

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL MEDIO

1.1 Introducción

La expansión de aplicaciones basadas en GPS es posterior a 1.996, año en el gobierno de Estados Unidos, declaró que derogaría de forma paulatina la Disponibilidad Selectiva (SA, por sus siglas en inglés) para los equipos GPS de uso civil y comercial, ésta quedó totalmente deshabilitada el 2 de mayo de 2.000. La SA introducía por razones de seguridad nacional, errores en las mediciones captadas por esos tipos de aparatos. Posterior a esta decisión comenzó el auge de los desarrollos GPS y el descenso continuo en el costo de los equipos.

En nuestro país los servicios de telemática -integración de telecomunicaciones e informática- para el sector automotriz, se han encaminado a sistemas de comunicación inalámbrica (radiofrecuencia o red celular), que permiten rastrear y ver la posición de un auto (triangulación o GPS), ofrecer navegación en línea, sistemas de información y asistencia de emergencias (recuperación vehicular, asistencia médica y mecánica).

Según el experto inglés en tecnología automotriz, Dennis Foy, este es un mundo de alta tecnología digital que se volvió una industria en expansión, (Foy, 2002).

La telemática se viene aplicando con éxito en EE.UU., Europa y Asia, brindando al conductor y a los pasajeros servicios de valor agregado. Wainmann¹ en entrevista publicada por Revista Líderes indica que: en EE.UU., la telemática es muy usada para saber dónde están el hotel o restaurante más cercano o dónde cambiar una llanta. El modelo europeo, en cambio, está orientado a la navegación. Por ejemplo, si alguien va de Italia a Alemania, necesita un mapa para ubicarse y llegar a su destino.

1.2 Importancia

El técnico Martín Hilbert² experto en temas relacionados con la sociedad de la información en entrevista a Diario El Comercio señala que: debido a la revolución tecnológica, se tiene cada vez más acceso a la información y dicho acceso determina las condiciones de una sociedad. Como la información es la clave de la conducta humana, lo es también para el desarrollo de su crecimiento, economía, educación, salud y el manejo adecuado de las entidades estatales. No sólo hay que manejar información, también hay que digitalizarla para solucionar los problemas.

Considerando lo anterior, en la actual sociedad del conocimiento, los sistemas de información son herramientas de altísima importancia para la difusión y democratización de información geoespacial relevante, elevando la oportunidad de la sociedad de beneficiarse de la misma en el lugar y momento que lo necesite.

En este sentido, el presente proyecto determina una oportunidad para explorar una de las más recientes tendencias en la utilización de tecnologías geoespacial, geoelectrónica, de la información y de las telecomunicaciones, y específicamente de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y del Sistema de Posicionamiento Global (GPS); utilizando investigación y desarrollo en éstas

¹ Daniel Wainmann, Presidente ROAD Tracking EC, en entrevista a Navas, Albertina. Esta firma echó a rodar la telemática. LÍDERES, Año 7, No. 425, Pág. 10.

² Martín Hilbert, en entrevista a EL COMERCIO. La brecha digital nos afecta a todos, Lunes 17 de julio de 2.006, Pág. 11

áreas para que en un futuro próximo las personas de nuestra sociedad lleguen a sus destinos de manera más sencilla, rápida, eficiente y segura.

1.3 Ubicación

Para la ejecución del Sistema Piloto de esta Aplicación SIG, se ha determinado la zona de desarrollo del mismo, en el Centro Histórico de la Ciudad de Quito, puesto que el Municipio del Distrito Metropolitano realiza constantes inversiones para mejorar su infraestructura, puesto que la zona es considerada como uno de los pilares del turismo al recibir cada día aproximadamente 300.000 visitantes, (Navas-Villacís, 2006).

La zona de estudio está delimitada por las siguientes calles:

Tabla. 1.1. Área de Estudio.

Límite	Calle
Norte	José Mejía Lequerica
Sur	Antonio José de Sucre
Este	Guayaquil
Oeste	Sebastián de Benalcázar

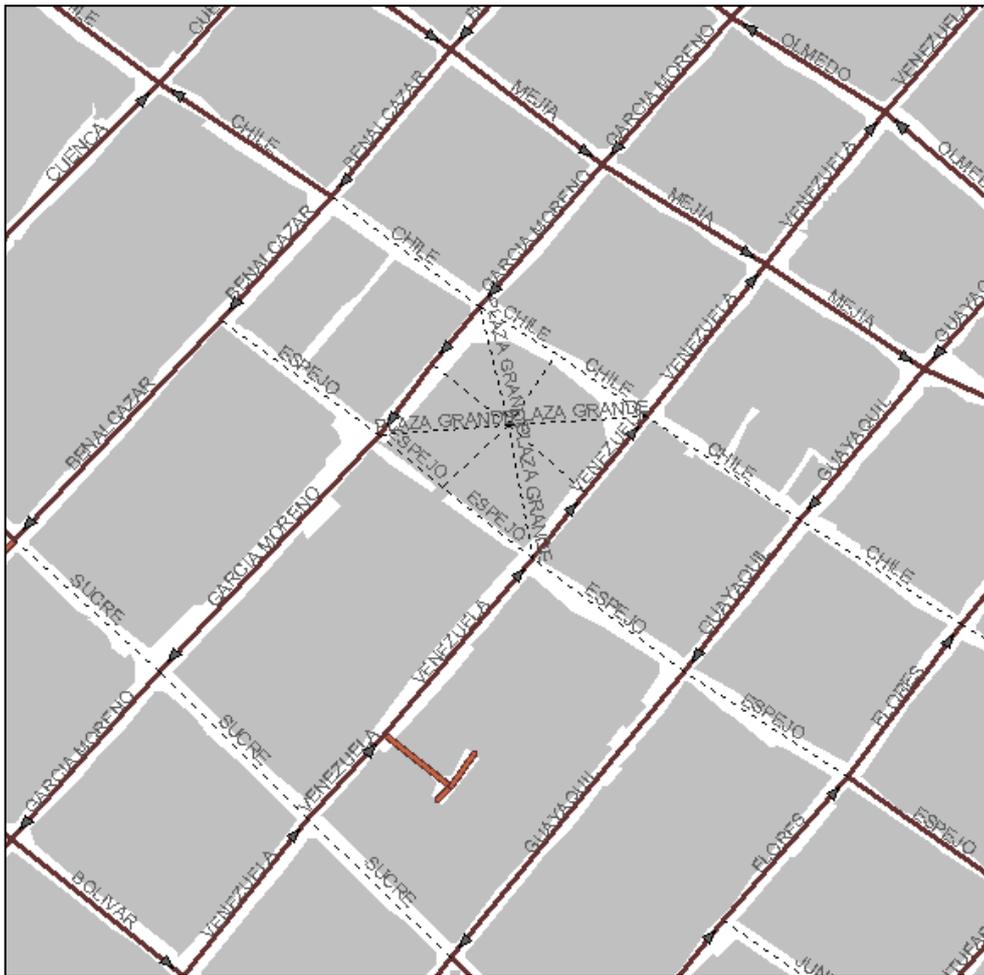


Figura. 1.1. Área de Estudio.

1.4 Determinación y Análisis de Variables

Cuando hablamos de topología en el campo de los Sistemas de Información Geográfica, ésta, ha sido históricamente considerada como una estructura de datos espaciales empleada principalmente para asegurar que entidades asociadas geoméricamente, forman una estructura topológica bien definida (los polígonos cierran, arcos que se suponen que tienen que estar conectados efectivamente lo están, etc.).

Con el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica y la implementación de Bases de Datos Espaciales, ha surgido una nueva visión de la topología, como un conjunto de reglas y relaciones entre los elementos de una misma o distintas capas de información, que junto con un extenso número de herramientas y tareas de edición, permiten modelar de manera más veraz las entidades presentes en el mundo real.

Con esta nueva visión, la topología puede seguir siendo empleada para asegurar que los elementos asociados geoméricamente forman una estructura bien definida, pero de manera adicional se asegurará que los elementos cumplen una serie de reglas predefinidas, lo que permite una gran flexibilidad en el diseño de los modelos de datos.

Por ejemplo, con la generación de topología en una capa de líneas (calles), se eliminarán los nodos colgados (“dangles”) dentro de la tolerancia definida y se generarán nodos en los cruces; de forma adicional es posible definir, por ejemplo, una regla para que las calles coincidan con los límites de los elementos de una capa de polígonos (manzanas catastrales por ejemplo), definiendo así de manera más real una clase de elementos de calles.

Para la aplicación SIG del presente estudio se ha considerado la siguiente estructura de Topología de Red, para el área de interés del Distrito Metropolitano de Quito:

Tabla. 1.2. Topología.

Variable	Entidad	Tipo	Atributo
Puntos de Interés. POIs	Punto	Punto	Nombre Clasificación Contactos
Nodos de Intersección	Punto	Punto	Id Restricciones de giro
Ejes Viales	Línea	Polilínea	Id Tipo Nombre Clase Velocidad Dirección
Áreas	Polígono	Polilínea	Nombre Clasificación Contactos

CAPÍTULO 2

PRELIMINARES DEL EQUIPO DE NAVEGACIÓN

2.1 Admisión del equipo

La tabla comparativa presentada en el Anexo 1, fue elaborada por la empresa GEOPLVS Cía. Ltda.³, auspiciante del estudio, para la adquisición del equipo de navegación vehicular/personal, basados en la clasificación dada por la Revista PC Magazine en su versión digital, de la cual se extraen las principales características que determinaron la adquisición del equipo GARMIN nüvi 350:

1. Almacenamiento.

- Almacenamiento interno provisto por disco duro interno, con aproximadamente 700 MB disponibles para mapas adicionales, MP3s y audio book media.
- Almacenamiento auxiliar provisto a través de la ranura para tarjetas de memoria Secure Digital (SD).
- Precargado con City Navigator™ NT para detalles de calles a niveles y direcciones, adicionalmente listado de restaurantes, hoteles, cajeros diferidos, etc. cercanos, de U.S., Canadá y Puerto Rico.

2. Navegación.

- Direcciones giro-a-giro.

³ GEOPLVS, es una empresa de alta tecnología, dedicada al desarrollo, generación y difusión de sistemas de información geoespacial, elevando la oportunidad de la sociedad de beneficiarse de esta información en el lugar y momento que lo necesite, utilizando la investigación y desarrollo en tecnología geoespacial, tecnología geoelectrónica, tecnologías de información, y tecnologías de telecomunicaciones.

- Vistas 3D.
- Instrucciones y advertencias de navegación.
- Text-to-speech (TTS) para anunciar audiblemente giros por el nombre de la calle y puntos de interés (POIs) venideros.

3. Computadora de viaje.

- Características reseteables: odómetro, tiempos en movimiento y detenido, velocidades máximas y promedio.

4. Receptor GPS.

- Receptor GPS integrado de alta sensibilidad.
- Habilitado para WAAS.
- Conexión opcional para antena externa.

5. Precisión.

- GPS: <10 metros, típico. Velocidad: 0.5 metros/seg (1.8 Km/h) RMS.
- GPS_WAAS: Posición: <5 metros, típico. Velocidad: 0.05 metros/seg (0.18 Km/h) RMS.

6. Interface por cable PC/USB.

- Propietaria de GARMIN a través de interface USB.
- Almacenamiento USB, plug-and-play.

7. Dimensiones del equipo.

- Comparativamente presenta las dimensiones más reducidas: 3.87" W x 2.91" H x 0.87" D (98.3 mm x 73.9 mm x 22.1 mm), para el fácil ajuste en un bolsillo y manipulación táctil.
-

8. Peso.

- 144.6 gramos (5.1 onzas), el menor peso de los tres equipos.

9. Puntos de Interés (POIs).

- Programa para cargar POIs. Navegar a una dirección o buscar POIs, lugares como: hoteles, restaurantes, atracciones turísticas y demás.

10. Ruteo.

- Cálculo automático con instrucciones giro-a-giro.
- Rutina para preferencia de vías que permite al usuario priorizar la elección de calles o avenidas.
- Recálculo automático de salidas de ruta que despliega indicaciones para regresar a la ruta si se pierde un giro o salida.

11. Escala de Mapa.

- Escala en ancho de pantalla de 200 metros a 6.400 Kilómetros (640 pies a 4.000 millas).

2.2 Configuraciones y Análisis Iniciales

Posterior a la recepción del equipo GPS Portátil GARMIN⁴ nüvi 350, se hace necesario la comprensión de los componentes de la interface gráfica y menús del mismo, para lo cual se muestran las siguientes pantallas:

⁴ Garmin, líder mundial en soluciones de navegación portátil, hasta 2007 ha distribuido más de 31 millones de equipos con GPS. Fundada por Gary Burrell y el Dr. Min Kao en 1989. Su misión es enriquecer la vida de clientes, proveedores, distribuidores, empleados y accionistas diseñando, fabricando y comercializando equipos de navegación y comunicación que proporcionen una calidad superior, máxima seguridad y prestaciones funcionales. Cuenta con +8.000 empleados.



Figura. 2.2. Página de Menú (Vista Inicial) del equipo GARMIN nüvi 350.

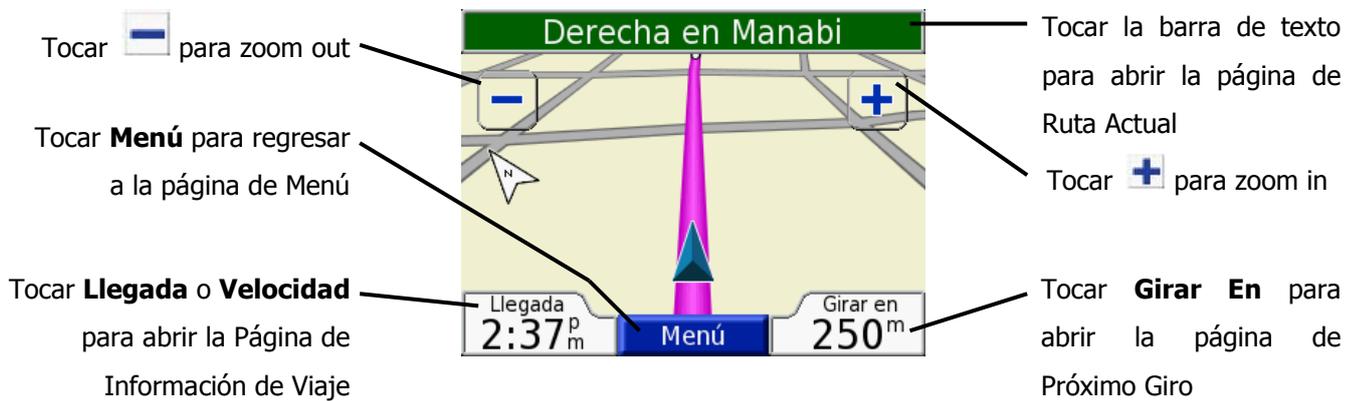


Figura. 2.3. Página del Mapa mientras Navega una Ruta.



Figura. 2.4. Siguiendo una Ruta.

Así, como del software propietario MapSource de GARMIN, utilizado para cargar puntos de referencia (Waypoints), puntos de interés (POIs) y mapas desde el computador personal al equipo GPS portátil, por medio de conexión USB:

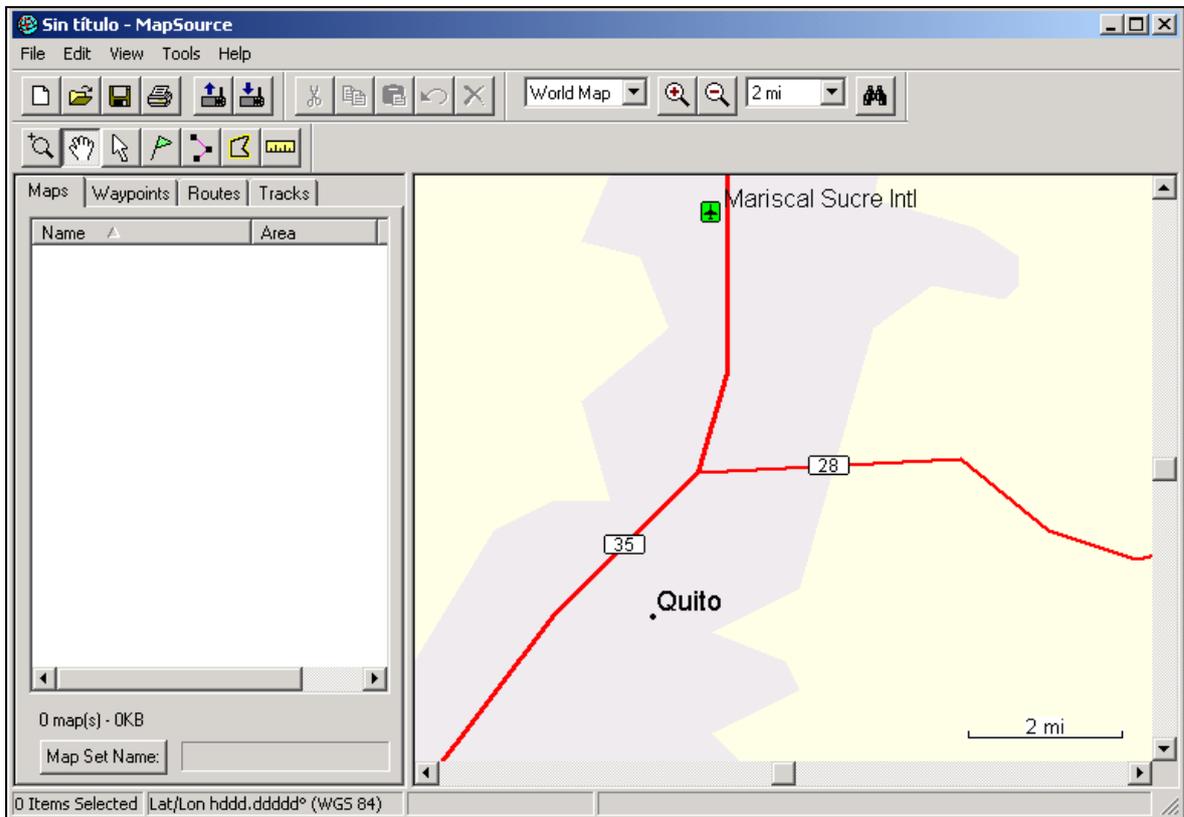


Figura. 2.5. Vista inicial del Software MapSource.

Como se muestra en la Figura 6, la información básica precargada en el software de GARMIN para el área de estudio es de un nivel muy inferior, por lo que se hace necesaria y justificable la implementación del presente estudio.

CAPÍTULO 3

MODELO CARTOGRÁFICO

3.1 Generalidades

3.1.1 Superficies de Referencia en Cartografía

El proceso de formación de la cartografía implica una abstracción de la realidad. Necesariamente, tenemos que simplificar la complejidad de la realidad para poder introducirla y graficarla sobre un mapa. Indudablemente, este proceso de abstracción implica muchos niveles del proceso cartográfico, pero uno de ellos, quizá uno de los más profundos desde el punto de vista teórico, consiste en simplificar la propia superficie de referencia sobre la que trabajamos.

Los mapas necesitan de un modelo matemático -sistema de proyección- para realizar el paso desde la superficie tridimensional que más se ajusta a la de la esfera terrestre hacia la representación plana en un papel, para lo que es necesario reducir la infinita complejidad de los accidentes geográficos del perfil terrestre a una superficie que sea modelizable matemáticamente. Para lo que se adoptarán las siguientes definiciones para las superficies de referencia geodésicas fundamentales:

3.1.1. El Geoide

Se trata de una superficie horizontal, perpendicular a la plomada, equipotencial; es decir, en la cual el potencial de la gravedad es constante en toda su extensión y aunque no existe físicamente, se define como coincidente con el nivel medio del mar; además, de que es medible y definible a partir de mediciones empíricas, que no es fácil de modelizar su forma matemáticamente; sin embargo, a través de la geodesia geométrica se ha conseguido una superficie de aproximación más adecuada para su tratamiento matemático: el elipsoide, (Blachut, 1979), (Ortiz, 2006).

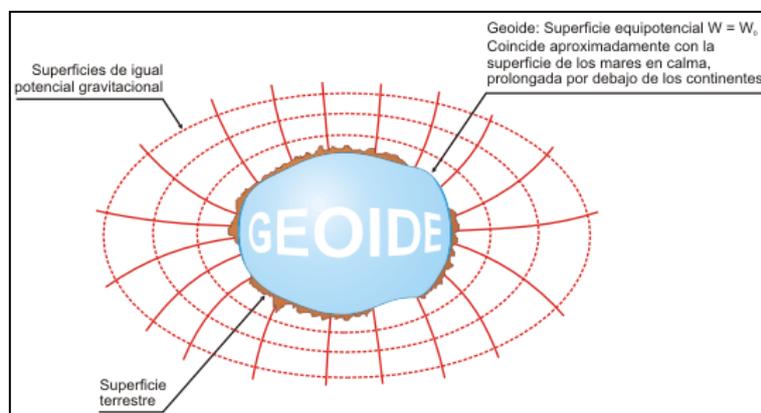


Figura. 3.6. El Geoide.

3.1.1. El Elipsoide

Para la representación cartográfica, la mayoría de las ocasiones el modelo facilitado será el elipsoidal, considerando que la Tierra es un elipsoide de revolución, es decir, una figura tridimensional que intenta reproducir la geometría del geoide, misma que es modelizable a partir de ecuaciones. La implementación de la tecnología satelital en la geodesia ha permitido efectuar mediciones a escala mundial, por lo que era imprescindible el establecimiento de un elipsoide

globalmente válido y referido al centro de gravedad de la Tierra, luego de un proceso de validación sus parámetros han sido ajustados para definir el elipsoide del sistema geodésico mundial WGS84, base de la tecnología GPS, (Baselga, 2006), (Correia, 2002).

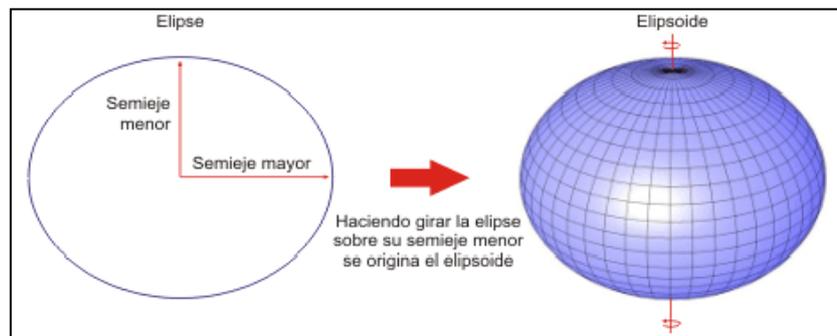


Figura. 3.7. El Elipsoide.

Por lo anterior, se determina que tenemos tres superficies fundamentales a considerar: la superficie terrestre, el geoide y el elipsoide, mismas que no son coincidentes, puesto que sus posiciones relativas varían constantemente.

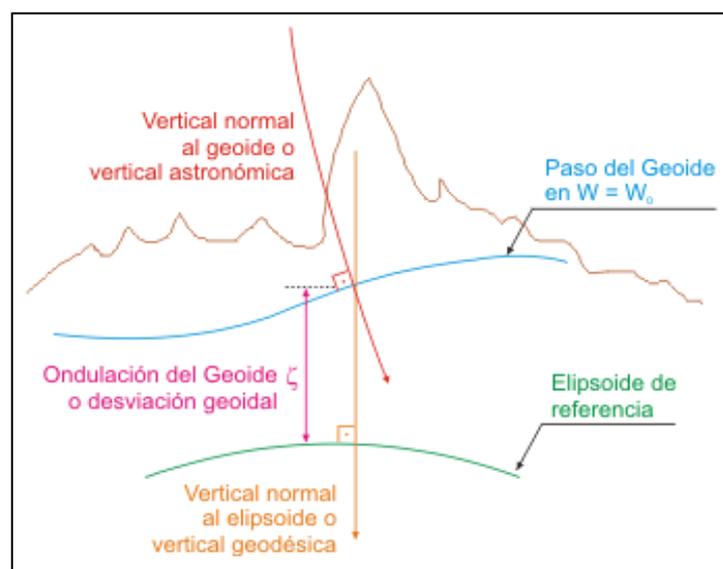


Figura. 3.8. Superficies de Referencia.

La distancia entre un punto del elipsoide y su homónimo sobre el geoide se le llama ondulación geoidal, esta diferencia es muy importante puesto que sirve para determinar el origen de las altitudes en los mapas.

Además, es importante destacar las altitudes medidas desde el elipsoide, desarrolladas a partir del uso de GPS, ya que existe una considerable diferencia entre ésta y la altura nivelada, misma que puede ser de hasta varios cientos de metros.

Al punto tomado como referencia para medir las altitudes cartográficas o cotas Z se le denomina Datum Vertical. “En nuestro país el plano de referencia de las alturas será considerado el nivel medio de los mares con su origen ubicado en la provincia del Guayas (La Libertad)”.⁵

3.1.2 Datum Cartográfico o Datum Horizontal

Para el desarrollo cartográfico la superficie del elipsoide debe, en lo posible, ajustarse tridimensionalmente a la superficie del geoide. Para lo que se utiliza el Datum, fijando el elipsoide escogido (con sus parámetros geométricos correspondientes) y estableciendo el punto astronómico fundamental, en el que la vertical geodésica coincide con la vertical astronómica (punto de relación entre geoide y elipsoide). Con lo que se determina que un mismo punto de la superficie de la tierra, tiene diferentes coordenadas geodésicas en función del datum elegido:

⁵ Reglamento a la Ley de Cartografía Nacional. Bases para la Elaboración de Mapas Geográficos y Cartas Topográficas. Art. 18. Ítem a).

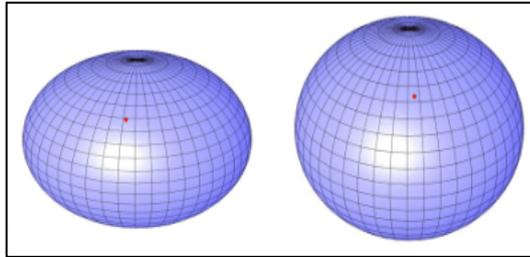


Figura. 3.9. Coordenadas geodésicas distintas de un mismo punto, según el elipsoide considerado.

“En Ecuador, el elipsoide de referencia es el Internacional de Hayford de 1924 con sus parámetros:

- Achatamiento, $A = 6378388$
- Focal, $F = 1/297$
- Punto Origen: El Datum para América del Sur. La Canoa (Venezuela), o el que el Ecuador lo adopte”.⁶

Así, las coordenadas tomadas con GPS (referidas al datum WGS84) con el equipo Navegador GPS utilizado en este trabajo, pueden diferir decenas o cientos de metros de su posición real, si se equivoca el Datum tanto con el que son tomadas las localizaciones, así como al que se refiere la cartografía y que fue descrito anteriormente.

3.2 Conceptos Básicos de Geodesia Satelital

3.2.1 Preliminares

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) es en la actualidad el sistema más utilizado para conocer la ubicación de cualquier

⁶ Reglamento a la Ley de Cartografía Nacional. Bases para la Elaboración de Mapas Geográficos y Cartas Topográficas. Art. 18. Ítem a).

punto de la superficie de la Tierra, e incorporarla a un Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), el sistema funciona mediante la transmisión-recepción de señales electromagnéticas emitidas desde una constelación de satélites que orbitan el planeta, su fundamento consiste en la recepción de por lo menos cuatro satélites, para resolver tres ecuaciones de posición (X, Y, Z) y una de tiempo. De los satélites se conoce: su posición orbital muy exacta con respecto a la tierra, y el tiempo de recorrido de las señales entre el satélite y el receptor en tierra. (Ortiz, 2006), (Franco-Valdez, 2003).

3.2.2 Segmentos del Sistema GPS

En el sistema GPS existen tres segmentos: Segmento Espacial, Segmento de Control, Segmento del Usuario.

3.2.2. Segmento Espacial

La constelación Navigation Satellite Timing and Ranking (NAVSTAR, por sus siglas en inglés) está constituida por 24 satélites operativos más 4 de reserva en 6 órbitas a una altura aproximada de 20.200 Km., mismos que soportan el sistema y las señales de radio que emiten. (Ortiz, 2006), (Franco-Valdez, 2003).

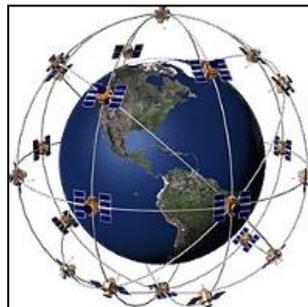


Figura. 3.10. Constelación NAVSTAR.

Cada satélite transmite una señal codificada en dos frecuencias portadoras:

1. Código Militar, Código para Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS, por sus siglas en inglés) o también llamado Código P (Precisión). Usa dos frecuencias: 1.575´42 Hz y 1.226´7 MHz, lo que permite compensar los errores debidos a las condiciones ionosféricas. Proporciona la máxima precisión, es de uso exclusivo del Departamento de Defensa de los EUA.
2. Código Civil, Código para Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS, por sus siglas en inglés), C/A o Código de Adquisición Ordinaria. Usa una frecuencia de 1.575´42 MHz, es la señal reservada a usos civiles. Inicialmente este código llevaba implícito un error en el posicionamiento conocido con el nombre de Disponibilidad Selectiva o S.A., y que fue suprimido por el Gobierno de los EE.UU. el 2 de Mayo de 2000, por la importancia económica y comercial que estaba tomando el GPS, (Urrutia, 2006), (Franco-Valdéz, 2003), (Ortiz, 2006).

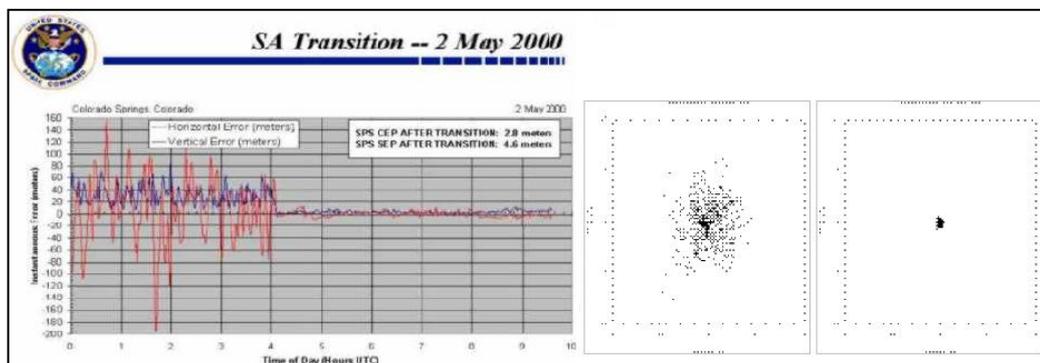


Figura. 3.11. Eliminación de Disposición Selectiva (S/A).

3.2.1. Segmento de Control

Se compone de 4 estaciones de rastreo y seguimiento y 1 estación maestra, distribuidas alrededor del planeta (Figura 3.12), mismas que tienen las siguientes funciones: rastrear la órbita real de los satélites, computar órbitas pronosticadas, determinar la deriva y velocidad del reloj, detectar los parámetros de retardo de la ionósfera, mantener la velocidad de los satélites; además, están dotadas de

antenas de referencia que envían a los satélites las correcciones de órbita para sus sistemas de navegación y mejorar la precisión de la señal recibida por los usuarios, este recálculo recibe el nombre de efemérides, (Correia, 2002), (Franco-Valdéz, 2003).

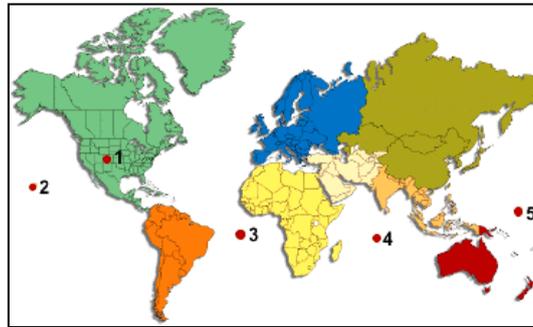


Figura. 3.12. Instalaciones de tierra.

3.2.1. Segmento del Usuario

El segmento del usuario comprende el hardware (antena de recepción y el receptor/microprocesador GPS) y el software, para captar y realizar los cálculos de las señales de los satélites, respectivamente, (Ortiz, 2006), (Correia, 2002).

3.2.3 Principales Tipos de Equipos GPS

La clasificación de receptores GPS para este estudio dependerá de las aplicaciones a las que se destinan los mismos, debido al gran dinamismo del mercado y a la amplia gama de empresas productoras de equipos GPS; por ende, este es el segmento de mayor importancia a efecto del presente análisis, al utilizar el equipo GPS de navegación vehicular/personal propietario GARMIN nüvi 350, para la implementación de la aplicación SIG para Asistencia Personal de Viajes.

3.2.2. Navegadores Convencionales

Los navegadores son los receptores GPS más extendidos a nivel mundial, por su bajo costo y diversidad de aplicaciones. Leen código C/A e inclusive pueden recibir señales diferenciales vía radio. Visualizan cartografía sencilla en pantallas convencionales o en touch screen⁷, sobre la que se puede realizar navegación asistida hacia direcciones, intersección de calles, puntos de referencia (waypoints) o puntos de interés (POIs) por rutas con indicaciones gráficas y señales audibles. Según Ortiz, llegan a precisiones de 25 a 3 metros en planimetría y de 10 metros en altimetría, (Ortiz, 2006), (Urrutia, 2006).



Figura. 3.13. GPS de Tipo Navegador.

3.2.2. Receptores de C/A Avanzados

Estos receptores consideran el código C/A y la fase portadora L1 con limitaciones, para mediciones en tiempo real con precisiones de hasta 1 metro y mediciones con post-proceso para precisiones submétricas. Su arquitectura incluye un Asistente Digital Personal (PDA, por sus siglas en inglés) y software específico para examinar información geoespacial en formato vectorial y ráster, permitiendo una fácil integración de datos desde y hacia SIG, tendencia conocida actualmente como SIG móvil, (Thomas-Ospina, 2004), (Ortiz, 2006).

⁷ Touch screen: pantalla táctil de cristal líquido, utilizada en varios equipos electrónicos contemporáneos.



Figura. 3.14. Receptores de C/A Avanzados. Modelos de Computadoras Handheld Recon, Ranger y Nomad de Trimble®.

3.2.2. Receptores Geodésicos con Medición de Fase sobre L1

Los receptores geodésicos de este tipo trabajan con la portadora L1 en frecuencia de 1.575,42 MHz y longitud de onda de 19,05 cm. Estos equipos se utilizan para posicionamiento a distancias de la base de referencia (puntos de control horizontal provistos por el Instituto Geográfico Militar o posicionados particularmente) con precisiones relativas centimétricas y submétricas para distancias de hasta 50 Km., con post-procesamiento para cálculo de vectores con evaluación estadística y ajuste de redes, (Franco-Valdéz, 2003), (Ortiz, 2006).



Figura. 3.15. Sistema GPS L1 Trimble® 5700 L1.

3.2.2. Receptores Geodésicos de Doble Frecuencia

Este tipo de receptores trabaja con las portadoras L1 y L2 con frecuencia de 1.227,60 MHz y longitud de onda de 24,45 cm., lo cual disminuye los errores derivados de la propagación desigual de la señal a través de las distintas capas atmosféricas (sobre todo la ionósfera), permitiendo la resolución de un gran número de ambigüedades, siendo éstos los equipos más apropiados para trabajos geodésicos y topográficos, puesto que permiten realizar posicionamiento a distancia de hasta 500 Km. de la base de referencia con precisiones relativas centimétricas y submétricas. Dentro de estos equipos existe un subtipo, los que utilizan correcciones en tiempo real o método de posicionamiento Cinemático en Tiempo Real (RTK, por sus siglas en inglés) que permite precisiones centimétricas al combinar los receptores con un emisor de radio para enviar la corrección de la señal en tiempo real, (Ortiz, 2006), (Correia, 2002), (Urrutia, 2006).



Figura. 3.16. Sistema GNSS Trimble® R8.

3.3 Proyección y Sistema de Coordenadas

3.3.1 Sistemas de Proyección Cartográfica para Áreas Urbanas

3.3.1. Introducción

Para plasmar una porción (o el todo) de la superficie terrestre sobre un plano, se considera un modelo esférico o elipsoidal, en la mayoría de ocasiones se asume el segundo, mismo que considera a la Tierra como un elipsoide de revolución (se produce cuando una elipse gira sobre su eje menor); sin embargo, éste que es el fundamento de la cartografía, la imposibilidad de desarrollar una superficie esférica o elipsoidal sobre un plano sin que haya distorsiones (angulares, lineales o areales), se ha solucionado adoptando distintos sistemas de proyección, lo cual es una forma de minimizar, en la medida de lo posible, dichas distorsiones, (Baselga, 2006), (Franco-Valdéz, 2003).

Los sistemas de proyección son definibles como correspondencias biunívocas entre los puntos de la superficie de referencia esférica o elipsoidal y los puntos de la superficie plana de representación (plano o mapa) a realizarse, la relación está determinada por el par de familias curvas planas del elipsoide, los paralelos y los meridianos, que para su aplicación en cartografía y en levantamientos urbanos es más conveniente trabajar con coordenadas planas. (Baselga, 2006), (Fuentes, 2006).

3.3.1. La Proyección Transversa de Mercator⁸

La Proyección Mercator probablemente es la más conocida y difundida a nivel mundial, puesto que se utiliza para propósitos de navegación, en atlas de

⁸ Gerardus Mercator (1512 - 1594). Nació en Rupelmonde. Recibió educación del humanista Macropedius en Bolduque y en la Universidad Católica de Lovaina. Concibió la idea de una nueva proyección para su aplicación en los mapas, que utilizó por primera vez en 1569; lo novedoso era que las líneas de longitud sean paralelas, facilitando la navegación por mar al marcar la dirección de la brújula por una línea recta, fundamento de la llamada Proyección de Mercator.

mapas, mapamundis y mapas murales; la relación biunívoca de esta proyección conforme consiste en líneas rectas que forman una red ortogonal, para su construcción se utiliza un cilindro tangente al globo a lo largo de un par elegido de meridianos opuestos o cortando el globo en dos círculos menores en posición secante, que equidistan del meridiano central; además, esta proyección entrega grandes cualidades cuando se trata de extensiones cercanas al ecuador, por lo que es suficientemente admitible su adopción para la realización del presente estudio, (Caire, 2002), (Franco-Valdéz, 2003).

Las exigencias gráficas del sistema Mercator limitan su uso a una zona estrecha en longitud geográfica, al este y al oeste del meridiano central el factor de escala es siempre mayor que 1, por lo que mientras más se separe un objeto del meridiano central mayor será su distorsión, el recurso para disminuir esta variación es adoptar un valor inferior a la unidad. La variante conocida como UTM y otras del sistema TM se basan en ese recurso, (Blachut, 1979).

3.3.1. Coordenadas UTM y Coordenadas TM modificadas

La cuadrícula Universal Transversa de Mercator (UTM) es un sistema mundial de coordenadas planas, preparado sobre la proyección TM para cubrir latitudes entre los 80° de latitud Norte y los 80° de latitud Sur, conformado por 60 zonas de 6° de longitud de ancho cada una, con 30` a Este y Oeste para superposición. Los meridianos centrales están ubicados a 3°, 9°, 15°, etc., de longitud al Este y al Oeste de Greenwich, el origen de cada zona es la intersección del meridiano central con el ecuador que son normales entre sí y por lo tanto servirán de eje para la determinación de coordenadas plano-rectangulares. El meridiano central recibe el valor arbitrario de 500.000 metros E (Este) y el ecuador 0 metros N (Norte) para el hemisferio Norte y 10´000.000 metros para el hemisferio Sur, (Blachut, 1979), (Franco-Valdéz, 2003).

Como indica Blachut, los sistemas TM de coordenadas planas que utilizan un factor de escala central diferente de la unidad son llamados a menudo sistemas modificados; en relación a lo anterior y tomando en cuenta las condiciones particulares del Distrito Metropolitano de Quito, su Municipio ha adoptado un sistema modificado para la representación de los elementos catastrales a escala 1:1.000 y 1.5.000, mismos que tendrán sus coordenadas plano-rectangulares determinadas en el Sistema TMQ: Transversa de Mercator para Quito:

Tabla. 3.3. Sistema de Referencia Espacial TM QUITO (PSAD56).

Proyección Cartográfica	Transversa de Mercator
Datum	PSAD56
Elipsoide	PSAD56
Semieje mayor	6378388 metros
Achatamiento	1/297
Parámetros de la Proyección	
Meridiano Central	W 78° 30' 00"
Origen de Latitudes	N 00° 00' 00"
Factor de Escala Central	1.0004584
Falso Este	500000 metros
Falso Norte	10000000 metros
Zona	17 Sur Modificado (W 77° - W 80°)

3.3.2 Transformación de Coordenadas

3.3.2. Generalidades

Existen diversos métodos para realizar el traspaso de coordenadas en un datum a otro de destino. Las transformaciones que operan con las coordenadas

geodésicas directamente son las Ecuaciones de Molodensky, esta transformación en su forma completa es la que ofrece mayores garantías de precisión.

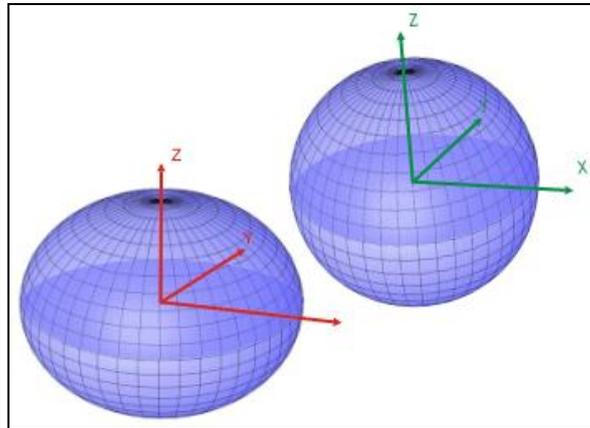


Figura. 3.17. Sistemas Geocéntricos diferentes.

En el apartado siguiente plantearemos en detalle cómo se ejecuta este proceso, pero conceptualmente podemos ver que supone tener que considerar los desplazamientos de los centros, compensar los ángulos que forman cada eje con su homónimo en el otro sistema; y por último, la diferencia de tamaño entre las unidades de un sistema y otro.

3.3.2. Método Paramétrico de Ajuste por Mínimos Cuadrados (MMC). Parámetros de Transformación

El método de las Ecuaciones con Parámetros considera el tamaño relativo de los elipsoides, la diferencia entre sus orígenes y las rotaciones entre sus ejes.

La precisión de este método depende directamente de la precisión de los puntos conocidos utilizados para calcular los parámetros, la densidad y distribución de los puntos de control dentro de las zonas en el modelo.

El Método Paramétrico se denomina también como método de ecuaciones de observación. Cada observación contribuye con una ecuación. En el caso de estudio, las diferencias de coordenadas entre estaciones comunes en ambos sistemas de referencia, PSAD56 y WGS84, son tratadas como las observaciones, esto es, la diferencia entre los vectores p_j y r_j . Cada estación común genera tres observaciones y, consecuentemente, tres ecuaciones. El criterio utilizado para la estimación de los parámetros de transformación es el Método de Mínimos Cuadrados (MMC), (Leiva, 2003).

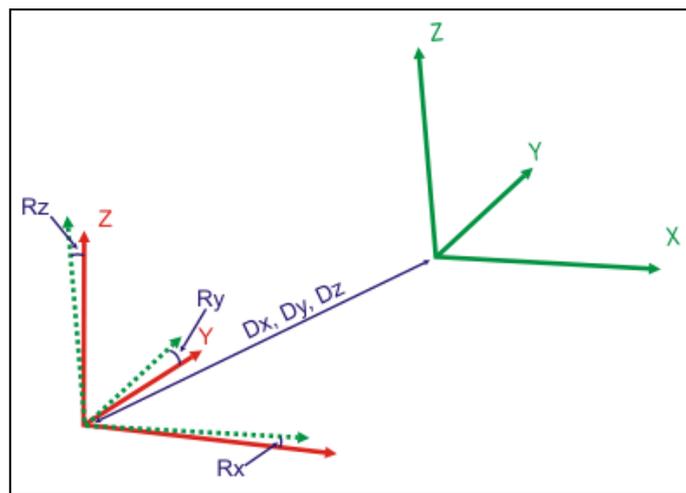


Figura. 3.18. Componentes de los Sistemas Geocéntricos.

En el Método Paramétrico, las observaciones y los parámetros son relacionadas por una función explícita de forma:

$$L_i = F(X_i) \quad (1)$$

En la ecuación (1) procedemos a su linealización recordándose el desarrollo en series de Taylor.

Después de este procedimiento, el modelo puede ser escrito, descartando cantidades de orden dos y superiores, como:

$$Lb + V = F(X_0 + X) = F(X_0) + (dF/dX) \cdot X \quad (2)$$

Después de alguna manipulación algebraica, conviene rescribir la ecuación (2), dimensionando matrices y vectores para la aplicación de interés, de la siguiente forma:

$${}_{2n}V_1 = {}_{2n}A_6 \cdot {}_6X_1 + {}_{2n}L_1 \quad (3)$$

La ecuación (3) es el modelo linealizado para el método paramétrico de ajuste.

Esta representa un sistema de $2n$ ecuaciones, ligadas por igual número de observaciones y seis parámetros. La matriz de derivadas parciales (A) debe ser evaluada para un valor particular de X_0 . De la misma forma, el vector L_0 es el valor de la función matemática (1), también evaluada para los parámetros aproximados.

La solución por el MMC es obtenida, minimizando la forma cuadrática fundamental:

$$\emptyset = V^T \cdot P \cdot V \quad (4)$$

Para minimizar la ecuación (4) es necesario que su derivada parcial primera, con relación a X , sea nula. De la ecuación (4), se tiene:

$$\emptyset = F(V) \quad (5)$$

y de la ecuación (3):

$$V = G(X) \quad (6)$$

Después aplicando la regla de la cadena, se obtiene:

$$(d\emptyset/dX) = (d\emptyset/dV) = (dV/dX) \quad (7)$$

$$(d\emptyset/dX) = (d\emptyset/dV) = (dV/dX)$$

Aplicando Leick, se tiene:

$$(d\emptyset/dX) = 2 \cdot V^T P \cdot A = 0 \quad \gg \quad A^T P \cdot A \cdot V = 0 \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación (3) en la ecuación (8), se tiene:

$${}_6N_6 \cdot {}_6X_1 + {}_6U_1 = {}_6O_1 \quad (9)$$

La solución de la ecuación (9) es dada por:

$${}_6\mathbf{X}_1 = -{}_6\mathbf{N}^{-1}{}_6 \cdot {}_6\mathbf{U}_1 \quad (10)$$

Las observaciones ajustadas (L_a) vienen de la ecuación (10) y el vector de los parámetros ajustados (X_a) es obtenido por esta ecuación: En este caso, las iteraciones son necesarias para reparar los problemas de aproximación por series en la ecuación (2).

3.3.2. Utilización de qcoord84

Como resultado del proceso de investigación sobre la metodología descrita en el apartado anterior se desarrolló el Software qcoord84: Software para la Transformación de Coordenadas UTM con cambio de Datum Regional (PSAD56) o Datum Mundial (WGS84) para Cartografía del Distrito Metropolitano de Quito - Ciudad de Quito-, cuya propiedad intelectual pertenece al titular del presente estudio.

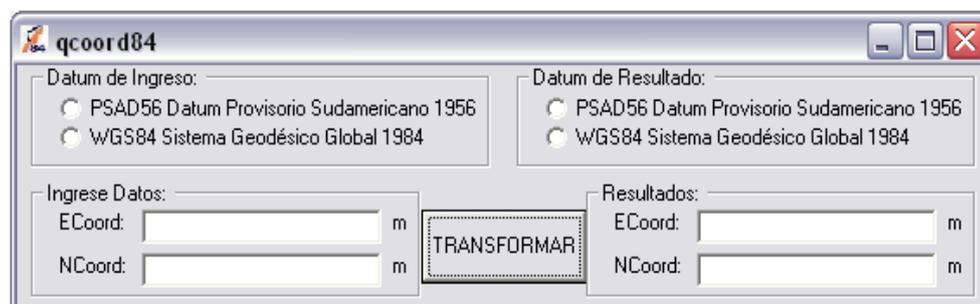


Figura. 3.19. Interface del Software qcoord84.

qcoord84, es un software para el Servicio de Transformación y Precisión Geoespacial que satisface la necesidad de las entidades del sector público y privado, para que la totalidad de la información geoespacial -Cartografía Base,

trabajos cartográficos a diversas escalas, así como los planos de gobiernos seccionales- efectuada teniendo como base el Datum de Referencia Regional PSAD56, estén integrados en un sistema cartográfico con referencia a datums mundiales, como el Datum Mundial WGS84, base de la tecnología de localización GPS, con una mejora considerable en la precisión (3 metros).

Para la producción de los parámetros de transformación se utilizaron los siguientes Puntos Base de primer orden con coordenadas referidas al Datum PSAD56 de monografías del Instituto Geográfico Militar y en WGS84 por medio de posicionamiento GPS de precisión con equipos de doble frecuencia, efectuado en Agosto del 2003 y obtenidos con las siguientes precisiones:

Tabla. 3.4. Puntos Base para Cálculo de Parámetros de Transformación.

Punto	PSAD56 (m)	WGS84(m)	D ² (m)
Hotel Quito	780762.873	780513.5074	0.0743
	997799.738	9977631.6197	
Estadio Olímpico "Atahualpa"	781038.142	780788.8151	0.0418
	9980739.400	9980373.2878	
Iñaquito	777551.936	777302.6093	0.1028
	9981979.124	9981613.1194	
Panecillo Geodésico	776483.789	776234.4641	0.0443
	9975021.508	9974655.4259	

El error promedio calculado para estos puntos es de: 6.58 cm.

Además, la metodología matemática para la obtención de parámetros de transformación utilizada en qcoor84 permitirá la preparación de cartografía base y temática del estudio, partiendo de datos en coordenadas geográficas (latitud, longitud).

3.4 Integración Cartográfica

Para la implementación del presente estudio se utilizará como capa base de información a escala 1:5.000, la información cartográfica provista por la organización OpenStreetMap (también conocido como OSM), “éste es un proyecto colaborativo para crear mapas libres y editables”.⁹

La escala 1:5.000 entrega una representación suficientemente detallada y precisa del contenido del terreno, y es significativamente útil para el desarrollo de las diversas capas temáticas a implementarse en esta aplicación SIG en su conjunto; las mismas que deberán estar unificadas y converger en esta escala y ser representadas sus coordenadas plano-rectangulares en el Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), referido al Datum Mundial WGS84 (utilizado por la tecnología de localización GPS) y poseer las siguientes características espaciales:

Tabla. 3.5. Sistema de Referencia Espacial para Aplicación SIG para Asistencia Personal de Viajes.

Proyección Cartográfica	Universal Transversa de Mercator
Datum	WGS84
Elipsoide	WGS84
Parámetros de la Proyección	
Meridiano Central	W 78° 00' 00"
Origen de Latitudes	N 00° 00' 00"
Factor de Escala Central	1.0004584
Falso Este	500000 metros
Falso Norte	10000000 metros
Zona	17 Sur (W 75° - W 81°)

⁹ <http://www.openstreetmap.org>

3.5 Validación del Modelo Cartográfico

El procedimiento para la validación del sistema de referencia y por ende de la transformación de coordenadas, se efectuó con el equipo GPS nüvi 350, cargando al mismo la capa base de cartografía catastral del área de estudio desde formato shape file, utilizando el software GPSMapEdit 1.0.61.3 y tomando localizaciones que se describen en el siguiente cuadro:

Tabla. 3.6. Puntos de Validación en Área de estudio (Plaza Grande)

Nombre	Calle Principal	Intersección	Punto destacado
CHGM	Chile	García Moreno	Centro del eje vial. Calle Chile
CHV	Chile	Venezuela	Tapa de agua. Plaza Grande
EGM	Espejo	García Moreno	Pieza ornamental. Calle Espejo
EV	Espejo	Venezuela	Escalinatas. Iglesia Catedral

Por limitaciones de tráfico no se realizó la toma de localizaciones sobre la intersección de los ejes viales en la totalidad de la zona central del área de estudio (Plaza Grande), por lo que se realizaron tomas en puntos destacados y cercanos a mencionadas intersecciones con los cuales se validó de forma cierta la precisión alcanzada con la transformación efectuada con el Software qcoord84.

Con lo que se puede admitir el inicio del presente estudio por tener una cartografía base lista para ser utilizada con equipos navegadores GPS.

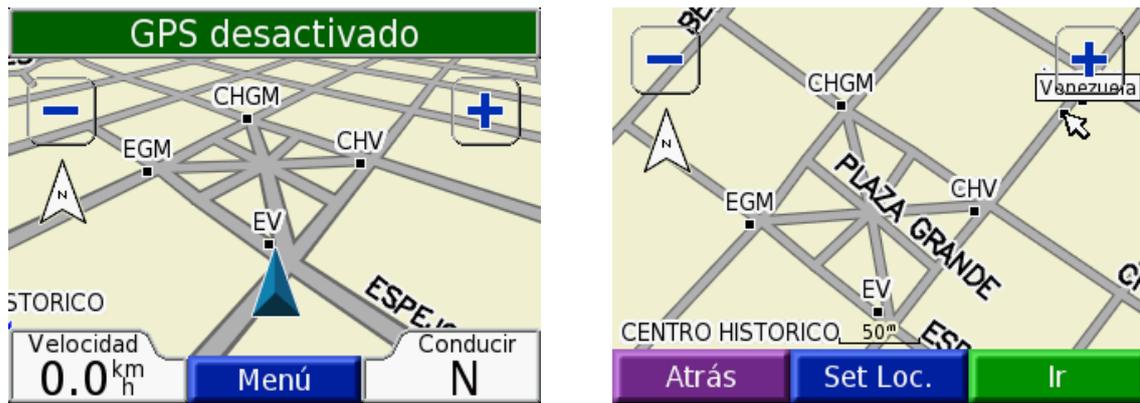


Figura. 3.20. Puntos de Validación para Cartografía Base.

CAPÍTULO 4

GENERALIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE

4.1 Generalidades del Sistema de Georeferenciación

Como ha quedado especificado los equipos GPS del tipo navegador y en particular el escogido para el desarrollo de este estudio, trabajan únicamente con mapas georeferenciados en el Sistema Geodésico Mundial de 1.984 (WGS84, por sus siglas en inglés) y en Sistemas de Coordenadas en unidades métricas por sus facilidades de uso y entendimiento de medidas para cualquier usuario, estas configuraciones son precargadas de fábrica; por lo que para desarrollar este tipo de aplicaciones en nuestro país, nos encontramos en un inicio con las limitaciones de la cartografía a nivel nacional y municipal en sus características espaciales, costos y disponibilidad de uso, las que no se ajustan al avance de este tipo de aplicaciones de última generación y actual uso común en países desarrollados.

Por lo anterior, se previó utilizar como capa base de información a escala 1:5.000, la información cartográfica provista por la organización OpenStreetMap, misma que posee las siguientes características:

Tabla. 4.7. Sistema de Referencia Espacial de la información cartográfica provista por OSM

Sistema Geográfico de Coordenadas	WGS84
Datum	WGS_1984
Meridiano Principal	Greenwich
Unidad Angular	Grados

Considerando estas características, se determinó que era necesario realizar una transformación hacia la Proyección Cartográfica Universal Transversa de Mercator en Zona 17 Sur (W 75° - W 81°) y mantener el Sistema Geográfico de Coordenadas en WGS84; para lo que en primer lugar utilizando la herramienta de Definición de Sistemas de Coordenadas en ArcToolBox de ArcGIS 9.2 se redefinieron estas características espaciales hacia el Sistema de Coordenadas Proyectadas de Nombre: WGS_1984_UTM_Zone_17S, mismo que posee las siguientes particularidades:

Tabla. 4.8. Sistema de Referencia Espacial de la Características redefinidas del Sistema de Coordenadas Proyectadas hacia WGS_1984_UTM_Zone_17S en ArcGIS.

Proyección	Transversa_Mercator
Falso_Este	500000,000000
Falso_Norte	10000000,000000
Meridiano_Central	-81,000000
Factor_Escala	0,999600
Latitud_De_Origen	0,000000
Unidad Lineal	Meter (1,000000)
Sistema Geográfico de Coordenadas	GCS_WGS_1984
Unidad Angular	Degree (0,017453292519943295)
Meridiano Principal	Greenwich (0,000000000000000000)

Datum	D_WGS_1984		
	Esferoide	WGS_1984	
		Semieje mayor	6378137,00000000000000000000
		Semieje menor	6356752,31424517930000000000
		Excentricidad Inversa	298,257223563000030000

Posteriormente esta transformación fue refinada por medio de la utilización de la metodología usada en el software qcoord84, con lo que se obtuvo la cartografía base definida con características y la precisión espacial suficiente para aplicaciones de análisis de redes en SIG, como la que se trata en este trabajo.

4.2 Análisis de Necesidades de Información

Al tener resuelta la necesidad de cartografía base georeferenciada a WGS84 y en sistema métrico; y por ende, entender que estas características serán mantenidas en las posteriores capas temáticas a utilizarse, es prioritario destacar las necesidades de información para la implementación de la aplicación sobre el equipo GPS escogido, en base al insumo principal, la cartografía base a escala 1:5.000 provista por la organización OpenStreetMap; la misma que no posee características topológicas para una red vial.

En consecuencia, se hace imprescindible la creación de esta característica geoespacial para la red vial de la zona de estudio sustentada en cartografía base georeferenciada a WGS84, por medio de la transformación con qcoord84; dada desde el nodo de inicio hasta el nodo de fin en cada tramo de eje vial, generando una red geométrica; es decir, una unión de los elementos líneas (tramos de eje vial), a través de sus nodos (intersección de dos o más ejes viales), en la cual la conectividad de las entidades está basada en su coincidencia geométrica

(coordenadas georeferenciadas), a pesar de la zona considerada para este estudio cabe resaltar la complejidad geométrica de la red vial urbana de la Ciudad de Quito como se muestra en el ejemplo de El Trébol en la Figura 22 y por ende del trabajo de creación topológica para análisis de redes de este estudio; esta información será almacenada con una estructura lógica de base de datos espacial con topología de redes y geocódigos de identificación; definiendo y fortaleciendo la integridad de los datos para esta aplicación SIG, por medio de la utilización del programa ArcGIS 9.2.

Además, considerando las capacidades de navegación del equipo escogido para la aplicación se hace necesario el levantamiento de información de Puntos de Interés (POIs, por sus siglas en inglés) permitiendo definirlos como puntos de inicio, fin y puntos intermedios para ruteo.



Figura. 4.21. Ejemplo de complejidad geométrica de la red vial urbana de Quito: El Trébol. 1) 21 de enero de 2007. Circulación vehicular en El Trébol, 2) 31 de marzo de 2008. Boquete de 50 metros de diámetro que se abrió en el puente de El Trébol. 3) 4 de abril de 2009. Esquema de cambios de circulación para reinauguración del intercambiador. 4) El Trébol en la actualidad.

4.3 Cartografía Base

El desarrollo, mantenimiento y difusión de la cartografía base de calles corresponde a organismos gubernamentales y gobiernos seccionales, ésta debería contener la información geoespacial de la representación de las mismas por ejes viales con la suficiente topología y atributos para cumplir con los requerimientos de diversos proyectos de ingeniería, así como en particular, este estudio de navegación personal y vehicular; pero lastimosamente en el país ningún tipo de institución ha realizado esfuerzos serios en este sentido. Por tal motivo, se descartó la posibilidad de utilización de la información cartográfica a escala 1:1.000 del IGM, ya que no contiene una valedera capa de líneas que represente los ejes viales de la zona de estudio.

Con sustento en lo anterior, se estableció la necesidad de obtención de información cartográfica para la capa base, escogiéndose la suministrada por la Fundación OpenStreetMap, a nivel manzanero en coordenadas geográficas, siendo esta información libre y editable.

OSM fue creada para procurar el libre uso a la información geográfica de orden público, condición que sucede en nuestro país, como en una gran mayoría de naciones a nivel mundial. En cuanto a la información disponible, se tiene un derecho limitado de uso con imposibilidad de corrección de errores, incremento de datos o empleo en determinados modos específicos para cada posible usuario, a lo que se accede solamente si se paga un adicional por cada una de estas prohibiciones, puesto que los gobiernos públicos no estiman a la información geográfica como un servicio similar a una infraestructura de orden público el usuario final paga en dos momentos por la misma: 1ra. Generación con sus impuestos y 2da. Adquisición para su uso, (OSM, 2009).

La información de OSM incluye seis sets de archivos que contienen datos en formato shapefile de ESRI, formato vectorial en el que se almacenan digitalmente las características geométricas, de localización y los atributos asociados a los elementos geográficos a ser utilizados en este estudio y que intrínsecamente pueden ser servidos en el programa ArcGIS 9.2.

Según el ESRI Shapefile Technical Description, un shapefile está compuesto mínimamente por tres archivos, cuyas extensiones son:

- .shp – archivo principal, almacena los elementos geométricos (punto, línea, polígono) de los objetos, mismos que sirven para modelar digitalmente las entidades del mundo real.
- .shx – archivo de índice; almacena el índice de las entidades geométricas para permitir la búsqueda rápida de los contenidos.
- .dbf¹⁰ – tabla dBASE en formato dBase III, almacena la información de los atributos de los objetos en columnas de la dBASE para cada shape.

Los sets de archivos de información base para Ecuador son:

1. ecuador_highway – describe en capa de polilíneas las vías del país y con atributos asociados: highway type, name, is highway oneway, que debe ser modificada y actualizada con la direccionalidad de las vías en el área de estudio.
2. ecuador_poi – describe los puntos de interés del país en una capa de puntos y atributos asociados: name and type.

¹⁰ dBASE fue el primer SGBD usado ampliamente para microcomputadoras. El archivo dbf se ha generalizado en muchas otras aplicaciones que necesitan un formato simple para almacenar datos estructurados.

3. ecuador_natural – describe diversas áreas del país como: bosques, selvas, parques y demás, en capa de polígonos y sus: names and types.
4. ecuador_administrative – contiene los límites administrativos incluyendo los límites internacionales entre países.
5. ecuador_coastline – contiene las líneas costeras de OSM en capa de polilíneas y sus names.
6. ecuador_water – contiene los cuerpos de agua de OSM en capa de polígonos y sus names.

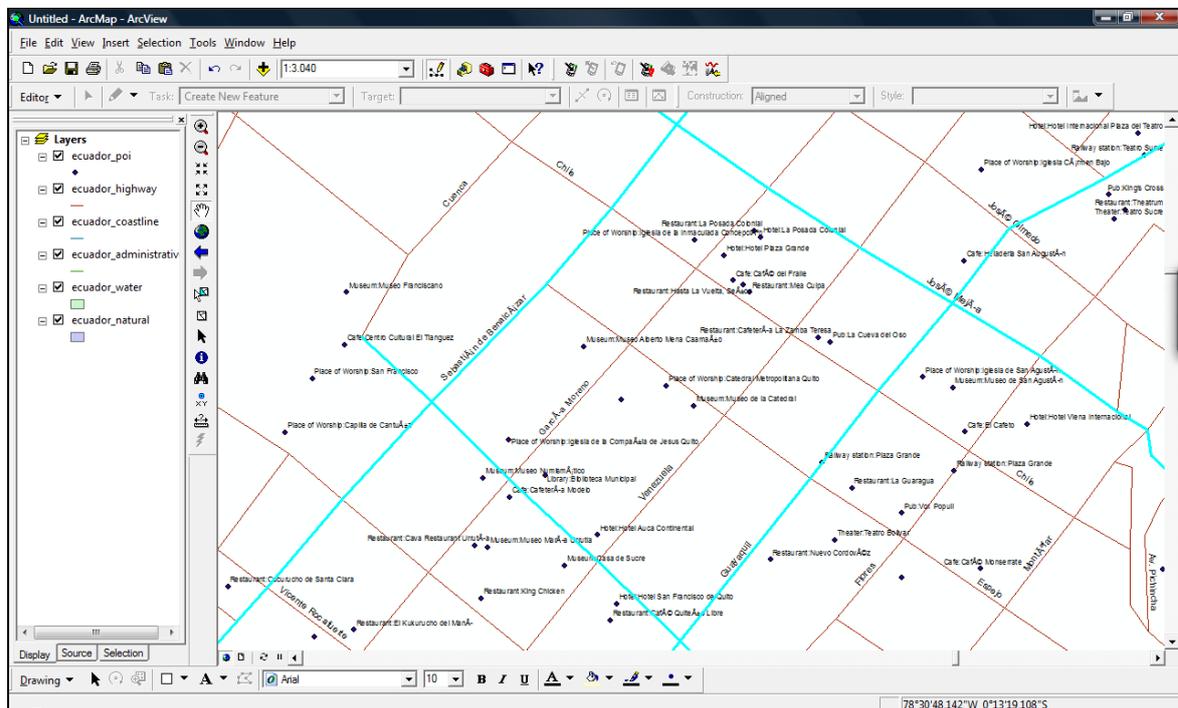


Figura. 4.22. Visualización de la zona de estudio con información de OSM.

4.3.1 Generación Cartográfica

En esta sección cabe resaltar que por lo indicado anteriormente en cuanto a que la cartografía base para el desarrollo de este estudio será la suministrada por la Fundación OpenStreetMap, la misma que cuenta con la suficiente consistencia en sus archivos espaciales para ser administrada en el software de sistemas de información geográfica ArcGIS 9.2. Y que en el inicio del desarrollo del estudio se estimó utilizar la cartografía base provista por el Instituto Geográfico Militar en escala 1:1.000, la misma que no presenta las cualidades de información geoespacial que entrega la anterior, por cuanto se halla a nivel de manzana y sin una capa en la que se representen ejes viales con las características suficientes para la aplicación SIG de este trabajo.

Sin embargo, en cualquiera de los dos casos antes mencionados es necesario la modificación o representación de ejes viales por lo que se debe considerar el análisis realizado para la creación de datos digitales por el método de digitalización, sea automática asistida por un programa SIG o re-digitalización a partir de los mapas transferidos a un programa de Diseño Asistido por Computador (CAD, por sus siglas en inglés) con capacidades de georeferenciación.

4.3.1. Polígonos de Thiessen

El método de interpolación por polígonos de Thiessen es uno de los más simples que permite construir una partición del plano euclidiano. Actualmente es una función de análisis básica en los SIG que se aplica, entre otros, para la determinación de áreas de influencia de diversos puntos de servicio.

El proceso para crear ejes de calles a partir de Polígonos de Thiessen (también llamados Diagramas de Voronoi¹¹) es el que se indica a continuación y se visualiza en la Figura. 4.23:

1. Convertir los polígonos de manzanas a polilíneas.
2. Convertir las polilíneas a puntos equiespaciados.
3. Crear polígonos de Thiessen a partir de esos puntos.

Se crean al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor del conjunto de puntos equiespaciados, de manera que el perímetro de los polígonos generados sea equidistante a los puntos vecinos y designando su área de influencia.

4. Mediante enlace espacial pasar un identificador común desde el polígono de manzanas inicial a la capa de polígonos de Thiessen.
5. Disolver los polígonos de Thiessen utilizando este único atributo.
6. Convertir los polígonos a polilíneas.

¹¹ Georgy Feodosevich Voronoy (1868 - 1908). Matemático ruso descendiente de una familia de matemáticos ucranianos. Estudió desde 1889 en la Universidad de San Petersburgo. En 1894, se convierte en profesor de la Universidad de Varsovia, trabaja en fracciones continuas. Entre otras ideas es conocido por haber definido los Diagramas de Voronoi.

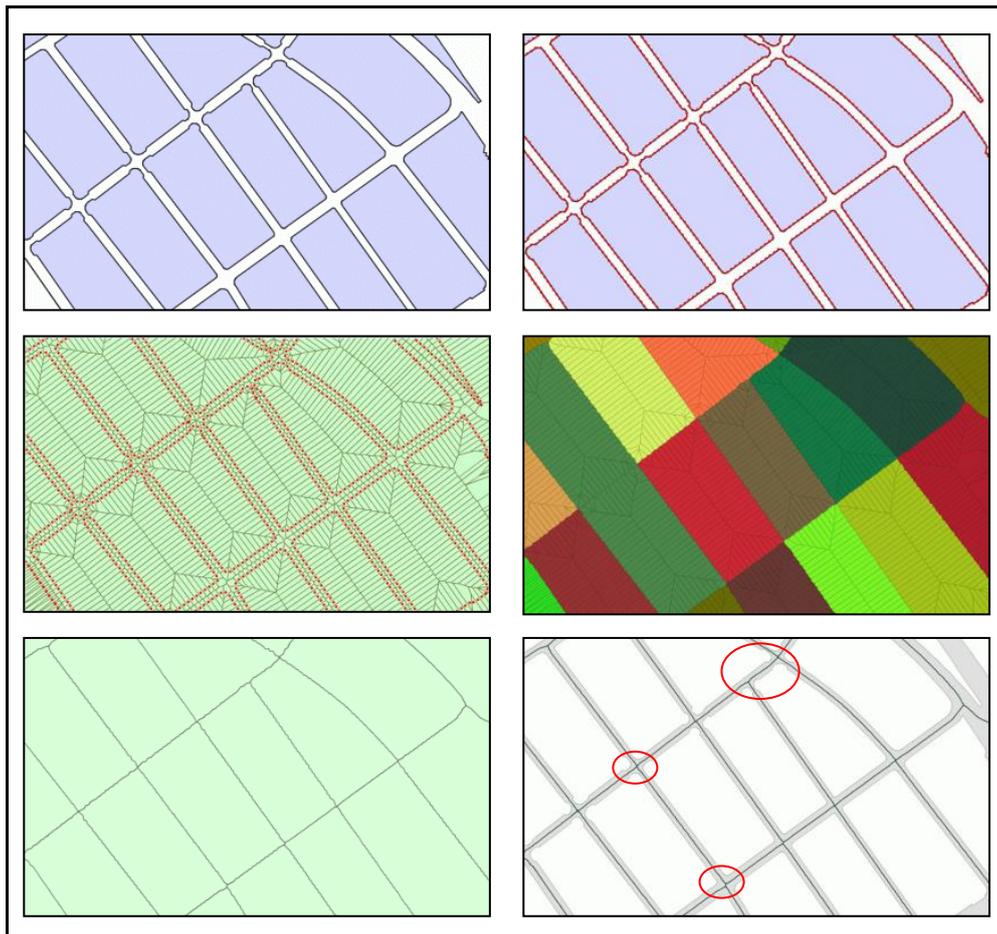


Figura. 4.23. Proceso llevado a cabo en un Sistema de Información Geográfica para la obtención de ejes de calles mediante el uso de Polígonos de Thiessen.

No obstante este método de auto-creación genera múltiples segmentos de polilíneas que formarían un eje vial, problema que se ve incrementado en las intersecciones de calles viales como se observa en la imagen 6 resaltado en rojo, ya que los polígonos de Thiessen seguirían las formas de los polígonos de la cartografía a nivel de manzanas del IGM, haciendo que el proceso de edición para la representación del eje vial por la mínima cantidad de segmentos sea demasiado oneroso.

4.3.1. Digitalización en CAD

Este método de digitalización permite la modificación o representación de ejes viales para análisis de redes con una polilínea única dibujada sobre cartografía base con el apoyo de software CAD (como ej: AutoCAD) y tomando en cuenta las reglas de digitalización para redes navegables perteneciente a la empresa NAVTEQ¹², (NAVTEQ, 2006).

4.3.1. Digitalización de Línea-central

La metodología de línea-central se utiliza para representar características en una línea única, la mediana de la distancia entre los límites exteriores de una característica, como por ejemplo: la línea-central de un tramo vial que indica la mitad de la calzada o lo que conocemos en nuestro medio como eje vial; además, en este apartado es necesario aclarar que se debe dibujar una línea-central por cada tipo de vía, corredores exclusivos de transporte público, e inclusive evitar una única línea para ejes viales de doble sentido.

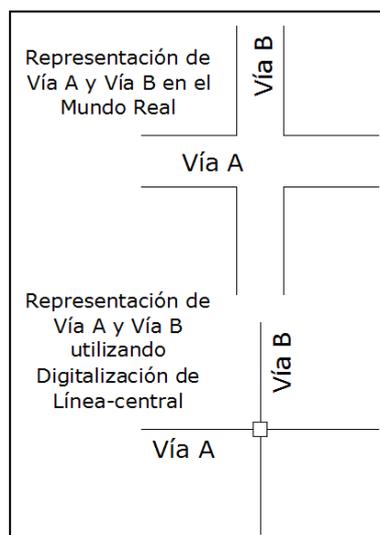


Figura. 4.24. Digitalización de Línea-central.

¹² NAVTEQ, fundada en Silicon Valley (California) en 1985. Desde sus inicios se ha centrado en captar la realidad de la red de carreteras para facilitar la creación dinámica de rutas giro a giro. Comenzó recopilando información detallada de las grandes zonas metropolitanas. En la actualidad, NAVTEQ tiene su sede en Chicago, Illinois, EE.UU., y suma cerca de 4.400 empleados en todo el Mundo. NAVTEQ cuenta con 192 oficinas ubicadas en 43 países.

Las precisiones según NAVTEQ, estiman que: 1. cualquier punto a lo largo del borde no se puede desviar a más de 3 metros en perpendicular de la línea-central de la vía con respecto a sus puntos finales, 2. los cruces son representados dentro de 15 metros de precisión absoluta sobre el terreno de ciudades detalladas y conectores de vías y 3. dentro de 100 metros para caminos internos de ciudad.

4.3.1. Características Curvas

Para la representación de una curva se debe utilizar la menor cantidad de shape points con una mínima distancia de 2 metros, lo que se mantiene también para cruces, y nodos.

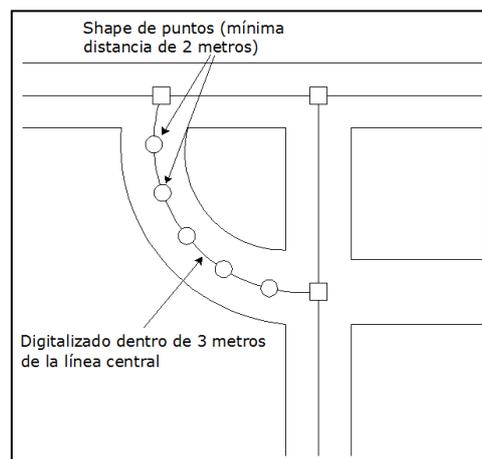


Figura. 4.25. Representación de Características Curvas.

4.3.1. Multivías

Un camino sencillo es posible que físicamente pueda estar separado por varios caminos, la digitalización múltiple se produce cuando la distancia que

separa estos caminos se convierte en significativa, NAVTEQ estima los siguientes casos: 1. la vía limita con rampas de acceso a autopistas y no cruza a la autopista en el mismo nivel, 2. el divisor físico existente tiene un ancho superior a 3 metros y una extensión mayor a 40 metros, 3. la distancia entre las líneas centrales que dividen una vía en dos secciones para sentidos opuestos de circulación es mayor a 25 metros y un divisor físico de cualquier tamaño existe entre estos carriles.

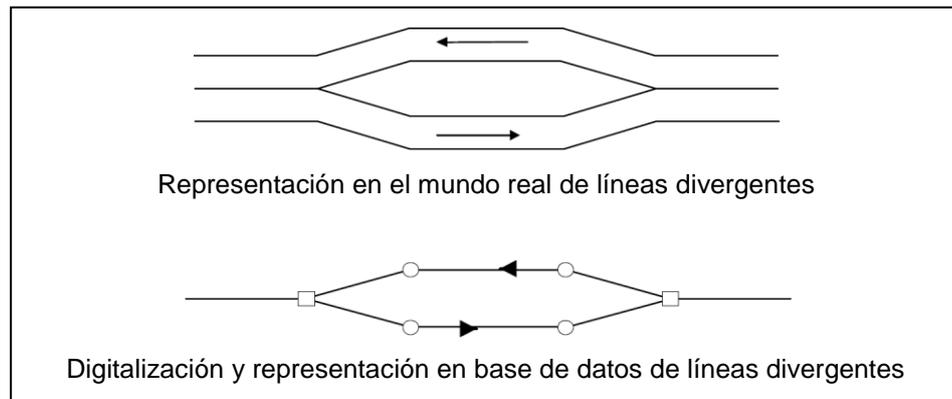


Figura. 4.26. Multivías.

4.3.1. Zonas Peatonales

Las zonas peatonales dentro de una zona comercial que tengan menos de 30 metros de ancho son representadas por líneas-centrales de las calles circundantes, y una zona peatonal con amplitud superior a 30 metros se representa por una característica cartográfica particular conocida como Área Peatonal, reutilizando los links existentes entre las vías.

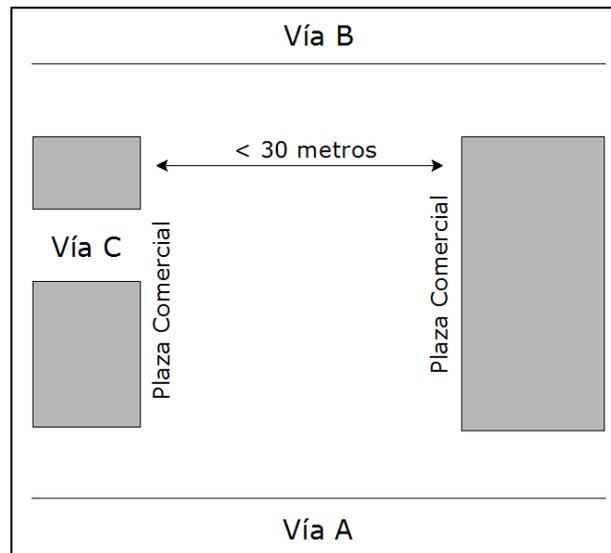


Figura. 4.27. Representación en el Mundo Real de Zona Peatonal.

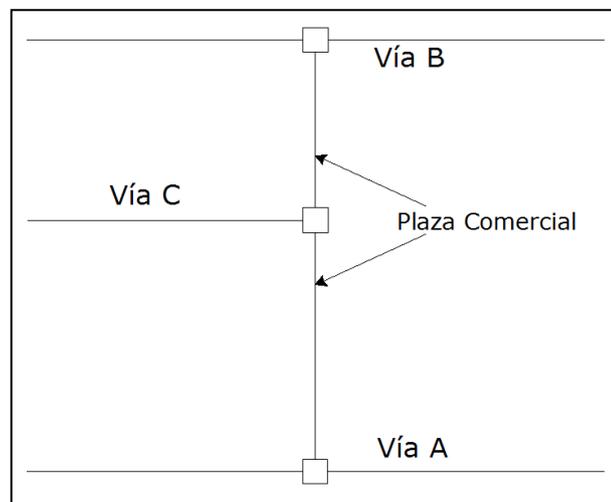


Figura. 4.28. Representación en Base de Datos de Zona Peatonal.

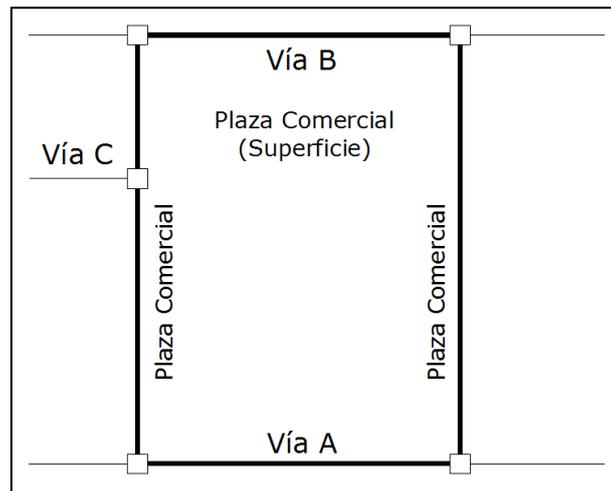


Figura. 4.29. Zona Peatonal representada por Características Cartográficas.

4.3.1. Área de Tráfico No Estructurada

Es una zona pavimentada en donde un vehículo puede transitar pero que no tiene rutas de tráfico reglamentariamente definidas. Todos los elementos viales que se introducen al área están conectados a un punto de intersección en el centro aproximado del área, estos elementos viales no representan caminos verdaderos.

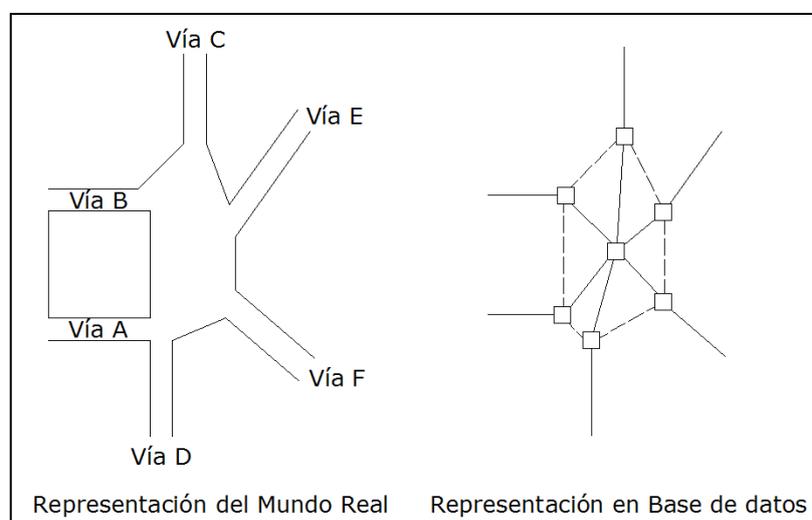


Figura. 4.30. Área de Tráfico No Estructurada.

4.4 Integración de Información

Siguiendo las reglas de digitalización para redes descritas anteriormente, se procedió a la representación de los ejes viales, nodos de intersección y polígonos de la zona del estudio.

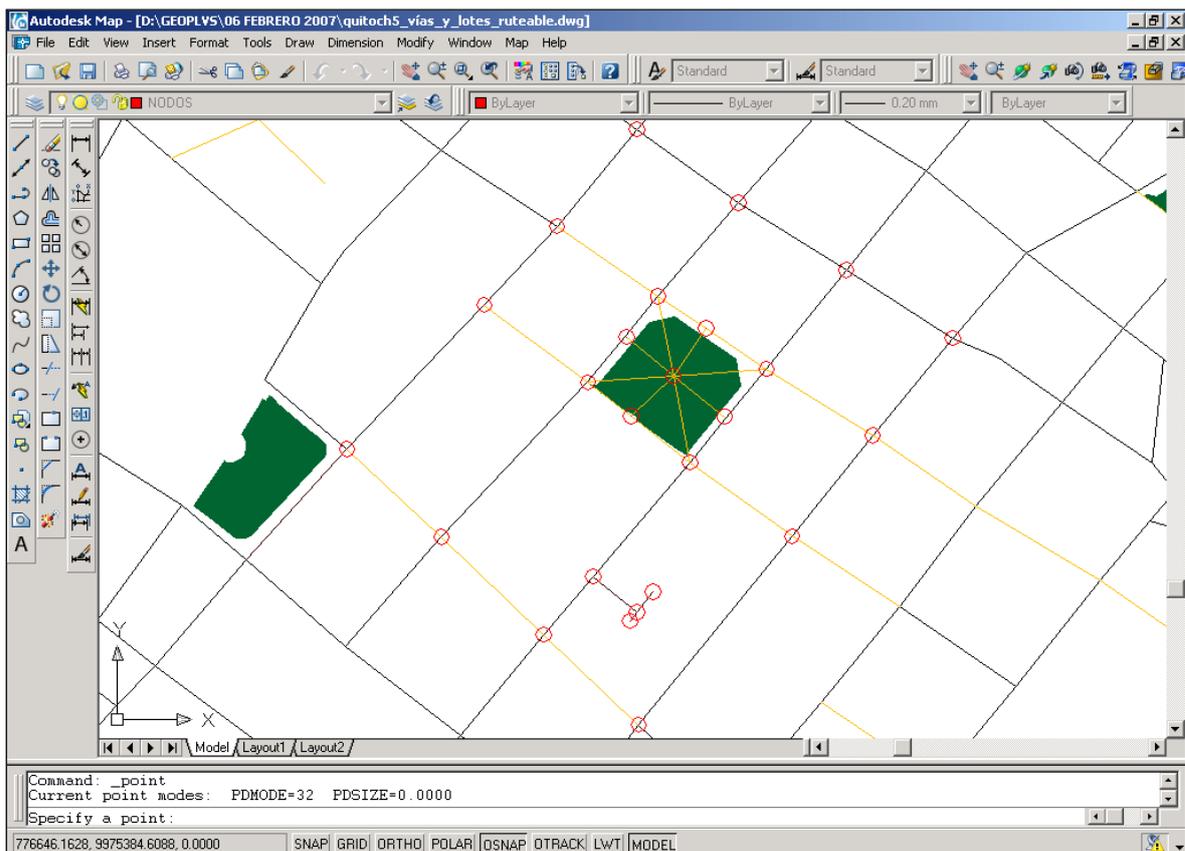


Figura. 4.31. Elementos gráficos digitalizados e integrados de la zona de estudio en CAD.

CAPÍTULO 5

CONVERGENCIA DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA, INFORMACIÓN Y EQUIPO

5.1 Determinación de Base de Datos

Una base de datos es un conjunto de datos estructurados e interrelacionados lógicamente que pertenecientes a un mismo contexto son almacenados sistemáticamente dentro de un ambiente computacional y está diseñada para que por su posterior explotación satisfaga los requerimientos de información en organizaciones públicas o privadas. (Thomas-Ospina, 2004), (ESRI, 2008).

5.1.1 Modelos de Bases de Datos

Los modelos de datos son abstracciones (conceptos matemáticos y algoritmos) que permiten la implementación de un sistema eficiente de base de datos desde su descripción hasta su explotación. De entre los diversos modelos de representación de datos, el Modelo Relacional es el que más se ajusta para la implementación de una Aplicación SIG para Asistencia Personal de Viajes, (Ortiz, 2007), (ESRI, 2008).

5.1.1. Modelo Relacional

Actualmente el modelo relacional de base de datos es uno de los más utilizados a escala mundial para modelar problemas reales y administrar datos dinámicamente, mediante la representación de las relaciones entre los datos por una colección de tablas, cada relación es una tabla que está compuesta por registros (filas), cada tabla tiene un número de campos (columnas) con nombre únicos, (IGAC, 2004), (ESRI, 2008).

Además, este modelo disminuye la complejidad y facilita el entendimiento de uso para consumidores finales de los modernos sistemas de navegación, mediante la implementación de consultas estructuradas que ofrecen una amplia flexibilidad y poderío para administrar la información precargada, las actualizaciones del fabricante y el ingreso de particularidades de cada usuario.

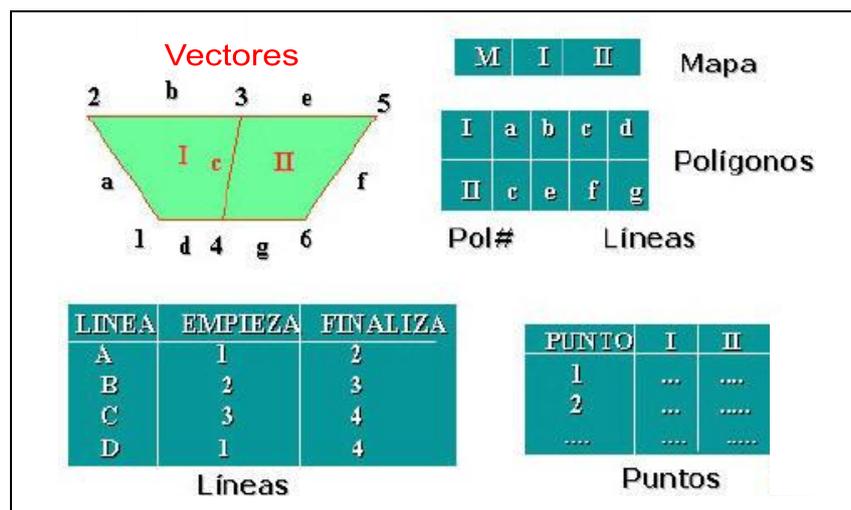


Figura. 5.32. Modelo relacional para datos espaciales.

Esta aplicación será desarrollada sobre una infraestructura específica de tablas, la que garantiza la congruencia de los datos, incluye la integridad

referencial de los datos gráficos y un modelo de datos adecuadamente diseñado para realizar funciones complejas de ruteo involucrando datos gráficos y alfanuméricos, garantizando que el sistema ofrece la total congruencia de los datos.

Por lo que, es necesario constituir un Modelo de Datos específico para cada tipo de dato: Alfanumérico para POIs y Vectorial para Ruteo.

5.1.2 Base de Datos Alfanumérica

La principal inclusión que un usuario puede efectuar en los sistemas de asistencia de viajes son puntos de su propio interés, sus propios POIs; la información de ubicación y atributos alfanuméricos de éstos se liga a la base de datos espacial añadiendo un campo a la información gráfica que actúe como clave externa de la información alfanumérica. Además, se creará una tabla de polígonos con la ubicación de cada uno de sus vértices y atributos.

5.1.3 Base de Datos Espacial

Construir una base de datos geoespacial implica un proceso de abstracción de la compleja realidad hacia una representación simplificada y accesible a ser interpretada por lenguaje de ordenador. Este proceso de abstracción implica trabajar con elementales de dibujo, haciendo que el total de la realidad sea reducida a puntos, líneas o polígonos, (IGAC, 2004), (ESRI, 2008).

Cabe destacar que estos objetos gráficos tienen relaciones geométricas entre ellos, dadas por un método matemático-lógico, denominado topología, que es el usado para definir y fortalecer las reglas de integridad entre dichos objetos.

A nivel geográfico la topología entre los objetos es muy compleja, al interactuar varios elementos sobre cada aspecto de la realidad; es por esto, que la topología definida en SIG, reduce su funcionalidad a cuestiones más sencillas, como por ejemplo conocer qué agrupación de líneas forman una determinada vía, (Thomas-Ospina, 2004), (ESRI, 2008).

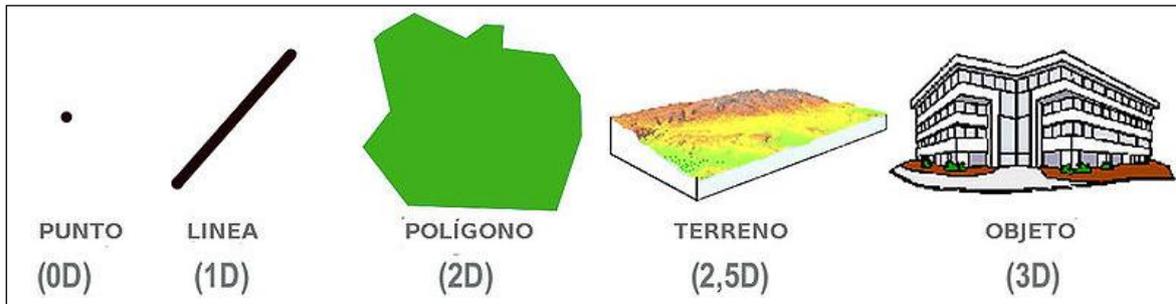


Figura. 5.33. Dimensiones de los datos SIG.

Con el actual desarrollo de Base de Datos y SIG vectoriales, basados en la abstracción topológica y el extenso número de herramientas y tareas de edición, que permiten modelar de manera más efectiva las entidades presentes en el mundo real; como en nuestro caso, la red vial urbana y los puntos de interés de la zona de estudio en el Centro Histórico de la Ciudad de Quito.

De entre los métodos para formar topología vectorial, la más eficiente es la topología línea-nodo, cuya lógica se detalla en el esquema siguiente:

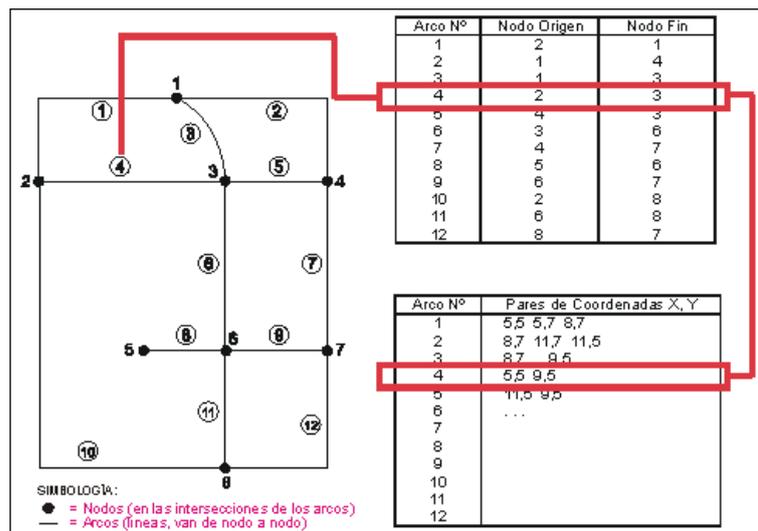


Figura. 5.34. Topología Línea-Nodo.

La topología línea-nodo basa la estructuración de toda la información geográfica en pares de coordenadas, que son la entidad básica de información para este modelo de datos, (Ortiz, 2007), (IGAC, 2004).

Para implementarla a través de lenguaje de ordenador, se requiere la interconexión de bases de datos por medio de claves primarias comunes, o lo que conoceremos más adelante como códigos de identificación únicos para nodos de intersección y tramos viales, las que permiten relacionar datos no comunes entre tablas que forman las bases. En consecuencia, este modelo de datos es idóneo para objetos geospaciales con límites bien establecidos: lotes, carreteras, vías, etc.; siendo éstos, los utilizados en el presente estudio.

5.2 Cartografía para Administración de Rutas

La idea general de la definición de rutas es dar a cada intersección en el mapa un único número de identificación (NodeID) y que describa que punto de la

vía pertenece a que punto NodeID. Cada vía debe de tener también un número de identificación único (RoadID), (cGPSmapper, 2009).

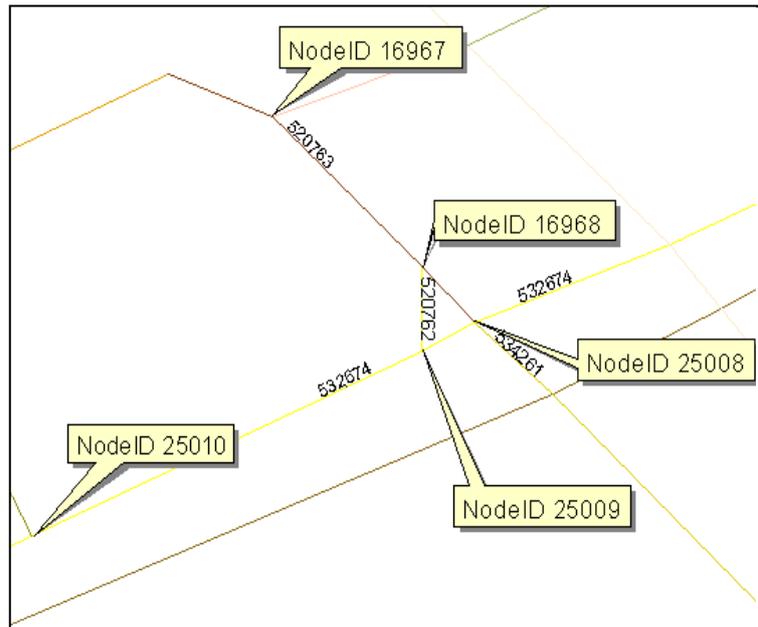


Figura. 5.35. Identificación de Vías y Nodos.

Si la vía 520763 en el punto 3 se interseca con la vía 532674 en el punto 2, se genera la siguiente información, que define las conexiones entre ellos:

Tabla. 5.9. Conexión de ruta.

RoadID	Node (point)	NodeID
520763	3	25008
532674	2	25008

5.2.1 Observaciones generales para la creación de mapas ruteables

- Una calle no puede entrecruzarse entre sí misma; por ejemplo, representar un redondel con un sólo objeto no es posible.

- La mínima distancia entre puntos NodeID es de 5,20 metros.

5.2.2 Restricciones

Es posible definir restricciones para el ruteo, en la vida real la más común restricción es: no gire a la izquierda/no gire a la derecha, en los dos casos el camino es de doble vía, pero existe una señal que prohíbe girar.

Una restricción se define por la prohibición en la ruta, en el siguiente ejemplo se definirá la restricción de giro hacia la derecha; por lo tanto, la ruta resaltada sobre el mapa será prohibida. Como se observa la restricción empieza en el NodeID 16968, sigue sobre el RoadID 520763 hacia el NodeID 25008, entonces continúa sobre el RoadID 532674 al NodeID 25009.

Esta restricción no tiene nada que ver con el tránsito por la vía 520762, el giro hacia la vía 532674 seguirá siendo posible utilizando este camino.

Tabla. 5.10. Definición de restricción.

NodeID inicial	NodeID intermedio	NodeID final	RoadID inicial	RoadID final
16968	25008	25009	520763	532674

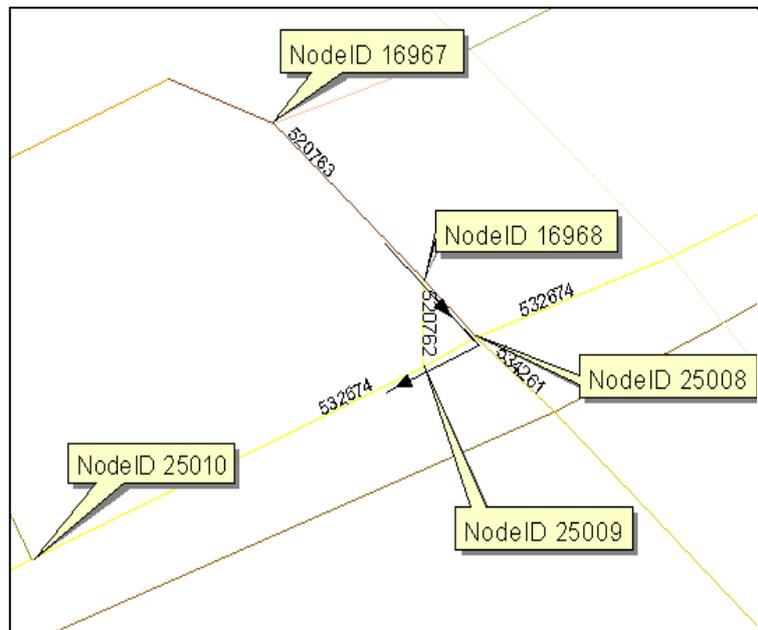


Figura. 5.36. Restricción de giro.

5.3 Modelamiento

En este apartado se especificarán las tablas para generación de rutas y los atributos de los datos geospaciales que se deben implementar en un único archivo shape file (.shp de ESRI).

5.3.1 Tipos de Campos

Estos son los tipos de campos usados en las tablas que se indicarán a continuación:

Tabla. 5.11. Tipos de Campos.

Nominación	Tipo de Dato en Columna
I(x)	Integer numérico. Máximo de dígitos x.
B(x)	Campo booleano (lógico). Los valores codificados son `Y` (Sí) o `N` (No).
C(x)	Texto, para característica de campo. Máximo de caracteres x.

5.3.2 Significado de los campos especiales necesarios para ruteo

Hay algunos atributos especiales que se utilizan solamente para mapas ruteables:

- RoadID, es un número de identificación (ID) único para la vía, el mismo que es usado internamente por el software de gestión de rutas para el mantenimiento de los datos de creación de rutas.
- Road Class, este atributo define la importancia de la vía para el ruteo, es uno de los atributos más relevantes. La menor importancia es 0, la más alta es 4.

Road Class 4 debe ser utilizado únicamente para las vías más importantes, autopistas y otras vías principales.

Es importante destacar que el número de vías con la Road Class superior debe mantenerse cerca del 0,5% de la totalidad de caminos.

Para obtener los mejores resultados se debe permanecer cerca de los siguientes parámetros:

Tabla. 5.12. Parámetros para Road Class.

Road Class	Porcentaje aproximado de vías
4	0,5% - 1,5%
3	1% - 3%
2	4% - 7%
1	10% - 20%
0	60% - 85%

Mantener esta proporción por encima de lo recomendado puede provocar que el ruteo en el mapa falle.

Al preparar los datos, se deben observar las siguientes reglas:

- Las vías principales no deben ser seccionadas; es decir, una pequeña parte de la vía no debe tener una clasificación más baja.
 - Las vías principales deberán ser lo más extensas posible. Idealmente la totalidad del camino debe ser representado como un solo objeto.
-
- Velocidad, este atributo define la velocidad máxima permitida, se utiliza principalmente para calcular la ruta más rápida posible.

Existen 8 velocidades:

Tabla. 5.13. Rangos de Velocidad.

Rango	Velocidad
7	128 km/h
6	108 km/h
5	93 km/h
4	72 km/h
3	56 km/h
2	40 km/h
1	20 km/h
0	8 km/h (embarcadero)

- One Way, es una vía de un solo sentido y que recibe el valor lógico de 1 (o Verdadero), cuando la direccionalidad permitida va siempre desde el inicio de la calle hasta el final (desde el punto 0 al último punto de la vía).
 - Bound (valor lógico 1), es el punto NodeID que se define como el punto de conexión entre diferentes mapas a ser utilizados en el GPS, estos puntos deberán estar ubicados en los límites del mapa en curso.
 - Toll, se trata de una vía con peaje.
 - Not for Car/Motorcycle, los autos no pueden utilizar esta vía. Además y similarmente, Not for: pedestrian, bicycle, truck, bus, emergency, taxi.
-

5.3.3 Tablas para Generación de Rutas

Para la generación de ruteo es necesario el desarrollo de la siguiente infraestructura de tablas, que consideran los atributos de vía, la definición de ruteo y de restricciones en las vías:

Tabla. 5.14. Tabla I. Tabla de Atributos de Vía.

Tipo de campo	Finalidad del campo	Mandatorio	Mandatorio para Ruteo	Solamente para Mapas Ruteables	Observación	Ejemplo
I	Road ID		Sí		Número único de cada vía (número de identificación ID)	132
I	Tipo	Sí	Sí		Tipo de vía	
C	Nombre				Nombre de la vía	
C	Nombre secundario				Nombre secundario de la vía, no es visible en el GPS pero se utiliza para búsquedas de calles por nombre	333
B	Dirección				Despliega u oculta la dirección de la vía cuando se la apunta con el cursor	0
C	Nombre de Ciudad				Nombre de una ciudad a la que pertenece la calle	Quito
C	Nombre de Región				Nombre de una región a la que pertenece la calle	Pichincha
C	Nombre del País				Nombre de un país al que pertenece la calle	Ecuador

I	Speed Type		SÍ	SÍ	Información utilizado para encontrar la ruta más rápida, 0 - vía más lenta, 7 - vía más rápida	3
I	Road Class		SÍ	SÍ	Información utilizada para encontrar la mejor o más óptima ruta 4 - vía de mayor preferencia para ruteo, 0 - vía de menor preferencia para ruteo	1
B	One way			SÍ	Vía de un único sentido, sólo se permite el tránsito en la misma dirección que el vector de la vía	0
B	Toll Road			SÍ	Vía con peaje	0
B	Not for car			SÍ	Vía no disponible para Coche/Moto	0
B	Not for pedestrian			SÍ	Vía no disponible para Peatón	0
B	Not for bicycle			SÍ	Vía no disponible para Bicicleta	0
B	Not for truck			SÍ	Vía no disponible para Camión	0
B	Not for bus			SÍ	Vía no disponible para Autobús	0
B	Not for emergency			SÍ	Vía no disponible para Emergencias	0
B	Not for taxi			SÍ	Vía no disponible para Taxi	0

Tabla. 5.15. Tabla II. Tabla de Definición de Ruteo.

Tipo de campo	Finalidad del campo	Mandatorio	Mandatorio para Ruteo	Solamente para Mapas Ruteables	Observación	Ejemplo
I	RoadID	SÍ	SÍ		Número único de la vía (número de identificación ID), esta es la clave primaria que conecta los registros de esta tabla a la Tabla I	132
I	Node	SÍ	SÍ		Número de nodo del elemento, el nodo 0 es el inicio del elemento Toda la información se presenta en un solo registro de la Tabla de Ruteo, se valida desde el nodo 'Node' del elemento a la siguiente definición (próximo registro para el mismo RoadID)	3
I	NodeID		SÍ	SÍ	NodeID es el valor que puede ser tratado como un número de identificación (ID) de una intersección –el par de vías tienen nodos con el mismo valor de NodeID - que se interpreta como la	457

					intersección de estos nodos Importante: una única vía no puede intersecarse consigo misma	
B	Bound			SÍ	Dándole el valor lógico de 1 este punto se utiliza como una conexión entre dos archivos de mapas separados (punto límite)	0

Tabla. 5.16. Tabla III. Tabla de Definición de Restricciones.

Tipo de campo	Finalidad del campo	Mandatorio	Mandatorio para Ruteo	Observación	Ejemplo
I	NodID1	SÍ	SÍ	Punto de inicio de la restricción	132
I	NodID2	SÍ	SÍ	Punto medio de la restricción	133
I	NodID3	SÍ	SÍ	Punto final de la restricción	134
I	RoadID1	SÍ	SÍ	Vía de inicio	555
I	RoadID2	SÍ	SÍ	Vía de finalización	556

5.4 POIs

Un punto de interés, POI, es un término ampliamente utilizado en geografía, especialmente en las actuales variantes electrónicas, como SIG y software de navegación GPS, que caracteriza a un lugar que por alguna razón en particular (comercial, turística, social, de servicio, etc.) es útil o de interés para una persona o un grupo de personas.

5.4.1 Identificación de Necesidades y Requerimientos

Para que un punto de interés pueda ser utilizado en aplicaciones de asistencia personal de viajes precisa, como mínimo, su ubicación (latitud y longitud) en la parte geoespacial, pero en la alfanumérica bastaría solamente con el nombre propio, ya que una descripción del sitio sería demasiado ambigua; además, el usuario podría incluir los datos que a su parecer son relevantes y dejar a otros de lado.

Por todo lo anotado, es necesario definir la estructura física de los datos alfanuméricos de POIs, que se integrarán al aplicativo y permitirán al usuario la navegación vehicular/personal.

Adicionalmente, cabe indicar que todo POI debe presentar una representación gráfica, para esta aplicación, se utilizarán los íconos por categorías expuestos en el Anexo 3.

5.4.2 Modelamiento

En un principio se debían modelizar solamente los atributos básicos: Nombre, Clasificación, Contactos como está indicado en el Cuadro 2; no obstante, por las capacidades de gestión de información del software a ser utilizado en la aplicación se considera el siguiente modelo de datos:

Tabla. 5.17. Tabla IV. Tabla de definición de POIs.

Tipo de campo	Finalidad del campo	Mandatorio	Mandatorio para Ruteo	Observación	Ejemplo
I	Type	SÍ	SÍ	Código para cada Categoría	0x2b00
C	Label	SÍ	SÍ	Nombre de cada punto de interés	HOTEL PATIO ANDALUZ
C	Comment			Comentario de características particulares del lugar	CUATRO ESTRELLAS SUPERIOR
C	Street Number		SÍ	Placa predial municipal	N6-46
C	Street		SÍ	Vía de acceso peatonal o vehicular	GARCIA MORENO
C	Phone			Acepta solamente los caracteres (0-9), '-', espacio	593-2-2280830

Además, visualmente cuando este punto de ejemplo sea observado en el equipo propietario aparecerá con el ícono  de la Categoría Alojamiento.

5.4.2. Administración de BDA y BDE

La ubicación (latitud, longitud) de cada punto se obtiene al digitalizar en un archivo .shp la posición colectada en campo, los atributos serán administrados en el archivo asociado .dbf (tabla dBASE en formato dBase III) que almacenará cada campo.

Esta administración es de gran importancia, puesto que dará el respaldo para posteriormente editar los datos por medio del visualizador gráfico o del editor de texto.

CAPÍTULO 6

LEVANTAMIENTO DE DATOS Y GENERACIÓN DE INFORMACIÓN

6.1 Georeferenciación de Objetivos para Networking

Los datos espaciales para la abstracción de la realidad de esta aplicación poseen una posición implícita, ésta georeferenciación es obtenida a partir de la información geográfica de base del proyecto OpenStreetMap para el área de interés del estudio, como quedó indicado en los Capítulos III y IV al tener resuelta la necesidad de cartografía base georeferenciada a WGS84 y en sistema métrico, se establece el levantamiento de datos para la creación de tablas y capas de información temática.

Los geodatos necesarios se clasifican por las tres categorías topológicas en:

1. Polígonos: Parques,
 2. Polilíneas: Vías,
 3. Puntos: Nodos y POI's.
-

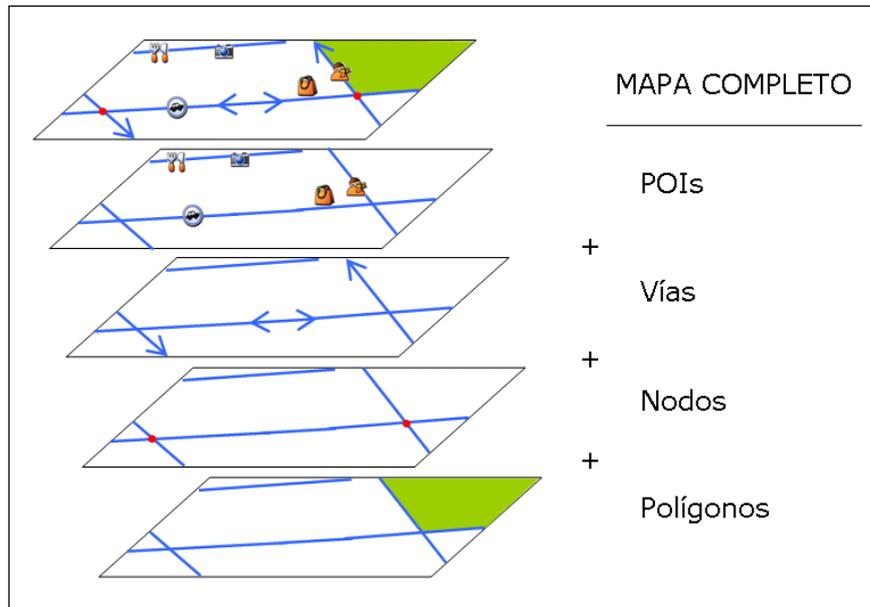


Figura. 6.37. Esquema de capas temáticas necesarias para ruteo.

6.1.1 Levantamiento de Datos

Las características propias de esta Aplicación SIG, sinergia de desarrollo y aplicabilidad informática conllevan a que todos los elementos topológicos: nodos, polilíneas y polígonos, deban ser levantados en campo de manera conjunta e íntegra, haciendo que este procedimiento sea el de mayor consumo de tiempo y recursos.

Como quedó indicado en los Capítulos III y IV al tener resuelta la necesidad de cartografía base georeferenciada a WGS84 y en sistema métrico, se estableció el levantamiento de datos para la creación de tablas y capas de información temática en las cuatro categorías topológicas de interés, con la digitalización de cartografía en soporte analógico se producen datos vectoriales a través de trazas de puntos, líneas, y límites de polígonos.

El levantamiento de datos de este trabajo ha sido desarrollado de forma manual, los pasos a seguir son:

1. Crear ejes de calles a partir de Polígonos de Thiessen con polilíneas para cada tramo, utilizando las herramientas del SIG y editando manualmente en CAD para una mejora considerable de la precisión.
 2. Imprimir secciones de la cartografía base ajustada a la escala debida para formato A4 por su facilidad de manejo.
 3. Realizar un recorrido preliminar por la zona de estudio para determinar tramos de vías con sus nodos de intersección y polígonos.
 4. Delimitar las plazas identificadas en la zona de estudio, dibujando los vértices del Polígono que forman (en color negro), para posteriormente, apoyándose en servicios gratuitos de mapas por Internet que contienen imágenes satelitales, como Google Earth, conseguir su representación más aproximada.
 5. Levantar la siguiente información de Vías:
 - Nombre: validación o edición.
 - Campos especiales necesarios para ruteo:
 - RoadID. Se estableció un número secuencial por la dimensión del estudio.
 - Road Class. Las vías del estudio tienen clasificaciones 0, 1 y 2, referirse a Cuadro 13.
 - Velocidad. Se estima por la velocidad aparente del flujo vehicular, remitirse a Cuadro 14.
 - One Way, direccionalidad de la vía en un único sentido, dibujar con flechas en el medio análogo el vector del tramo vial (en color azul).
 - Toll, determina las vías con peaje.
-

- Not for Car/Motorcycle, Pedestrian, Bicycle, Truck, Bus, Emergency, Taxi. Indica la disponibilidad de tránsito para Coche/Moto, Peatón, Bicicleta, Camión, Autobús, Emergencias, Taxi; lo que, especificará el Tipo de Navegación en el equipo propietario.
6. Incorporar en el análogo los Nodos de Intersección para:
 - Polígonos, observar las configuraciones geométricas dentro de las plazas, capacidades y reglamentaciones para transitar en modo peatón, bicicleta y emergencias.
 - Vías, fijar un punto para cada par de tramos viales que intersecan (el par de vías que tienen nodos con el mismo valor de NodeID se interpreta como la intersección de estos nodos), con el vector de vía delineado en el análogo se determina intrínsecamente los nodos de inicio y de fin para cada tramo. Además, se levantarán las disponibilidades y reglamentaciones para transitar en modo coche/moto, peatón, bicicleta, camión, autobús, emergencias y taxi.
 7. Introducir las Restricciones de giro en cada uno de los nodos de intersección que incluya de ser el caso: punto de inicio, medio y final de la restricción, y vía de inicio y de finalización, usando la delineación de puntos y vectores (en color rojo), que resalte dichas restricciones de paso.
 8. Añadir los Puntos de Interés (POIs) utilizando como identificación un número secuencial, por la dimensión de este estudio. El número de cada POI se agrega en el medio analógico (en color negro) en su posición aparente, ingreso principal del establecimiento (en la mayoría de los casos en donde conste la placa predial municipal) siempre que esté sobre una vía de acceso peatonal o vehicular, al encontrarse escalada la hoja de cartografía base las distancias se miden con talonamiento desde un vértice escogido en cada manzana, respetando el sentido de circulación de la vía y/o apoyándose en el levantamiento catastral.
-

Incorporar los atributos establecidos en el diseño conceptual y lógico, por medio de la observación y entrevista directa a propietarios o dependientes de cada establecimiento, en el caso de no obtener los datos de esta forma se intentará realizarlo por consulta telefónica o en páginas web. El atributo dominante para consultas es el nombre del establecimiento.

Estos datos de alto nivel que serán colectados con la mayor precisión, deben ser implementados físicamente, lo que consiste en materializar la representación computacional de la base de datos, utilizando las capacidades particulares que el equipo GPS propietario seleccionado para esta aplicación presenta; por lo que, no se dará mayor énfasis en el estudio, sobre la demostración de explotación de los datos en las herramientas SIG y SGBD, que son intermedias.

ROADID	TYPE	NAME	SECONDARY_NAME	SPEED_CLASS	ROAD_CLASS	ONE_WAY	TOLL	VCAR	VPEDESTRIAN	VBIKCYCLE	VTRUCK	VBUS	VEMERGEN
1	1	ASFALTO 2 EJES	GUAYAQUIL	0e3 CALLE DEL COMERCIO BAJO	3	0	1	0	1	1	0	0	1
2	2	ASFALTO 2 EJES	GUAYAQUIL	0e3 CALLE DEL COMERCIO BAJO	3	0	1	0	1	1	0	0	1
3	3	ASFALTO 2 EJES	GUAYAQUIL	0e3 CALLE DEL COMERCIO BAJO	3	0	1	0	1	1	0	0	1
4	4	ASFALTO 2 EJES	GUAYAQUIL	0e3 CALLE DEL COMERCIO BAJO	3	0	1	0	1	1	0	0	1
5	5	ASFALTO 2 EJES	GUAYAQUIL	0e3 CALLE DEL COMERCIO BAJO	3	0	1	0	1	1	0	0	1
6	6	ASFALTO 2 EJES	SUCRE	N4 CALLE DEL ALGODON	2	0	1	0	1	1	0	0	0
7	7	HORMIPISO PEDESTRIAN	SUCRE	N4 CALLE DEL ALGODON	2	0	0	0	0	1	0	0	0
8	8	HORMIPISO PEDESTRIAN	SUCRE	N4 CALLE DEL ALGODON	2	0	0	0	0	1	0	0	0
9	9	HORMIPISO PEDESTRIAN	SUCRE	N4 CALLE DEL ALGODON	2	0	0	0	0	1	0	0	0
10	10	ASFALTO 1 CARRIL	SUCRE	N4 CALLE DEL ALGODON	2	0	1	0	1	1	0	0	1
11	11	ASFALTO 2 CARRILES	BENALCAZAR	0e6 CALLE ANGOSTA	2	0	0	0	1	1	0	0	1
12	12	ASFALTO 1 CARRIL	BENALCAZAR	0e6 CALLE ANGOSTA	2	0	1	0	1	1	0	0	1
13	13	ASFALTO 1 CARRIL	BENALCAZAR	0e6 CALLE ANGOSTA	2	0	1	0	1	1	0	0	1
14	14	ASFALTO 1 CARRIL	BENALCAZAR	0e6 CALLE ANGOSTA	2	0	1	0	1	1	0	0	1
15	15	ASFALTO 1 CARRIL	BENALCAZAR	0e6 CALLE ANGOSTA	2	0	1	0	1	1	0	0	1
16	16	ASFALTADA 2 CARRILES	MEJIA	N6 CALLE DE MEJIA	2	0	1	0	1	1	0	0	0
17	17	ASFALTADA 1 CARRIL	MEJIA	N6 CALLE DE MEJIA	2	0	1	0	1	1	0	0	0
18	18	ASFALTADA 1 CARRIL	MEJIA	N6 CALLE DE MEJIA	2	0	1	0	1	1	0	0	0
19	19	ASFALTADA 1 CARRIL	MEJIA	N6 CALLE DE MEJIA	2	0	1	0	1	1	0	0	0
20	20	ASFALTADA 1 CARRIL	MEJIA	N6 CALLE DE MEJIA	2	0	1	0	1	1	0	0	0
21	21	HORMIPISO PEATONAL	CHILE	N5 CALLE DE SAN AGUSTIN	1	0	0	0	0	1	0	0	0
22	22	HORMIPISO PEATONAL	CHILE	N5 CALLE DE SAN AGUSTIN	1	0	0	0	0	1	0	0	0
23	23	HORMIPISO PEATONAL	CHILE	N5 CALLE DE SAN AGUSTIN	1	0	0	0	0	1	0	0	0
24	24	HORMIPISO PEATONAL	CHILE	N5 CALLE DE SAN AGUSTIN	1	0	0	0	0	1	0	0	0
25	25	HORMIPISO PEATONAL	CHILE	N5 CALLE DE SAN AGUSTIN	1	0	0	0	0	1	0	0	0
26	26	ASFALTO 1 CARRIL	CHILE	N5 CALLE DE SAN AGUSTIN	1	0	1	0	1	1	0	0	0
27	27	PIEDRA PEATONAL	ESPEJO	N4A CALLE PASAJE DE ESPEJO	1	0	0	0	0	1	0	0	0
28	28	PIEDRA PEATONAL	ESPEJO	N4A CALLE PASAJE DE ESPEJO	1	0	0	0	0	1	0	0	0
29	29	PIEDRA PEATONAL	ESPEJO	N4A CALLE PASAJE DE ESPEJO	1	0	0	0	0	1	0	0	0
30	30	PIEDRA PEATONAL	ESPEJO	N4A CALLE PASAJE DE ESPEJO	1	0	0	0	0	1	0	0	0
31	31	PIEDRA PEATONAL	ESPEJO	N4A CALLE PASAJE DE ESPEJO	1	0	0	0	0	1	0	0	0
32	32	PIEDRA PEATONAL	ESPEJO	N4A CALLE PASAJE DE ESPEJO	1	0	0	0	0	1	0	0	0

Figura. 6.38. Datos alfanuméricos levantados.

1. Dibujo en CAD de las plazas presentes en el área de estudio,
2. Redibujo en CAD de los ejes viales, de acuerdo al sentido del vector de tránsito,
3. Ubicación de nodos de intersección en cada tramo vial,
4. Posicionamiento espacial de POIs por medición de distancias, en capas diferenciadas por categoría,
5. Traspaso de capas de información de CAD a SIG,
6. Creación de base de datos espacial personal para el estudio,
7. Inclusión en geodatabase de todos los feature class relacionados al aplicativo, en caso de ser necesario,
8. Identificación por ID de cada elemento gráfico,
9. Elaboración de las tablas externas para ruteo relacionadas por los campos de identificación e inclusión en la base de datos espacial,
10. Ingreso de atributos de cada elemento topológico en el .dbf asociado a cada feature class.

Como queda indicado, todos los datos convergerán en una base de datos espacial para realizar el control de precisiones espaciales, topología de red y de datos alfanuméricos.

6.2 Control de Calidad

Para el ser humano, las relaciones topológicas en las redes viales son obvias a simple vista, pero en los softwares de gestión de estos datos, las relaciones se establecen mediante complejidades en lenguajes de programación y en reglas de geometría matemática.

Por cuanto esta solución requiere de la mayor consistencia topológica de los elementos gráficos y de gran exactitud en los datos alfanuméricos, es necesario que previo a su explotación se realice la verificación y corrección topológica de la información gráfica y la validación de los datos en campo.

6.2.1 Verificación de Datos en BD

En los procesos de digitalización cartográfica del estudio:

- obtención de ejes viales por Polígonos de Thiessen con edición manual en CAD,
- delimitación de polígonos,
- re-dibujo de ejes viales de acuerdo a la direccionalidad levantada en campo,
- configuraciones geométricas de tránsito al interno de polígonos,
- fijación de nodos de intersección,
- ingreso de restricciones de giro, e
- inclusión de POIs.

Se producen datos vectoriales, los que son susceptibles a tener fallos topológicos involuntarios como: dangles, switchbacks, knots, loops, overshoots, undershoots y slivers.

Para lo anterior y antes de que estos datos sean incluidos en el análisis de redes, objeto de este estudio, deberán pasar por un proceso de corrección topológica, para lo que se han utilizado herramientas presentes en los SIG (específicamente ArcGIS 9.2 Desktop) que facilitan la rectificación de estos errores comunes como: ejes sin intersección en nodos establecidos, ausencia de nodos, ausencia de ejes, y demás, de manera automática o semiautomática, desde la geodatabase creada en donde se encuentran todas las capas de información y la creación de Topología de las mismas.

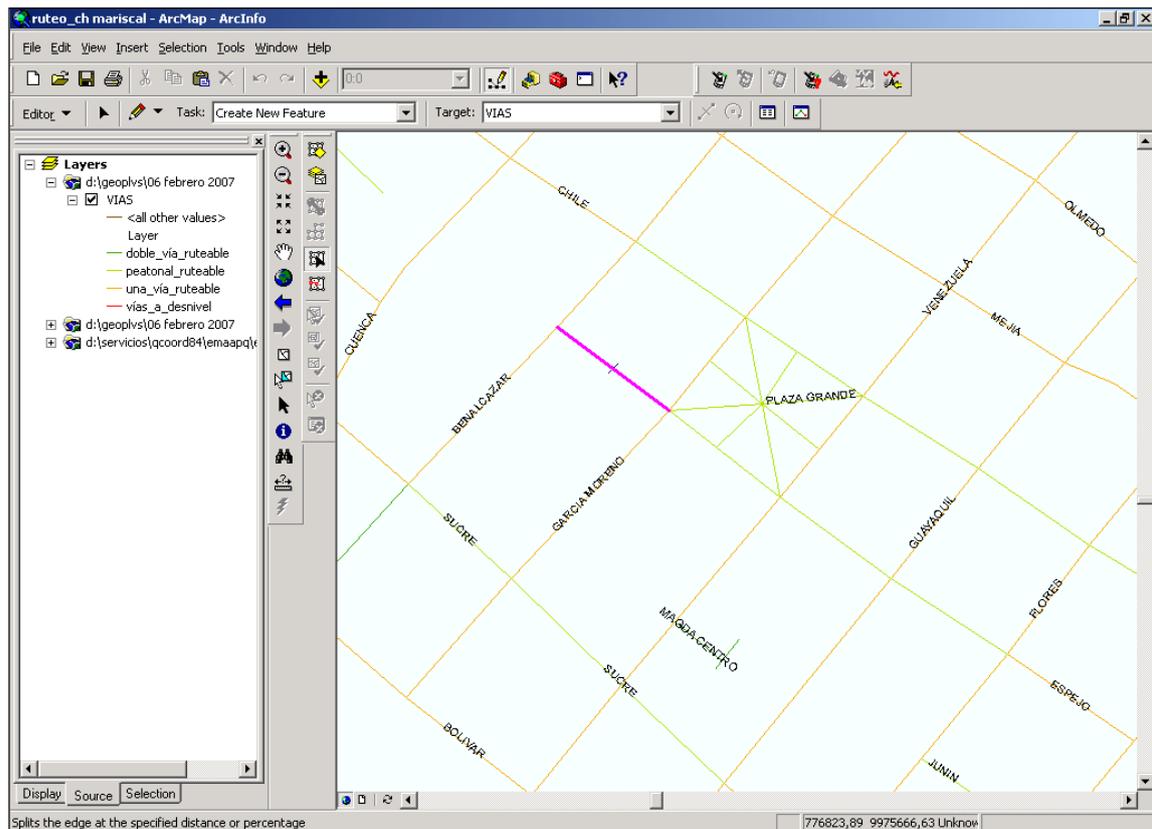


Figura. 6.40. Corrección de errores topológicos y de digitalización en ArcGIS 9.2.

6.2.2 Validación de Datos en Campo

Luego de comprobar los datos digitales en la base de datos se deberían realizar pruebas de validación del posicionamiento de los elementos geospaciales y sus atributos definidos en la estructuración de la geodatabase, en el sitio mismo del estudio.

Sin embargo, el verdadero test de comprobación es ver como los datos son usados en la aplicación, desde los ojos del usuario final; por lo que, este apartado se profundizará al final del estudio (Capítulo 8. Pruebas) antes de la presentación definitiva del prototipo.

CAPÍTULO 7

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

7.1 Generación de Rutas

La creación de un mapa para ser transferido al receptor GPS GARMIN nüvi 350 puede ser comparada con cualquier otra forma de programación, la misma que sigue estos pasos fundamentales:

- a) Escritura de un programa (ej. un mapa) en un lenguaje de programación (ej. en PFM) por medio de herramientas para generar los códigos fuente (source code) visualmente, de forma semiautomática o de alguna manera que ayude a la preparación del código, y
- b) Compilación.

7.2 Análisis de Redes (Networking)

Para la aplicación de análisis de redes sustentada en SIG del presente estudio se debe conformar un programa escrito, que como se indicó anteriormente, consiste en varios objetos de mapas que corresponden a cuatro categorías diferentes, las mismas que han considerado la estructura de Topología de Red propuesta para el área de interés del Distrito Metropolitano de Quito en el Cuadro 2. Topología de Red del Capítulo 1. Descripción del Medio:

- i. Puntos de Interés (POIs - Points of Interest, por sus siglas en inglés), como ej.: hotel, restaurant.
- ii. Puntos (Points, en inglés), estos son objetos de puntos no indexados, como ej.: cumbre, edificio.
- iii. Polilíneas (Polylines, en inglés), que son objetos lineales, como ej.: calle, río.
- iv. Polígonos (Polygons, en inglés), los mismos que son objetos de áreas, como ej.: parque, lago.

Para los objetos adimensionales (POIs y puntos), es necesario definir los atributos del objeto, tales como: Label y Type, y también el par de coordenadas del objeto (latitud, longitud). Así como, para los objetos dimensionales (polilíneas y polígonos), es necesario definir los atributos del objeto y también el par de coordenadas de cada uno de los vértices del objeto.

Definir las coordenadas es la parte más laboriosa de la creación de mapas (6.1.1 Levantamiento de Datos).

Para conformar un programa escrito, el formato de código fuente (source code) utilizado para este estudio, será el del compilador cGPSmapper, mismo que es referido como PFM (Polski Format Mapy - Polish Map Format [Formato de Mapas Polaco]) o "Polish format". La extensión estándar de los archivos de mapas en formato PFM es .mp, (cGPSmapper, 2009).

7.3 Producción de Mapas

Hay varios métodos para preparar los mapas fuente (.mp):

1. escribiendo completamente en código fuente utilizando cualquier editor de textos,
2. generándolo visualmente (dibujando en la pantalla) con algún editor visual,
3. importando objetos (waypoints y tracks) creados por programas de mapeo, o
4. por combinación de varios de estos métodos.

Del análisis realizado, ninguno de los métodos señalados del 1 al 3 individualmente son suficientes para este aplicativo, por lo que se aceptó la opción 4, creando un mapa por métodos híbridos, usando los programas computacionales: ArcGIS 9.2 Desktop y AutoCAD 2007 para generación visual y gestión de base de datos y Bloc de notas para edición manual del código fuente.

7.4 Integración de Mapas

Los objetos de mapas (información gráfica) en archivos .shp, sumado al archivo asociado .dbf (información alfanumérica) desarrollados para: Puntos de Interés, Puntos, Líneas y Polígonos; se integran mediante compilación de estos archivos, que genera un archivo .mp, mismo que contiene la siguiente estructura lógica para edición manual, considerando los campos de las bases de datos necesarios para ruteo, como queda determinado en el Manual de Usuario de cGPSmapper:

[SHP]	Identificador de sección de archivos ESRI shape.
name=file_name	Nombre del archivo ESRI sin la extensión. Este debe ser el path completo o relativo al archivo ESRI, sin la extensión (que debería ser .shp para archivos conteniendo datos ESRI).
Type=xxx	Tipos de objetos a ser importados desde archivos ESRI: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 16 o RGN10 POI Puntos de interés ▪ 32 o RGN20 Cities Ciudades ▪ 64 o RGN40 Lines Líneas ▪ 128 o RGN80 Polygons Polígonos
LabelField=field_name	Nombre del campo - en el archivo asociado .dbf – desde donde cGPSmapper obtendrá el <i>Label</i> para cada objeto.
Label2Field=field_name	Nombre secundario para calles. Utilizado en caso de que se le quiera dar un ID numérico y un nombre. El nombre secundario de la calle (número o nombre de calle si es una autopista, por ejemplo: Panamericana = Ruta 35) – no es visible en el GPS pero es utilizado al buscar calles por nombre.
TypeField=field_name	Nombre del campo – en el archivo .dbf asociado – desde donde cGPSmapper obtendrá el <i>object_type</i> (tipo de objeto) para cada objeto. El campo <i>field_name</i> deberá contener un valor decimal o hexadecimal representando el tipo de objeto. Si se especifican ambos <i>DefaultType</i> y <i>TypeField</i> , ocurrirá un error, pero deberá especificarse al menos uno de ellos.

SubTypeField=field_name Nombre del campo – en el archivo .dbf asociado – desde donde cGPSmapper obtendrá el segundo byte del *object_type* este es un campo opcional porque el *object_type* puede ser definido utilizando solamente *TypeField*.

DirField=field_name

- N o 0 → Oculta dirección de la calle en intersecciones
- Y o 1 → Muestra dirección de la calle en intersecciones
- Default = N

Level=# Nivel dentro del cual se importarán los objetos.

EndLevel=# Las coordenadas de la línea *Level=#* se aplicarán hasta el nivel especificado por *EndLevel=#*.

DefaultType=object_type Valor decimal o hexadecimal representando el tipo de objeto a ser aplicado cuando el campo *TypeField* no está especificado.

Si ambos *DefaultType* y *TypeField* están especificados, ocurrirá un error, pero al menos uno de ellos debe ser especificado.

CityName=field_name Nombre del campo – en el archivo .dbf asociado – desde donde cGPSmapper obtendrá el *CityName* para cada objeto.

Sólo utilizado para *polylines* (Ej. cuando *Type=RGN40* o *Type=64*) y *POIs* (Ej. cuando *Type=RGN20* o *Type=32* o *Type=RGN10* o *Type=16*).

RegionName=field_name	<p>Nombre del campo – en el archivo .dbf asociado – desde donde cGPSmapper obtendrá el <i>RegionName</i> para cada objeto. No debe estar presente si el elemento <i>DefaultRegionCountry</i> está presente en la sección [IMG ID].</p> <p>Sólo utilizado para polylines (Ej. cuando Type=RGN40 o Type=64) y POIs (Ej. cuando Type=RGN20 o Type=32 o Type=RGN10 o Type=16).</p>
CountryName=field_name	<p>Nombre del campo – en el archivo .dbf asociado – desde donde cGPSmapper obtendrá el <i>CountrName</i> para cada objeto. No debe estar presente si el elemento <i>DefaultCityCountry</i> está presente en la sección [IMG ID].</p> <p>Sólo utilizado para polylines (Ej. cuando Type=RGN40 o Type=64) y POIs (Ej. cuando Type=RGN20 o Type=32 o Type=RGN10 o Type=16).</p>
HouseNumber=field_name	<p>Número de casa escrito como cadena (string).</p> <p>Usado para búsqueda de direcciones y ruteo.</p> <p>Sólo utilizado para POIs (Type=RGN10 o Type=16).</p>
StreetDesc=field_name	<p>Nombre de calle o descripción adicional.</p> <p>Sólo utilizado para POIs (Type=RGN10 o Type=16).</p>
PhoneNumber=field_name	<p>Número de teléfono escrito como cadena (string).</p> <p>Sólo utilizado para POIs (Type=RGN10 o Type=16).</p>

Zip=field_name	<p>Nombre del campo – en el archivo .dbf asociado – desde donde cGPSmapper obtendrá el Zip para cada objeto.</p> <p>Sólo utilizado para polylines (Ej. cuando Type=RGN40 o Type=64) y POIs (Type=RGN10 o Type=16).</p>
RoadID=field_name	<p>Número de ID único para la calle. Este es utilizado internamente por cGPSmapper para la creación de datos de ruteo.</p> <p>Utilizado para ruteo.</p>
SpeedType=field_name	<p>Este atributo define la velocidad máxima permitida – es utilizada principalmente para calcular la ruta más rápida.</p> <p>Existen 8 de ellas:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ 7 → 128 km/h▪ 6 → 108 km/h Ajustable desde MapSource▪ 5 → 93 km/h Ajustable desde MapSource▪ 4 → 72 km/h Ajustable desde MapSource▪ 3 → 56 km/h Ajustable desde MapSource▪ 2 → 40 km/h Ajustable desde MapSource▪ 1 → 20 km/h▪ 0 → 8 km/h (paso por línea férrea). <p>Utilizado para ruteo.</p>
RoadClass=field_name	<p>Este atributo define la importancia de la calle para el ruteo. Este es uno de los atributos más importantes para el ruteo.</p> <p>El de menor importancia es 0, el de mayor es 4.</p> <p>Road class 4 debería ser utilizado para Major highways y otras calles principales.</p> <p>Utilizado para ruteo.</p>

OneWay=field_name	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 → calle de una mano, donde la dirección permitida es siempre desde el principio hasta el final de la calle, considerando la dirección de la digitalización. ▪ -1 → calle de una mano, dirección opuesta al sentido de digitalización. ▪ 0 → calle doble vía. <p>Utilizado para ruteo.</p>
Toll=field_name	Define una autopista de paga (con peaje).
VehicleE=field_name	1 → no permitidos vehículos de emergencia en esta calle.
VehicleD=field_name	1 → no permitidos vehículos de entrega (delivery).
VehicleC=field_name	1 → no permitidos autos en esta calle.
VehicleB=field_name	1 → no permitidos buses en la calle.
VehicleT=field_name	1 → no permitidos taxis en la calle.
VehicleP=field_name	1 → no permitidos peatones en la calle.
VehicleI=field_name	1 → no permitidas bicicletas en la calle.
VehicleR=field_name	1 → no permitidos camiones en la calle.
TextFileLines=field_name	Nombre del archivo con un texto descriptivo largo del objeto

TextStart=line_number	Número de línea de comienzo del archivo TextFileLines a ser importado
TextEnd=line_number	Número de línea final del archivo TextFileLines file a ser importado
TextFile=file_name	Nombre del archivo de texto a ser importado
[END]	Terminador de sección.

7.5 Proceso de Implementación

Una vez integrada toda la información suficiente de las capas de información necesarias para ruteo, se compila el mapa resultante por medio del software GPSTMapEdit u otro editor visual y cGPSmapper Routable (compilador de mapa) que debe estar instalado en el siguiente path: C:\Archivos de programa\cGPSmapper\cgpsmapper.exe. De preferencia se debe almacenar el archivo resultante con el nombre gmapsupp y la extensión .img.



Figura. 7.41. Ejecución de corrida de compilador cgpsmapper.exe. desde GPSTMapEdit.

El resultante de este proceso es un mapa de ruteo en el lenguaje de GARMIN, listo para ser transferido al equipo nüvi 350:

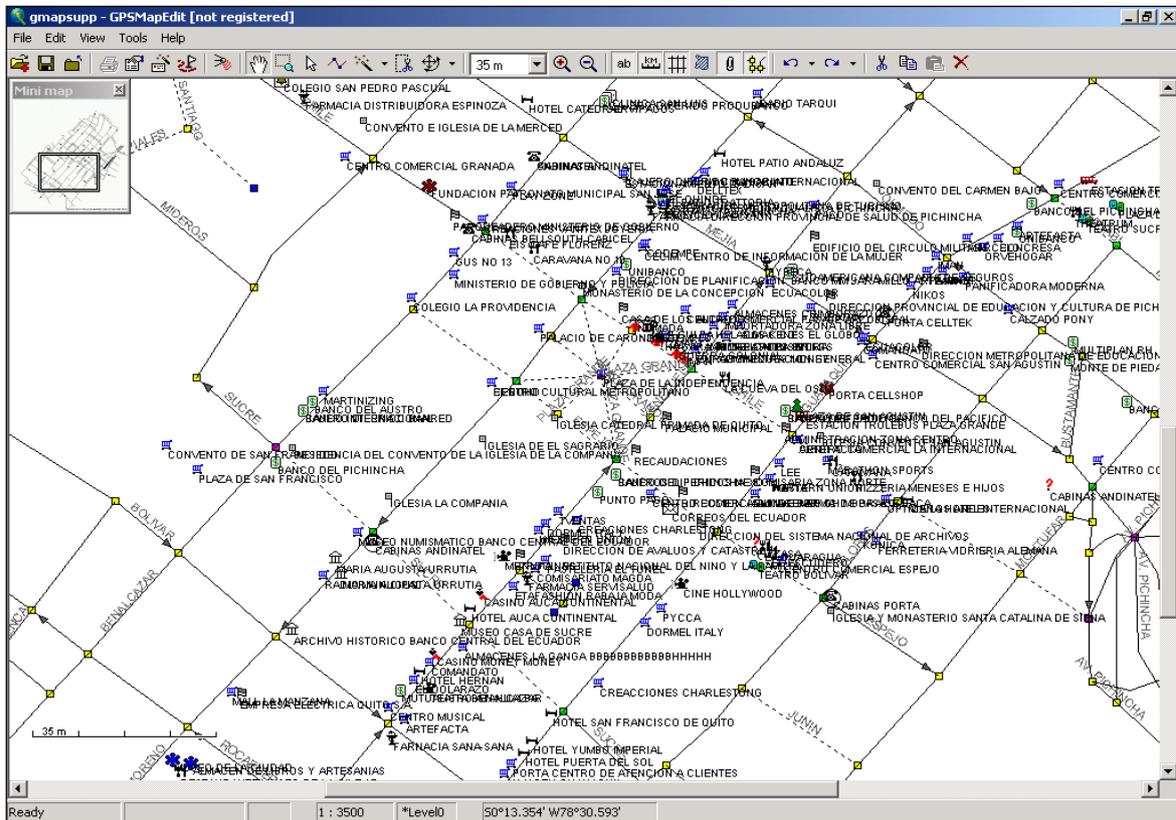


Figura. 7.42. Previsualización del mapa ruteable después de la compilación.

El código fuente es editable desde Bloc de notas, que como se observa en el siguiente gráfico presenta la cabecera y secciones de código para: [POI], [POLYLINE] con nodos de intersección inmersos y [POLYGON].

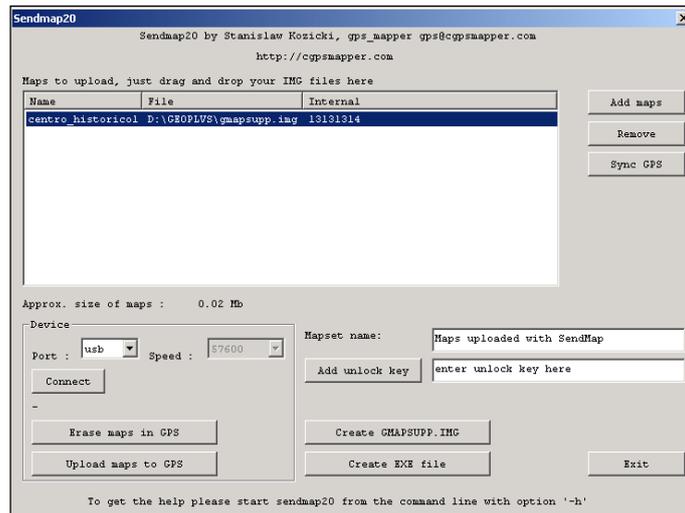


Figura. 7.44. Creación de archivo gmapsupp.img.

Se debe reemplazar en la memoria del nüvi 350 el archivo precargado por defecto, que se encuentra en: nüvi\Garmin\gmapsupp.img.

7.5.2 Navegación en el área de estudio

Una vez cargado el archivo .img útil para asistencia de viajes en el área de estudio, se ejecutará en primera instancia en gabinete ensayos de navegación en modo de prueba sin conexión GPS, de sitio a sitio y hacia POIs, para luego trasladarse a campo y realizar inicialmente un reconocimiento del área con el uso de GPS para observar la precisión de ubicación de vías y nodos, posteriormente se testeará la navegación desde un sitio a otro y hacia diversos POIs consultados por Nombre, Categoría, Ubicación e ingreso de nuevas localizaciones.



Figura. 7.45. Navegación en el área de estudio.

7.6 Integración con funciones

Para la completa aceptación del aplicativo se debe operar el núvi 350 con todas las funciones diferenciables del mismo.

7.6.1 Giro a giro

Al ejecutar una ruta, se debe observar que la misma esté marcada con una línea magenta, cada uno de los giros debe estar resaltado por flechas.

Al tocar Girar En se desplegará en la pantalla Ruta Actual, donde se muestra el giro actual del ruteo. Al Tocar la Barra de Texto se abrirá la pantalla de Próximo Giro, donde se observan consecutivamente cada uno de los giros con flecha indicativa, distancia y dirección del giro en cada calle de la ruta. Por último, al tocar Llegada o Velocidad se abre la Página de Información de Viaje.

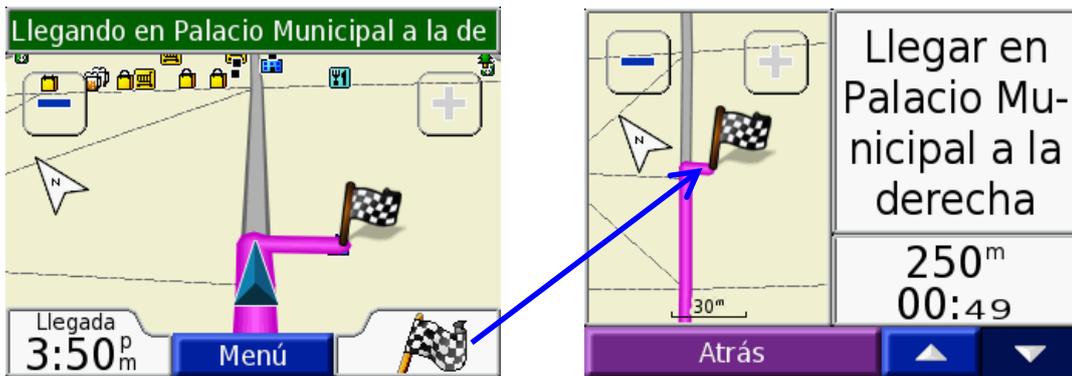


Figura. 7.46. Pantalla Ruta Actual.

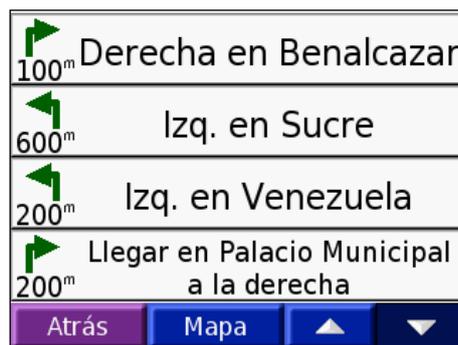


Figura. 7.47. Pantalla de Próximo Giro.



Figura. 7.48. Página de Información de Viaje.

7.6.2 Representación 3D

Cada ruteo que se consulte, después de su cálculo se mostrará tridimensionalmente para un mejor seguimiento del mismo, desde el inicio hasta la llegada al sector de cada tramo vial o a un POI específico.



Figura. 7.49. Función de representación tridimensional hacia un tramo vial.



Figura. 7.50. Función de representación tridimensional hacia un POI.

CAPÍTULO 8

PRUEBAS

8.1 Modelo de pruebas

Lo que se conoce como “acid test” debe ser ejecutado por los usuarios finales de la aplicación, puesto que solamente ellos en campo y con todas las funcionalidades en puesta a punto, podrán exigir y comprobar el estado de la aplicación, las pruebas incluirán:

- Cálculo automático de rutas,
 - Revisión de instrucciones giro-a-giro,
 - Ruteo en modos de preferencia de viaje: Camino más corto y Vía más rápida,
 - Recálculo automático de salidas de ruta,
 - Despliegue consecutivo de giros que incluya flecha indicativa, distancia y dirección del giro en cada calle de la ruta,
 - Giros por el nombre de calle,
 - Tiempos de Llegada en cada viaje,
 - Consistencia en vista 3D,
 - Recepción de señal, precisión y tiempos de adquisición del GPS en modo directo y con WAAS.
 - Posicionamiento espacial de POIs,
 - Ruteo desde y hacia POIs por Nombre, Categoría, Ubicación e ingreso de nuevas localizaciones.
 - Control de atributos de POIs por ausencia de datos y mala digitación.
-

8.2 Retroalimentación

En consideración de lo anterior, al momento de encontrarse un error en la topología de los elementos gráficos o en los datos alfanuméricos indispensables para ruteo, se debe registrar el problema y realizar una edición ya sea gráfica o en la base de datos, para lograr una consistencia de la solución superior al 99%, y sea verdaderamente útil para el usuario final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Base de Datos. <http://es.wikipedia.org/wiki/DBase>. Ingresado en mayo 2008.
 - dBase. <http://es.wikipedia.org/wiki/DBase>. Ingresado en septiembre 2009.
 - Baselga Moreno, Sergio. “Fundamentos de cartografía matemática”, Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
 - Blachut, Teodor J. “Cartografía y Levantamientos Urbanos”, 1979.
 - Caire Lomelí, Jorge. “Cartografía básica”, Editorial UNAM, 2002.
 - Cartografía y Geodesia. Sistemas de proyección. http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_1.pdf. Ingresado en agosto 2009.
 - cGPSmapper Manual de Usuario. Versión: 2.5 Inglés. 2009.
 - Correia, Paul. “Guía práctica del GPS”, MARCOMBO, S.A., 2002.
 - Delaraud, Anne Collin. “Quito, La Ciudad del Volcán”. Ediciones Libri Mundi.
 - Entrevista. La brecha digital nos afecta a todos. EL COMERCIO, Lunes 17 de julio de 2.006, Pág. 11.
 - Environmental Systems Research Institute, Inc. -ESRI-. GIS Dictionary. <http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.gis> Dictionary.gateway. ESRI Support Center. Ingresado en agosto 2008.
 - Environmental Systems Research Institute, Inc. -ESRI-. Environmental Systems Research Institute, Inc. “ESRI Shapefile Technical Description”, Julio 1998.
-

- Fotografías de El Trébol. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=843482>, [http://www2.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id_noticia=181517 &id_seccion=11](http://www2.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id_noticia=181517&id_seccion=11). Ingresado en diciembre 2008.
 - Fotografías de Receptores GPS: <http://trimble.com/outdoorhandheld.shtml>, http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-189229/022543-087A_5700_L1_DS_0605_lr.pdf, http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-148568/022543-079H-E_TrimbleR8GNSS_DS_0309_LR.pdf, http://www.ies.aber.ac.uk/cy/files/imagecache/equipment-thumb/equipment/R8_Base_Rover_1_1.JPG. Ingresado en noviembre 2008.
 - Foy, Dennis. “Telemática Automotriz”, 2002.
 - Franco Maass, Sergio - Valdez, María Eugenia. “Principios básicos de cartografía y cartografía automatizada”, Editorial UAEM, 2003.
 - Fuentes Santibáñez, Sebastián Alfredo. “Diagnóstico del Uso de Proyecciones Transversales de Mercator en Escalas Urbanas”, 2006.
 - GARMIN. Guía de Referencia Rápida nüvi™ 350, 2006.
 - GEOPLVS. <http://www.geoplvs.com>. Ingresado en julio 2009.
 - Georgi Voronói. http://es.wikipedia.org/wiki/Georgi_Voronoi. Ingresado en noviembre 2009.
 - Gerardo Mercator. http://es.wikipedia.org/wiki/Gerardo_Mercator. Ingresado en enero 2009.
 - Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-. Conceptos Generales sobre Bases de Datos. Agosto de 2004.
 - Leiva González, César Alberto. “Determinación de parámetros de transformación entre los sistemas PSAD56 y WGS84 para el país”, 2003.
-

- Manual Técnico. qcoor84. Software para la Transformación de Coordenadas UTM con cambio de Datum Regional (PSAD56) o Datum Mundial (WGS84) para Cartografía del Distrito Metropolitano de Quito, 2005.
 - Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ). Dirección de Avalúos y Catastros (DAYC). “Sistema de Información Catastral Multifinalitaria Automatizada (SICMA)”, 2007.
 - Navas, Albertina. Esta firma echó a rodar la telemática. LÍDERES, Año 7, No. 425, Pág. 10.
 - Navas, Albertina - Villacís, Carlos. Quito también es la capital de los servicios, el comercio y el consumo. LÍDERES, Año 7, No. 421, Pág. 7.
 - NAVTEQ. Historia, <http://corporate.navteq.com/espanol/history.html>. Ingresado en mayo 2009.
 - NAVTEQ. Reference Guide of Relational Data Format (RDF). 2006.
 - Open Street Map. <http://www.openstreetmap.org>. Ingresado en junio 2009.
 - Ortiz, Gabriel. Conversión de datum con el modelo de 7 parámetros Bursa-Wolf, <http://www.gabrielortiz.com/>. Ingresado en junio 2006.
 - Ortiz, Gabriel. El funcionamiento del GPS: un repaso a los principales componentes, tipos de receptores y métodos, <http://www.gabrielortiz.com/>. Ingresado en enero 2007.
 - Ortiz, Gabriel. Qué son los Sistemas de Información Geográfica. Tipos de SIG y modelos de datos. Un artículo introductorio para entender las bases de los SIG, <http://www.gabrielortiz.com/>. Ingresado en marzo 2007.
-

- PC Magazine. In-Car Navigation Systems: Finding Your Way Home for the Holidays. 12.16.05. <http://www.pcmag.com/article2/0,1895,1902236,00.asp>, Ingresado en diciembre 2005.
 - Polígonos de Thiessen. http://es.wikipedia.org/wiki/Poligonos_de_Thiessen. Ingresado en abril 2009.
 - Proceso llevado a cabo en un Sistema de Información Geográfica para la obtención de ejes de calles mediante el uso de polígonos de Thiessen. http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Voronoi_centerlines_skeleton.gif. Ingresado en abril 2009.
 - Reglamento a la Ley de Cartografía Nacional. Bases para la Elaboración de Mapas Geográficos y Cartas Topográficas.
 - Sobre Garmin. <http://www.garmin.com/garmin/cms/site/es/sobregarmin>, Ingresado en Octubre 2009.
 - Thomas, Christopher - Ospina, Milton. "Measuring Up. The Business Case for GIS", ESRI Press, 2004.
 - Urrutia, Javier. "Cartografía, Orientación y GPS", Editorial Etor-Ostoa, 2006.
-