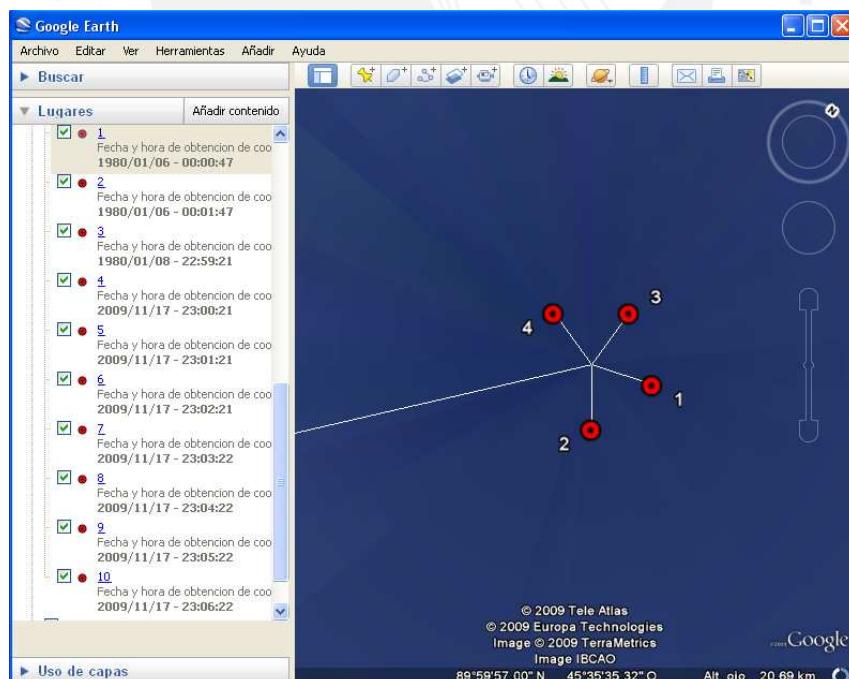


Figura 5-10 Resultados en el GIS en los primeros minutos de la prueba

Fuente: Tesis Manuel Nakamurakare [Nak2010]

En el GIS se aprecia que las primeras cuatro ubicaciones que nuestro módem envía son erradas ya que se establece como coordenadas el punto con latitud 90 N y longitud 0, además también vemos que en los tres primeros mensajes la fecha enviada se encuentra errada, por último vemos que en los dos primeros mensajes la hora también se encuentra errada.

Luego de un pequeño intervalo de tiempo se logra sincronizar los satélites necesarios para la obtención de los datos correctos y finalmente obtenemos la ubicación correcta del módem.

Una vez que ya se ha superado la primera etapa de sincronización se logra ver en el GIS como se va graficando la ruta seguida por nuestro módem, con lo cual se comprueba el correcto funcionamiento de nuestro transmisor así como la correcta captura de la posición. En la Figura 5-11, podemos ver las posiciones del móvil en diversos momentos.

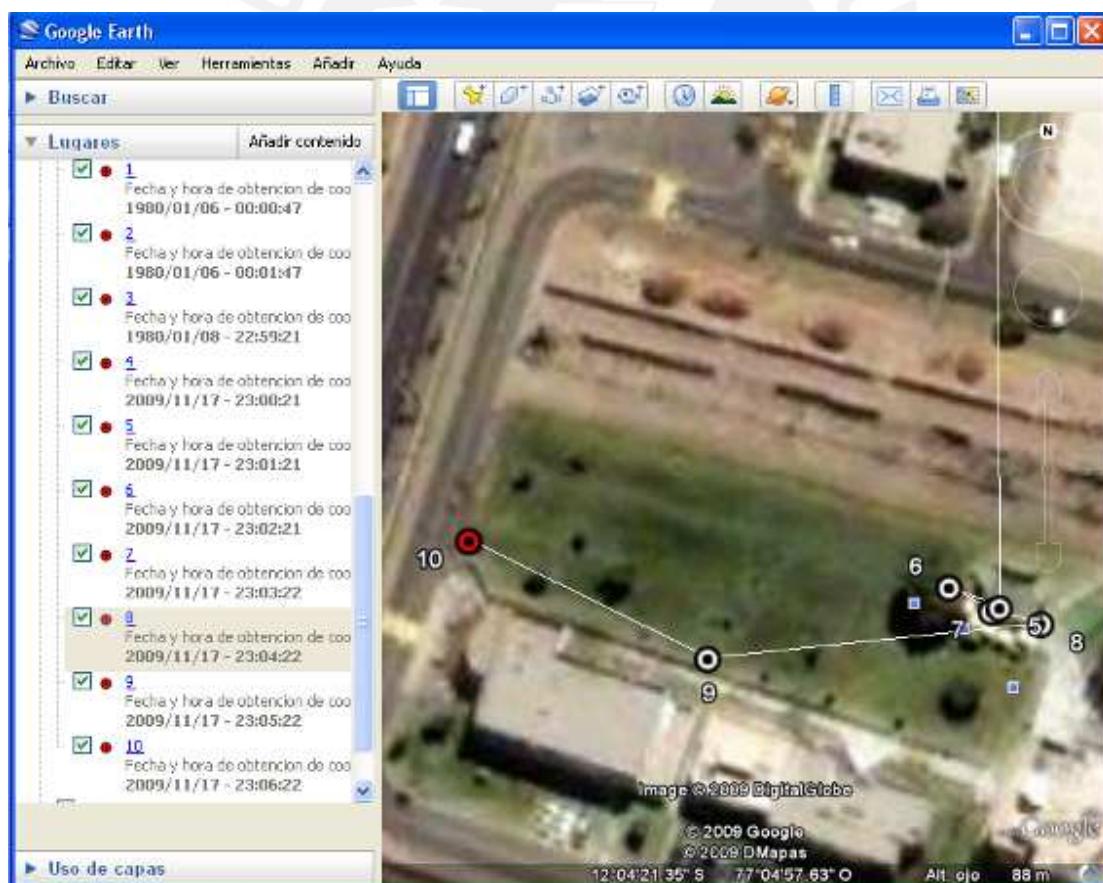


Figura 5-11 Resultados en el GIS luego de la sincronización de satélites

Fuente: Tesis Manuel Nakamurakare [Nak2010]

La importancia de la realización de una prueba de manera móvil como la realizada en este caso es de vital importancia debido a que gracias a ella se logra corroborar la exactitud al momento de la captura de la posición por parte de nuestro equipo. La exactitud en la ubicación de la posición de nuestro móvil la podemos apreciar mediante los puntos graficados 5 y 6, 6 y 7 y 7 y 8, ya que la diferencia de distancia entre estos pares de puntos fue de sólo dos metros.

Por último mediante la pareja de puntos 8 y 9 y 9 y 10 comprobamos que el intervalo de tiempo de un minuto entre el envío de cada mensaje es bastante aceptable ya que para un móvil a una velocidad promedio de 40Km/h se monitorearía sus movimientos cada 5 ó 6 cuadras.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Luego de desarrollada la implementación se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se logró realizar la implementación de un sistema de rastreo dual para el proceso de transmisión que hace uso de las mejores cualidades de cada uno de ellas y puede convertirse en una buena alternativa en el mercado.
- Se desarrolló un estudio de las tecnologías y de la oferta de dispositivos presentes en el mercado, con lo cual se logró localizar una necesidad en el mercado y una posible solución a esta.
- Se demostró mediante la implementación del sistema y las pruebas realizadas que es posible la realización de un sistema que haga uso de la tecnología satelital y celular GSM para la transmisión, logrando con ello un mayor beneficio para el usuario en el aspecto económico y de confiabilidad.

- Se comprobó mediante pruebas de campo que las frecuencias de envío de mensajes configurados a nuestro sistema fueron los adecuados para la obtención periódica de la ubicación de nuestro móvil en todo su recorrido.
- Se lograron realizar pruebas del sistema en conjunto, transmisor y receptor, comprobando la exactitud de las coordenadas brindadas por nuestro transmisor y de esta manera se pudo corroborar la confiabilidad del sistema.

Recomendaciones

A continuación se brindará algunas recomendaciones que se deberán tomar en cuenta al momento de hacer uso de nuestro sistema transmisor y de decisión de la tecnología de transporte.

- Sistema operativo

Para las realización de la pruebas del sistema se recomienda el uso del sistema operativo Windows XP con el aplicativo hiperterminal, ya que con esta aplicación y sistema operativo se realizaron todos las pruebas e implementación del sistema de trasmisión.

- Características de hardware

Es necesario el uso de un computador que cuente con puerto serial RS232 o en su defecto un adaptador USB-Serial RS232 para poder establecer la comunicación entre nuestro módem y el computador.

- Características eléctricas

Para las pruebas de manera móvil en la cuales no se cuente con una toma de corriente disponible es importante el uso de un conector RJ12 debido a que la entrada de voltaje de nuestro módem es de esta característica además de la batería con las características de voltaje y corriente correspondientes. También se debe tener mucho cuidado en cuenta el pinado de los polos positivos y negativos al momento de armar el conector.

- Antena GPS y GSM

Para que nuestro sistema funcione de la mejor manera y se puedan sincronizar de manera más rápida los satélites es importante que la antena de nuestro equipo tenga línea de vista con la mayor área de cielo posible.

Trabajos futuros

- Posicionamiento geográfico por estaciones

Se pueden realizar mejoras al sistema para que este tenga mayor redundancia aplicando el posicionamiento geográfico por medio de la triangulación de estaciones base. Esta tecnología puede ser utilizada de manera alternativa y usada solo en caso no se logre sincronizar los satélites de manera adecuada, ya que esta tecnología no tiene una buena exactitud al momento de indicar la posición.

- Implementación de sensores en el móvil

Es posible hacer que el módem reciba información de sensores instalados en el móvil de tal manera que se pueda enviar información como velocidad del móvil o alguna clase de aviso o alarmas.

- Implementación de sistema de recepción

Se podría configurar e implementar que nuestro módem sea capaz de receptionar mensajes o alguna clase de aviso que sea enviado desde la central de monitoreo de esta forma se podría tener una comunicación en dos sentidos desde nuestro móvil.

Bibliografía

- [Abe2007] Aberasturi Seoane Bruno.(2007, Mayo). El Transporte de Carga en el Perú. Ransa Comercial.http://www.mtc.gob.pe/portal/consultas/cid/Boletines_CID/ 25_AGOSTO/ARCHIVO/transporte/descargar.pdf [2009, abril 05].
- [Bat2002] Bates, Regis J. "Bud. "Global Services Mobile Communications". McGraw-Hill Professional, EEUU2002.
- [Cla2010] Claro <http://www.claro.com.pe/opencms/opencms/claro/detalle.html?idSeccion=1&idPadre=4&idContenido=1375> [2010, marzo 18]
- [Col2001] Collins, Daniel; Smith, Clint. "3G Wireless Networks". McGraw-Hill Professional. EEUU 2001
- [Cur2002] Curwen, Peter J. "Future of Mobile Communications : Awaiting the Third Generation". Macmillan, EEUU 2002.
- [Dur2004] Frank Durda. Consultado el 02 de Junio, 2009. En: <http://nemesis.lonestar.org/reference/telecom/modems/at/history.html>
- [Elc2008] Implementan red para prevenir asaltos a transportistas en Chiclayo. (2008, abril 3).El comercio [En línea]. <http://www.elcomercio.com.pe/ediciononline/HTML/2008-12-03/implementan-red-prevenir-asaltos-transportistas-chiclayo.html> [2009, abril 05].
- [ETS2000] European Telecommunications Standards Institute, "GSM 05.08 version 8.5.0 Release 1999", ETSI, 2000
- [Glo2010] Globalstar <http://www.globalstaramericas.com/tarifas/internet.php> [2010, marzo 17]
- [Gre2000] Green, James Harry. "Irwin Handbook of Telecommunications" McGraw-Hill Companies, EEUU2000.

- [Har1999] Harte, Lawrence. "CDMA IS-95 for Cellular and PCS: Technology, Applications, & Resource Guide" McGraw-Hill Professional. EEUU 1999.
- [Hei2003] Heine, Gunnar. "GPRS : Gateway to Third Generation Mobile Networks" Artech House, Incorporated, EEUU 2003.
- [Hol2005] Holma, Harri. "WCDMA for UMTS : Radio Access for Third Generation Mobile Communications". John Wiley & Sons, Incorporated, EEUU 2005.
- [IEC2007] International Engineering Consortium Consultado el 20 de Mayo, 2009. En: <http://www.iec.org/online/tutorials/winternet/topic04.asp>
- [Lia2007] Y. Daniel Liang. "Introduction to Java Programming: Comprehensive" Prentice Hall, EEUU 2007
- [Mis2001] Mishra, Ajay R. "Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5G/3G- Evolution To 4G". John Wiley & Sons, Incorporated, 2004.
- [Mob2008] Mobile Solution Consultado el 15 de Abril, 2009. En: <http://www.mobilesolutions.ch/index.php?id=169&L=1>
- [Mov2010] MoviStar <http://www.movistar.com.pe/default2.aspx?id=11> [2010, marzo 18]
- [Nak2010] Nakamurakare, Manuel. "Implementación de un receptor de un sistema de rastreo de vehículos por GPS de bajo costo". PUCP. 2010
- [Osi2009] Osiptel Consultado el 01 de Junio, 2009. En: <http://www.osiptel.gob.pe/Index.ASP?T=T&IDBase=2635&P=%2FOsiptelDocs%2FGPR%2FEL%5FSECTOR%2FINFORMACION+ESTADISTICA%2FIndicadores%5FservicioMovil%2Ehtm#>
- [Pra2005] Prasad, Ramjee. "Applied Satellite Navigation Using GPS, GALILEO, and Augmentation Systems". Artech House, Incorporated, EEUU 2005
- [Per2008] La mayoría de los asaltos en carreteras es en el norte (2008, Diciembre 16) Perú21[En línea]. [http://peru21.pe/noticia/225361/mayoria-asaltos-carreteras-norte\[2009, abril 05\].](http://peru21.pe/noticia/225361/mayoria-asaltos-carreteras-norte[2009, abril 05].)

- [Rod2006] Roddy, Dennis. "Satellite Communications". McGraw-Hill Professional Publishing, EEUU 2006.
- [Roh1999] CMU200: On the fast lane into the mobile radio future. News from Rohde & Schwarz (1999) No. 165, pp 4–7
- [Roh2000] CMU200: GSM power measurement – versatile, fast and accurate. News from Rohde & Schwarz (2000) No. 167, pp 24–25
- [Sha2004] Shaub, Keith. "Production Testing of RF and System-on-a-Chip Devices for Wireless Communications". Artech House, Incorporated. EEUU 2004.
- [Smi2001] Smith, Clint. "Wireless Telecommunications FAQs". McGraw-Hill Companies, 2001
- [Sie2007] Siemens, XT65 AT Command Set, 2007
http://siemensm2m.ru/document_703.html?29C6CDE01A926BE80EFB85A5DF65194A.