

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Desarrollo de una aplicación de Servicios Basados en Localización para
una red celular de tipo *Global System for Mobile (GSM)*.**

Eduardo Xavier Albán Guijarro
Diego Andrés Estrella Moreira

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniería
Eléctrica y Electrónica

Quito

Agosto de 2005

Universidad San Francisco de Quito
Colegio Politécnico
HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Desarrollo de una aplicación de Servicios Basados en Localización para
una red celular de tipo *Global System for Mobile (GSM)*.**

Eduardo Xavier Albán Guijarro
Diego Andrés Estrella Moreira

Julio Arauz, Ph. D.
Director de Tesis (firma)

Julio Arauz, Ph. D.
Miembro del Comité de Tesis (firma)

Santiago Navarro, Ph. D.
Miembro del Comité de Tesis (firma)

René Játiva, DEA.
Miembro del Comité de Tesis (firma)

Vinicio Carrera, DSc.
Miembro del Comité de Tesis (firma)

Fernando Romo, MSc.
Decano del Colegio Politécnico (firma)

Quito, agosto de 2005

© Derechos de Autor

Eduardo Albán

Diego Estrella

2005

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias, en especial a nuestros padres: Eduardo, Marianita, Fernando y Sylvia, y hermanos (Gaby y Nicolás) por el apoyo incondicional que nos brindan día a día. A nuestros profesores por sus enseñanzas durante toda nuestra carrera: Santiago Navarro, Javier Dávila, Diego Benítez, René Játiva, Bruce Hoeneisen, Nelson Herrera, y especialmente a Julio Arauz por sus consejos y guía en esta tesis. Y a nuestros compañeros, por los buenos momentos dentro y fuera de las aulas, y por su interés en esta primera tesis de Ingeniería Eléctrica-Electrónica de la USFQ, en especial a Diego Bassante y Milton León por su ayuda en el desarrollo del proyecto.

RESUMEN

Gracias a la gran aceptación mundial del sistema GSM, a la creciente demanda que existe por servicios innovadores, al aparecimiento de nuevas generaciones de teléfonos móviles, y al desarrollo de estándares y métodos para desarrollar aplicaciones, así como el aparecimiento de requerimientos legales para la localización de los teléfonos móviles por motivos de seguridad y emergencia, se ha generado un gran interés y desarrollo de aplicaciones de tipo LBS (*Location Based Services*). Esta tesis desarrolla una aplicación de este tipo, que brinda al usuario información sobre la ubicación de establecimientos cercanos a su posición. Se desarrollaron dos tipos de software. Uno está instalado en el terminal móvil, que ejecuta el usuario, y fue desarrollado en la plataforma *Nokia serie 60*, basada en el sistema *Symbian OS*. Y otro está instalado en una PC (conectada a un teléfono celular), que funciona como un servidor de mensajes cortos (SMS) y como un servidor de localización. Se estableció un área de pruebas dividida en sectores (en la ciudad de Quito), dentro de la cual se ejecutaron experimentos para obtener una distancia estimada a los establecimientos buscados por el usuario.

ABSTRACT

Due to the worldwide acceptance of the GSM system, the growing demand for innovative services, the appearance of new generations of mobile phones, the evolution of standards and methods to develop new services and the legal requirements to locate the mobile station for security and emergency purposes, there have been great expectations for the development of new Location Based Services (LBS). In this thesis we develop a service of this type. This service offers the mobile phone user information about the location of places nearby. Two types of software were developed. One is located in the mobile phone, which is executed by the user and was developed for the *Nokia Series 60* platform, which is based on the *Symbian Operating System*. The other piece of software is located in a PC, which is connected to a mobile phone and operates as a Short Message Server and a Location Server. We designated a test area in Quito (Ecuador), divided in sectors. Inside this area, we performed experiments in order to obtain an estimate distance to the places requested by the user.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	vii
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	x
1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 GSM: Impacto de la Tecnología y Estadísticas.....	2
1.3 Aplicaciones Móviles: (SMS, Servicios Basados en Localización).....	4
1.3.1 SMS	5
1.3.2 Servicios basados en localización (LBS)	6
1.4 Justificación e Importancia del Proyecto.....	7
1.5 Objetivos.....	8
1.6 Contenido	9
2 Fundamentos Técnicos.....	10
2.1 Tecnología GSM	10
2.1.1 Introducción.....	10
2.1.2 Arquitectura y características principales de las redes GSM	10
a. MS: Mobile Station	12
b. BSS: <i>Base Station Subsystem</i>	12
c. NSS: <i>Network Subsystem</i>	13
d. OMS: <i>Operation and Maintenance Subsystem</i>	15
2.1.3 Códigos e Identidades.....	15
2.1.4 Canales Lógicos.....	16
2.1.5 Funcionamiento Básico	17
2.1.6 Servicios de GSM.....	18
2.2 Técnicas para determinación de la posición de la estación móvil.....	19
2.2.1 Angulo de Arribo (Angle of Arrival: AOA).....	20
2.2.2 Tiempo de Arribo (Time of Arrival: TOA) y Diferencia en el Tiempo de Arribo (Time Difference of Arrival: TDOA)	21
2.2.3 A-GPS: Assisted Global Positioning System	24
2.2.4 Método del <i>Cell Id</i>	25
3 Desarrollo y Funcionamiento	28
3.1 Funcionamiento general de la aplicación	28
3.1.1 Software en la MS (Bloque B)	30
a. Obtención de los datos de red.....	31
b. Envío de mensajes de texto	32
3.1.2 Hardware y Software en el Servidor.....	33
4 Diseño de los Experimentos.....	38
4.1 Área de Pruebas	38

4.2	Variables y Factores de estudio	39
4.3	Diseño de los experimentos.....	39
4.3.1	Mapa de cobertura <i>cell id's</i>	39
4.3.2	Sectores.....	40
4.3.3	Base de Datos	44
4.3.4	Experimentos	46
5	Resultados	47
5.1	Análisis para Restaurantes.....	47
5.1.1	Distancias	47
a.	Área Urbana.....	47
b.	Área Rural	49
5.1.2	Tiempos de respuesta	51
6	Conclusiones.....	53
7	Recomendaciones y Trabajo Futuro	54
	Bibliografía.....	55
	Anexos.....	57

Lista de figuras

Figura 1. Estadísticas de GSM (GSMA statistics (www.gsmworld.com))	3
Figura 2. Número de mensajes SMS enviados	5
Figura 3. Arquitectura GSM	11
Figura 4. BTS y celda	13
Figura 5. Pasos para establecimiento de llamada originada en el MS	18
Figura 6. Angulo de Arribo (AOA)	20
Figura 7. Tiempo de Arribo (TOA)	22
Figura 8. Diferencia en tiempo de arriba (TDOA)	23
Figura 9. GPS asistido (A-GPS)	25
Figura 10. Cell ID	26
Figura 11. Comparación de Métodos de Posicionamiento	27
Figura 12. Esquema gráfico de la aplicación de Localización	28
Figura 13. Diagrama de Flujo de la Aplicación de Localización	29
Figura 14. Menú del software instalado en la MS	30
Figura 15. Servidor: Computadora, cable DKU-5 y teléfono.	34
Figura 16. Comunicación Pc-teléfono con comandos AT	34
Figura 17. Recepción y envío de SMS en el servidor	35
Figura 18. Área de pruebas con mediciones de <i>cell id</i> 's	39
Figura 19. Estructuras de celdas	40
Figura 20. Usuario cercano al centro del sector	41
Figura 21. Usuario en los extremos del sector	42
Figura 22. Usuario en medio de dos sectores	42
Figura 23. Sector con <i>cell id</i> 's	43
Figura 24. Área de pruebas con sectores	44
Figura 25. Estructura de la Base de datos de Localización	45
Figura 26. Distancia a los sitios más cercanos	46
Figura 27. Distancias a los restaurantes desplegados en cada respuesta (urbano)	48
Figura 28. Distancias a los restaurantes más cercanos (urbano)	48
Figura 29. Distancias a los restaurantes más lejanos (urbano)	49
Figura 30. Distancias a los restaurantes desplegados en cada respuesta (Rural)	50
Figura 31. Distancias a los restaurantes más lejanos (Rural)	50
Figura 32. Distancias a los restaurantes más cercanos (Rural)	51
Figura 33. Tiempo entre la ejecución de la aplicación y el recibimiento de la respuesta	52

Lista de tablas

Tabla 1. Número de abonados en Ecuador	4
Tabla 2. Servicios de telecomunicación (GSM).....	19

1 Introducción

Debido a las limitaciones tecnológicas de la época, la telefonía celular fue concebida a mediados de la década de los setentas, para brindar únicamente servicios de voz. La tecnología celular de hoy en día es capaz de brindar otro tipo de servicios tales como transmisión de datos, audio y video.

Después de la creación de sistemas analógicos, que tenían capacidad limitada, la adopción de un sistema digital a inicios de los años noventa mejoró el uso del espectro, la calidad de la transmisión y permitió otros servicios que en los teléfonos de primera generación no eran posibles. Además, la reducción de costos gracias a nuevas tecnologías y arquitecturas, permitió la masificación del uso de teléfonos celulares. En 1990 existían 10 millones de usuarios de teléfonos móviles, y para el final del 2003 los usuarios de telefonía móvil superaban a los de telefonía fija. El Deutsche Bank estima en [1] que para el final de ésta década los usuarios de telefonía móvil serán aproximadamente 2300 millones.

Gran parte del éxito en la telefonía móvil ha llegado gracias al estándar GSM, que se creó para brindar un servicio digital de calidad con bajos costos y con facilidad de traspasar fronteras y usar un mismo teléfono en varios países (*roaming*). GSM es uno de los estándares de segunda generación. La tercera generación de teléfonos móviles (3G), que en la actualidad se encuentra en pleno desarrollo e implementación, se caracteriza por la convergencia de la voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos.

Gracias al aumento de usuarios de servicios móviles en los últimos años, a la posibilidad de intercambio de datos, y a la gran aceptación del estándar GSM en el mundo, se ha generado la demanda en el mercado para nuevas aplicaciones móviles. Un tipo de aplicaciones en pleno desarrollo son las basadas en los llamados Servicios Basados en Localización (LBS: *Location Based Services*), las cuales hacen uso de la posición del terminal móvil para brindar información personalizada.

En esta tesis se desarrolló una aplicación basada en LBS, aprovechando las ventajas que ofrece el sistema GSM (tanto en cuanto a la utilización de los recursos de la red, como en

su arquitectura), la gran demanda de servicios móviles, y la inexistencia de una aplicación de este tipo en el Ecuador. Como explicaremos más adelante, estos motivos condujeron al desarrollo de una aplicación que brinda servicios personalizados al usuario, informándolo sobre servicios cercanos a su posición.

1.1 Antecedentes

El pionero de las comunicaciones móviles fue el sistema americano *Advanced Mobile Phone Service* (AMPS), cuya primera prueba fue en Chicago en 1978, y cuyo lanzamiento comercial, como explican Smith y Collins en [2, pág. 3] se dio en 1983 en la banda de los 800 MHz. Por otra parte, en Europa se lanzaron los sistemas *Nordic Mobile Telephony* (NMT) y *Total Access Communications System* (TACS). Todos estos sistemas de primera generación, los cuales son analógicos, tuvieron gran aceptación y su rápido crecimiento y limitada capacidad llevó a que se desarrollaran sistemas de segunda generación digitales. De acuerdo a Smith y Collins en [2, págs. 4 y 8], los sistemas más exitosos que se encuentran operando actualmente son *Interim Standard 136* (IS-136) TDMA (*Time Division Multiple Access*), *IS-95 CDMA* (*Code Division Multiple Access*) y *Global System for Mobile Communications* (GSM).

Los sistemas celulares dejaron de ser solamente prestadores de servicios de voz, para ofrecer también servicios de transmisión de datos. Hoy en día, no solo ofrecen servicio de envío de mensajes de texto sino conexión a Internet o intercambio de mensajes multimedia. Todos estos servicios demandan una mayor capacidad de transmisión, por lo que los operadores móviles han empezado a migrar sus sistemas de segunda generación a sistemas de 2.5G y en muchos casos se saltarán ese paso para ir directamente a 3G, lo cual ha creado gran expectativa por los servicios y las ventajas que los sistemas como UMTS, WCDMA o CDMA 2000 puedan ofrecer. La telefonía celular todavía tiene un largo camino por recorrer, y su importancia no solo es actual sino futura.

1.2 GSM: Impacto de la Tecnología y Estadísticas

El gran aumento en el uso de teléfonos celulares en el mundo en estos últimos años, y el hecho de que tener un teléfono móvil dejó de ser un lujo para pasar a ser prácticamente una

necesidad, se ha debido en gran parte al desarrollo del sistema GSM [3]. En 1989 se aprobó la primera fase para la implementación de GSM en el Instituto Europeo de Estandarización para Telecomunicaciones (ETSI). En 1992 se lanzó la primera red comercial GSM en Finlandia, y en 1996 ya existían 120 redes GSM en el mundo [3, pág. 8]. Ya a inicios de 1995, el primer sistema prepago fue implementado por un operador GSM alemán, y ese fue el inicio de un sistema que ha contribuido en gran medida al crecimiento del número de usuarios de telefonía móvil en el mundo.

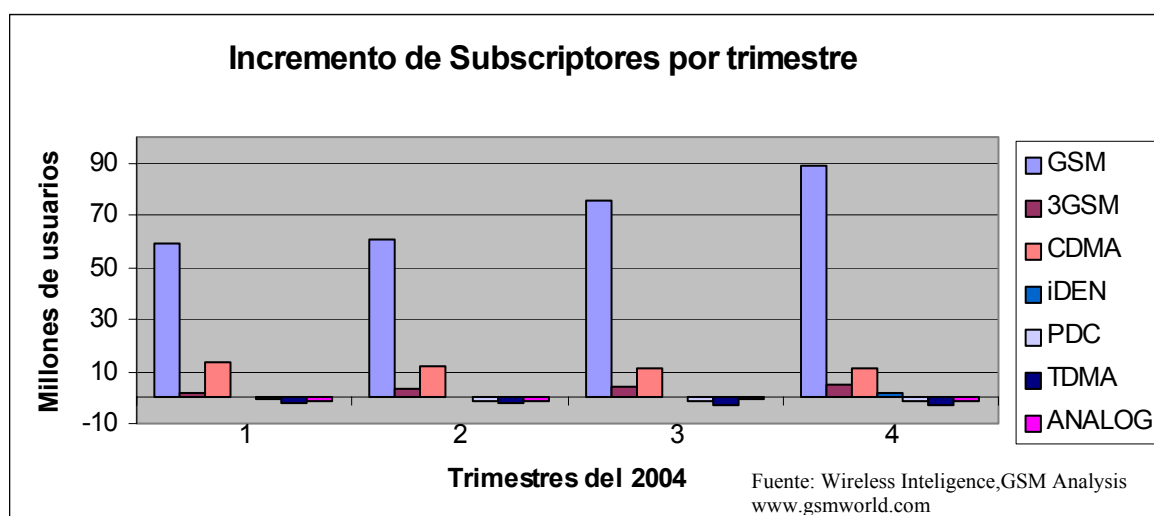


Figura 1. Estadísticas de GSM (GSMA statistics (www.gsmworld.com))

GSM es, hoy en día, la tecnología de comunicaciones de más rápido crecimiento en la historia. Actualmente, el 75% del mercado inalámbrico mundial es ocupado por esta tecnología, operando en más de 200 países y con más de mil millones de usuarios. El crecimiento de usuarios de GSM en comparación al resto de sistemas (CDMA, TDMA, etc) es abrumador. En la Figura 1 podemos observar que en los cuatro cuartos del año 2004, el crecimiento de GSM es mucho mayor al del resto de sistemas. Además, observamos que el crecimiento de GSM ha sido sostenido durante todo el año. En el primer cuarto del año, el crecimiento fue de 60 millones de usuarios, y en el último cuarto del año aumentó a cerca de 80 millones de usuarios, mientras que en el resto de sistemas el comportamiento fue irregular.

El Ecuador, así como muchos de los países latinoamericanos, se encuentra en el momento en una etapa de transición con respecto a los sistemas de telefonía celular. Con la compra de lo que anteriormente era Bellsouth por parte de la compañía Telefónica, en el país se

seguirá la tendencia mundial, en la que el sistema GSM sería el dominante absoluto. Es por esta razón, que cualquier estadística sobre el estado del sistema GSM en Ecuador puede resultar inexacta, dadas las circunstancias actuales. Sin embargo, en la tabla 1 se presenta el número de suscriptores por tecnología y por operador a mayo de 2005, según la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador (SUPTTEL) en [4].

Tecnología/Operador	TELECSA	OTECEL (Movistar)	CONECCEL (Porta)	TOTAL
TDMA		382715	979912	1362627
CDMA	154721	1220294		1375015
GSM			1965075	1965075
TOTAL	154721	1603009	2944987	4702717

Tabla 1. Número de abonados en Ecuador

Justamente por la aceptación y adopción mundial del sistema GSM, que no tiene comparación con ningún otro sistema, y por las razones técnicas de su arquitectura y funcionamiento, que serán explicadas más adelante, se decidió que la aplicación desarrollada en esta tesis funcione bajo el sistema GSM.

1.3 Aplicaciones Móviles: (SMS, Servicios Basados en Localización)

El continuo desarrollo, tanto de las redes GSM, como de los terminales móviles, ha permitido la evolución de los servicios móviles gracias a nuevas tecnologías y requerimientos de los usuarios, que son cada vez más conscientes de las capacidades de sus teléfonos móviles y de los servicios que éstos pueden brindar. Esto ha conseguido crear un mercado muy grande para nuevos servicios innovadores, y como consecuencia, un gran campo de investigación para los desarrolladores de este tipo de servicios. Actualmente, los servicios que tienen más desarrollo y demanda son aquellos basados en localización, llamados LBS (*Location - Based Services*) y los de multimedia, llamados MMS (*Multimedia Message Services*). En [5], la GSM Association detalla ampliamente la información sobre el estado y terminología de este tipo de servicios, desde el punto de vista de los requerimientos de los operadores móviles.

1.3.1 SMS

La herramienta más utilizada por los servicios móviles actuales es el Servicio de Mensajes Cortos: SMS (*Short Message Service*). Este es un servicio que permite enviar mensajes cortos en forma de texto entre teléfonos móviles. El servicio SMS ha tenido una acogida muy extensa en todo el mundo, sobre todo en la población joven, que ha encontrado una manera de comunicarse sin necesidad de hablar. Fue originalmente creada como un estándar de la tecnología GSM para intercambiar mensajes de control, y ahora es ampliamente utilizada por todos los operadores móviles, hasta el punto de convertirse en un elemento muy importante para el crecimiento del número de usuarios de teléfonos móviles. En la Figura 2 se puede apreciar el crecimiento sostenido del uso del SMS en el mundo, particularmente entre enero del año 2000 y mayo del año 2002. En ese período hubo un crecimiento total del número de mensajes enviados de más de 20 mil millones.

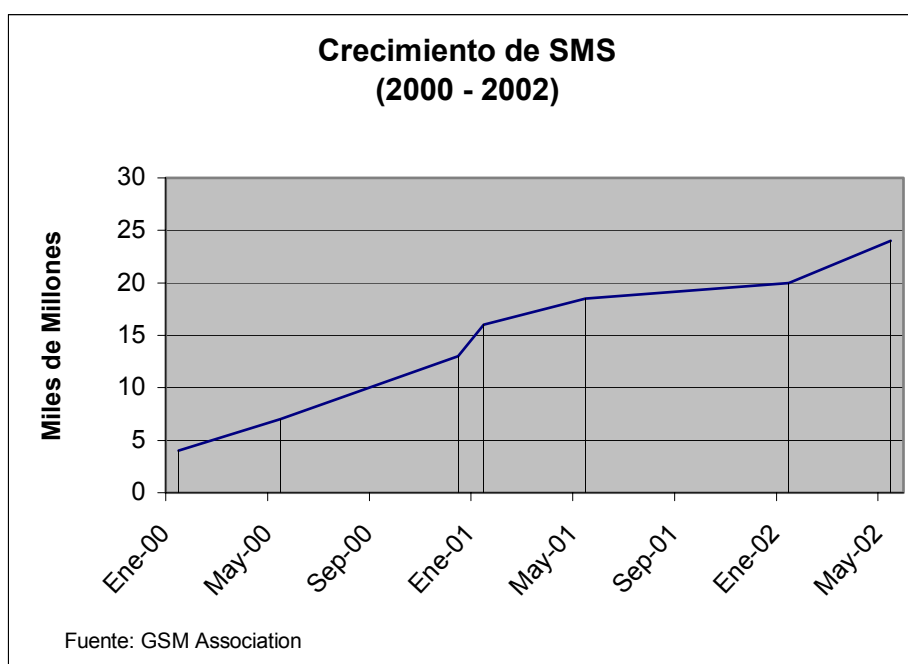


Figura 2. Número de mensajes SMS enviados

Este servicio es utilizado como la herramienta más efectiva para hacer llegar información al usuario, como parte de diferentes aplicaciones y servicios de telefonía móvil, y es la que se utilizará en la aplicación desarrollada en esta tesis.

1.3.2 Servicios basados en localización (LBS)

Los servicios basados en localización, conocidos como LBS (*Location-Based Services*), son servicios que utilizan la información de la posición geográfica del usuario, para brindar múltiples servicios personalizados que van desde información sobre establecimientos cercanos (hospitales, restaurantes, etc.), hasta información acerca de tráfico vehicular, pasando por el seguimiento de vehículos o personas. En los últimos años, los servicios basados en localización han tenido un repunte frente al resto de servicios, y esto se debe principalmente a los requerimientos de seguridad que por ley se exigen en EEUU y Europa. Para las llamadas de emergencia en EEUU, existe el requerimiento de la FCC (*Federal Communications Commission*) de localizar el teléfono con mucha precisión para poder optimizar la ayuda necesaria, al saber la posición de la persona que está en problemas. Esta regulación (*Enhanced 911* ó *E911*) está más avanzada que en el resto de países, y las exigencias para que los operadores móviles tengan la capacidad de localizar los terminales móviles han hecho que se logre ubicar al teléfono con una gran precisión. La FCC aclara en [6] las diferentes fases de este conjunto de requerimientos que están en pleno desarrollo y evaluación. Actualmente, como explica la misma FCC en [7], el E911 se encuentra en la Fase II, que estipula que el teléfono debe ser localizado entre 50 y 300 metros de precisión, al finalizar el año 2005. Además, como explica Zhao en [8], la unión europea tiene en planes una regulación similar llamada E112. Aprovechando esta situación, se están desarrollando aplicaciones comerciales que consisten en conocer y utilizar la posición del terminal móvil para beneficio del propio usuario, mas no para cumplir con requisitos de seguridad.

Además del avance en cuanto a aplicaciones innovadoras, tanto los fabricantes de teléfonos como los operadores de servicios móviles han trazado una ruta hacia los nuevos sistemas a implementarse, para permitir mayor calidad, mejores servicios, y mayores velocidades de transmisión conjugadas con mayor capacidad de transmisión de datos y voz. Así, nace la tercera generación. Ya en 1988, la recién formada ETSI (*European Telecommunications Standardisation Institute*) empezó a buscar un sucesor para GSM. En 1995 se formó el UMTS (*Universal Mobile Telephony Service*), que buscaba materializar las intenciones de la llamada 3G (tercera generación).

Gracias a todos estos avances en el campo de las comunicaciones, las aplicaciones innovadoras o servicios de valor agregado (*Value Added Services*) se han convertido en un campo en pleno desarrollo, y de mucha acogida y demanda por parte del usuario, que se ha dado cuenta de que su teléfono puede servir para diversos propósitos, y no solamente para la transmisión de voz.

1.4 Justificación e Importancia del Proyecto

Como se mencionó anteriormente, en la tesis se desarrolla una aplicación de tipo LBS (basada en la localización del teléfono móvil) que proporciona información al usuario sobre puntos de interés cercanos a su posición. La aplicación desarrollada fue ideada tomando en cuenta los siguientes motivos:

- Los beneficios que brinda el sistema GSM. Tanto su arquitectura como su funcionamiento técnico, como veremos más adelante, permiten una cierta facilidad (con respecto a otros sistemas) en la obtención de datos útiles de la red para la estimación de la posición física (geográfica) del terminal móvil que es parte de dicha red. Estas ventajas de tipo técnico que brinda el sistema GSM se apoyan y se complementan con el hecho de que la demanda por este tipo de servicios personalizados para telefonía móvil haya crecido y crecerá mucho en el futuro.
- El hecho de que el desarrollo de las aplicaciones de LBS es un campo inexplorado en el Ecuador, permite que exista una gran posibilidad de una futura comercialización de la aplicación.
- La aplicación desarrollada busca brindar ayuda al usuario, sin que este tenga que recurrir necesariamente a un servicio brindado exclusivamente por su operador de telefonía celular, ya que el usuario es libre de instalar la aplicación en su teléfono.
- Los fabricantes de teléfonos móviles han desarrollado nuevos modelos que permiten al usuario tener acceso a este tipo de servicios de una manera fácil y amigable, así como manejar y configurar el teléfono de una manera más personalizada.
- Se han creado estándares abiertos sin necesidad de licencias (sistemas operativos, lenguajes de programación) que están disponibles para el uso y modificación del público en general (desarrolladores de programas), lo que hace posible la creación

de aplicaciones innovadoras que pueden ser instaladas en los teléfonos sin necesidad de permisos de ningún tipo.

El tema de esta tesis tiene relación con otros proyectos que se realizan en la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), como parte del grupo de comunicaciones móviles¹, cuyo objetivo futuro es desarrollar aplicaciones para varios tipos de teléfonos y programas que simulen su funcionamiento dentro de la computadora. Este tipo de aplicaciones no existen en el mercado nacional, y actualmente se desarrollan en el plano internacional en empresas de software y de telecomunicaciones².

1.5 Objetivos

Esta tesis es una respuesta a la necesidad de servicios innovadores en el campo de los servicios basados en localización, y en particular, el objetivo final es tener una aplicación de tipo LBS (basada en la localización del teléfono móvil) que proporcione información al usuario sobre puntos de interés cercanos a su posición. Para esto, la aplicación debe hacer que el móvil sea capaz de estimar su posición geográfica dentro de la red y que muestre direcciones de puntos de interés (establecimientos comerciales) ante el pedido específico del usuario. Así, el usuario podrá preguntar la ubicación de un tipo de establecimiento (una gasolinera, por ejemplo) que se encuentre cercana a su posición y obtener una lista con varias opciones, por medio de un mensaje de texto, luego de pocos segundos.

Para esto, la aplicación hará uso de recursos propios del sistema GSM, como sus mensajes de control, y la utilización de una cuenta que incluya mensajes de texto, y contará con dos tipos de software: uno instalado en el terminal y otro instalado en un servidor, que manejará la base de datos y la interconexión entre ésta y la red GSM.

Dadas las diferencias entre el tipo de software y el sistema operativo utilizado por los diferentes fabricantes de teléfonos móviles, se ha decidido que la aplicación funcione en los teléfonos de la serie 60 de Nokia debido a la facilidad en la obtención de documentación libre para el desarrollo de aplicaciones que corren bajo su sistema

¹ facultad.usfq.edu.ec/julioa/mobile

² www.psiloc.com (minigps), www.nextel.com

operativo (Symbian OS v6.1), y al dominio mundial que tiene esta empresa en la venta de teléfonos para el sistema GSM.

Esta aplicación constituirá un modelo o prototipo para aplicaciones futuras, que podrán ser más extensas y brindar más servicios que los que ofrece la que se desarrolla en esta tesis, debido a las obvias limitaciones de tiempo, espacio y recursos económicos. Sin embargo, es importante notar que la aplicación será plenamente funcional en un sector determinado de la ciudad de Quito, dentro del cual ésta tendrá su campo de acción y de prueba.

La aplicación podría generar interés tanto en los operadores de telefonía móvil que utilicen GSM, como en empresas (establecimientos comerciales o gubernamentales) que podrían beneficiarse de la aplicación al incluir sus nombres y ubicación para beneficio de los usuarios.

1.6 Contenido

Luego de haber planteado en este capítulo introductorio la justificación e importancia de esta tesis, en el segundo capítulo se explicarán los fundamentos técnicos que son necesarios para el entendimiento del funcionamiento de la aplicación. Se cubrirá la arquitectura básica del sistema GSM, así como su funcionamiento y elementos más importantes. Además, se incluye una explicación de las técnicas de posicionamiento más utilizadas en la actualidad, en especial la utilizada por la aplicación.

En el tercer capítulo se detalla el desarrollo y el funcionamiento de la aplicación, incluyendo todas sus partes, los métodos de diseño y los recursos utilizados en su proceso de creación.

En el capítulo 4 se diseñan los experimentos realizados para estudiar la efectividad y ciertos aspectos del rendimiento de la aplicación. Luego, en el capítulo 5 se presentan los resultados de dichos experimentos, se analiza en que grado se satisfacen los objetivos propuestos, y cuáles son sus fallas. En el sexto capítulo constan las conclusiones a las que se ha llegado luego del análisis de resultados, y finalmente, en el último capítulo se termina con recomendaciones y trabajo futuro para la aplicación desarrollada en la tesis.

2 Fundamentos Técnicos

2.1 Tecnología GSM

2.1.1 Introducción

El estándar GSM nace como una necesidad de brindar servicios de voz de calidad, permitiendo costos accesibles para los usuarios y masificación del uso de telefonía móvil a través de una convención de tecnologías y arquitectura de red.

En 1982 se formó un grupo de estandarización llamado “*Groupe Spécial Mobile*” para empezar a trabajar en un estándar europeo. Este pasó a llamarse luego “*Global System for Mobile Communications*” (GSM), y en 1990 se completó la Fase 1 de las especificaciones para este estándar que comprendían servicios de voz y datos. La Fase 2 mejoró la capacidad de transmisión de datos y contiene un sistema más avanzado de mensajes. Finalmente, la Fase 2+ se encargó de mejorar la transmisión de datos a través de conmutación de paquetes, así como de soportar servicios avanzados de información y entretenimiento. Desde 1998 se trabaja en las especificaciones para una tercera generación; se formó para esto el grupo 3GPP. La FCC (*Federal Communications Commission*) en [7], discute más detalles sobre las fases de las especificaciones.

2.1.2 Arquitectura y características principales de las redes GSM

En esta sección se describirá la arquitectura de las redes GSM, así como los procedimientos y características fundamentales útiles para el desarrollo e implementación del proyecto.

Todas las redes GSM se pueden dividir en 4 partes generales:

- El teléfono o estación móvil (MS: *Mobile Station*),
- BSS (*Base Station Subsystem*) o Subsistema de Estación Base,
- NSS (*Network and Switching Subsystem*) o Subsistema de Red, y
- OMS (*Operation and Maintenance System*) o Sistema de Operación y Mantenimiento, también llamado OSS (*Operation and Support System*).

Cada una de estas partes contiene diferentes sistemas que realizan múltiples funciones que se detallarán a continuación. En la figura 3, podemos observar los elementos principales de la red, separados en los respectivos subsistemas. Es importante notar que ciertos libros y autores, como Biala en [9], prefieren unir el MS con el BSS para formar el RSS (*Radio Subsystem*)³.

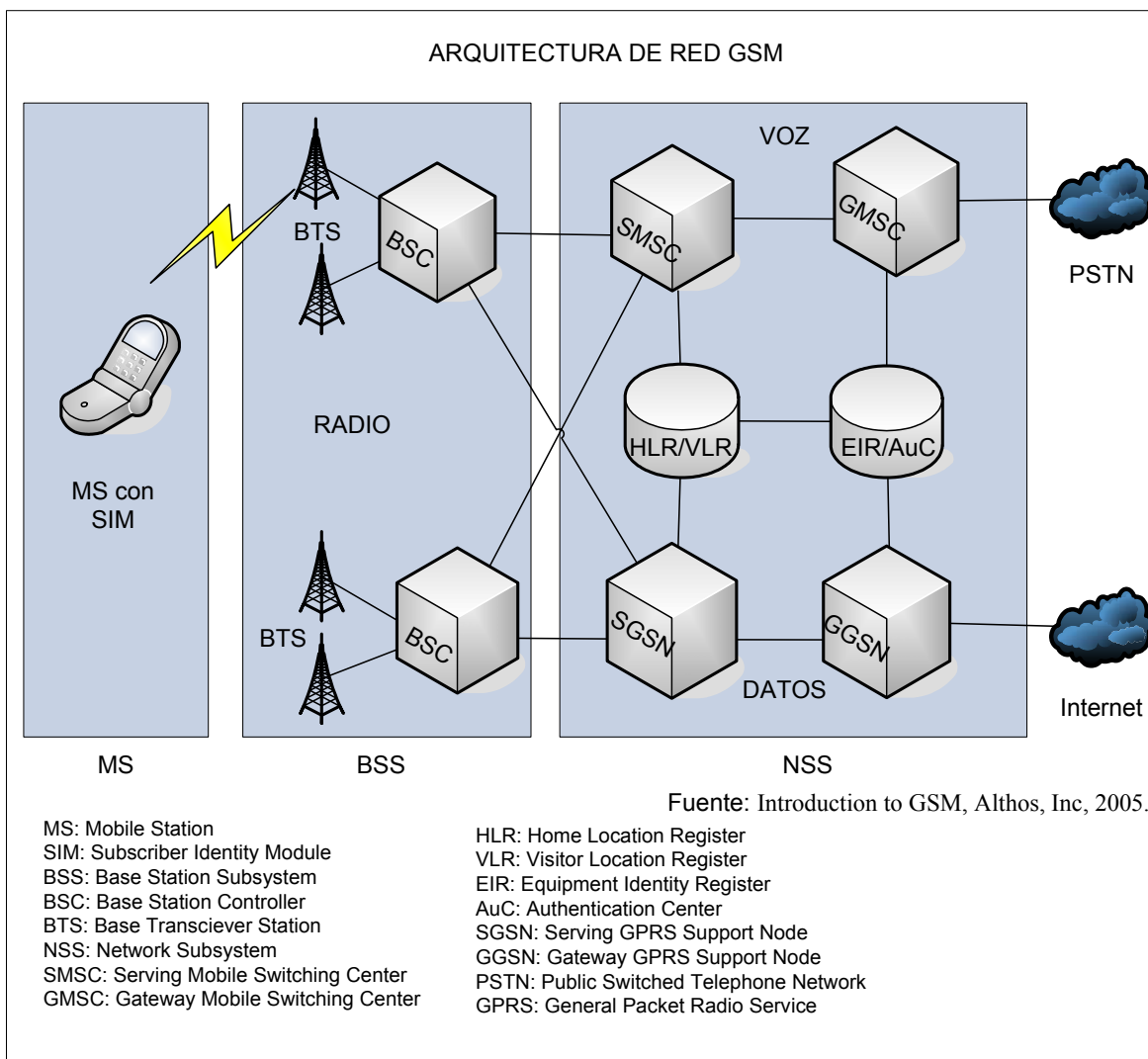


Figura 3. Arquitectura GSM

³ En adelante, y para el resto del documento de tesis, se utilizarán las siglas en inglés para mayor facilidad y para establecer un vocabulario estándar.

a. MS: Mobile Station

El MS es el equipo necesario para que el subscriptor acceda a los servicios provistos por la red pública de telefonía móvil o PLMN (*Public Land Mobile Network*), manejada por algún operador de telefonía celular. En GSM, el equipo (ME: *Mobile Equipment*), ya sea este un teléfono, un computador u otro dispositivo, debe estar provisto de una tarjeta SIM (*Subscriber Identity Module*) que da a la estación móvil la identidad necesaria para funcionar dentro de la red, a través de códigos que vienen configurados de fábrica y que constan en los registros de la red. Tiene un microprocesador y memoria, y debe ser insertada en el teléfono (equipo) para poder utilizarlo. La mayor ventaja de las tarjetas SIM es que proporcionan flexibilidad al usuario, ya que se puede cambiar de terminal y mantener la misma tarjeta SIM, sin perder los servicios de red. Al remover la SIM de un teléfono, éste queda deshabilitado y puede únicamente realizar llamadas de emergencia.

b. BSS: Base Station Subsystem

El BSS sirve para conectar a las estaciones móviles con los NSS (*Network and Switching Subsystem*) y es el sistema encargado de la transmisión y recepción de radio. La BSS consta de dos elementos diferenciados: La *Base Transceiver Station* (BTS) o simplemente *Base Station* (Estación Base) y la *Base Station Controller* (BSC).

La BTS consta de *transceivers* y antenas usadas en cada celda de la red, que suelen estar situadas en el centro de ésta; generalmente, su potencia de transmisión determina el tamaño de la celda. La celda de radio es el área geográfica de servicio más pequeña en una PLMN. EL MS puede distinguir las celdas por su BSIC (*Base Station Identity Code*), y su *Cell Id* (identificación de celda).

Las BSC se utilizan como controladores y cerebros de las BTS y tienen como funciones principales el estar a cargo de los *handovers* (paso del servicio de una celda a otra durante la realización de una llamada, cuando el móvil se encuentra en movimiento), *frequency hopping* (saltos de frecuencia) y el control de las frecuencias de radio de las BTS. Maneja los canales de tráfico de la NSS al MS. Una BSC puede manejar una o varias BTS.

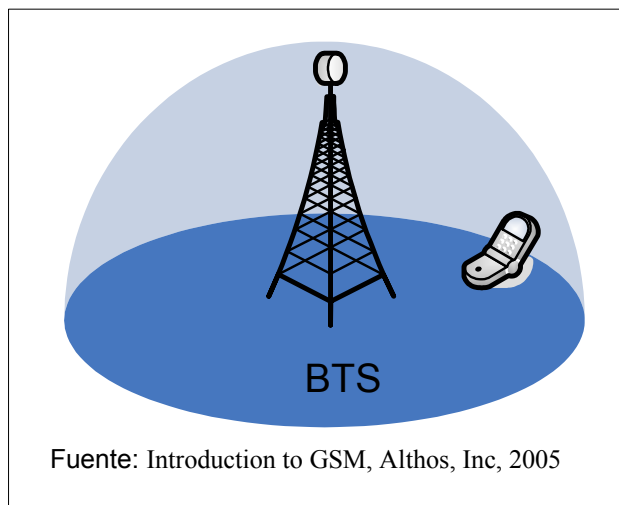


Figura 4. BTS y celda

c. NSS: *Network Subsystem*

El NSS, también llamado SSS (*Switching Subsystem*), se encarga de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red; para poder realizar este trabajo, la NSS se divide en varios sistemas diferentes, cada uno con una misión dentro de la red: *Mobile Services Switching Center* (MSC), GSN (*General Packet Radio Service Support Node*), AuC (*Authentication Center*), y tres bases de datos de la red: El HLR (*Home Location Register*), VLR (*Visitor Location Register*), y el EIR (*Equipment Identity Register*).

El MSC es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes como la PSTN (*Public Switched Telephone Network*), que es la red de telefonía pública. Mantiene conexión con los BSC, y puede manejar varios (cientos) BSC. Los componentes básicos del MSC incluyen controladores de sistema y de comunicaciones, dispositivos de conmutación y plantas de energía. El sistema GSM diferencia a los MSC por su funcionalidad y su posición dentro de la arquitectura de la red, y considera dos tipos: el SMSC (*Service MSC*) que provee servicio directamente al teléfono móvil y coordina la transferencia de llamadas entre BSCs, y el GMSC (*Gateway MSC*) que sirve de punto de conexión y mediador entre la red GSM y la de telefonía pública (PSTN).

Los MSC son dispositivos que manejan conmutación por circuitos, para las llamadas de voz. Además de estos dispositivos, existen otros que se utilizan para transmisión de datos por medio de conmutación de paquetes, y que se utilizan dentro del estándar conocido con el nombre de GPRS (*General Packet Radio Service*). Estos son el SGSN (*Serving GPRS Support Node*), y el GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), que cumplen funciones similares que el SMSC y el GMSC respectivamente, pero para el área de transmisión de datos. GPRS es parte del estándar “*GSM Phase 2+*”.

El HLR es una base de datos que contiene información sobre los usuarios conectados a uno o varios MSC. Entre la información que almacena el HLR tenemos fundamentalmente los perfiles de los suscriptores permanentes y los servicios a los que tienen acceso. Generalmente existe solamente un HLR por proveedor, aunque cada proveedor tenga varios MSC. El HLR funciona en unión con en VLR.

El VLR es una base de datos que contiene la información de todos los suscriptores móviles que funcionan en ese momento en un determinado MSC. Contiene una parte de la base de datos del HLR.

El EIR es una base de datos que contiene el registro de todos los terminales que son válidos para ser usados en la red. Esta base de datos contiene los *Mobile Equipment Identity* o IMEI de cada terminal, de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la red.

El AuC almacena y procesa la información necesaria para validar un equipo para que tenga acceso a la red y pueda acceder a los servicios; es decir, proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red.

d. OMS: *Operation and Maintenance Subsystem*

Finalmente, el OMS se encarga de realizar un monitoreo centralizado de toda la red a través de OMCs (*Operation and Maintenance Centers*), separando funciones para control del funcionamiento tanto del BSS con los OMC-B, como del NSS con los OMC-S.

Harte, en [10], desarrolla una explicación de la arquitectura de red, así como de varios sistemas de control y proceso que se verán a continuación. Además, en los documentos de especificaciones técnicas oficiales de GSM, específicamente en [11] y [12], expedidos por la ETSI, se detalla la arquitectura del sistema de una forma oficial, estableciendo el estándar.

2.1.3 Códigos e Identidades

El sistema GSM está dividido jerárquicamente en áreas de servicio. Para identificarlas, se utilizan ciertos códigos estandarizados, entre los que se encuentran:

- MCC (*Mobile Country Code*): 3 dígitos, para identificar el código de telefonía móvil del país.
- MNC (*Mobile Network Code*): 2 dígitos, para identificar una PLMN específica (un operador en particular).
- LAC (*Location Area Code*): 2 bytes, para identificar el área local (LA) dentro de la PLMN específica. Es decir, el área que agrupa varias BTS.
- CI (*Cell Identity o Cell Id*): 2 bytes, para identificar una celda particular dentro de un LA.

Existen además grupos de códigos que constituyen códigos en sí, por ejemplo:

- CGI (*Cell Global Identity*): MCC + MNC + LAC + CI, que representa una identificación internacional única de una celda particular.
- LAI (*Local Area Identity*): MCC + MNC + LAC, que representa una identificación única de un área local particular.

Para esta tesis, el uso del código CI (*cell id*) es de particular importancia, pues es éste el que nos proporciona la información del área en la que se encuentra el MS.

2.1.4 Canales Lógicos

La información se transmite en el aire a través de ondas electromagnéticas a ciertas frecuencias (en GSM en Ecuador, en la banda de 800 MHz) que se conocen con el nombre de canales físicos.

Cada canal físico de radio para transmisión por el aire puede contener dos tipos de canales lógicos diferenciados por su funcionalidad: los de tráfico (TCH: *Traffic Channel*) y los de control (CCH: *Control Channel*).

Los canales de tráfico son aquellos que contienen información de voz y datos existente en un canal de comunicación. Son los utilizados cuando la llamada ya está establecida y los encargados de pasar la voz entre ambos lados de la comunicación. Existen dos tipos: el TCH/F (*Full Rate*) que transmite voz a 12.2 kbps y datos a 9.6 kbps, y el TCH/H (*Half Rate*) que transmite voz a 5.6 kbps y datos a 4.8 kbps.

Los canales de control son utilizados para enviar y recibir información de control (señalización) de los diferentes procesos entre los equipos. Existen varios tipos de canales de control (algunos comunes a todos los móviles, y otros dedicados a un terminal específico), entre los que se incluyen los siguientes.

- BCCH (*Broadcast Control Channel*), que contiene parámetros del sistema, información de la celda (por ejemplo el CGI), información de frecuencia, cifrado, etc. Es enviado en forma de broadcast desde la BTS hacia los MS (*downlink*).
- PCH (*Paging Control Channel*), que sirve para buscar al terminal móvil dentro de una LAI.
- SDCCH (*Stand-Alone Dedicated Control Channel*), que sirve para señalización dedicada entre MS y BS para establecimiento de llamada, autenticación, cifrado, SMS.

- SACH (*Slow Associated Control Channel*), va siempre asociado a un SDCCH o a un TCH, y sirve para enviar información para el mantenimiento de la llamada.

El estándar de las especificaciones GSM, disponible en [13], detalla todos los canales lógicos y las combinaciones utilizadas tanto para el tráfico como para la señalización. Para la tesis, es de especial interés el BCCH, por ser el que nos proporciona la información necesaria de localización del móvil.

2.1.5 Funcionamiento Básico

Existen muchos procesos para el funcionamiento correcto de una red GSM. Como detalla Harte en [10], la secuencia básica de procedimientos para establecer una llamada en la red en la forma más básica es la siguiente. Al prender el móvil, éste busca un canal de control y se sintoniza con el más fuerte. Durante la inicialización, el móvil recibe la información de cómo acceder al sistema y la forma de transmitir sus señales hacia la red, además siempre recibe información del área y la celda en la que se encuentra. Después de la inicialización, el móvil entra en un estado “*idle*” (de espera y monitoreo) hasta que reciba una señal de “*paging*” (cuando tiene una llamada entrante) o hasta que el usuario haga una llamada. Al tener una llamada entrante o saliente, el terminal trata de acceder a la red por medio de un canal de control. Entonces se envían códigos que identifican al equipo y a la tarjeta SIM, para que éstos puedan ser verificados en los registros de la red (HLR, VLR), y así permitir o no su acceso. Cuando el acceso está concedido, el sistema indica al móvil cómo conectarse a un canal de tráfico. Cuando este es sintonizado, el terminal entra a modo de conversación hasta que se reciba una indicación de terminación de llamada del móvil o de la red. Como ejemplo, en la figura 5 podemos observar los pasos en cada uno de los elementos de la red, en el caso de que una llamada se origine en el MS.

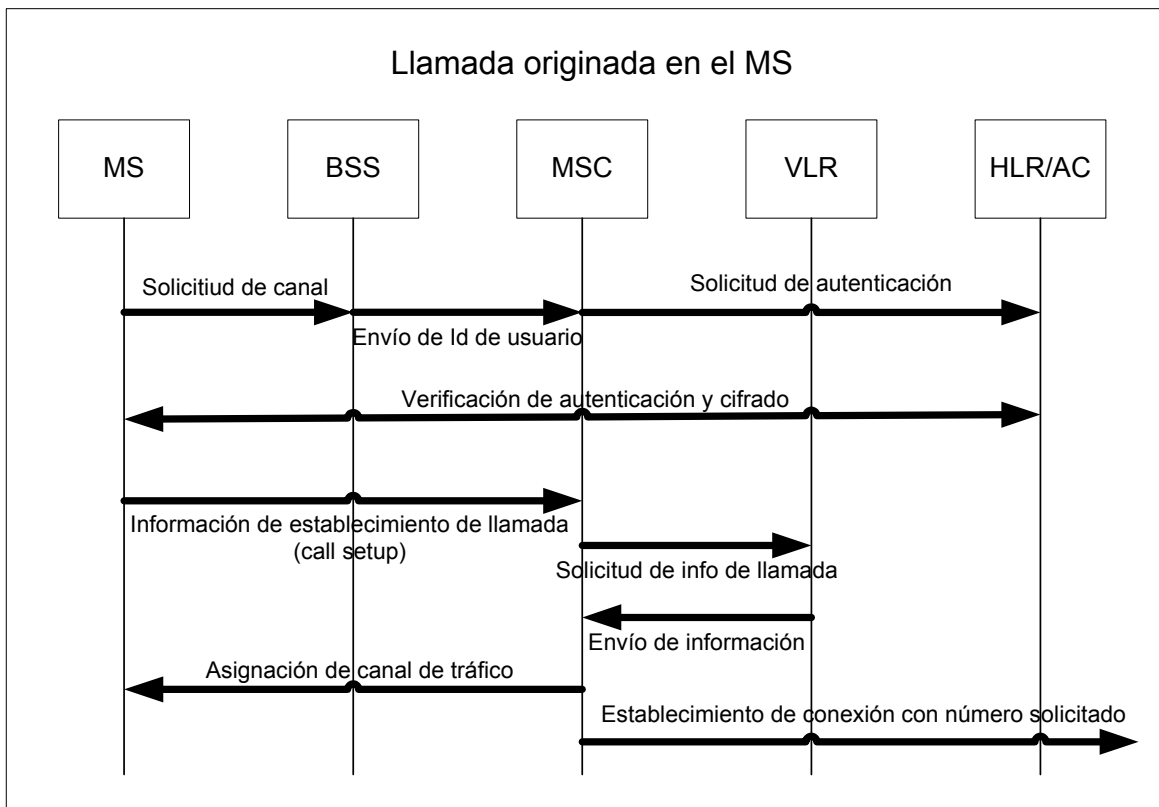


Figura 5. Pasos para establecimiento de llamada originada en el MS

2.1.6 Servicios de GSM

La tecnología GSM se destaca por brindar, además de sus servicios de voz, una gran cantidad de servicios asociados que permiten mejorar y diversificar la comunicación de los clientes, así como ofrecer servicios de entretenimiento, información, etc. El estándar GSM, como se puede leer en [14], define tres tipos de servicios de telecomunicación que brinda GSM, clasificándolos por sus atributos (atributos técnicos, desde el punto de vista del usuario y atributos comerciales y operacionales). Estos tipos de servicios son:

- “*Bearer Services*” (BS), que son aquellos capaces de transmitir señales digitales entre dos puntos de acceso. (Incluyen las capas OSI de la 1 - 3)
- “*Teleservices*” (TS), que son los capaces de una completa comunicación (comunicación “end to end”). (Incluyen capas OSI de 1-7)

(Los TS y los BS son llamados servicios básicos.)

- “*Supplementary Services*” (SS), que son los que complementan o modifican los servicios básicos y pueden ser usados en conjunto con uno de ellos.

En la tabla 2, se resume la categorización de los servicios de telecomunicaciones como lo establece el estándar GSM:

SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN			
BEARER SERVICE		TELESERVICE	
Bearer Service Básico	Bearer service Básico + supplementary services	Teleservice Básico	Teleservice Básico + supplementary service

Tabla 2. Servicios de telecomunicación (GSM)

Por ser de mayor importancia para el proyecto, nos centraremos en una categoría de servicio TS particular, el SMS (*Short Message Service*).

El SMS es un servicio que permite el intercambio de mensajes cortos de texto, ya sean estos originados por el terminal móvil hacia la red, o viceversa, o desde un terminal hacia otro. El estándar define un máximo de 160 caracteres por mensaje. El equipo que soporta esta aplicación, como se explica claramente en [15], es el SMS-SC (*SMS Service Center*), que tiene un funcionamiento separado de la estructura estándar de una PLMN de GSM.

2.2 Técnicas para determinación de la posición de la estación móvil

Con el objeto de determinar la posición de un terminal móvil dentro de una red, se han desarrollado varios métodos que utilizan diferentes parámetros, modelos matemáticos y tecnologías para este fin. La más básica clasificación que se puede realizar para diferenciarlos es dividirlos en dos grupos: los que tienen base en el terminal móvil (*Handset – Based*), y los que tienen base en la red (*Network – Based*). Los primeros se caracterizan por ser métodos de autodeterminación, es decir, el móvil determina su propia posición (por eso llamados también “*Self – Positioning Methods*”), indiferentemente de si utiliza o no los recursos de la red para hacerlo. El método de autodeterminación de

posición más conocido es el GPS. Por otro lado, los segundos utilizan parámetros medidos entre el terminal móvil y las estaciones base para determinar la posición del teléfono desde un lugar remoto (por eso llamados también “*Remote – Positioning Methods*”).

Además, Drane, Macnaughtan y Scott en [16], describen estos y también otros métodos de determinación llamados indirectos, que son aquellos en los que se envía la información de posición a un sitio diferente. Así, existen también los métodos de autodeterminación indirecto, y el de determinación remota indirecto.

Teniendo esto en consideración, se distinguen varias técnicas para conocer la posición de una estación móvil, que utilizan en su mayoría, alguna forma de triangulación para realizar los cálculos de ubicación. Estas se detallan a continuación.

2.2.1 Angulo de Arribo (Angle of Arrival: AOA)

También llamada “*Direction of Arrival*”, es una técnica que utiliza la posición fija de dos o más estaciones base, para realizar una triangulación entre estas y el terminal móvil.

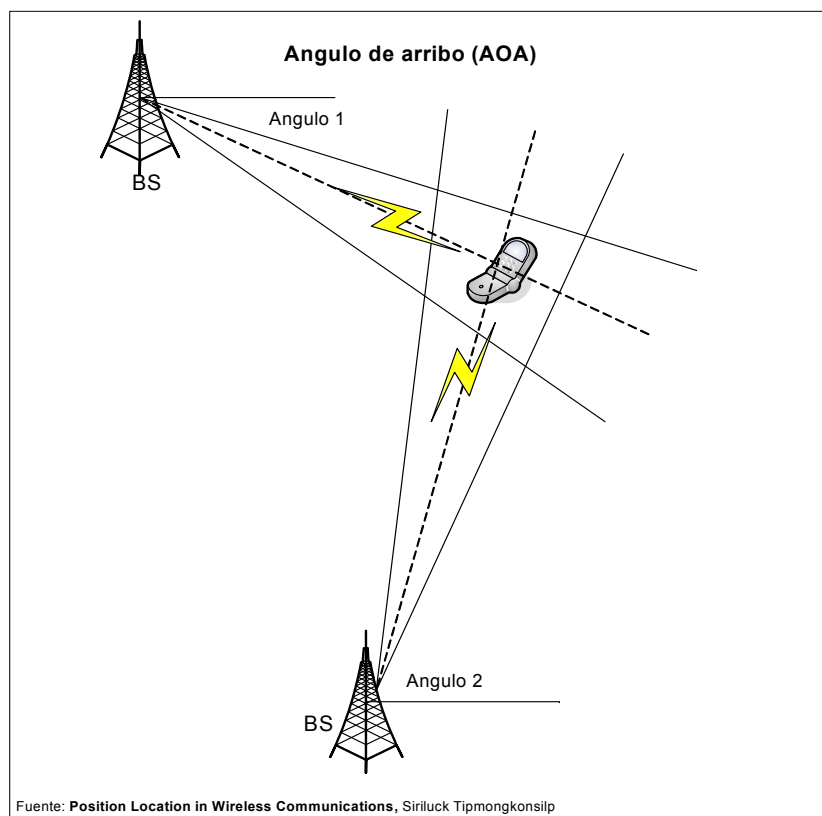


Figura 6. Angulo de Arribo (AOA)

La figura 6 muestra cómo puede ser determinada la posición del teléfono conociendo dos trayectorias (por lo menos) de propagación de la señal hacia las respectivas estaciones base. Este método puede tener base tanto en el teléfono como en la red. Al obtener las medidas de los ángulos de estas trayectorias, se puede calcular la posición del MS en dos dimensiones usando triangulación simple. Para disminuir el error en las mediciones (causado por el ancho del rayo de cobertura de la antena) se utilizan generalmente más de dos estaciones base.

Este método tiene la ventaja de que no necesita sincronización de ningún tipo entre las estaciones base. Sus principales desventajas, como explica claramente Tipmongkonsilp en [17] son que la precisión depende mucho de la directividad de las antenas, y que no se puede obtener la posición cuando las estaciones base y el MS se encuentran sobre una misma línea recta. Las antenas para GSM no son directivas, y no tienen un rayo de cobertura suficientemente angosto (generalmente entre 45° y 80°), como para realizar estas mediciones de una manera precisa; por eso, como menciona Zhao en [8], resulta particularmente difícil determinar la posición del MS bajo estas condiciones.

2.2.2 Tiempo de Arribo (Time of Arrival: TOA) y Diferencia en el Tiempo de Arribo (Time Difference of Arrival: TDOA)

TOA (*Time of Arrival*) es un método que utiliza la medida del retardo en el tiempo de arribo a una BS, para establecer la distancia que existe desde el MS a la BS. Al tener esa medida para varias BS, se puede establecer la posición del MS mediante simple geometría.

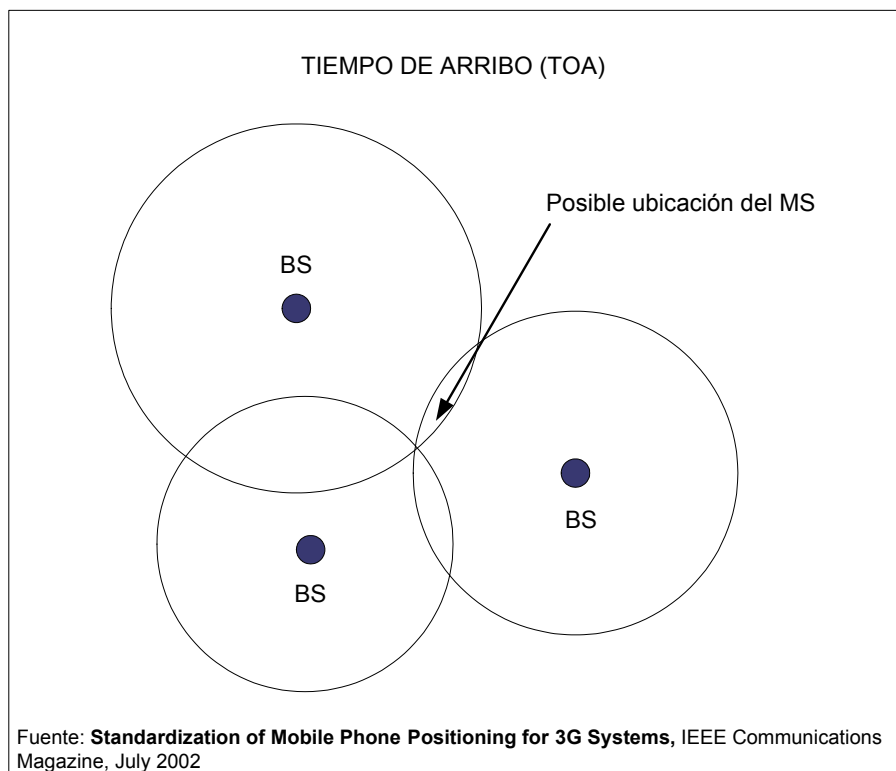


Figura 7. Tiempo de Arribo (TOA)

Como se puede apreciar en la figura 7, cada medida tomada en cada BS, establece un círculo en donde podría ubicarse la estación móvil. Si se tienen tres BS (cuatro, en tres dimensiones) es posible localizar el MS en el cruce de los círculos (esferas). Como explica Reza en [18], este método tiene la desventaja de ser susceptible a errores cuando no existe línea de vista entre el MS y las BS, ya que se producen distorsiones en las mediciones por efectos de rebote de la señal. Esta llega duplicada (distorsionada) al viajar por diferentes trayectorias (*multipath effect*). Además, Tipmongkonsilp explica en [17] que la sincronización entre estaciones base es crítica para la precisión en la determinación de la posición, y es indispensable que el MS envíe las señales con una marca del tiempo en el que fueron enviadas.

En GSM, el método TOA puede ser realizado utilizando el parámetro de *Timing Advance* (TA), que es una medida de ajuste en el tiempo de transmisión del MS a las BS, para efectos de sincronización. Éste es el parámetro utilizado para comparación de los tiempos de arribo de la señal a las diferentes BS. Para obtener los valores de TA, se debe forzar al MS a enviar esa información en el momento en que quiera estimarse su posición, lo que necesariamente implica modificaciones en la red. Así lo detalla Tipmongkonsilp en [17].

Por otro lado, el método TDOA (*Time Difference of Arrival*) utiliza las diferencias en los tiempos de retardo de la señal de un MS medidas en varias BS. Así, es posible transformar esas diferencias de tiempo de retraso en distancias estimadas, y localizar el MS utilizando las mediciones de tres o más estaciones base.

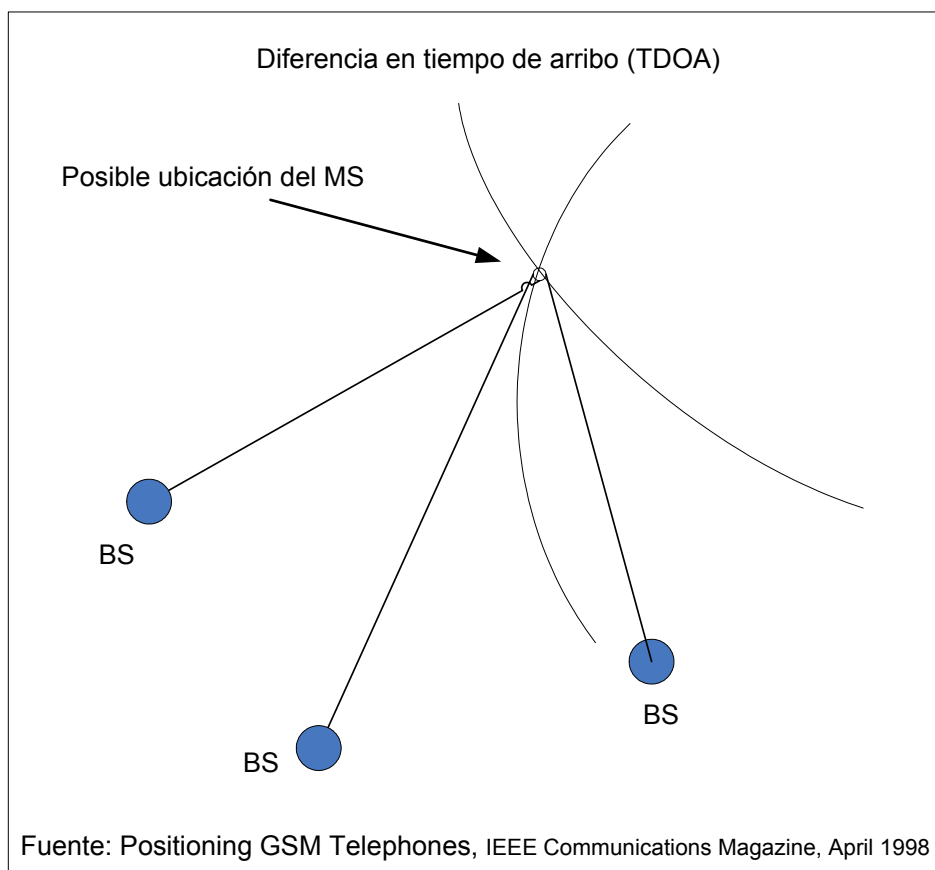


Figura 8. Diferencia en tiempo de arriba (TDOA)

A diferencia del método de TOA, el TDOA establece curvas de forma hiperbólica entre pares de BS. Estas hipérbolas son la representación de la diferencia de distancia entre dos BS, y son producto del cálculo de la diferencia de tiempos de arribo de la señal a esas BS. Al tener dos mediciones independientes entre pares de BS, es decir, al tener tres o más BS, es posible determinar la posición del MS en la intersección de las hipérbolas, como se observa en la figura 8. Por esto, éste método es también conocido como el método de determinación de posición hiperbólico (Reza, [18]). La ventaja de este método es que, a pesar de que es necesaria la sincronización del sistema, no se necesita una estampa de

tiempo en la señal, ya que se miden solamente las diferencias en el tiempo de arribo de la señal a cada BS.

En GSM, el TDOA es llamado frecuentemente E-OTD (*Enhanced Observed Time Difference*) y utiliza las mediciones de las diferencias de tiempo entre las ráfagas de transmisión enviadas al MS desde diferentes BS cercanas.

El AOA, TOA y TDOA son métodos que pueden tener base tanto en el MS como en la red, siendo esta última la opción que más se ha adoptado, por ser la que necesita menos recursos adicionales en el MS .

2.2.3 A-GPS: Assisted Global Positioning System

El GPS es un método basado en satélites, que da información de posición, tiempo y velocidad, utilizando información de 24 satélites disponibles desarrollados por el departamento de defensa de los EEUU. Como explica Tipmongkonsilp en [17], las señales que recibe el MS de los satélites le permiten obtener la posición de éstos en función del tiempo. Al recibir esta información de tres o más satélites, el receptor puede conocer su propia posición (en el cruce de tres esferas cuyos centros son los tres satélites que envían las señales) en latitud longitud y altitud.

Derivado del GPS, que es el método más popular de los basados en el MS, el A-GPS (*Assisted Global Positioning System*) es un método que utiliza receptores de GPS que están ubicados en sitios estratégicos dentro de una red, para realizar mediciones y evitar que sea el MS el que gaste tiempo y recursos en hacerlo. Además, esto permite establecer un factor de corrección de posibles errores de precisión. Es decir, un elemento receptor fijo que es parte de la red (del cual conocemos su posición exacta), utiliza el método GPS para calcular su posición, y establece un factor de corrección conociendo la diferencia entre la posición establecida por GPS y su posición real. Esta información de corrección ayuda al MS a tener datos más precisos de posición que los que obtendría si solamente utilizaría un GPS normal, y proporciona un ahorro considerable de energía y recursos. En la figura 9 se puede observar la estructura que utiliza este método. Observamos al elemento fijo de la

red, que establece el contacto y realiza las mediciones de las señales satelitales, y éste asiste al MS cuando busca conocer su posición.

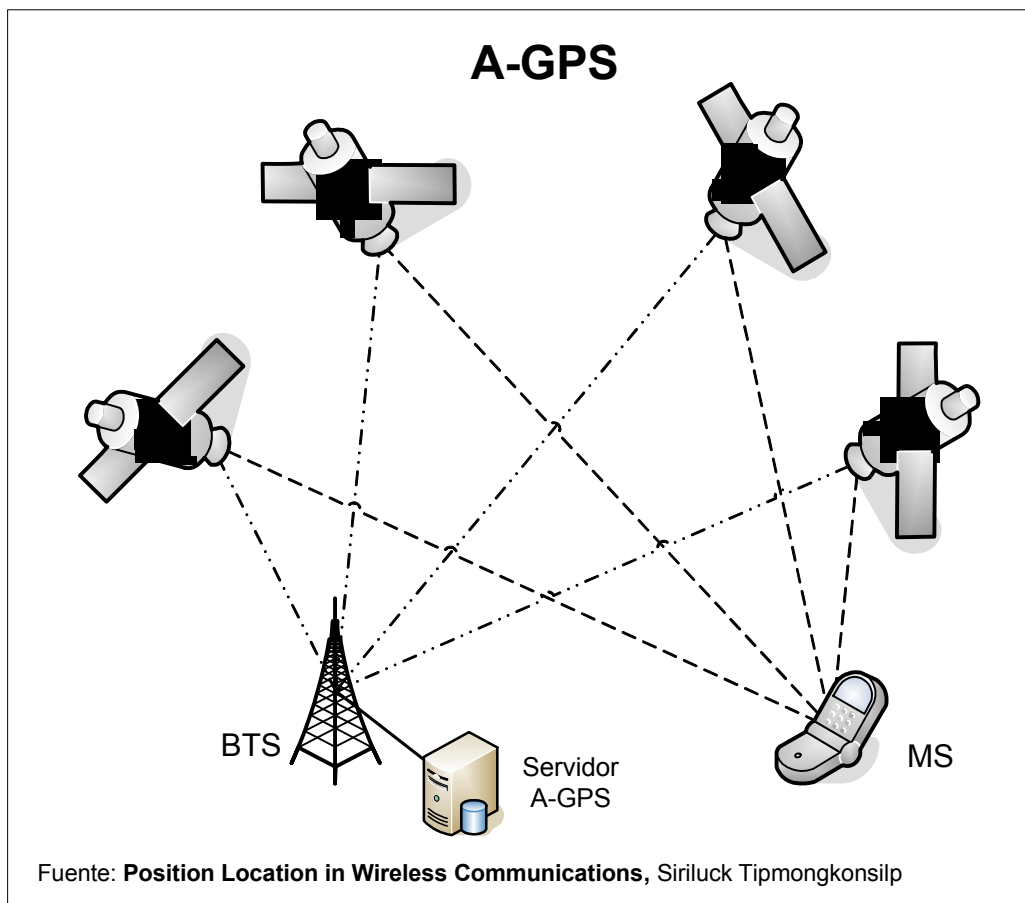


Figura 9. GPS asistido (A-GPS)

Si bien es cierto que éste método provee mayor precisión, menor tiempo de establecimiento de posición y ahorro de energía, tiene la gran desventaja de tener altos costos de implementación, porque se necesita hardware adicional en la estación móvil.

2.2.4 Método del *Cell Id*

El método más simple de estimar la posición de un MS en una red GSM, y el que se utilizó para la aplicación desarrollada en esta tesis, es el de ubicar la celda en la que se encuentra el teléfono móvil. Esta información ya existe en la red, y lo que debe hacer el MS es extraerla de un canal de control (el BCCH), que es enviado por la red a intervalos periódicos y muy cercanos, y que el teléfono “escucha” todo el tiempo mientras esté

ubicado dentro de la celda. Este canal de control contiene el parámetro *cell id*, que es el identificador de la celda.

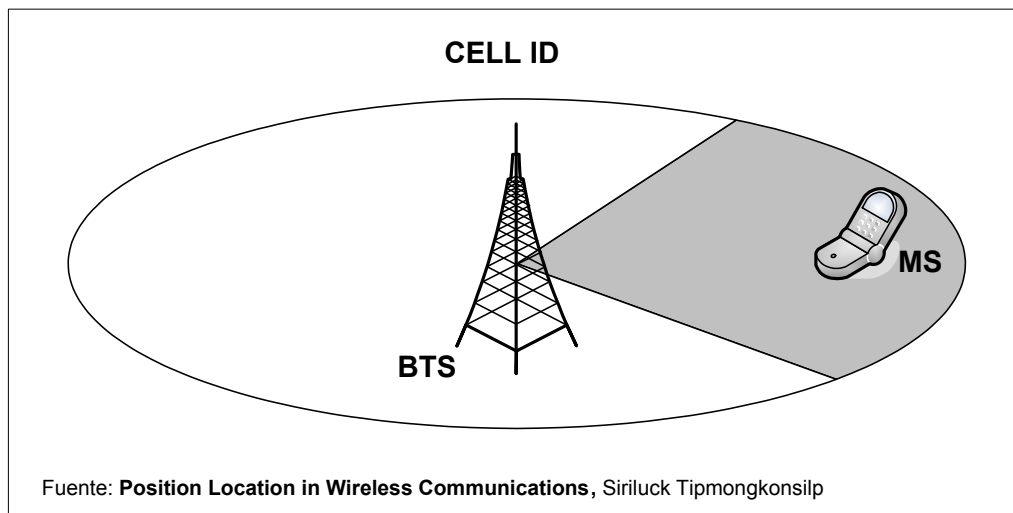


Figura 10. Cell ID

Como se observa en la figura 10, al conocer la celda en la que se encuentra el MS, se puede estimar la posición geográfica de éste dentro del rango de cobertura de la antena servidora. Este método tiene las ventajas de que no necesita realizar cálculos avanzados de ningún tipo, y no necesita de ningún elemento adicional en la red, lo que hace que los costos de implementación sean muy bajos. Su obvia desventaja es que la precisión es menor a la del resto de métodos e inversamente proporcional al tamaño de la celda. Como explica Tipmongkonsilp en [17], la precisión con la que se obtiene la posición del MS depende del tamaño de la celda, que puede variar desde 100 metros (áreas urbanas altamente pobladas) hasta 35 kilómetros (zonas rurales), como detalla Göran Swedberg en [19].

Los autores Adusei, Kyamakya y Erbas en [20], así como Zhao en [8], Porcino en [21], y Swedberg en [19] coinciden en que el método del *cell id* proporciona errores muy grandes en las medidas de posición del MS, y lo consideran el peor de los métodos para una estimación precisa de la ubicación. Sin embargo, como explica Tipmongkonsilp en [17], la utilidad de esta estimación depende del uso que se quiera dar a la determinación de la posición. La ubicación exacta del MS se necesita en el caso de los servicios de emergencia o de rastreo. En el caso de la aplicación desarrollada en esta tesis, no se busca determinar

la posición exacta del MS, sino justamente establecer el área en donde éste se encuentra, por lo que el método del *cell id* es ideal.

La precisión en la determinación de la posición de un MS, depende del tipo de aplicación que se utilice. Así, son los requerimientos de una aplicación en particular, los que determinan el método de posicionamiento a utilizarse.

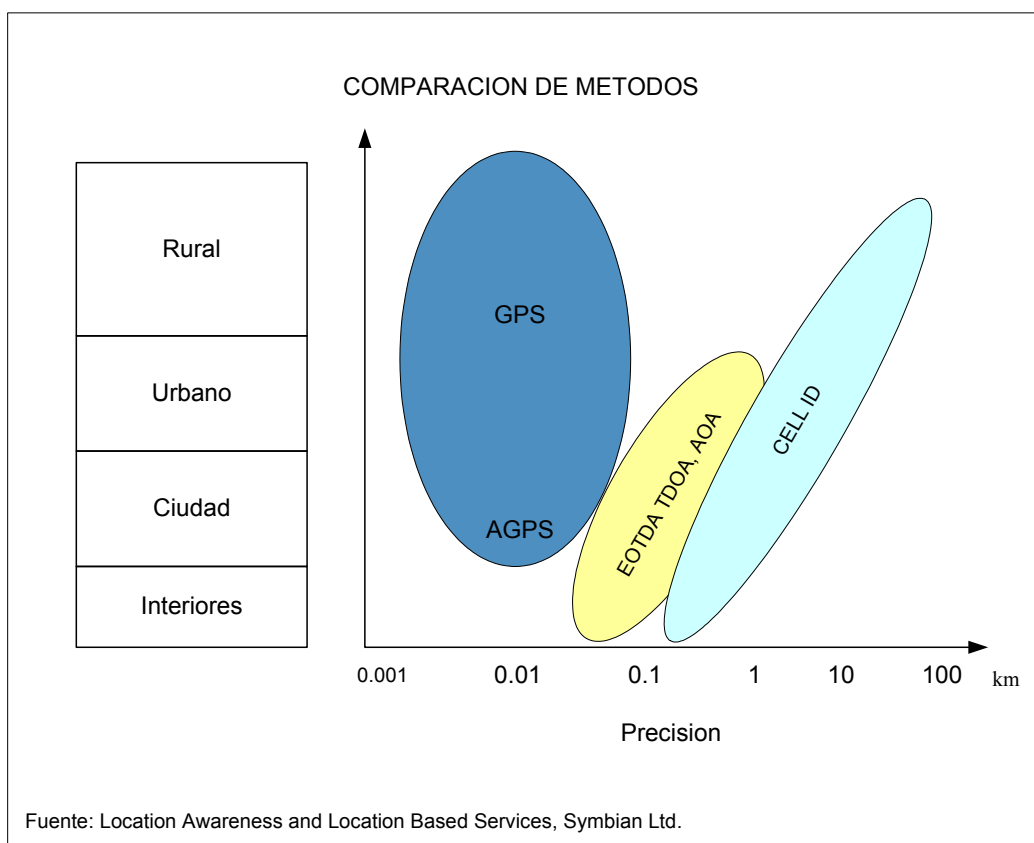


Figura 11. Comparación de Métodos de Posicionamiento

En la figura 11 se puede observar una comparación de los métodos descritos en esta sección, en cuanto a su precisión. Se aprecia que los métodos basados en GPS son los más efectivos, mientras que el del *cell id* es el de menor precisión. Además, se aprecia que tanto los métodos AOA y TDOA, como el del *cell id*, tienen un mejor desempeño en áreas urbanas y lugares cerrados, que en sitios rurales, mientras que con el método de GPS no se observan diferencias entre áreas urbanas y rurales, siempre que estas sean abiertas. En lugares cerrados, el GPS no es funcional.

3 Desarrollo y Funcionamiento

En esta tesis se ha desarrollado una aplicación que permite estimar la posición del teléfono móvil dentro de la red, y así dar información útil al usuario que lo opera, sobre la posición de establecimientos cercanos y sus direcciones.

3.1 Funcionamiento general de la aplicación

La aplicación desarrollada es del tipo LBS (de servicios basados en localización), y utiliza el método de *cell id* para la estimación de la posición del MS. El usuario puede solicitar información de ubicación de establecimientos cercanos (Restaurantes, Farmacias y Gasolineras) ejecutando el software instalado en el teléfono móvil, luego de lo cual recibirá un mensaje SMS con la información requerida.

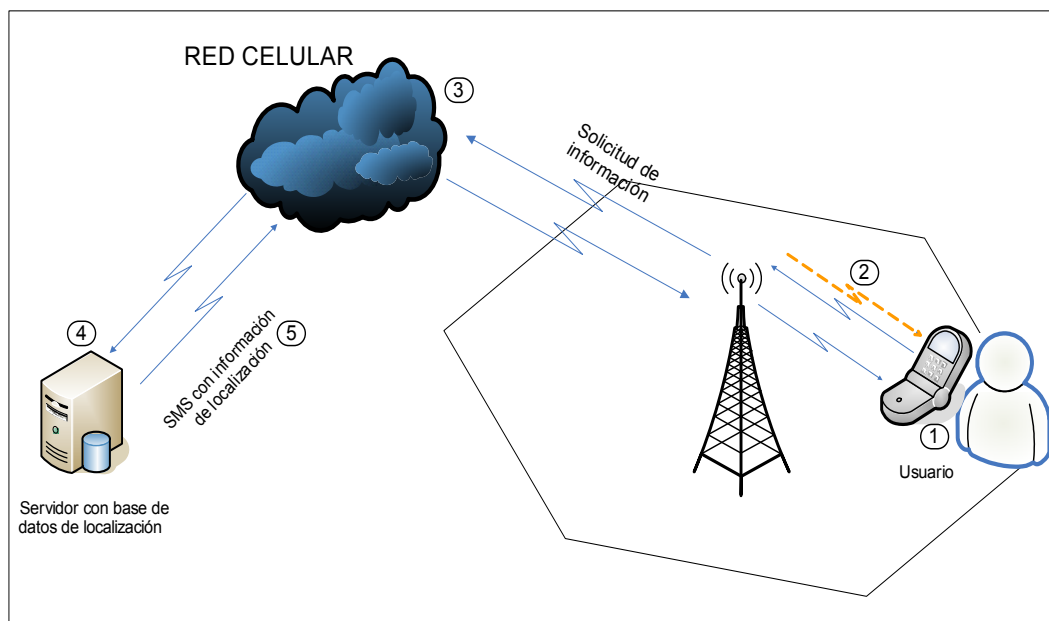


Figura 12. Esquema gráfico de la aplicación de Localización

En la figura 12 se pueden observar los dispositivos involucrados en el funcionamiento de la aplicación, y la manera en que la información es solicitada, procesada y enviada. El funcionamiento de la aplicación se puede explicar claramente en los siguientes pasos:

1. El usuario solicita la información a través del programa instalado en su teléfono móvil (MS).

2. La aplicación extrae información de la red (*cell id* y potencia de la señal) provista por la BS servidora.
3. La aplicación envía un mensaje SMS a través de la red GSM con información del *cell id* a un servidor que contiene la base de datos de los *cell id*'s y la información de los establecimientos cercanos.
4. El servidor procesa la información utilizando la base de datos.
5. El servidor envía de vuelta un mensaje SMS a través de la red con la respuesta requerida.

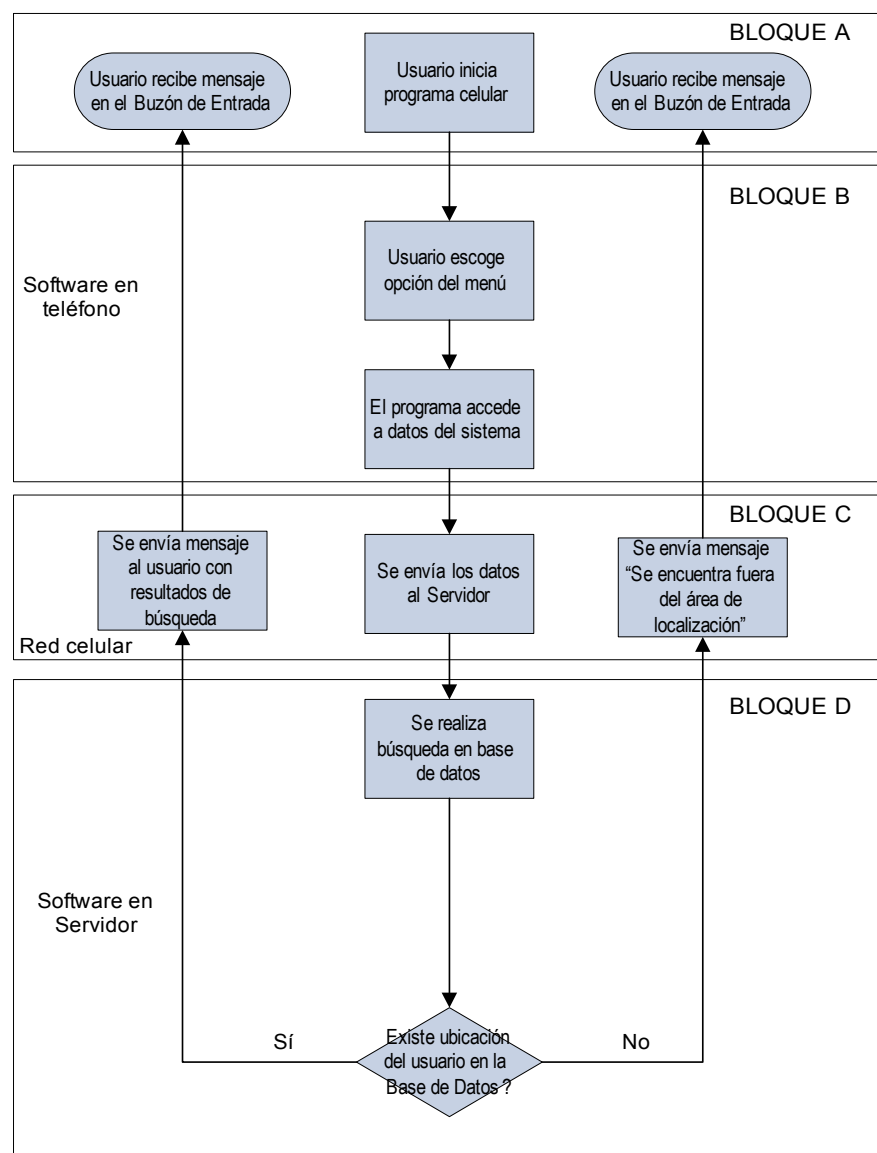


Figura 13. Diagrama de Flujo de la Aplicación de Localización

En la figura 13 se muestra la aplicación de localización dividida en cuatro bloques que se explican a continuación. En el bloque A tenemos al usuario, quien inicia y en quien termina el sistema de localización desarrollado en esta tesis. El bloque C corresponde a la red celular GSM, que cumple la función de ser el medio de transporte de los mensajes SMS. Finalmente, tenemos los bloques B y D, los cuales corresponden al software que se ha desarrollado en esta tesis. El bloque B es el software ubicado en el teléfono móvil, el cual es la interfaz con el usuario. El bloque D es el programa ubicado en el servidor. A continuación discutimos los bloques B y D.

3.1.1 Software en la MS (Bloque B)

El software instalado en la MS es la interfaz entre el usuario y el sistema desarrollado. El programa obtiene de la red el *cell id* y la potencia de recepción a través del canal BCCH, que junto a un código correspondiente a la opción que el usuario haya escogido, son enviados mediante un mensaje de texto (SMS) al servidor.

La aplicación instalada fue desarrollada para la plataforma “Series 60” de Nokia. Esta plataforma, como se explica detalladamente en [22], está basada el sistema operativo *Symbian OS*, y para sus aplicaciones utiliza el lenguaje nativo de programación C++. Al activar la aplicación en el teléfono móvil, se despliega un menú de opciones como se muestra en la figura 14.

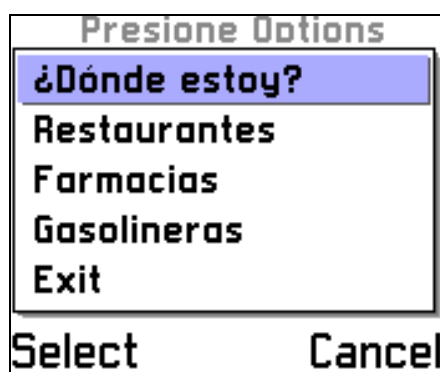


Figura 14. Menú del software instalado en la MS

La aplicación posee una interfaz simple y fácil de usar. El código fuente de este software se encuentra en el Anexo 1. A continuación detallamos ciertos aspectos importantes del código, en primer lugar, la obtención de los datos de red y luego el envío de mensajes.

a. Obtención de los datos de red

Para obtener los datos de red de teléfono se creó la función `GetNetworkInfoL()`, que viene del bloque de código presentado en el Anexo 1. Una parte de éste se muestra a continuación:

```

1. void CMyGps1AppView::GetNetworkInfoL( )
2. {
3. ...
4. // Gets Cell Id
5. iCellid = NetworkInfo.iCellId;
6. ...
7. phone.SignalStrengthNotification(SignalStatus, aSigStrength);
8. User::WaitForRequest(SignalStatus);
9. // Gets Signal strength
10.     iSignal=aSigStrength;
11.     CleanupStack::PopAndDestroy(2);//server, phone
12.     }

```

Del código anterior, se puede observar que para obtener el *cell id*, se utiliza la expresión que se encuentra en la línea 5. A su vez, para obtener la potencia de recepción se emplea la expresión que se encuentra en la línea 10.

Para acceder al valor de la variable que contiene el *cell id*, se utiliza la siguiente función:

```

1. TInt CMyGps1AppView::GetCell()
2. {
3. return iCellid;
4. }

```

De la misma forma, el código a continuación muestra la función para acceder al valor de la variable que contiene la potencia de recepción:

```

1. TInt CMyGps1AppView::GetSig()
2. {
3. return iSignal;
4. }

```

b. Envío de mensajes de texto

Con los datos de red obtenidos del teléfono móvil, se crea un mensaje de texto para ser enviado al servidor. Las partes de mayor interés de la función que envía el mensaje (“TBool CMYgps1AppUi::SendMessageL(TInt aPlace)”), se muestran a continuación:

```

1. TBool CMYgps1AppUi::SendMessageL(TInt aPlace)
2. {
3. ...
4. // We get the message body from Mtm and insert a bodytext
5. CRichText& mtmBody = iMtm->Body();
6. mtmBody.Reset();
7. // we get the network information
8. iAppView -> GetNetworkInfoL();
9. // this return the cell id number
10.     TInt temp= iAppView -> GetCell();
11.     TBuf<16> PosBuf;
12.     PosBuf.Num(temp);
13.     // This insert PosBuf content on the message to be sent
14.     mtmBody.InsertL(0, PosBuf);
15.     // this return the signal strength
16.     temp= iAppView -> GetSig();
17.     PosBuf.Num(temp);
18.     // This insert KGDSMSTag content on the message to be sent
19.     mtmBody.InsertL(0, KGDSMSTag);
20.     // This insert PosBuf content on the message to be sent
21.     mtmBody.InsertL(0, PosBuf);
22.     // this return the LAC number
23.     temp= iAppView -> GetLac();
24.     PosBuf.Num(temp);
25.     // This insert KGDSMSTag content on the message to be sent
26.     mtmBody.InsertL(0, KGDSMSTag);
27.     // This insert PosBuf content on the message to be sent
28.     mtmBody.InsertL(0, PosBuf);
29.     //*****
30.     // aPlace = 1 ..... Sectores
31.     // aPlace = 2 ..... Restaurantes
32.     // aPlace = 3 ..... Farmacias
33.     // aPlace = 4 ..... Gasolineras
34.     //*****
35.     switch(aPlace)
36.     {
37.     case 1:
38.     {
39.     PosBuf.Num(10);
40.     mtmBody.InsertL(0, KGDSMSTag);
41.     mtmBody.InsertL(0, PosBuf);
42.     }
43.     break;
44.     case 2:
45.     {
46.     PosBuf.Num(20);
47.     mtmBody.InsertL(0, KGDSMSTag);
48.     mtmBody.InsertL(0, PosBuf);
49.     }
50.     break;

```

```

51.     case 3:
52.     {
53.     PosBuf.Num(30);
54.     mtmBody.InsertL(0, KGDSMSTag);
55.     mtmBody.InsertL(0, PosBuf);
56.     }
57.     break;
58.     case 4:
59.     {
60.     PosBuf.Num(40);
61.     mtmBody.InsertL(0, KGDSMSTag);
62.     mtmBody.InsertL(0, PosBuf);
63.     }
64.     break;
65.     default:
66.     break;
67.     }
68.     ...
69.     return ETrue; // at this point the message has been sent
70.     }

```

En la línea 8 se llama a la función que obtiene los valores de la red del teléfono móvil.

En la línea 10 se accede a la información del *cell id*, mientras que en la línea 16 se accede a la potencia recibida.

Entre las líneas 35 y 67 se adhiere al mensaje la información del tipo de establecimiento requerido .

En las líneas 14, 19, 21, 26, etc., las expresión “`mtmBody.InsertL(0, PosBuf)`” inserta el contenido de la variable `PosBuf` en el mensaje de texto en la posición indicada (primer argumento de la función), lo mismo que la expresión “`mtmBody.InsertL(0, KGDSMSTag)`”.

3.1.2 Hardware y Software en el Servidor

El servidor consta físicamente de una PC, un teléfono móvil (en este caso un NOKIA 6200) y un cable de datos DKU-5 (USB) para la conexión entre PC y teléfono, como se muestra en la figura 15. El software instalado en el servidor cumple las funciones de conexión entre el teléfono y la base de datos en la PC, y de procesamiento de la información a través de una base de datos.

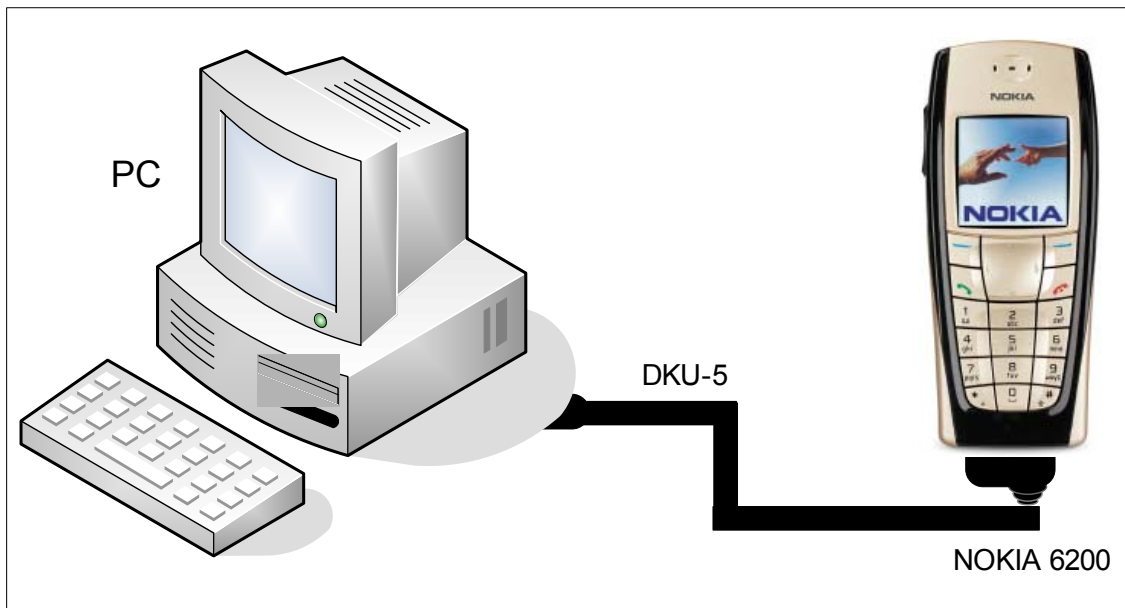


Figura 15. Servidor: Computadora, cable DKU-5 y teléfono.

La comunicación con el teléfono se realiza gracias a una de las características principales de los teléfonos móviles de tecnología GSM, que es actuar como un MODEM, y es a través de este que se envían y se reciben mensajes SMS.

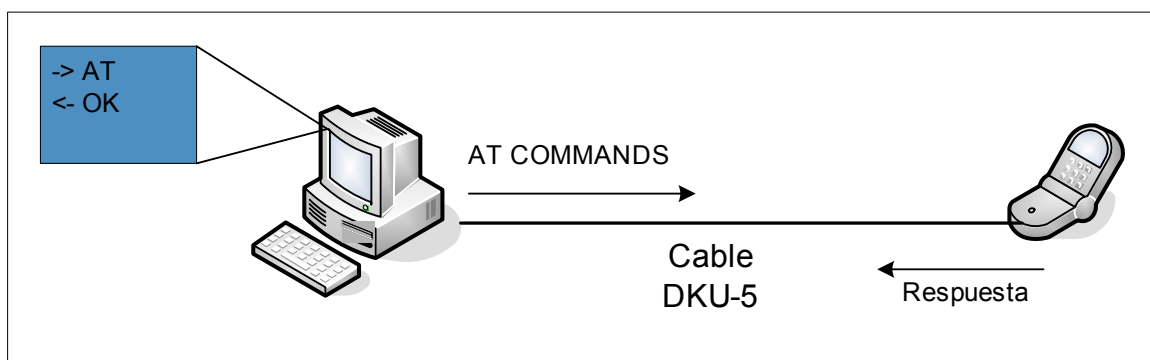


Figura 16. Comunicación Pc-teléfono con comandos AT

Como se puede observar en la figura 16, en la PC que actúa como servidor se encuentra instalado un programa que fue desarrollado en Java, el cual controla al teléfono mediante comandos AT, descritos por Nokia en [23] y por el estándar oficial GSM en [24], de la misma forma que con un MODEM convencional. Cada 40 segundos el programa revisa si el teléfono ha recibido algún mensaje. Este tiempo fue determinado tras varias pruebas en las que se observó que con un tiempo menor, el computador que funciona como servidor no respondía. Para propósitos de esta tesis, los 40 segundos funcionan perfectamente.

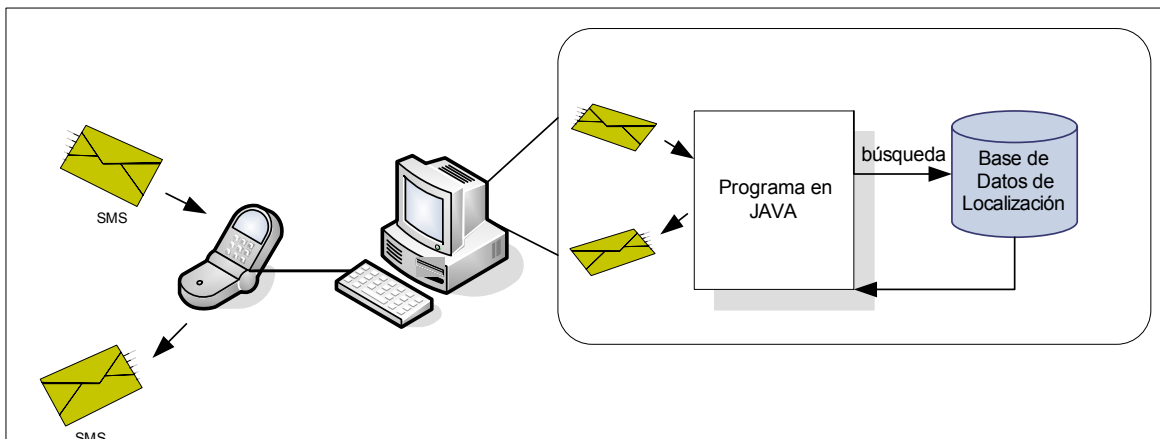


Figura 17. Recepción y envío de SMS en el servidor

En la figura 17 se puede apreciar el proceso desde el momento en que el mensaje con la información de localización llega al servidor, hasta cuando este último envía una respuesta con la información requerida. El programa realiza una búsqueda en la base de datos cada vez que un mensaje con información de localización es recibido. Luego de esto, con la información recabada de la base de datos, se crea un mensaje SMS, el cual es enviado a través del teléfono al usuario.

La base de datos dentro del servidor se desarrolló en MySQL. En el anexo 3 se brinda mayor información sobre este recurso utilizado. El programa en el servidor realiza una búsqueda de la información almacenada en la base de datos que coincida con aquella recibida en el mensaje; dicha información contiene las direcciones y nombres de los lugares cercanos al usuario. Los resultados de la búsqueda son enviados a través de un mensaje de texto.

El código fuente del software ubicado en el servidor, desarrollado en JAVA, se encuentra en el Anexo 2.

Para establecer la conexión del teléfono conectado al puerto USB con el servidor, utiliza el siguiente código:

```

1. public static void connectPort ( )
2. {
3.   if (!connected)
4.   {

```

```

5. sms = new ComputeSmsData();
6. stg = new SerialToGsm(s);
7. if (stg.getStatus())
8. {
9. menuRun.setEnabled(true);
10.     menuDisconnect.setEnabled(true);
11.     menuConnect.setEnabled(false);
12.     connected=true;
13. }
14. else
15. {
16.     JOptionPane.showMessageDialog(frame, "It couldn't connect\n
    Check the ports",
17.     "Warning",JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE, null);
18.     disconnectPort();
19. }
20. }
21. }

```

En las línea 5 y 6 se invoca a las clases `ComputeSmsData()` y `SerialToGsm(s)` para establecer la conexión entre el servidor y el teléfono móvil, a través del cual se recibe y se envía los mensajes de texto. La línea 7 comprueba el estado de la conexión y prosigue con la rutina de conexión.

Una vez establecida la conexión, el programa ejecuta la rutina que se encarga de recibir y enviar los mensajes de texto. Las partes principales del código se muestran a continuación:

```

1. class SendTask extends TimerTask
2. {
3. public void run()
4. {
5. if (connected)
6. {
7. System.out.println("Receiving");
8. receiveMsg();
9. // Deletes the message
10.     String retStr = stg.delSms();
11.     // Calls replyMsg method

```

```
12.     if (datacorrect)
13.         replyMsg();
14.         System.out.println("Se finalizo el chequeo");//new
15.     }
16.     else
17.     {
18.         // Stops the AWT thread
19.         // (and everything else)
20.         System.exit(0);
21.     }
22.     }
23.     }
```

El programa invoca a la clase “SendTask” cada 40 segundos. En la línea 8 se llama al método `receiveMsg()`, con el cual se accede al contenido del mensaje. Si el mensaje recibido es válido, se ejecuta el método `replyMsg()` de la línea 13, con el cual se realiza la búsqueda de la información en la base de datos y el envío del mensaje de respuesta. En la línea 10, se elimina el mensaje de la memoria del teléfono después de cada recepción. Esto permite que la memoria del teléfono permanezca vacía siempre.

4 Diseño de los Experimentos

4.1 Área de Pruebas

Se ha tomado un área geográfica específica del Distrito Metropolitano de Quito, para la realización de experimentos con la aplicación desarrollada en esta tesis, a la cual se la ha denominado: “área de pruebas”, la cual debía cumplir con los siguientes requerimientos:

- Ser una buena representación de la ciudad, en cuanto a diversidad en tipo de edificaciones (casas, edificios, parques).
- Tener zonas comerciales y residenciales.
- Sitios con gran concentración de gente y tráfico de red, lo que se traduce en celdas más pequeñas y sobrepuestas.

El área escogida, ubicada en un sector urbano, es la sección circundada por las calles Ignacio de Veintimilla (Al Sur), la avenida Río Coca (al norte), las avenidas 6 de diciembre y Eloy Alfaro (al Oriente) y la avenida 10 de agosto (al Occidente). Todo esto cubre un área de 8,33 km².

Dentro del área de pruebas, podemos encontrar centros comerciales, como el “Mall el Jardín”, ubicado en la avenida Amazonas y República, el centro comercial “Quicentro Shopping” en la 6 de Diciembre y Naciones Unidas, el CCI en la Amazonas y Naciones Unidas, entre otros; también encontramos áreas de mucha concentración de personas, como es el caso del Parque la Carolina o el Estadio Olímpico Atahualpa, así como también zonas residenciales y de poca concentración de gente como las ubicadas en las calles el Telégrafo o el Heraldo, entre otras; cumpliendo así con los requerimientos previamente establecidos.

Con el fin de realizar una comparación del desempeño de la aplicación entre áreas urbanas y rurales, se escogió como área rural de pruebas el sector del valle de Tumbaco (Poblaciones de Cumbayá y Tumbaco).

4.2 Variables y Factores de estudio

Las variables consideradas para la medición dentro del área de pruebas son:

- Distancia entre el usuario y los establecimientos buscados (máxima, mínima, promedio)
- Tamaño y número de celdas
- Número de establecimientos cercanos recibidos por mensaje

Los factores que afectan las variables son:

- Tipo de celda servidora (urbana o rural)
- Tipo de tráfico esperado en la zona
- Número máximo permitido de caracteres en un mensaje *SMS* según el terminal y el estándar (160 caracteres).

4.3 Diseño de los experimentos

4.3.1 Mapa de cobertura *cell id's*

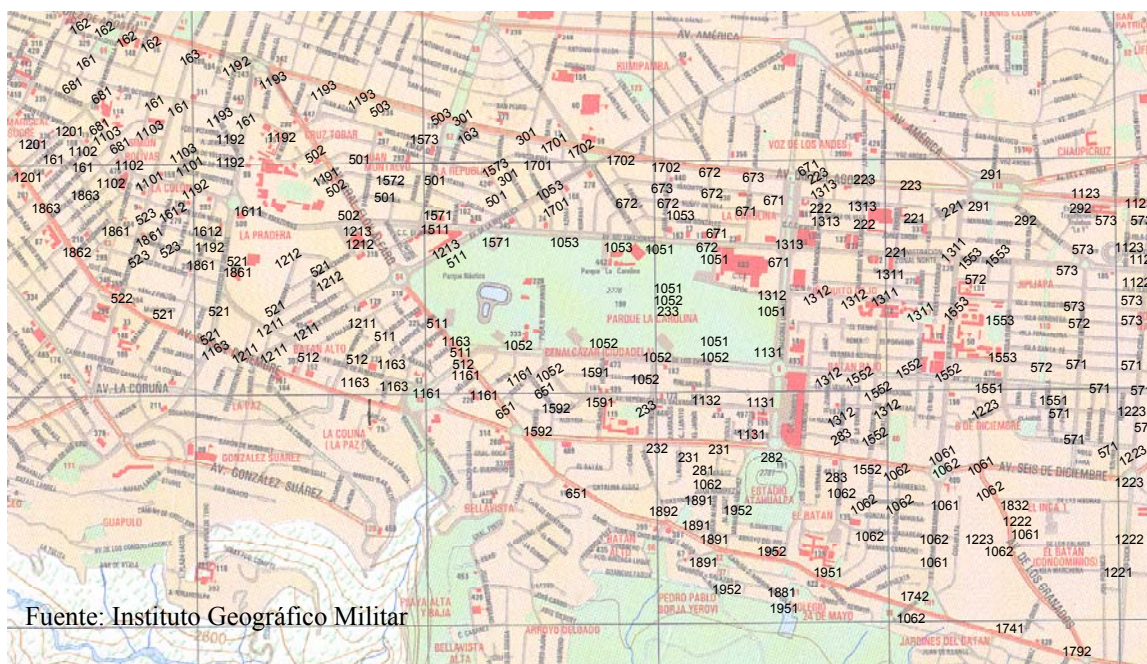


Figura 18. Área de pruebas con mediciones de *cell id's*

Primero, se obtuvieron los *cell id's* dentro del área de pruebas por medio de un recorrido por las calles, utilizando una versión preliminar del software desarrollado en esta tesis, que obtenía los datos de red. Con los datos obtenidos, se realizó un mapa de cobertura con los respectivos *cell id's* como se muestra en la figura 18.

La Figura 19 muestra la disposición de las celdas de GSM, las cuales se identifican a través de su *cell id*. La superposición de celdas tiene el objeto de no dejar vacíos de cobertura, y es por esto, que en ocasiones, obtenemos dos o más valores diferentes de *cell id's* en un mismo sitio.

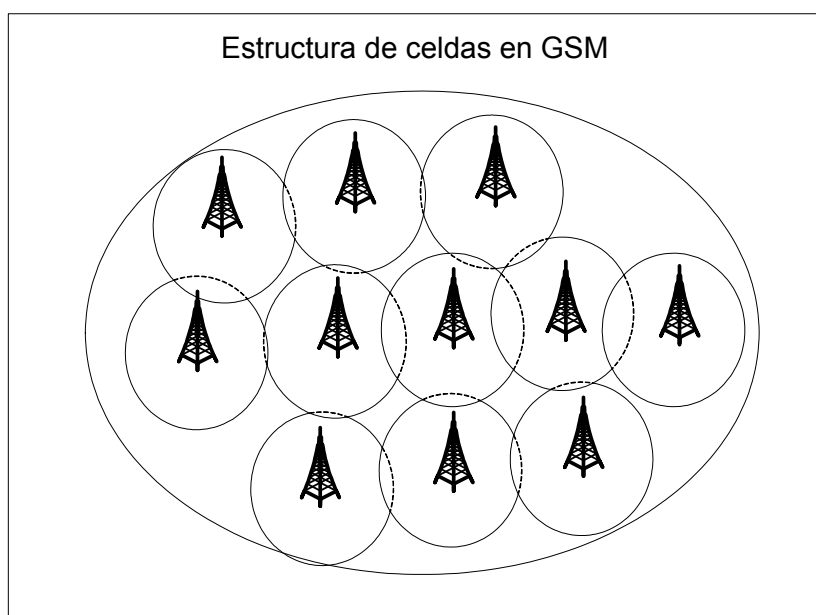


Figura 19. Estructuras de celdas

4.3.2 Sectores

Los sectores son áreas específicas dentro del área de pruebas, que contienen un cierto número de establecimientos (restaurantes, por ejemplo) y un conjunto de *cell id's*. Es decir, un sector encierra un cierto número de *cell id's* y establecimientos, que junto a sus direcciones, se usaron para llenar las tablas correspondientes de la base de datos de localización. Se establecieron sectores diferentes e independientes entre sí para cada una de las opciones de la aplicación del teléfono móvil (restaurantes, gasolineras, farmacias).

Los sectores en el mapa de cobertura se diseñaron bajo los siguientes criterios:

- El diámetro de los sectores es de alrededor de 700 metros.
- Los sectores se sobreponen entre sí.
- El establecimiento más representativo se encuentra en el centro del sector.

El diámetro del sector se diseñó de 700 metros, ya que mediante un análisis visual en el mapa, y tras observar el área de cobertura de los distintos *cell id's*, se concluyó que un diámetro adecuado para nuestros propósitos, sería el antes mencionado.

Al establecerse sectores aledaños, sin superposición, se pueden presentar dos escenarios principales que se discuten a continuación.

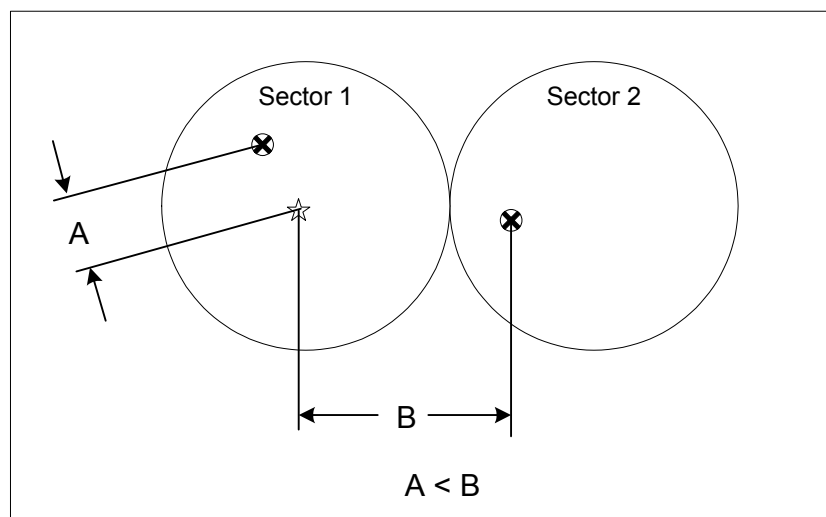


Figura 20. Usuario cercano al centro del sector

En la figura 20 se presenta el primer escenario. Podemos observar a un usuario, representado por una estrella, y a dos establecimientos representados por una X encerrada en un círculo. Al estar el usuario cercano al centro, la distancia 'A' al establecimiento dentro del sector 1, es menor a la distancia 'B' al establecimiento que se encuentra en el sector 2. Con lo que se concluye que este escenario no presenta problema alguno.

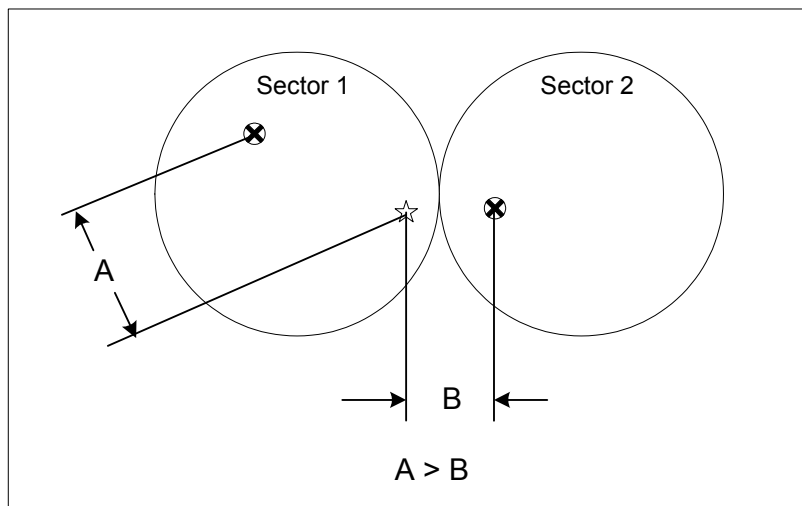


Figura 21. Usuario en los extremos del sector

Por otro lado, como se muestra en la figura 21, podría darse el caso en que el usuario, representado por la estrella como en el caso anterior, se encuentre en los extremos del sector y que la distancia 'A' al establecimiento dentro del sector 1 sea mayor que la distancia 'B' al establecimiento del sector 2. Este escenario presenta un inconveniente, ya que la respuesta que esperaría el usuario, sería la información del sitio que se encuentra a menor distancia y no el que se encuentra en el sector que se ha establecido en la aplicación.

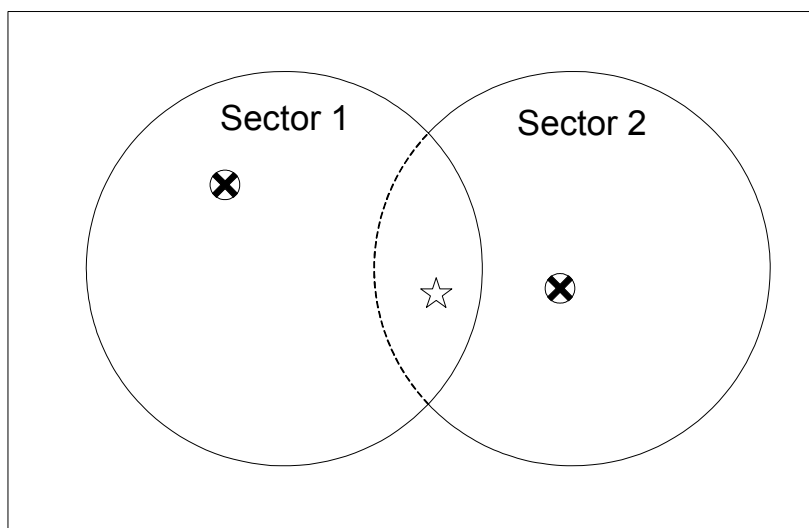


Figura 22. Usuario en medio de dos sectores

Para solucionar el inconveniente, se procedió a sobreponer los sectores. Como se muestra en la figura 22, el usuario es ahora parte tanto del sector 1 como del sector 2. Este recibe la información de los establecimientos de ambos sectores, tanto del más cercano como de

otros que se encuentran dentro de su sector. Así, el usuario tiene mayor probabilidad de recibir una información más adecuada y tiene la posibilidad de escoger más alternativas de establecimientos de 2 (o más) sectores, en el caso en que el usuario se encuentre en el cruce de estos.

Como se muestra en la figura 23, se ubicaron los sectores dentro del área de pruebas, de tal manera que el centro de cada uno sea un establecimiento representativo.

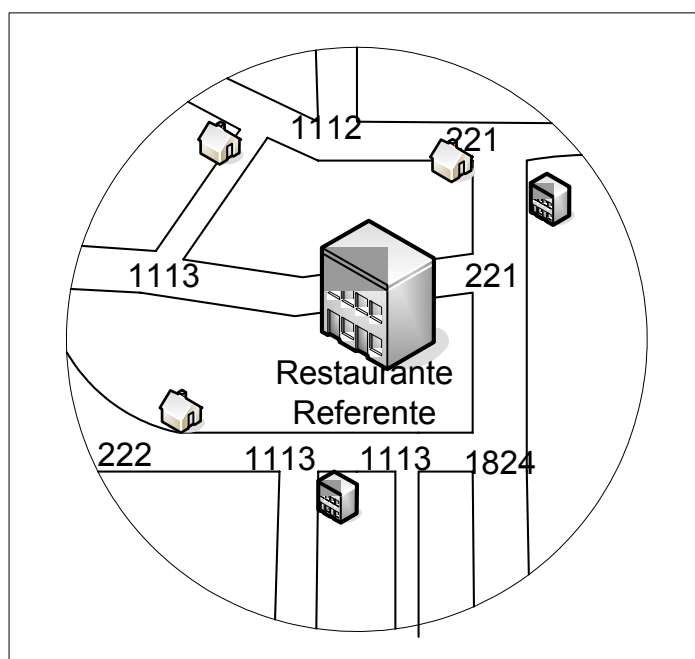


Figura 23. Sector con cell id's

De esta manera, se garantiza que el usuario tenga cercanía a este sitio que constituye un punto de referencia por su importancia, popularidad o ubicación. Un ejemplo muy claro de un tipo de establecimiento representativo son los patios de comida de los centros comerciales.

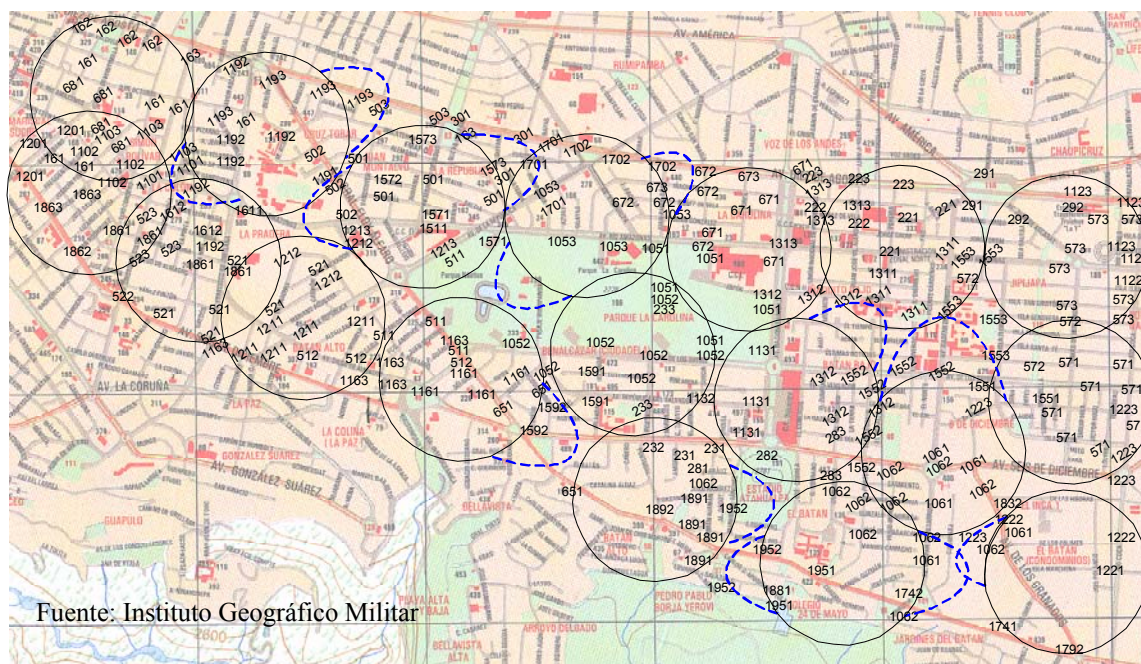


Figura 24. Área de pruebas con sectores

En la figura 24 se observa el área de pruebas con sus respectivos sectores. En algunos casos, con el fin de no tener espacios que no pertenezcan a ningún sector, se hicieron extensiones a los sectores circulares, para incluir áreas que no estaban consideradas originalmente.

4.3.3 Base de Datos

Se diseñó una base de datos con las siguientes tablas (Anexo 4), correspondientes a las diferentes opciones del programa en el teléfono: Restaurantes, Farmacias, Gasolineras y Sectores. La base de datos diseñada tiene la estructura mostrada en la figura 25.

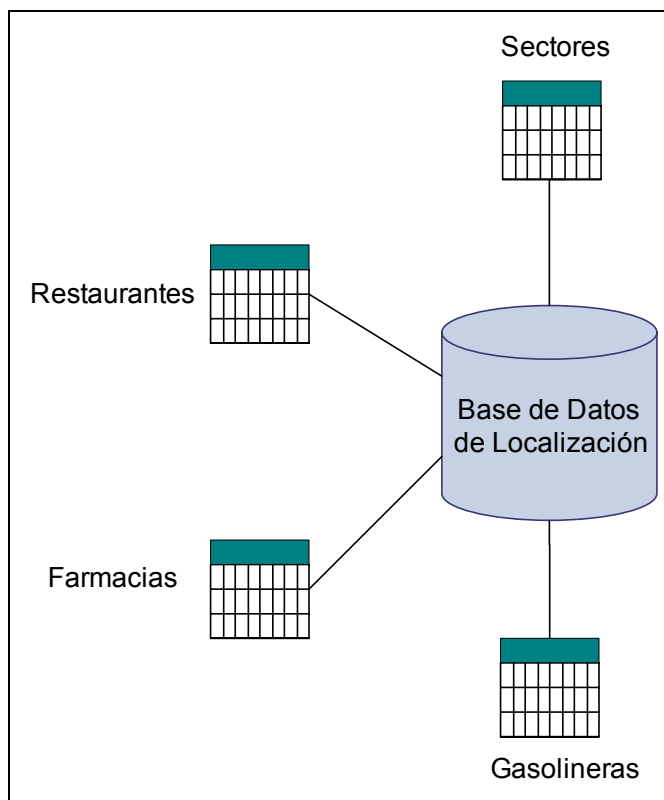


Figura 25. Estructura de la Base de datos de Localización

Los tipos de establecimientos escogidos, fueron determinados con el siguiente criterio. Primero, se buscaron alternativas que sean atractivas para los usuarios y para los propietarios de esos establecimientos, para fines comerciales. Además, se intentó buscar establecimientos de diferente campo (salud, entretenimiento, servicios, etc.). También se buscó que los establecimientos tengan una diferente concentración en el área escogida. Es así, que las gasolineras, por ejemplo, son los establecimientos que se encuentran en menor número y más distanciados entre sí. En cambio, los restaurantes son establecimientos que se encuentran prácticamente en cualquier lugar y en grandes concentraciones en sitios particulares. Las farmacias son el caso intermedio, y se las encuentra en todos los sectores dada su necesidad e importancia.

La base de datos fue llenada con los datos experimentales que se obtuvieron de las diferentes mediciones que se realizaron en el área de pruebas.

4.3.4 Experimentos

Finalmente, con la aplicación de localización completa, se realizaron experimentos en distintos sectores del área de pruebas y además dentro de un área rural, que corresponde al valle de Tumbaco, aledaño a Quito. En cada lugar escogido, se ejecutó el programa y se obtuvo información de los lugares cercanos, que el sistema envió a través de mensajes de texto; con estos resultados se calcularon las distancias a los diferentes sitios desplegados en el mensaje de respuesta, con el objeto de tener una medida de precisión de la aplicación. Es importante notar que las pruebas fueron ejecutadas sin movimiento del usuario.

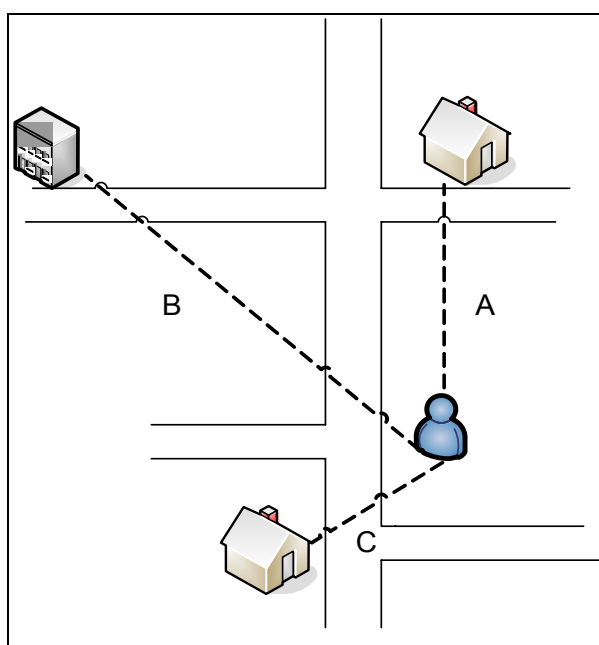


Figura 26. Distancia a los sitios más cercanos

Como se puede apreciar en la figura 26, se obtuvieron diferentes distancias a los distintos lugares, recibidos a través de un mensaje de texto, a la posición en la que se realizó la prueba. Como podemos observar en el gráfico, en este caso en particular, se obtuvieron tres distancias A, B y C, siendo C la distancia al sitio más cercano y B la distancia al sitio más lejano. La precisión puede ser cuantificada de distintas maneras, ya sea tomando la distancia más corta, la más lejana o un promedio de estas. Los resultados y su respectivo análisis se discuten en la siguiente sección.

5 Resultados

Se organizaron los resultados de la siguiente manera. Existen resultados separados por tipo de establecimiento, y cada uno de ellos tiene el mismo número de pruebas ejecutadas en los mismos lugares. Cada prueba da como resultado una o varias opciones de restaurantes cercanos (generalmente 3). Cada una de estas opciones constituye una muestra diferente y se registró su distancia al lugar donde se ejecutó la prueba. En el Anexo 5, se presentan tablas de resultados que contienen las pruebas realizadas con las respectivas distancias a los establecimientos desplegados en el mensaje de respuesta. Estas tablas fueron obtenidas gracias a un archivo secuencial (*log file*) que guarda los datos de las distintas pruebas realizadas en el servidor SMS. Este archivo fue comparado con el tiempo y la posición desde la cual fueron hechas las pruebas. El análisis de los resultados correspondientes a las pruebas con restaurantes se presentan a continuación.

5.1 Análisis para Restaurantes

5.1.1 Distancias

La base de datos fue establecida de tal manera que cada *cell id* registrado, es decir, cada pedido de la ubicación de un establecimiento por parte del usuario, tenga en lo posible, por lo menos dos opciones de establecimientos en su respuesta. Debido a la limitación de que un mensaje SMS permite solamente escribir 160 caracteres, no es posible dar más de tres o cuatro opciones de establecimientos.

a. Área Urbana

En el caso del área de pruebas urbana, las distancias obtenidas a los restaurantes más cercanos, luego de 134 pruebas, fueron las mostradas en el Anexo 4. La distancia promedio al sitio requerido (la media de todas las muestras), fue de 311,25 metros.

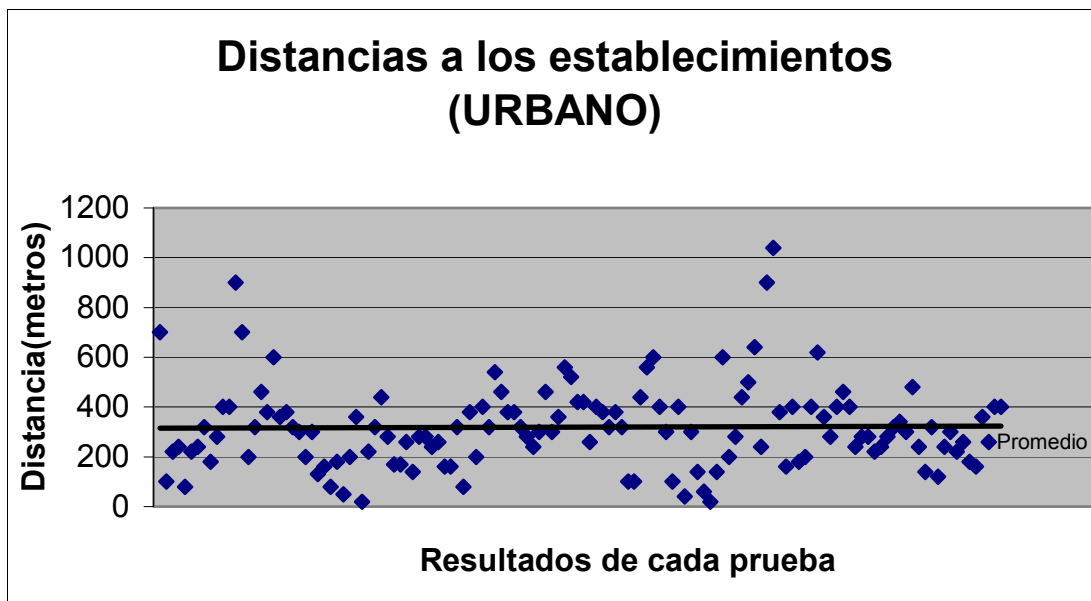


Figura 27. Distancias a los restaurantes desplegados en cada respuesta (urbano)

En la figura 27 se observan las distancias desde cada lugar en donde se ejecutaron las pruebas a cada uno de los establecimientos desplegados en los mensajes SMS de respuesta a tales pruebas. La línea negra representa el promedio de éstas muestras, y se puede apreciar que la mayor distancia fue de 900 metros, mientras que el restaurante más cercano estuvo a 20 metros del lugar de la prueba. Se puede observar que son muy pocas las muestras que salen demasiado lejos del promedio, por lo que se constata que la aplicación sigue patrón general.

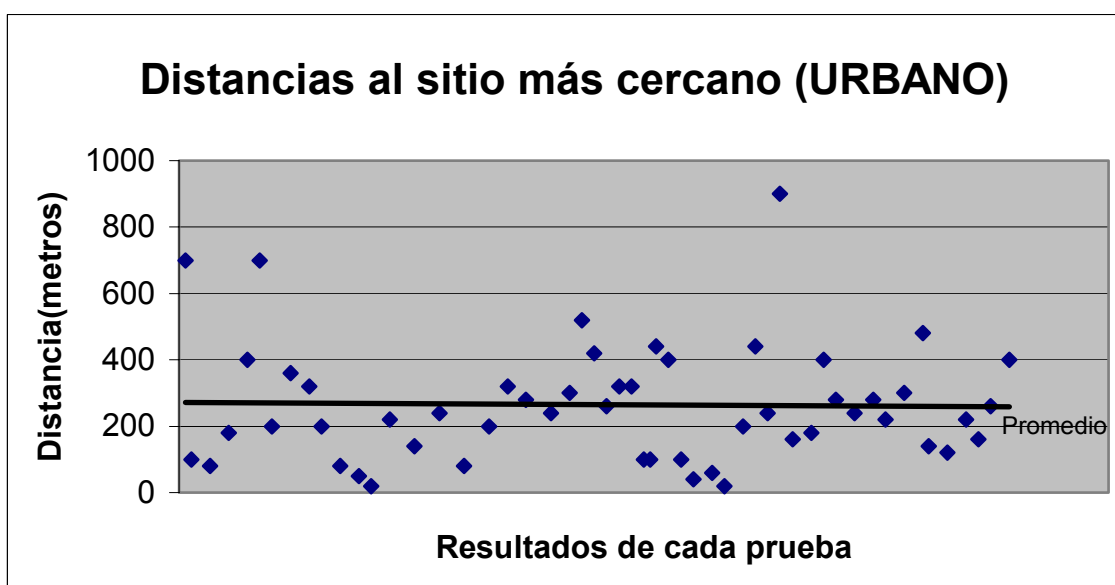


Figura 28. Distancias a los restaurantes más cercanos (urbano)

En las figuras 28 y 29 se muestran las distancias desde el lugar de prueba hasta los restaurantes más cercanos y más lejanos, respectivamente, de cada respuesta. Aquí también, la línea negra indica el promedio de estas muestras.

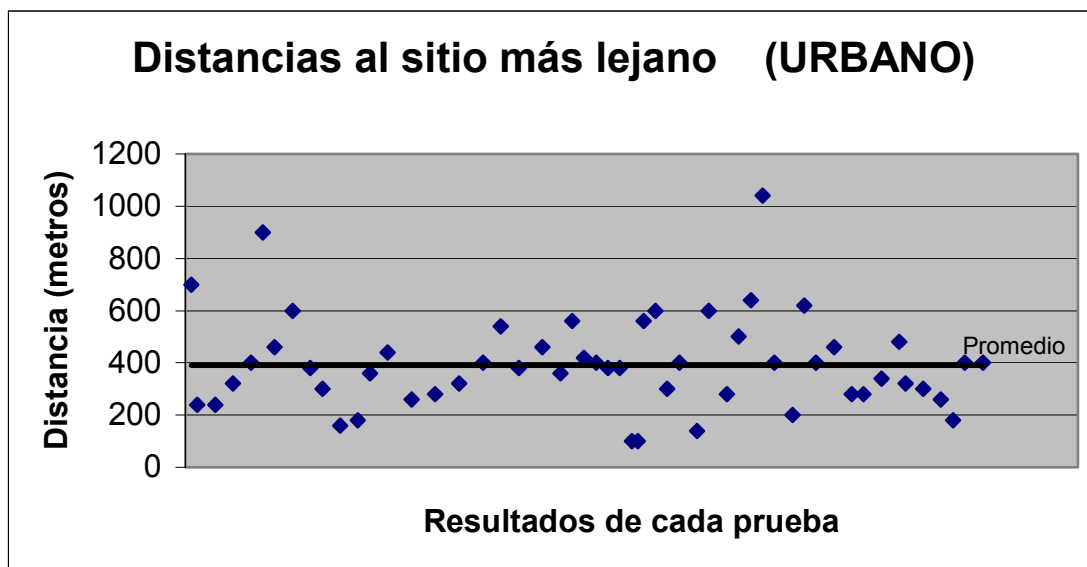


Figura 29. Distancias a los restaurantes más lejanos (urbano)

Se puede observar en las figuras 28 y 29, que la distancia promedio al sitio más alejado del conjunto de respuestas obtenidas en cada mensaje SMS fue de 392,59 metros. La distancia promedio al sitio más cercano de este mismo conjunto de respuestas fue de 273,33 metros.

b. Área Rural

Las pruebas en el área rural presentan resultados diferentes a los del área urbana. Las distancias obtenidas a los restaurantes más cercanos, luego de 99 pruebas, fueron las mostradas en el Anexo 4. La distancia promedio al sitio requerido (la media de todas las muestras), fue de 823,19 metros.

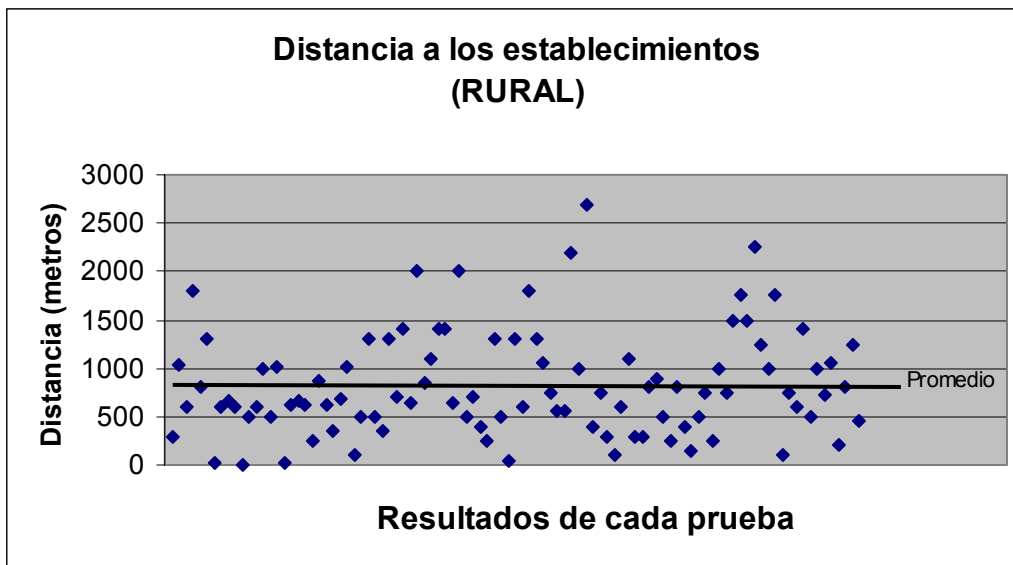


Figura 30. Distancias a los restaurantes desplegados en cada respuesta (Rural)

En la figura 30 se pueden observar los resultados de las distancias a todos los restaurantes desplegados en la respuesta después de cada ejecución de la aplicación en el área rural de prueba. La mayor distancia fue de 2,7 kilómetros, mientras que el restaurante más cercano estuvo a 10 metros del lugar donde se ejecutó la prueba. Se puede observar que el comportamiento de la aplicación es menos regular en cuanto a distancias que lo que se observó en el área rural.

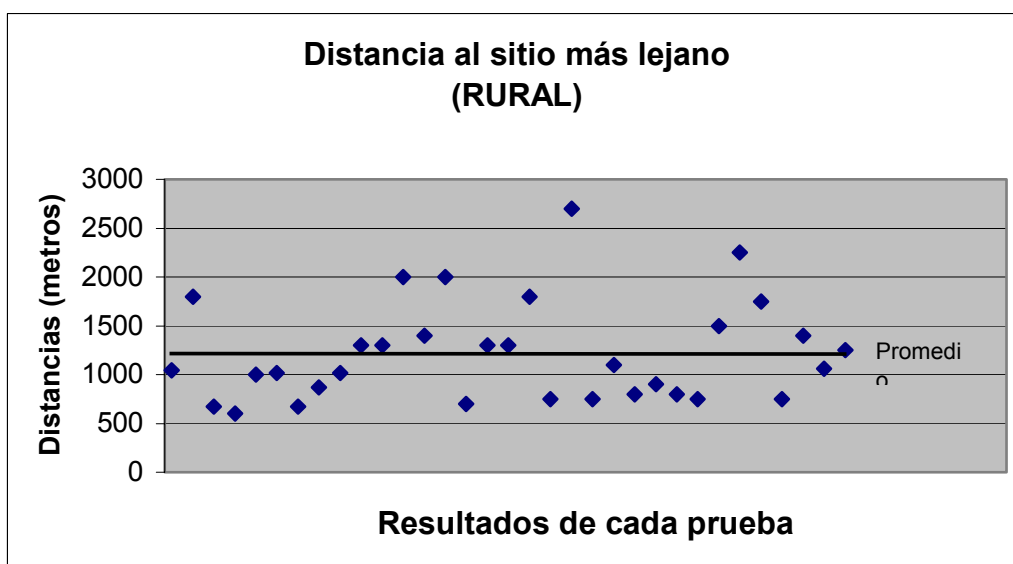


Figura 31. Distancias a los restaurantes más lejanos (Rural)

Como se puede apreciar en las figuras 31 y 32, el promedio de las distancias a los restaurantes más cercanos de cada conjunto de respuestas (cada ejecución del programa) fue de de 1221,23 metros y el promedio de las distancias a los restaurantes más cercanos fue de 439,70 metros.

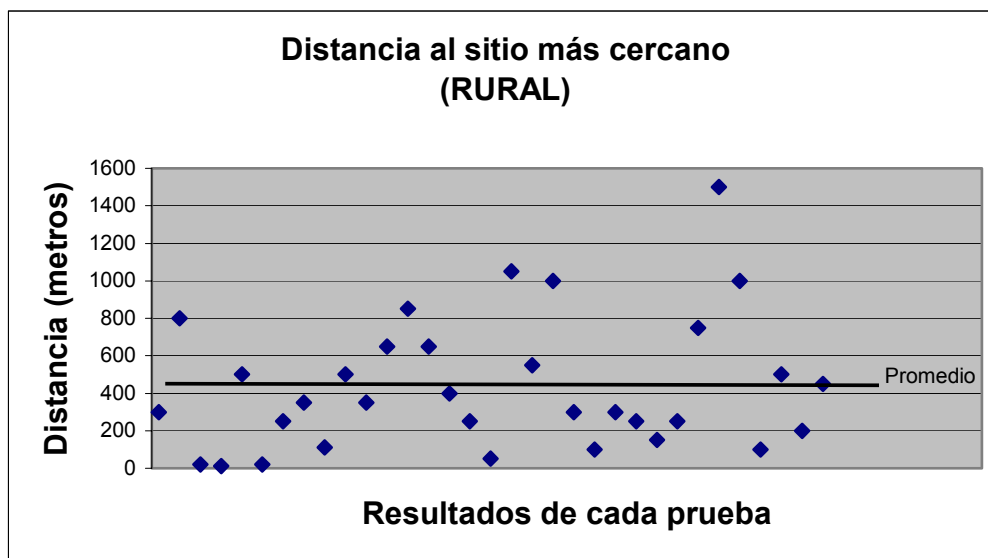


Figura 32. Distancias a los restaurantes más cercanos (Rural)

Es importante notar la especial estructura topográfica del área rural estudiada en estas pruebas. Al ser un valle rodeado de montañas, y al ubicarse las antenas en sitios altos, las celdas tienen una extensión mucho mayor a las del área urbana.

5.1.2 Tiempos de respuesta

Se midió el tiempo transcurrido (en segundos) desde la ejecución de la aplicación en el teléfono hasta el instante en que se recibe el SMS de respuesta por parte del servidor. Todo esto, con el objeto de tener un tiempo estimado de respuesta.

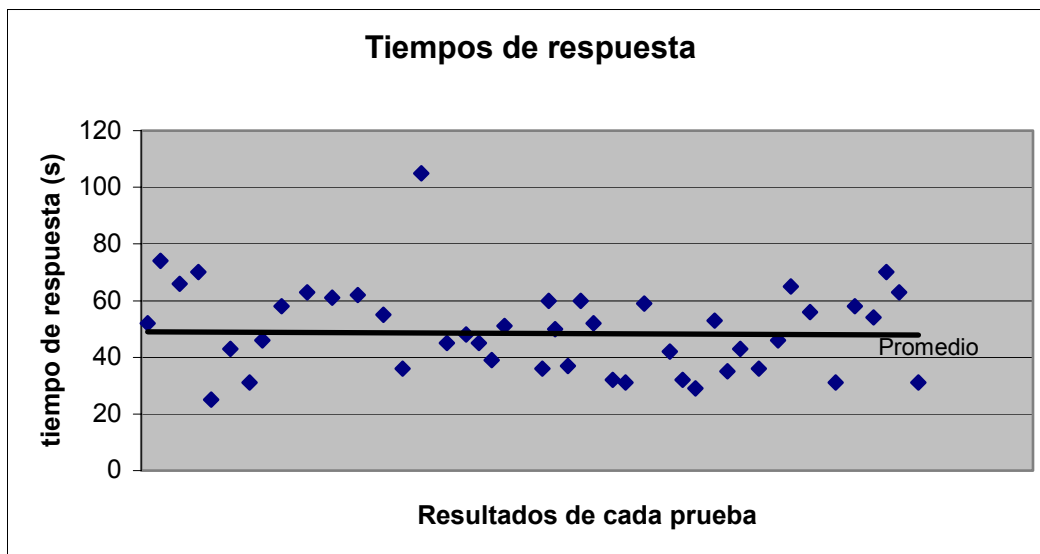


Figura 33. Tiempo entre la ejecución de la aplicación y el recibimiento de la respuesta

En la figura 33 se observan los tiempos de respuesta de las diferentes ejecuciones de la aplicación, así como el promedio total de éstas, que es de 55,47 segundos. Este tiempo resulta razonable, ya que aproximadamente un minuto de espera para la respuesta resulta extremadamente útil en relación a la posibilidad de que el usuario busque los establecimientos por cuenta propia.

Se puede observar también, que existen pocas muestras que se alejan significativamente del promedio. Los picos altos indican una congestión en la red celular, lo que significa que en esos momentos existía alto tráfico.

No se presentan resultados de medidas del tiempo de respuesta en el área rural, ya que éstos no tienen una diferencia significativa con los del área urbana. Es decir, el tipo de celda (urbana o rural) no afecta en el tiempo de respuesta de la aplicación.

6 Conclusiones

Se cumplió con el objetivo inicial de tener una aplicación plenamente funcional en un área de la ciudad de Quito, la cual satisface el requerimiento de un usuario de saber las direcciones de establecimientos cercanos.

En el área urbana, si se compara la distancia entre las diferentes opciones desplegadas en pantalla, tenemos que la diferencia entre el promedio de las distancias más cortas de cada una las respuestas y el promedio de las distancias más largas de las mismas, es de aproximadamente 110 metros. Este resulta ser un valor absolutamente razonable para que el usuario pueda escoger entre las diferentes opciones, sin necesidad de que la distancia sea un factor excluyente o determinante en su decisión. Más bien, los factores de decisión serían el tipo de restaurante, facilidades de parqueo, vías de acceso, etc. Por lo tanto, en este aspecto, el programa resulta de gran utilidad en áreas urbanas.

En el área rural, la diferencia entre el promedio de las distancias más cortas y el de las distancias más largas de cada respuesta obtenida es de aproximadamente 800 metros, lo que resulta mucho mayor a lo obtenido en el área urbana. Esto se debe a que las celdas diseñadas para áreas rurales son de mucho mayor extensión que las diseñadas para áreas urbanas. En este caso, la distancia sí podría ser un factor determinante en la decisión del usuario de escoger un restaurante en lugar de otro. Además, en el área rural escogida existen pocos sitios en donde se concentran restaurantes, y estas zonas están apartadas entre sí. Por eso, a pesar de que las distancias a los restaurantes requeridos resulten mucho mayores que las obtenidas en la zona urbana, la aplicación es de todas formas de gran utilidad para el usuario.

El código fuente desarrollado de una manera libre (sin necesidad de licencias de ningún tipo) sirve como punto de partida para futuras aplicaciones basadas en localización que utilicen el método del *cell id*.

Se tiene una aplicación lista para demostraciones a posibles interesados en el ámbito comercial, como establecimientos que deseen ser incorporados a la base de datos del programa o usuarios que deseen los servicios que brinda esta aplicación.

7 Recomendaciones y Trabajo Futuro

En el futuro se podría incrementar el área de pruebas. Para ello se deberá realizar el mismo reconocimiento de *cell id's*, los cuales serían ingresados en la base de datos de localización. Además, se pueden ampliar el número y tipo de establecimientos de los que se desee obtener su ubicación.

Se podrían realizar versiones personalizadas del programa, que satisfagan las necesidades individuales de cada usuario.

El sistema se ha desarrollado en *Symbian OS* basado en C++, por lo que la aplicación podría utilizarse en otro tipo de teléfonos y no únicamente en terminales Nokia, realizando pocas modificaciones al código.

Debido a la limitación en el número de caracteres de cada mensaje de texto SMS, se podría en el futuro implementar más de un mensaje de respuesta o la utilización de mensajes MMS (*Multimedia Message Service*), para entregar más información al usuario.

Se podrían realizar más experimentos variando la dimensión de los sectores, para obtener un tamaño que presente un mejor desempeño de la aplicación en términos de distancias a los establecimientos requeridos.

Otro factor que podría ser estudiado a futuro es la influencia de la velocidad, cuando el usuario de la aplicación se encuentra en movimiento al momento de ejecutar el programa.

Bibliografía

- [1] Jenkins, Gareth. "GSM White Paper. Brilliant past, bright future". Global Telecommunications, Deutsche Bank, 18 de febrero de 2004.
- [2] Clinth y Daniel Collins. 3G Wireless Networks. USA: Editorial McGraw-Hill, 2002.
- [3] Nokia Networks. "A History of Third Generation Mobile". 3G Mobile, marzo de 2003.
- [4] Superintendencia de Telecomunicaciones. "SITUACIÓN DE LA TELEFONÍA MOVIL", mayo de 2005.
- [5] GSM Association. "Operator Requirements for Features and Services", enero de 2002.
- [6] FCC. "Enhanced 911 – Wireless Services", 25 de febrero de 2005, <<http://www.fcc.gov/911/enhanced/>> (17 de mayo de 2005)
- [7] Federal Communications Commission. "Factsheet: FCC Wireless 911 Requirements", WTB / Policy, enero 2001.
- [8] Zhao, Yilin. "Standards Report: Standardization of Mobile Phone Positioning for 3G Systems" IEEE Communications Magazine, julio de 2002
- [9] Biala, Jacek. Mobilfunk und Intelligente Netze Deutschland:Vieweg, 1994.
- [10] Harte, Lawrence. Introduction to GSM: Physical Channels, Logical Channels, Network, and Operation , USA: Arthos Publishing, 2005.
- [11] ETSI, "GSM 01.02: Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); General Description of a GSM Public Land Mobile Network (PLMN)", version 5.0.0 marzo 1996.
- [12] ETSI, "GSM 03.02: Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); Network architecture", version 5.1.0 mayo 1996.
- [13] www.gsmworld.com
- [14] ETSI, "GSM 02.01: Digital cellular telecommunication system (Phase 2+); Principles of telecommunication services supported by a GSM Public Land Mobile Network (PLMN)", version 5.2.0 diciembre 1996.
- [15] ETSI, GSM 02.03 (ETS 300 905): "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Teleservices supported by a GSM Public Land Mobile Network (PLMN)", versión 5.3.1 julio 1997.

- [16] Drane, Macnaughtan y Craig Scott. "Positioning GSM Telephones" IEEE Communications Magazine. Computer Systems Engineering, University of Technology Sydney, abril de 1998
- [17] Tipmongkonsilp, Siriluck. "Position Location in Wireless Communications", Comprehensive Examination, University of Pittsburgh, 2003.
- [18] Reza, Rahman. "Data Fusion For Improved TOA/TDOA Position Determination in Wireless Systems", Blacksburg, Virginia, julio 2000.
- [19] Swedberg, Goran. "La solución de localización móvil de Ericsson" Erisson Review No.4, 1999.
- [20] Erbas, Adusei y Kyamyaka. "Location Based Services: Advances and Challenges", Niagara Falls, mayo de 2004.
- [21] Porcino, Domenico. "Location of Third Generation Mobile Devices: A Comparison between Terrestrial and Satellite Positioning Systems", Phillips Research Laboratories UK, IEEE 2001.
- [22] Nokia Corporation. "Series 60 Developer Platform: Introductory White Paper", version 1.1, 28 de junio de 2004.
- [23] Nokia Networks. "AT Commands for Nokia GSM Phones", Nokia Mobile Phones 2000.
- [24] ETSI, GSM 07.07 (ETS 300 916): "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); AT command set for GSM Mobile Equipment (ME)", versión 5.3.0 agosto 1997.
- [25] Marshall, Colin Turfus, "Getting Started with C++ Development on the Series 60 SDK Symbian Developer Network", version 1.0, junio de 2002.
- [26] Nokia Corporation. "Series 60 Developer Platform 2.0: Getting Started with C++ Application Development", version 1.1, 16 de marzo de 2004
- [27] www.Java-System.com