

MODELAMIENTO VIAL DE LA ZONA URBANA DE PEREIRA POR MEDIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Proyecto de Grado

Ricardo José Arteta Romero – David Estrada Arboleda

Asesor: Ingeniero Jorge Iván Ríos Patiño

INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

PEREIRA, RISARALDA, COLOMBIA

Mayo de 2010

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Objetivo general.....	10
1.2 Objetivos específicos.....	10
1.3 Descripción de capítulos	11
2. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	12
2.1 Definición informal	12
2.2 Componentes de un SIG.....	14
2.2.1 Hardware	15
2.2.2 Software	15
2.2.3 Información	16
2.2.4 Personal	16
2.2.5 Métodos	17
2.3 Elementos básicos para el desarrollo de especializaciones en un SIG.....	17
2.3.1 Características de una capa base	19
2.3.2 Requerimientos para la implementación del proyecto.....	20
2.3.3 Prototipo a partir de capas realizadas por el equipo de desarrollo.....	21
2.4 Herramientas para el desarrollo del SIG	23
2.4.1 ArcView de ESRI.....	23
2.4.2 Sextante	25
2.5 Levantamiento de datos.....	28
2.6 Una alternativa de aplicación.....	28
3. TEORÍA DE ENTRADA DE DATOS ESPACIALES.....	30
3.1 Introducción.....	30
3.2 Digitalización manual y escaneado de mapas analógicos.....	31
3.2.1 Digitalización.....	31
3.2.2 Escaneado	33
3.3 Entrada de datos directa	35

3.3.1	Topografía y entrada manual de coordenadas.....	35
3.3.2	Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	35
3.4	Imágenes como fuente de datos e integración en el SIG	37
3.5	Transferencia de datos a partir de fuentes digitales existentes.....	41
3.6	Mapas	42
3.6.1	Escala del mapa.....	42
3.6.2	Proyecciones cartográficas	43
3.6.3	Grado de detalle del mapa	44
3.6.4	Precisión del mapa.....	44
3.6.5	Resolución del mapa	45
3.7	De la teoría a la práctica	46
4.	DESARROLLO DEL PROTOTIPO	48
4.1	Google Earth	48
4.2	Herramientas CAD.....	53
4.2.1	Herramienta CAD	54
4.2.2	Aplicabilidad y Uso.....	54
4.2.3	Funcionabilidad	55
4.2.4	Utilidad de la Herramienta.....	56
4.2.5	Particularidades.....	57
4.2.6	Base de datos.....	57
4.2.7	Datos necesarios.....	57
4.3	Inserción de datos base	58
4.4	Objetos Geográficos.....	63
4.4.1	Segmentos de Vía.....	63
4.4.2	Segmentos Especiales	64
4.4.3	Sentidos	65
4.4.4	Elementos Viales.....	66
4.4.5	Elementos de Trafico	67
4.4.6	Relación Vía Andén	68

4.4.7	Equivalencias del SIG.....	69
4.4.8	Entidades identificadas.....	77
4.4.9	Estructura de datos.....	81
4.5	Esquema General.....	82
4.5.1	Arquitectura Software.....	82
4.6	Diagrama General de Componentes.....	84
4.7	Utilización de Software SIG.....	85
4.7.1	Introducción.....	85
4.7.2	Datos que pueden utilizarse en <i>Arcview</i>	85
4.7.3	Utilizando la herramienta.....	87
4.7.4	Propiedades de los <i>Layers</i>	97
4.7.5	Unidades de Medida.....	98
4.7.6	Algebra de mapas.....	99
4.7.7	Visual Basic.....	103
4.7.8	Módulo Sistema de Información Geográfico.....	104
5.	ANÁLISIS SUPERFICIAL DEL IMPACTO EN EL TRÁFICO DEL TRANSPORTE MASIVO.....	113
6.	RESULTADOS.....	121
6.1	Calculo de Probabilidad de error.....	121
6.2	Búsqueda y Consulta en cada uno de los segmentos.....	122
6.3	Modificación de datos del SIG.....	124
6.4	Conclusiones de los resultados alcanzados.....	124
7.	CONCLUSIONES.....	125
8.	Sugerencias.....	127
8.1	Aplicaciones.....	128

1. GLOSARIO

AUTOMATIZADA: convertir a automatización, un procedimiento o una serie de funciones parametrizadas para desarrollar una tarea en específico.

CAPAS: es un conjunto de elementos que se diferencian por estar en un mismo plano. Ejemplo se tiene una capa de manzanas, una capa de segmentos, una capa de semáforos etc.

CATASTRO: censo o patrón estadístico de la estratificación urbano o rural de una ciudad. Ejemplo proceso de actualización de datos de la población definiendo estadísticas de crecimiento de la misma.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: par de magnitudes, latitud y longitud, que sirven para determinar la posición de un punto en la superficie de la Tierra.

DIGITALIZACIÓN: es el proceso de conversión de análogo a digital, ejemplo se convierte una hoja física en un archivo texto con registro digital.

GEOREFERENCIACIÓN: ubicación geográfica referente a un objeto u elemento en un sistema coordinado.

GIS: siglas en ingles que quieren decir (Geographic Information System). Significado en español SIG.

IMPLANTACIÓN: es el proceso de crear o actualizar un nuevo sistema, a partir de unos parámetros planteados.

MANZANA: unidad física del terreno integrada por uno o más solares, delimitada por calles, andadores, vías peatonales, brechas, veredas, cercas, arroyos, límites de parcelas, etc.

MONITORIZACIÓN: se refiere al monitoreo del flujo vehicular. Ejemplo un muestreo del SIG acerca de los focos críticos en la malla vial.

MUNICIPIO: es la organización Político-Administrativa que sirve de base a la división territorial y organización política de los estados miembros de la federación. Integran la organización tripartita del Estado Mexicano: Municipios, Estados y Federación.

PARCELA: Porción de terreno de extensión variable destinada a la agricultura, la cual se asigna a cada uno de los miembros de una ciudad para su explotación en forma individual o colectiva.

RASTER: es un método para el almacenamiento, procesamiento y muestra de datos espaciales. Cada área está dividida en filas y columnas, que forman una estructura de grilla. Cada celda debe ser de forma rectangular, no necesariamente cuadrados. Cada celda dentro de la matriz contiene coordenadas de localización, como también un valor de atributo.

SIG: siglas que quieren decir (Sistema de Información Geográfico), se considera la unión de la cartografía y registros de datos, haciendo posibles consultas y procesamiento de datos en un plano o mapa.

SIRIUS: grupo de investigación asociado a la Universidad Tecnológica de Pereira.

SIS: siglas que contienen (Sistemas de información de suelos), SIG diseñado especialmente para el estudio de los suelos.

TOPOGRAFÍA: es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra.

VECTORIZACIÓN: es el proceso de conversión de imágenes, de una forma análoga o digital, en un registro de parámetros. Con este proceso se puede alterar el tamaño de la imagen sin perder sus dimensiones en resolución de píxeles.

2. INTRODUCCIÓN

Pereira ha sido un municipio con una tasa de crecimiento urbanístico particularmente alta, lo cual impacta en la conformación de la malla vial, lo que convierte en todo un desafío de planeación, de la misma, para las autoridades encargadas.

En la búsqueda de una respuesta que simplifique esta problemática --y además sirviera para otras aplicaciones potenciales--, se diseña una extensión a Sistemas de Información Geográfica (SIG de ahora en adelante) existentes, que permitiera el rápido análisis de cambios potenciales en Pereira y potencialmente en cualquier municipio que así lo requiera. La extensión mencionada se refiere a la digitalización de los elementos que forman la malla vial, haciendo parte del SIG ya formado y estandarizado, esta digitalización, se denomina *vectorización*.

Este proyecto también es una aplicación de uno de los proyectos más grandes del laboratorio de investigación Sirius¹, que busca en su proyecto “Observatorio de movilidad vial” para la ciudad de Pereira, poder monitorizar, analizar y controlar el flujo vehicular del área urbana. Para la monitorización del tránsito, entre otras cosas, es necesario tener un SIG con las extensiones que provean una malla vial que sea fiel a la realidad. Este proyecto intenta exponer los procedimientos, modelos, herramientas y estándares necesarios para poder realizar dichas extensiones a un SIG hecho para el área urbana de Pereira.

2.1 Planteamiento del problema

El problema radica en organizar de una manera sistemática el tráfico vehicular de la ciudad de Pereira, el cual se adapte de una manera eficiente a todos y cada uno

¹ Grupo de investigación de la facultad de Ingenierías de la Universidad Tecnológica de Pereira.

de los eventos desarrollados en el urbanismo de la misma. Para lo cual es necesario utilizar herramientas que faciliten la toma de decisiones con respecto a la planeación desde un nuevo punto de vista con mayor exactitud.

En 1992 se utiliza por primera vez una herramienta de *georeferenciación* sistemática para entes públicos², la cual se convierte en una forma más eficiente en planeamiento territorial. Luego en 1996 entra a funcionar una red de sistemas de información geográfica³ en los municipios con mayor proyección de la nación.

Esta tecnología tiene costos demasiado elevados y los equipos de medición son escasos y costosos, el esfuerzo humano que se debe hacer para tomar mediciones muy exactas es un problema de presupuesto nacional.

En consecuencia, nace una necesidad de buscar alternativas diferentes de representación digital con sistemas de información geográfica, específicamente, acerca de los sentidos, giros viales y los elementos que afectan el flujo vehicular en Pereira; de una manera exacta y precisa a partir de las tecnologías ya proporcionadas. Esto representa una alternativa menos costosa para la implantación tecnológica, ya que la ciudad está en un amplio desarrollo urbano.

2.2 Justificación

Los sistemas de información geográfica combinados con una metodología computacional dan como resultado un medio de análisis y proyección con respecto a la organización territorial de nuestra región. Facilitando la libre movilidad por el espacio territorial y siendo proyecto base para el análisis, proyección y

² Reseña histórica, 1992 – INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI – IGAC. Contenido web: http://www.igac.gov.co:8080/igac_web/contenidos/plantilla_anclasDocs_cont_contDocs.jsp?idMenu=55

³ Reseña histórica, 1996 – INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI – IGAC. Contenido web: http://www.igac.gov.co:8080/igac_web/contenidos/plantilla_anclasDocs_cont_contDocs.jsp?idMenu=55

procesamiento de rutas alternativas para una mejor y más organizada movilidad vial.

2.2.1 Justificación Social

La alcaldía y la gobernación de Risaralda necesitan tener un sistema de modelamiento vial para ayudar a controlar de una manera más óptima y eficaz las rutas de tránsito y evitar los congestionamientos rutinarios causados por diferentes problemas en la actividad, por desconocimiento e incluso la existencia de las mismas, los cuales obstaculizan el óptimo desempeño vial en Pereira. En este momento no existe ningún modelamiento vectorial de un problema creciente que debe abordarse con decisiones estadísticas y programadas.

2.2.2 Justificación Económica

El proyecto impulsa y motiva desarrollo en las aéreas del transporte de cargas monitorizadas, acceso de organismos de seguridad, la movilidad y flujo vehicular, el transporte público municipal, el diseño y modelamiento de nuevas vías dentro del área municipal, aplicaciones en el desarrollo rural y turístico. Con un modelamiento vectorial básico se puede proyectar diferentes proyectos para el desarrollo económico de la región.

2.2.3 Justificación Técnica

El creciente aumento en velocidad de procesamiento de imágenes y el modelamiento de programas digitalmente, llevan a concluir un potente cambio en la estructura organizacional de análisis territorial, la alcaldía y la gobernación

requieren de un sistema más organizado e integrado en el cual se analicen los diferentes problemas por medio de herramientas tecnológicas más óptimas y minimizando el tiempo de análisis con una exactitud mucho mayor.

Los procedimientos, modelos, herramientas y estándares que se exponen en este proyecto responden a un objetivo general, desglosado en una serie de objetivos específicos a continuación expresados:

2.3 Objetivo general

Analizar, diseñar y modelar todos los elementos tales como los sentidos, giros y curvaturas viales, que se dan en una malla vial; como también los elementos⁴ que impactan directamente en el control del tráfico vehicular, en la zona urbana de Pereira.

2.4 Objetivos específicos

- Estudio de las diferentes plataformas tecnológicas necesarias para el desarrollo del modelamiento.
- Investigar las diferentes tecnologías para el muestreo de datos.
- Analizar los diferentes factores necesarios para realizar el levantamiento cartográfico.
- Recopilar la información y los diferentes cambios generados en las rutas y sentidos provocados por el sistema de transporte masivo.
- Diseñar y modelar un sistema vectorial de las vías y de los elementos involucrados en modelo vial, a partir de recopilación de información.
- Generar la red que modele finalmente la malla vial en la ciudad de Pereira.

⁴ Elementos se refiere a elementos geográficos que conforman la malla vial, un ejemplo son los semáforos.

2.5 Descripción de capítulos

Los capítulos de este documento están dispuestos de manera, que cada uno de ellos lleve el orden de los objetivos específicos y así se pueda llevar una traza de la congruencia del contenido de los mismos; documentando de una forma clara el desarrollo del proyecto y abriendo puertas para posibles aplicaciones futuras.

El primer capítulo de este documento, está dedicado a la descripción de las plataformas teórico-prácticas, planteamientos y proposiciones que se hacen para el adecuado desarrollo del proyecto.

El capítulo siguiente, se presentan las herramientas necesarias para la implantación potencial del proyecto.

El tercer capítulo está dedicado a la exposición del diseño del sistema, y procedimientos a seguir para el desarrollo de un prototipo que refleje de manera adecuada el sistema en condiciones reales.

En el cuarto capítulo se presenta un análisis superficial de la problemática emergente a causa del transporte masivo en el área metropolitana de la ciudad de Pereira y un potencial mejoramiento de estas dificultades de movilidad con la ayuda de la herramienta propuesta en este proyecto.

En el capítulo final se describe de forma clara, las metodologías utilizadas para llegar a un desarrollo y realizar pruebas sobre un prototipo de SIG, dando una idea acerca de lo necesario para complementar un esquema completo de un proyecto integral de movilidad vial.

Finalmente, se realiza un resumen concluyente del proyecto, que muestra cuánto tiempo y qué recursos se requerirían para la implantación del proyecto.

3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

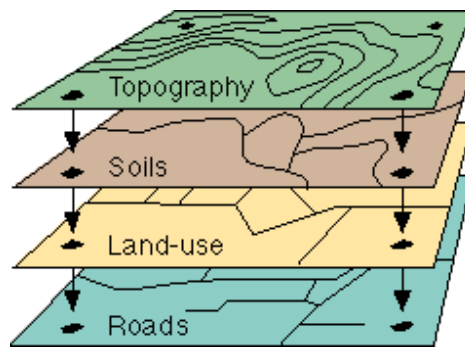
3.1 Definición informal

Para el desarrollo de un modelo adecuado de vías, giros, sentidos y otros elementos involucrados en malla vial de Pereira, es necesario utilizar un Sistema de Información Geográfica (SIG) y para lograrlo será necesaria una serie de elementos básicos para poder enfocarse en el desarrollo de un modelo específico. Inicialmente se debe conocer algunas bases de lo que es un SIG, y porqué fue escogido para hacer el modelo⁵.

Conceptualmente, un SIG puede ser visto como un conjunto de capas de mapas apilados, donde cada una de ellas es alineada o registrada para las otras capas. Usualmente, cada capa contiene un tema geográfico único. Estos temas pueden incluir, por ejemplo, topografía, suelos, uso de suelos, información catastral; o datos sobre infraestructura como: caminos, tuberías, líneas eléctricas, o redes de desagüe. La figura 1 muestra cómo un SIG comparte la información de varias capas, estas capas pueden ser combinadas según las especificaciones del usuario. En ocasiones, el SIG puede ser definido por el tipo de sistema que está diseñado a administrar; por ejemplo, el término “Sistema de Información de Suelos” o “SIS” es aplicado muchas veces a los SIG utilizados en municipios y ciudades para el manejo de la información de suelos y parcelas.

⁵ Visita hecha el 21/sep/2009: <http://www.extension.umn.edu/distribution/naturalresources/DD5926.html>
The Basics of Geographic Information Systems - Lloyd P. Queen and Charles R. Blinn [Traducción de un extracto de la introducción]

Figura 1. Un modelo conceptual de un SIG⁶ que provee una forma muy útil de visualizar un SIG como un conjunto de capas de mapas o temas, que juntos conforman un mapa común o una base geográfica.



Una de las operaciones más simples de un SIG, es proveer una versión automatizada de análisis de mapas de forma tradicional. Superponer mapas seguramente es la función más común de los SIG, esta función ha sido llevada a cabo manualmente por mucho tiempo o utilizando lentes con mapas dibujados sobre una mesa iluminada, o vía técnicas fotográficas. Sin embargo, en los SIG, el número de capas que pueden ser coleccionadas y almacenadas es, teóricamente infinito; el usuario puede recuperar, superponer, manipular y analizar cualquier número o combinación de capas; consecuentemente, el usuario puede tener acceso al resultado del análisis sobre una pantalla de computador o una copia en papel producida por el SIG, o resumir los resultados en forma tabular. No importa qué tan complejo sea el objetivo del usuario, un SIG es utilizado para acceder a una base de datos integrada con datos geográficamente representados en mapas que pueden ser superpuestos, combinados y analizados según los requerimientos del usuario.

⁶ Descargado de <http://www.extension.umn.edu/distribution/naturalresources/DD5926.html>

3.2 Componentes de un SIG⁷

Un SIG, no solamente se reduce a una serie de herramientas, encierra todo un entorno de estándares, procedimientos, equipos y personal, que a continuación son brevemente descritos e ilustrados en la figura 2:

- Hardware
- Software
- Información
- Personal
- Métodos

Figura 2. Esquema de componentes básicos de un Sistema de Información Geográfica.



⁷ Los Sistemas de Información Geográfica – SIG - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt –
<http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpage=70001>

3.2.1 Hardware

Los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadores desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red. Una organización que debe desarrollar una aplicación en específico requiere de hardware especializado para cumplir con los objetivos de la misma.

3.2.2 Software

Para almacenar, analizar y mostrar la información geográfica, el software SIG se estructura de la siguiente manera:

- Sistema de manejo de base de datos.
- Una interface gráfica de usuarios (IGU) para el fácil acceso a las herramientas.
- Herramientas para captura y manejo de información geográfica.
- Herramientas para soporte de consultas, análisis y visualización de datos geográficos.

Actualmente la mayoría de los proveedores de software SIG distribuyen productos fáciles de usar y pueden reconocer información geográfica estructurada en muchos formatos distintos. A lo anterior hay que acotar que existen organizaciones públicas y privadas que distribuyen software SIG libre.

El software de un SIG trabaja sobre datos geográficos digitalizados, por lo que cobra una importancia vital el tener en cuenta cómo estos datos van a ser recolectados.

3.2.3 Información

El componente más importante para un SIG es la información. Se requieren de buenos datos de soporte para que el SIG pueda resolver los problemas y contestar a preguntas de la forma más acertada posible.

La consecución de buenos datos generalmente absorbe entre un 60 y 80% del presupuesto de implementación del SIG⁸, y la recolección de los datos es un proceso largo que frecuentemente demora el desarrollo de productos que son de utilidad. La información producida solo tiene el valor de los datos introducidos previamente. Una información incorrecta o insuficiente introducida en el SIG produciría respuestas incorrectas o insuficientes, por muy perfeccionada o adaptada al usuario que pueda ser la tecnología. Los datos geográficos y alfanuméricos pueden obtenerse por recursos propios u obtenerse a través de proveedores de datos. Mantener organizar y manejar los datos debe ser política de la organización.

3.2.4 Personal

Las tecnologías SIG se limitan sin los especialistas en manejar el sistema. Sin el personal experto, los datos probablemente se manejan de manera errónea y en consecuencia la información pierde vigencia; además el hardware y el software no se manipula en todo su potencial.

Cuando se define un SIG se tiende a limitar a equipos y programas como el sistema completo, relegando tal vez el elemento más primordial: El talento humano que hace funcionar eficazmente todo el sistema.

⁴ <http://www.gao.gov/new.items/d03874t.pdf>
Center for Technology in Government, Sharing the Costs, Sharing the Benefits: The New York State GIS Cooperative Project (2001).

3.2.5 Métodos

Para que un SIG tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y reglas de actividad definidas, que son los modelos y practicas operativas exclusivas en cada organización.

La recolección de información y la introducción de la misma en el sistema, requiere de una gran calidad de diseño y trabajo, una capacitación intensiva y un control frecuente para vigilar la calidad. En otras palabras, además de contar con equipos y programas adecuados para realizar el trabajo, la utilización eficaz del SIG requiere contar con personal suficientemente capacitado, así como con servicios de planificación, organización y supervisión, que permitan mantener la calidad de los datos y la integridad de los productos finales.

3.3 Elementos básicos para el desarrollo de especializaciones en un SIG

Todo Sistema de Información Geográfico especializado requiere de ciertos elementos base que hacen que, el desarrollo de la extensión (capas adicionales de elementos geo referenciados que representan la especialización) sea mucho más rápido y enfocado; ya que no es necesario hacer un estudio preliminar de manejo de sistemas de geo localización (procedimientos, arquitecturas, requerimientos de hardware, etc.). Esto no debe ser confundido con la necesidad de estudiar de qué herramientas utilizar para el levantamiento de los datos para las nuevas capas.

La cartografía básica (capas base) cambian dependiendo del requerimiento del enfoque o temática que se le quiera dar al SIG. En el caso de un SIG que modele las vías, giros, sentidos y otros elementos relacionados con el tráfico, es necesario tener como capas bases, las distribuciones urbanas: manzanas y sus casos especiales, como los conjuntos cerrados.

Para la implantación de un proyecto con especializaciones temáticas, este se debe basar en capas del SIG estandarizadas y debidamente geo referenciadas, por lo que surge la necesidad de obtener capas que entidades que desarrollan constantemente los datos sistematizados en un SIG; ya que, estas capas han sido formadas a partir de trabajos desarrollados, maduros y con frutos visibles, como por ejemplo el que se ha venido desarrollando en la ciudad de Pereira a través del planeamiento de sus sectores, a partir de la información mostrada en el sistema; por lo tanto el elemento inicial para el desarrollo de este proyecto, es la plataforma cartográfica provista por entidades competentes⁹ que hayan trabajado los elementos necesarios (como las manzanas del área urbana) de manera profesional, cualificada y de alta exactitud.

El segundo elemento necesario para el buen funcionamiento del sistema, es la plataforma de software y hardware, que más adelante, y en este capítulo serán mencionadas, estudiadas, analizadas y posteriormente calificadas.

Por último, pero no menos importante, es el estudio, análisis, diseño e implementación de cada uno de los escenarios, elementos y situaciones que darán como resultado la implantación de las capas temáticas del SIG.

⁹ Las entidades competentes en Pereira son aquellas que requieran una *georeferenciación* de su campo de trabajo, como en redes eléctricas, acueductos, estratificación social.

3.3.1 Características de una capa base

Una capa base óptima debe responder a un sistema geodésico¹⁰ completamente conformado y que refleje de manera exacta el territorio el cual se va a trabajar; en el caso de este proyecto, Pereira. El siguiente cuadro muestra las coordenadas básicas de la geodesia en Pereira:

Figura 3. Descargado de: http://www.pereira.gov.co/docs/centro_doc/sigper/geodesica.xls

COD.	NOMBRE	COORDENADAS GEOGRAFICAS						COORDENADAS PLANAS		ALTURA
		LATITUD			LONGITUD			CARTESIANAS ORIGEN		
		Grad.	Min.	Seg.	Grad.	Min.	Seg.	NORTE	ESTE	
129	AZA - PUNTO ORIGEN	4	51	2,553	75	43	4,122	27988,10	51229,42	2103,26
1301	CERRITOS A	4	48	5,664	75	50	47,833	22553,10	36936,10	1257,01
1303	LA MARIA	4	49	41,289	75	44	45,222	25489,39	48112,48	1493,88
1304	FILO BONITO	4	46	19,874	75	43	23,194	19301,11	50640,34	1545,24
1305	YAGARTA	4	50	48,390	75	40	50,15	27550,78	55357,37	1468,58
1306	BOQUERON	4	51	39,201	75	38	31,142	29112,08	59641,39	1758,36
1307	TELECOM	4	48	17,722	75	40	36,069	29921,76	55791,48	1622,55
1309	SABANITAS	4	50	31,075	75	38	48,298	27019,00	59112,79	1736,37
1310	BANCOMERCIO	4	48	58,882	75	41	50,387	24186,33	53500,92	1475,95
1311	MUSICANDO	4	50	46,869	75	43	14,555	27504,08	50906,91	1975,87
1312	EL CHOCHO	4	46	52,431	75	39	26,651	20301,46	57931,17	1874,67
1313	MANGAS	4	47	15,688	75	38	25,205	21016,12	59825,02	1747,38
1315	CRUZ DE GUAIMAL	4	53	16,093	75	39	45,591	32088,78	57346,81	-

La figura 3 es extraída del Sistema de Información Geográfica SIGPER que las entidades públicas poseen para su trabajo en planeamiento, mantenimiento y administración de elementos como: acueductos, alcantarillado, catastro, zonas de riesgo; capas como estas, son óptimas para el diseño e implementación de las capas temáticas que con este proyecto se desarrollen.

¹⁰ “Por definición, la Geodesia, es la ciencia que se encarga del estudio del tamaño y la forma de la tierra; la Geodesia incluye la determinación de las metodologías que permiten realizar una más aproximada medición del territorio. Para esto, se requieren fundamentos matemáticos, físicos, geofísicos, y de muchos otros órdenes, que dan cabida a un sinnúmero de posibilidades investigativas.”

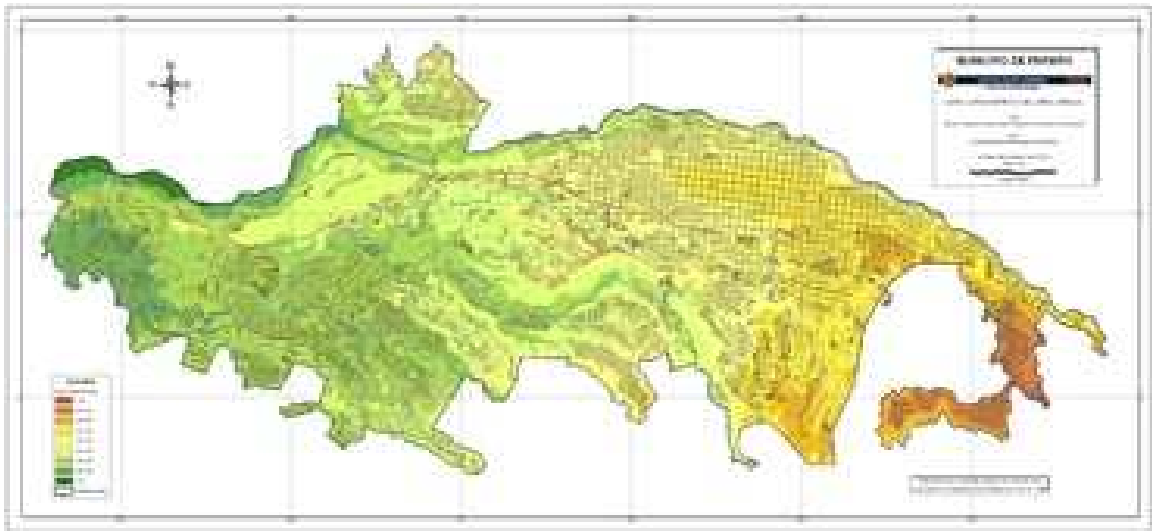
Definición provista por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi

http://www.igac.gov.co:8080/igac_web/contenidos/plantilla_anclasDocs_cont_contDocs.jsp?idMenu=320

En la figura 4 se muestra las elevaciones de terreno de la ciudad de Pereira, las manzanas (espacios urbanos), y la red fluvial de la ciudad.

Figura 4. Descargado de:

http://www.pereira.gov.co/portal/page?_pageid=33,175150&_dad=portal&_schema=PORTAL



La figura 4 se encuentra a escala 1:10000 (significa que cada 10Km reales, hay 1m en el mapa), llamado “Mapa Hipsométrico de elevaciones del área urbana”.

3.3.2 Requerimientos para la implementación del proyecto

Inicialmente, se tienen dos alternativas para la implementación de las capas concernientes a este proyecto, y por eso es necesario realizar un análisis sobre las funcionalidades que las dos herramientas ofrecen; por lo que nos enfocaremos en las necesidades primordiales para la implementación de las capas, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Es necesario contar con un sistema de información geográfica que provea las bases necesarias (como un sistema coordinado consistente con la realidad), para la implementación de las nuevas capas.
- Se requiere que la interfaz de la herramienta SIG sea lo suficientemente intuitiva y fácil de utilizar, para que la concentración de los desarrolladores se dirija hacia el diseño de las capas más que en la utilización de la herramienta.
- Es importante que el software SIG que se va a utilizar, administre las capas de manera estándar, para que su diseño sea completamente exportable a otros sistemas de información desarrollados afines o en situaciones futuras.
- Se debe tener en cuenta que las capas pueden tener muchas aplicaciones, por lo que se debe diseñar las capas completamente escalables y propicias a optimización para aplicaciones específicas.
- Es completamente primordial que la herramienta escogida por los desarrolladores permita cumplir con los objetivos específicos en el proyecto, como el desarrollo de una red (o malla) vial en el territorio objetivo, Pereira.
- Para la recolección de información que irá atribuida a cada capa, es necesario que sea recopilada por profesionales en el área de *georeferenciación*, con mecanismos especializados en este tipo de levantamiento de datos.

3.3.3 Prototipo a partir de capas realizadas por el equipo de desarrollo

El software especializado en mallas viales desarrollado hasta ahora, tiene muchas herramientas y funcionalidades para el análisis de optimización de rutas, cálculo de proximidad, entre otras; el principal obstáculo para su acceso es su elevado costo de adquisición, por lo que surge la necesidad de observar otras posibilidades de análisis vial con la ayuda de programas computacionales. Al

diseñar la estructura del proyecto se planteó una solución alternativa para el desarrollo del prototipo, la cual fue generar una cartografía base, por lo tanto, se buscó una forma alternativa de crear una la misma pero reduciendo los costos considerablemente y contemplando una precisión menor en los elementos *georeferenciados*.

En realidad el uso de la cartografía base es complejo al momento de iniciar el desarrollo de un proyecto innovador que puede tener alcance e impacto social ya que, se pueden resolver problemas relacionados con el flujo de tráfico de automóviles y trazado de rutas. Por lo cual, se parte de una cartografía base, que será por supuesto, la fundación para los datos que son relevantes para la malla vial *georeferenciada*.

3.4 Herramientas para el desarrollo del SIG

A continuación se esbozan algunas características de plataformas de administración y desarrollo de SIG candidatas a ser utilizadas y que posteriormente se usaran para determinar cuál es la más adecuada para este proyecto:

3.4.1 ArcView de ESRI¹¹

Arcview, es la herramienta que tiene el rango más grande de funcionalidades disponible por cualquier software SIG de escritorio. Construido con una interfaz basada en Windows, el software Arcview es simple, fácil de usar e incluye una ayuda en línea excepcional y una extensa documentación. Arcview puede ser usado recién desde su instalación inicial, pero también puede ser personalizado por desarrolladores de SIG utilizando lenguajes de programación como Visual Basic y Python, que son estándares de la industria.

Arcview provee un conjunto de capacidades de presentación de mapas muy amplio. Estas capacidades permiten a los usuarios construir mapas de buena calidad en muchos estilos diferentes, desde los mapas base hasta las clasificaciones temáticas. En adición, algunas fuentes de datos tienen más capacidades de presentación de mapas (como *rasters*¹² y *TIN*¹³s [Triangulated irregular Networks]). Arcview permite que todos los datos se integren utilizando

¹¹ <http://www.esri.com/about-esri/index.html> Corporación desarrolladora de software SIG.

¹² Raster es un método para el almacenamiento, procesamiento y muestra de datos espaciales. Cada área está dividida en filas y columnas, que forman una estructura de grilla. Cada celda debe ser de forma rectangular, no necesariamente cuadrados. Cada celda dentro de la matriz contiene coordenadas de localización, como también un valor de atributo.

¹³ Una red irregular triangulada (TIN por sus siglas en inglés) es una estructura de datos digital utilizada en SIG para la representación de superficies. Una TIN es una representación basada en vectores de la superficie terrestre o del fondo del mar, hecho de nodos y líneas irregulares y distribuidas con coordenadas de tres dimensiones (x y z) que son ordenadas en una red de triángulos que no se superponen.

una funcionalidad de proyecciones en caliente, que soporta reproyección de datos (de ambos, vector y *raster*) sin crear nuevos datos o alterando los datos existentes.

Plantillas de páginas e impresión de Arcview incluye una vista pagino-céntrica que permite ver a los datos tal y como estaría en la página impresa. Da la capacidad de trabajar con mapas que contienen vistas de datos geográficos como también los elementos propios de mapas, como barras de escala, leyendas, flechas de norte, bordes, líneas de paralelos y meridianos, títulos de mapas, descripciones, y mapas de referencia.

Arcview hace fácil la integración de todos los tipos de datos para visualización, mapeo, consultas y análisis. Un número de herramientas también están incluidas para administrar, crear y organizar datos geográficos, datos tabulares y meta-datos.

Además provee muchas opciones y facilidades de uso para captura y edición de datos. Utilizada para todos los aspectos del ciclo de vida de un proyecto de SIG (captura y mantenimiento de datos, integración, análisis, mapeo y visualización).

También incluye un conjunto de herramientas de análisis de mapas y procedimientos que ayudan a analizar información geográfica, incluyendo evaluación de capacidad e idoneidad, estimar y predecir; interpretar y entender información espacial.

Provee herramientas para llevar a cabo análisis de atributos y análisis espacial, que a su vez contienen otras basadas en valores de atributos y localización como también herramientas de superposición básica para calcular relaciones entre varios conjuntos de datos.

Los usuarios pueden personalizar la interfaz fácilmente, bloqueando barras de herramientas o agregando y removiendo botones y elementos del menú. De

manera alternativa, dentro de la plataforma se incluye Visual Basic para Aplicaciones (VBA), para lograr capacidades personalizadas de *scripting*. Finalmente, los desarrolladores pueden utilizar cualquier lenguaje de desarrollo estándar, como C++, .NET, o VB, para crear herramientas personalizadas y nuevas funcionalidades.

3.4.2 Sextante

SEXTANTE (*Sistema EXTremeño de ANálisis TErritorial*) es un proyecto desarrollado para la Junta de Extremadura por la Universidad de Extremadura en España, a través de la Titulación de Ingeniería Técnica Forestal del Centro Universitario de Plasencia, en el mismo país. El objetivo de SEXTANTE es desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) especialmente adaptado para el análisis de datos geográficos, con especial énfasis en las actividades de gestión del medio y disciplinas afines.

Este desarrollo no se lleva a cabo desde cero, sino apoyándose sobre software ya existente e implementando en el mismo, las capacidades requeridas. Originalmente, SEXTANTE tuvo como base el SIG SAGA¹⁴, para el cual se desarrollaron un amplio número de extensiones y modificaciones en su núcleo. Actualmente, gvSIG¹⁵ ha sustituido a SAGA como software base, principalmente por conformar una estructura de apoyo más sólida y con un mayor potencial de futuro.

¹⁴ SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses (Sistema para análisis *geocientífico* automatizado) – Desarrollado por un pequeño grupo de investigadores del ahora instituto de Geografía, de Göttingen, Alemania, el proyecto es mantenido por el instituto Geográfico de Hamburgo, Alemania.

¹⁵ gvSIG es una herramienta orientada al manejo de información geográfica. Se caracteriza por una interfaz amigable, siendo capaz de acceder a los formatos más usuales de forma ágil tanto *raster* como vectoriales. Integra en una vista datos tanto locales como remotos a través de un origen WMS, WCS o WFS.

Un artículo muy acertado acerca de las características de SEXTANTE, se hace en es.wikipedia.org¹⁶:

SEXTANTE se distribuye bajo la licencia GPL¹⁷ cumpliendo con los cuatro principios necesarios para clasificarlo como software libre.

Algunas de sus utilidades son:

- Análisis de patrones.
- Análisis hidrológico básico.
- Costes, distancias y rutas.
- Estadísticas de celda para múltiples capas *raster*.
- Estadísticas por vecindad para una capa *raster*.
- *Geoestadística*.
- *Geomorfometría* y análisis del relieve.
- Herramientas básicas para capas *raster*.
- Herramientas de análisis para capas *raster*.
- Herramientas de cálculo para capas *raster*.
- Herramientas para capas de líneas.
- Herramientas para capas de puntos.
- Herramientas para capas de polígonos.
- Herramientas para capas *raster* categóricas.
- Herramientas para capas discretas e información categórica.
- Herramientas para capas vectoriales.
- Herramientas para crear nuevas capas *raster*.
- Herramientas para tablas.
- Iluminación y visibilidad.

¹⁶ Sitio visitado 13 de noviembre de 2008: [http://es.wikipedia.org/wiki/SEXTANTE_\(SIG\)](http://es.wikipedia.org/wiki/SEXTANTE_(SIG))

¹⁷ Generic Public License

- Localización óptima de elementos.
- Lógica difusa.
- Métodos estadísticos.
- Perfiles.
- Rasterización e interpolación.
- Tratamiento y análisis de imágenes.
- Conversión a gráficos vectoriales.
- Zonas de influencia (buffers).
- Índices de vegetación.
- Índices y otros parámetros hidrológicos.

SEXTANTE además cuenta con una línea de comandos, un gestor de procesado por lotes, un generador de modelos y un historial de comandos realizados por el usuario con el fin de facilitar la reiteración de procesos.

A pesar que SEXTANTE tiene una gran compatibilidad, y muchos módulos muy interesantes, una de sus grandes desventajas, es la imposibilidad de una fácil conexión con base de datos especializada para datos geográficos, lo que la hace, como sus desarrolladores mismos dicen¹⁸: muy “fichero-céntrica”, esto en últimas presenta una grave imposibilidad a la hora de hacer complejas consultas a gran velocidad, además de otras muchas ventajas que presenta una base de datos frente a una serie de archivos relativamente independientes.

¹⁸ Publicación “Más allá de los ficheros”: <http://sextantegis.blogspot.com/2008/11/ms-all-de-los-ficheros.html>

3.5 Levantamiento de datos

Un gran desafío que hay que sortear es cómo se deben alimentar los datos que representan la geografía que se está tratando, en este caso, la infraestructura vial del área urbana de Pereira, para lo que se requiere un estudio de herramientas que permitan la *georeferenciación* directa de los elementos, o herramientas electrónicas que le permita a los profesionales en el campo del mapeo geográfico lograr alimentación de datos en el SIG de manera indirecta.

La alimentación de datos al SIG se puede resumir en los siguientes métodos, que más adelante en este documento serán presentados con más detalle:

- Digitalización de mapas analógicos.
- Entrada de datos directamente a través de herramientas electrónicas.
- Imágenes de satélite o aéreas.

Después de estudiarlas, se tomará una decisión acerca de qué herramientas se deben utilizar para la alimentación de la base de datos en el prototipo y en la implementación final.

3.6 Una alternativa de aplicación

No hay que perder de vista que uno de los incentivos más grandes de este proyecto, el cual es la posibilidad de analizar dinámicamente y de manera rápida los impactos que tienen los elementos que alteran el flujo de tráfico urbano de la ciudad de Pereira, para planear mejores alternativas de movilidad con los elementos que se disponen en el momento sin mayores costos para el municipio, por lo que las capas que se desarrollarán en el proyecto deben tener la capacidad de almacenar atributos dicentes sobre los impactos de cada elemento sobre el

tráfico, de esta manera, el análisis de los diferentes fenómenos de tráfico serán mucho más eficaces y eficientes.

Una de las aplicaciones que se pueden visualizar, es la del análisis en tiempo real del movimiento del tráfico vehicular a través de la malla vial urbana de Pereira. Con un sistema de información geográfica con las capas adecuadas, y modificaciones suficientes a las herramientas de visualización al usuario, se podría tener un análisis y reacción inmediatos a los diferentes fenómenos que se puedan dar en el tráfico vehicular de la ciudad.

Tener aplicaciones en tiempo real, implica gran capacidad de procesamiento y si hay conexiones con bases de datos, es crítico tener accesos cortos y completamente optimizados, para que el tiempo mayor sea consumido por los cálculos realizados en las operaciones de tiempo real, por lo que una base de datos para SIG debería estar afinada para enfrentar esta clase de carga de peticiones, y por supuesto, tener un diseño de tablas pensado para el alto rendimiento, hace que las consultas o modificaciones al repositorio de base de datos, tome el tiempo mínimo que se pueda tomar; en conclusión, cuando se requiere ahorrar en tiempo de ejecución de conexión a una base de datos, se debe diseñar una arquitectura que lo permita.

4. TEORÍA DE ENTRADA DE DATOS ESPACIALES

La teoría para hacer el levantamiento de los datos es realmente extensa, después de una serie de investigaciones, el documento *Spatial Data Entry Theory*¹⁹, reúne muchos de las teorías que se pueden aplicar en el desarrollo del prototipo y la implantación del proyecto, dependiendo del escenario que se establezca.

4.1 Introducción

La entrada de datos es la operación por la que la información se codifica para su incorporación en la base de datos. Un aspecto muy importante de los SIG es la creación de bases de datos de calidad, es decir, con exactitud y precisión.

La recogida de datos, y el mantenimiento de las bases de datos, constituyen las fases más costosas y que más tiempo consumen a la hora de construir un buen SIG. Normalmente suponen el 60-80% del coste total del proyecto SIG.

De acuerdo al principio de mantener la mayor cantidad de información posible, lo ideal es construir la base de datos con datos de precisiones equivalentes a los mapas de escala grande. Esto, sin embargo, no siempre es lo más práctico:

- Los datos podrían no estar disponibles a escala muy grande.
- Podría ser demasiado costoso o consumir demasiado tiempo digitalizar a partir de esa escala.
- Pe podría no haber pensado en una aplicación que precisara tanta exactitud; por esto a veces se deben tomar decisiones intermedias.

¹⁹ El texto de este capítulo está basado en el documento.

<http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/EntradaDatosGeograficos/SDEModule/SDETheory.doc>

4.2 Digitalización manual y escaneado de mapas analógicos

La entrada de datos a partir de mapas analógicos implica la conversión de los objetos relevantes en el mapa a valores de coordenadas.

4.2.1 Digitalización

La digitalización es la transformación de la información desde un formato analógico, como un mapa en papel, a formato digital, de forma que pueda ser almacenada y visualizada en un ordenador. La digitalización puede ser manual, semiautomática (se graba automáticamente mientras se hace un seguimiento manual de las líneas), o totalmente automática (seguimiento de línea).

La digitalización manual implica la presencia de un operador que trabaje con un tablero digitalizador (o tableta) o con una pantalla de ordenador. La tableta digitalizadora tiene en su interior una red de hilos metálicos que funcionan a modo de sistema de coordenadas cartesiano. Las coordenadas pueden ser planas o geográficas. El procedimiento implica traducir las entidades del mapa a puntos, líneas o polígonos con el ratón (cursor), que transmite las coordenadas de cada punto para ser guardadas en el ordenador. La tableta y el cursor funcionan conjuntamente con el ordenador para localizar las posiciones relativas del ratón respecto a la información de referencia proporcionada por el operador (McGowan, 1998). Hay dos formas de digitalización: en **modo discontinuo** (*point mode*) y en **modo continuo** (*stream mode*²⁰) (ver Figuras 5 y 6. La resolución de las coordenadas depende del modo elegido para digitalizar:

En el **modo discontinuo** (manual) el operador de digitalización selecciona y codifica de forma específica aquellos puntos que considera “críticos” para

²⁰ *Stream mode* y *point mode* son mencionados, porque de esta manera se encontrará llamado el procedimiento en muchos software SIG.

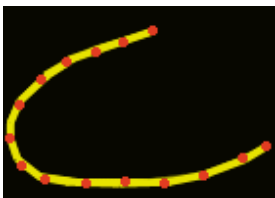
representar la geomorfología de la línea o pares de coordenadas significativas. Esto implica un conocimiento previo sobre qué tipo de representación de las líneas necesitaremos.

En el **modo continuo** (semiautomático) el dispositivo de digitalización selecciona de forma automática los puntos en función de un parámetro de distancia, tiempo o de sinuosidad de la línea, lo cual genera en ocasiones un gran número de pares de coordenadas innecesarias.

Figura 5 Modo de digitalización discontinuo



Figura 6 Modo de digitalización continuo



La digitalización en pantalla (digitalización automática), es un proceso interactivo por el que se genera un mapa a partir de información escaneada previamente. A este método de *geocodificación* se le conoce como “cabeza arriba” porque el operador centra su atención sobre la pantalla, no sobre la tableta digitalizadora. Esta técnica se podría usar para trazar entidades a partir de un mapa escaneado o de una imagen, con el fin de crear nuevas capas o temas. La digitalización en pantalla se podría usar también en una sesión de edición porque, es tanta la información que hay en la pantalla, que se pueden añadir nuevas entidades sin necesidad de tener una imagen o un mapa de referencia.

El procedimiento de digitalizar en pantalla es similar a la digitalización convencional. En vez de utilizar una tableta digitalizadora y un cursor, el operador crea la nueva capa directamente sobre la pantalla utilizando el ratón, generalmente utilizando información referenciada como fondo.

Siempre se necesita transformar las coordenadas desde el sistema de digitalización a un sistema de coordenadas del mundo real (p.e.: mapa nacional en UTM).

La introducción de errores en la digitalización es inevitable (líneas que no cierran -undershoots-, líneas que sobrepasan el punto de unión -overshoots-, formación de polígonos ficticios, etc).

La etapa de edición de las entidades ya digitalizadas implica entre otros corregir errores, introducir datos que faltan, o crear topología.

4.2.2 Escaneado

Otra posibilidad es utilizar un escáner para convertir un mapa analógico en un formato legible automáticamente por el ordenador. Un método de escaneado consiste en ir grabando datos a lo largo de estrechas bandas sobre la superficie del documento, generando un archivo *raster*. Otros escáneres pueden escanear líneas realizando su seguimiento directamente.

Con frecuencia los mapas se escanean para:

- Utilizar los datos de la imagen digital como fondo de pantalla para otros datos (vectoriales).
- Convertir los datos escaneados en datos vectoriales para poder utilizarlos en un SIG vectorial.

El escaneado requiere que el mapa físico fuente sea de buena calidad cartográfica (claramente legible), con líneas, textos y símbolos claramente definidos; que esté limpio y tenga líneas de 0.1 mm de grosor o más.

El escaneado comprende dos operaciones:

- Escaneado, que genera una retícula regular de píxeles en una escala de grises (generalmente en un rango de valores de 0 a 255).
- Codificación binaria – para separar las líneas del fondo utilizando técnicas de reconocimiento automático.

La edición posterior de los datos escaneados puede incluir: reconocimiento de formas y símbolos; adelgazamiento de líneas y *vectorización*, corrección de errores, incorporación de datos perdidos, y generación de topología.

4.3 Entrada de datos directa

4.3.1 Topografía y entrada manual de coordenadas

- En topografía se utilizan mediciones de ángulos y distancias a puntos conocidos para determinar la posición de otros puntos.
- Los datos de campo topográficos se guardan casi siempre como coordenadas polares²¹ y se transforman después a coordenadas rectangulares.

4.3.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un conjunto de hardware y software diseñados para determinar localizaciones precisas sobre la superficie terrestre utilizando señales satelitales. Los datos de posicionamiento y los atributos asociados pueden ser posteriormente transferidos a un mapa en un Sistema de Información Geográfica (SIG). El GPS recoge puntos individuales, líneas y superficies combinados de cualquier manera que son necesarios en un proyecto cartográfico o de SIG. Mucho más importante, es que con un GPS se pueden crear complejos diccionarios de datos con el fin de recoger información de mayor precisión. Esto hace que el GPS sea una herramienta muy eficaz para tomar de forma simultánea datos espaciales y atributos temáticos para su uso en el SIG. El GPS es también una herramienta para registrar puntos de control a la hora de *georeferenciar* un mapa base cuando no se dispone de éstos.

El GPS trabaja midiendo las distancias desde múltiples satélites que están orbitando alrededor de la Tierra para registrar las coordenadas x, y, z de la posición de un receptor GPS.

²¹ Las coordenadas polares se componen de: una distancia medida y un ángulo medido en el sentido de las agujas del reloj desde el Norte.

4.3.2.1 Utilidades del GPS

El GPS se puede utilizar en la *georeferenciación*, el posicionamiento, la navegación, y en el control del tiempo y la frecuencia. El uso del GPS se está extendiendo como fuente de datos en los SIG, sobre todo para ubicar de forma precisa los datos geográficos y recoger series de datos en campo.

4.3.2.2 El sistema

El hardware está formado por tres elementos: la antena, el receptor, y el *datalogger*, conocido a veces como recolector de datos.

El *datalogger* es un ordenador portátil dotado de un software que coordina y almacena el conjunto de señales recibidas, manipula los archivos, y los transfiere a otro ordenador. Algunos sistemas pueden combinar algunos de estos elementos en un único componente de hardware.

El software, que generalmente reside en el ordenador, tiene cuatro funciones principales: planeación previa, corrección post-procesado de los datos de los satélites en bruto recibidos, visualización/edición de los datos, y conversión/exportación de los datos. La planeación previa incluye el análisis de la disponibilidad de satélites en un lugar y momento concreto, y la preparación de los diccionarios de datos en un trabajo concreto. La corrección implica la utilización del archivo procedente de una estación base para corregir los datos sin depurar procedentes de los satélites, muy poco precisos.

La edición y visualización puede incluir el promedio de puntos, la conexión de puntos para formar líneas o polígonos, el suavizado, la medición de distancias y áreas, y la visualización de los datos en la pantalla. Los programas de software GPS no se deben entender como programas para hacer mapas y por norma general la edición final de los datos tendrá lugar en un programa SIG.

La conversión y exportación de datos incluye la capacidad de convertir las coordenadas esféricas expresadas como Latitud/Longitud (Lat/Long), que recoge el receptor, en distintos sistemas de coordenadas y *datums*²², y exportarlos después en diversos formatos compatibles con diferentes SIG.

4.4 Imágenes como fuente de datos e integración en el SIG

El concepto de imagen abarca imágenes de satélite, fotografías aéreas, otros datos procedentes de la observación remota y datos escaneados. Las imágenes son por sí mismas datos de tipo *raster*. Cada celda, o pixel, tiene un valor que depende del modo en que fue capturada la imagen y lo que representa. Por ejemplo, si la imagen es una imagen de satélite, cada pixel representa el valor de la energía reflejada por una parte de la superficie terrestre.

La información que se puede obtener a partir de fotografías aéreas puede ser por ejemplo:

- Tipos de vegetación
- Tipos de suelo
- Límites de lagos y láminas de agua
- Límites de parcelas
- Formaciones geológicas

²² En geodesia un datum es un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre en base a los cuales las medidas de la posición son tomadas y un modelo asociado de la forma de la tierra (elipsoide de referencia) para definir el sistema de coordenadas geográfico. Datums horizontales son utilizados para describir un punto sobre la superficie terrestre. Datums verticales miden elevaciones o profundidades.

Los análisis cualitativos se basan en la interpretación de imágenes siendo un proceso básicamente descriptivo. La fotointerpretación implica que un analista vea la imagen y extraiga información, no es una técnica adecuada para reconocer patrones y asociaciones espaciales debido a la intervención de la mente humana. El éxito de esta técnica depende en gran medida de la efectividad en el análisis de los elementos espaciales, espectrales y temporales presentes en la imagen. Las imágenes, tanto fotografías aéreas como imágenes de satélite, poseen un valor descriptivo muy importante debido a la capacidad del intérprete humano para interpolar y encontrar patrones.

En ambos casos, fotografías aéreas y datos procedentes de sensores remotos, la escala de la imagen determinará en gran medida la potencialidad de la interpretación.

La fotointerpretación, tanto de fotografías aéreas como de datos de satélites, es propensa a los problemas derivados de su carácter no repetitivo y de no ofrecer uniformidad en los análisis. Es muy subjetiva y depende de la experiencia del intérprete y del conocimiento previo de la zona de estudio y de los procesos o fenómenos implicados.

- La combinación de la fotografía aérea y la fotointerpretación proporciona información sobre áreas grandes sin necesidad de inspeccionar el suelo.
- Carreteras, lagos y láminas de agua, edificaciones, cultivos y bosques se distinguen claramente en las fotografías aéreas.
- Otras características como la vegetación, los suelos y las formaciones geológicas son más difíciles de interpretar, aunque los intérpretes especializados y experimentados son capaces de extraer grandes cantidades de información útil de las fotografías aéreas.
- Al utilizar la fotointerpretación aérea, el intérprete clasifica la fotografía aérea, y los datos se almacenan entonces en una base de datos o son

utilizados para actualizar información previamente obtenida.

- En la figura 7 muestra un claro ejemplo de la fotointerpretación aérea en la cual se muestra una figura segmentada por regiones cerradas.

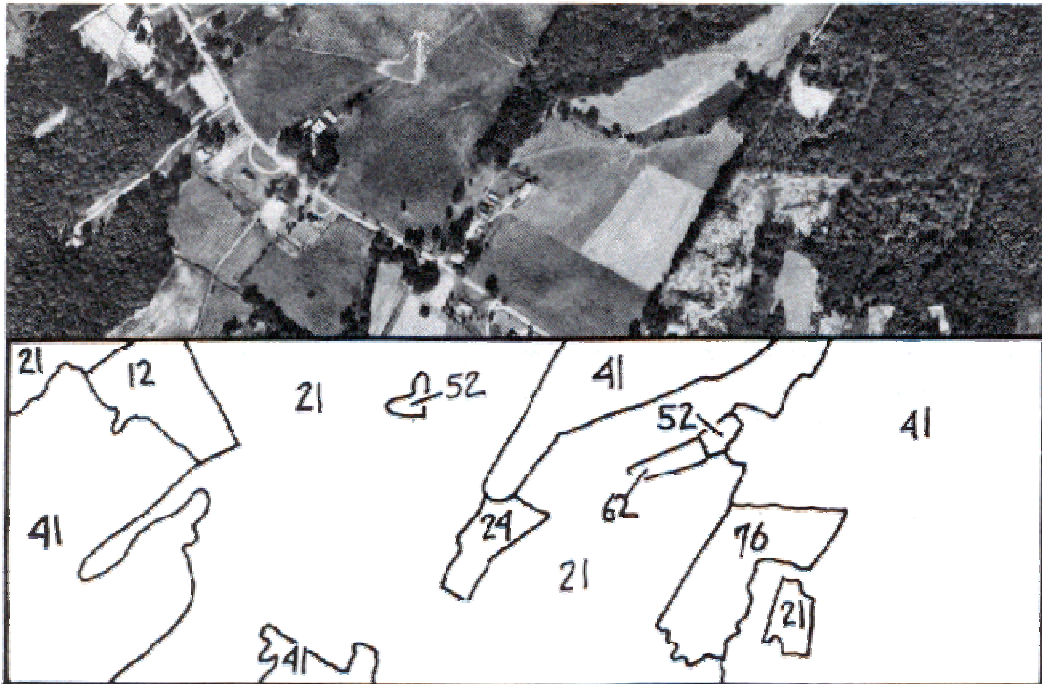


Figura 7 Creación de clases en la fotointerpretación de una imagen aérea (Campbell, 1983)

La fotogrametría digital utiliza pares de imágenes digitales que se solapan y los operarios utilizan unas gafas especiales 3D para digitalizar las coordenadas (x,y,z) de las entidades. Como se observa en la figura 8 en la trayectoria de vuelo de un muestreo fotográfico se realiza una triangulación del área circundada para lograr un muestreo más exacto.

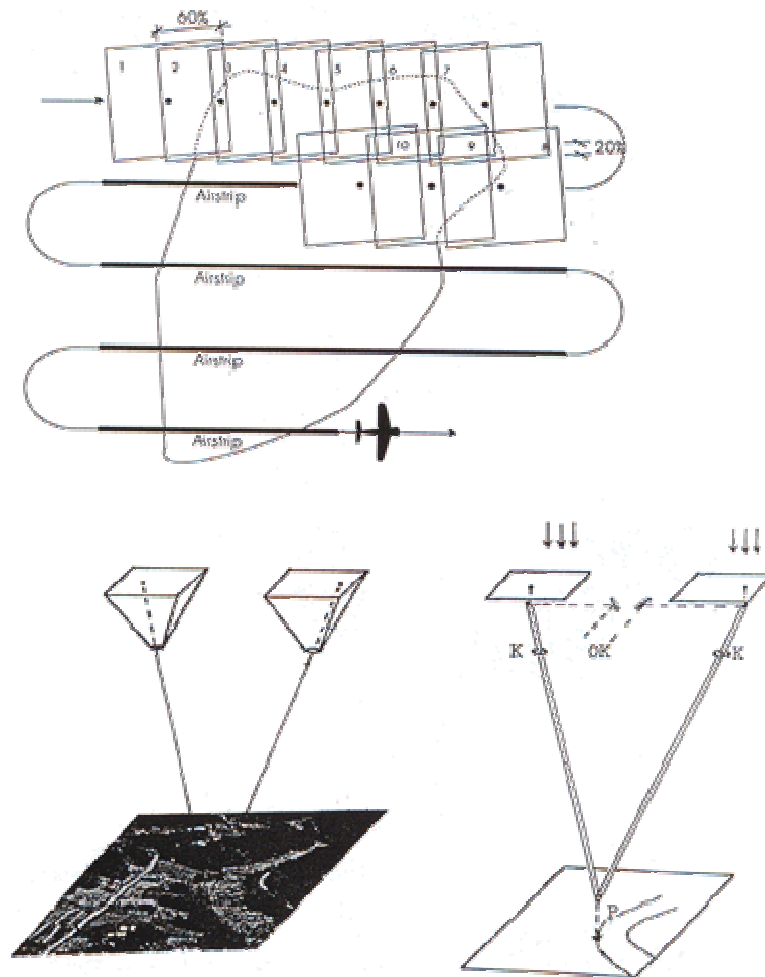


Figura 8 Trayectoria de vuelo de la fotografía aérea inferior, donde toda la zona queda cubierta con las fotografías aéreas, normalmente con un solapamiento del 60% a lo largo de cada pasada del vuelo y del 20% de solapamiento entre pasadas diferentes. La parte inferior de la imagen muestra la idea que subyace al uso de un par estereoscópico en el caso del *estereo-ploteado* o de la interpretación de la imagen.

4.5 Transferencia de datos a partir de fuentes digitales existentes

Se está produciendo un importante cambio en la manera de transformar la información en bases de datos SIG. Anteriormente, la mayoría de los datos procedían de la digitalización de mapas analógicos, o de entradas de datos directas. Ahora, una gran cantidad de la información se distribuye en formatos digitales, de forma que existe un uso extendido de fuentes digitales diversas.

La “revolución” digital de los datos también hace referencia al hecho de que los usuarios buscan con frecuencia la información que precisan en diferentes lugares. Para adquirir dichas fuentes de datos digitales, los propios usuarios deben contactar directamente con los proveedores para asegurar la obtención de los datos necesarios en un formato compatible. Los datos se obtienen también con frecuencia, de Instituciones Gubernamentales como la *Australian Geological Survey Organisation*²³, el *Australian Survey and Land Information Group (AUSLIG)*²⁴, y otros.

Algunos datos están disponibles en Internet a través de muchas organizaciones y agencias. La página web del Comité Federal de Datos Geográficos de Estados Unidos (*US Federal Geographic Data Committee*)²⁵ dispone del *Clearinghouse* de datos geográficos nacional de los EEUU que abarca enlaces a cientos de organizaciones que mantienen y proveen de datos SIG, tanto en EEUU como en el resto del mundo. En ocasiones, se pueden bajar los datos directamente y utilizarlos en paquetes de SIG como ArcView.

²³ <http://www.agso.gov.au>

²⁴ <http://www.auslig.gov.au> - Grupo australiano de estudio e información de terrenos.

²⁵ <http://www.fgdc.gov>

La página web de ESRI²⁶ también contiene enlaces a organizaciones que mantienen y suministran datos SIG. Desde la página web se puede acceder al *Data Hound*²⁷.

4.6 Mapas

Un mapa es una representación gráfica y métrica de una porción de territorio generalmente sobre una superficie bidimensional pero que puede ser también esférica como ocurre en los globos terráqueos. El mapa contiene propiedades métricas lo que significa que es posible tomar medidas de distancias, ángulos o superficies sobre él y obtener un resultado aproximadamente exacto.

4.6.1 Escala del mapa

La escala de un mapa es la relación existente entre una distancia sobre el mapa y su distancia correspondiente sobre la superficie terrestre. Normalmente se expresa en la forma 1:10.000, indicando que 1 unidad medida sobre el mapa representa 10.000 de esas mismas unidades sobre la superficie terrestre. La relación de escala 1:100.000 significa que una unidad de distancia sobre el mapa representa 100.000 de esas mismas unidades de distancia sobre la Tierra. Así sucesivamente, en un mapa a escala 1:100.000, un centímetro del mapa equivale a un kilómetro en el suelo porque 1 Km tiene 100.000 cm. Como el rango de la escala es una constante, es válida en cualquiera de las unidades en que se exprese la fracción.

Una escala de mapa *grande* es aquella en la que una porción dada de la Tierra se representa por un área grande en el mapa. Los mapas de escalas grandes por lo

²⁶ <http://www.esri.com>

²⁷ Data hound: un lugar idóneo para buscar datos. El *Data Hound* muestra enlaces a otros sitios SIG que ofrecen datos para descargarse libremente

general muestran mayor detalle que los mapas de escalas pequeñas porque en una escala grande hay más espacio en el mapa sobre el que mostrar entidades. Los mapas de escala grande se utilizan generalmente para enseñar planos de lugares, áreas locales, barrios, ciudades, etc. Un ejemplo de escala grande es 1:2.500.

Una escala de mapa *pequeña* es aquella en la que una porción dada de la Tierra se representa por un área pequeña en el mapa. Los mapas de escalas pequeñas por lo general muestran menos detalle que los mapas de escala grande pero cubren amplias porciones de la Tierra. Son típicos de escalas pequeñas los mapas de extensión regional, nacional e internacional, como los 1:1.000.000. Los mapas de escala grande suelen ser de más detalle que los de escala pequeña, por cuanto los mapas de escala más pequeña no suelen ser suficientes para mostrar todos los detalles disponibles, así, entidades como ríos y carreteras a veces deben representarse como líneas simples, y entidades superficiales como las ciudades, se han de representar como puntos. A esto se le denomina generalización.

Cuanto más grande es una escala, más pequeño es el denominador de la fracción. Por ejemplo, un mapa a escala 1:10.000 se dice que tiene una escala mayor que un mapa a escala 1:100.000.

4.6.2 Proyecciones cartográficas

Las proyecciones cartográficas son modelos matemáticos que convierten las localizaciones sobre la superficie de la tierra de coordenadas esféricas a coordenadas planas, permitiendo así representar objetos tridimensionales en un espacio plano. Algunas proyecciones de mapas preservan la integridad de la forma, otras la de la superficie, la distancia o la dirección. Todas las proyecciones de mapas distorsionan en alguna medida la forma, la superficie, la distancia o la dirección.

4.6.3 Grado de detalle del mapa

Es normal equiparar detalle con precisión. No obstante, cuando hablamos del nivel de detalle de un mapa, nos estamos refiriendo a la cantidad de información geográfica mostrada. Por otro lado, la precisión de un mapa es una manifestación de la calidad de la información.

Mientras que los mapas de escala grande muestran por lo general más detalle que los de escala pequeña, no existe una regla estándar que especifique cuantas entidades de un mapa se pueden mostrar a una escala dada, y con qué detalle. En lugar de eso, ésta es una decisión cartográfica que depende de la finalidad del mapa y de cuántos símbolos se pueden dibujar en el espacio disponible sin provocar desorden ni aglomeración o confusión visual en el mapa.

En el caso de mapas de escalas más pequeñas simplemente no hay suficiente espacio para mostrar todo el detalle disponible, de forma que algunas entidades como los ríos y las carreteras han de representarse con frecuencia como líneas simples, y elementos poligonales como las ciudades, han de ser representadas como puntos. A esto se le denomina generalización.

4.6.4 Precisión del mapa

La precisión de un mapa no depende de su escala. En lugar de eso, depende de los datos originales utilizados a la hora de generar el mapa, con la exactitud de los mismos que han sido transferidos al mapa, su resolución a la cual el mapa se imprime o visualiza.

La precisión de los mapas, por ejemplo, que se crean con software Sistema de Información Geográfica como lo es *ArcView* depende de la calidad de las coordenadas en la base de datos geográfica. Para crear los datos geográficos, se deben digitalizar o escanear mapas o manuscritos existentes, y también se utilizan

otros datos originales como informes topográficos, fotografías aéreas e imágenes. El mapa final es fiel reflejo por tanto de la precisión de las fuentes originales.

Conforme las escalas son más pequeñas, una unidad de distancia sobre el mapa representa una distancia mayor sobre el terreno. De esta forma, si una de las entidades mostradas en un mapa de escala muy pequeña se aleja sólo 1 mm de su posición real, la imprecisión en la escala del mundo real es enorme.

4.6.5 Resolución del mapa

La resolución de un mapa se define como:

- El tamaño de la entidad más pequeña que puede representarse en la superficie.
- La precisión con la que tanto la localización como la forma de las entidades del mapa se pueden representar a una escala de mapa dada. En un mapa a escala grande (p.ej.: un mapa a escala 1:1) las entidades se simplifican menos que en un mapa a escala pequeña (p.ej.: 1:1.000.000). En un mapa a escala más grande, la resolución de las entidades recuerda en mayor medida a las entidades del mundo real. Conforme la escala del mapa decrece, la resolución también disminuye y los límites de las entidades se pueden ver suavizados, simplificados e incluso no mostrarse del todo (Berry, 1995).

Cuanto mayor es la resolución mejor es la aproximación a la realidad. Si asumimos un error concreto en la creación del mapa y la digitalización, esto se traduce como un error concreto sobre el terreno. No tendría sentido determinar un tamaño de celda más pequeño que el error probable. En el mejor de los casos el tamaño de la celda multiplicará por cuatro el tiempo de procesado. La experiencia en el procesado de archivos *raster* sugiere que un número superior a 2 millones de

celdas es excesivo en la mayoría de los contextos. *El tamaño del pixel debe ser la mitad de la longitud más pequeña que sea necesario representar* Star and Estes (1990)²⁸.

4.7 De la teoría a la práctica

La teoría anteriormente expuesta, ilustra sobre las diferentes formas de alimentar una base de datos espacial o *georeferenciada*; por supuesto, en este proyecto se pusieron en práctica varios de los métodos expuestos anteriormente.

Se utilizaron imágenes como base para la digitalización de la capa base, necesaria para el proyecto. Respetando los principios de las fotografías aéreas para formar capas temáticas en un SIG, cada fotografía fue tomada a 2000 pies de altura. La fuente de imágenes -como se expondrá en el capítulo de procedimientos-, fue Google Earth ®, haciendo que los costes se redujeran de forma considerable.

Aunque el método descrito en el párrafo anterior es muy económico, no es confiable, porque al digitalizar, los datos están sujetos a errores humanos, y además, la mayoría de imágenes tomadas, tienen más de dos años de antigüedad; y siendo Pereira una ciudad con tanto desarrollo de infraestructura vial, este tipo de desfases en temporalidad, se vuelven inaceptables a la hora de desarrollar un proyecto real.

Para la implementación de un proyecto real se sugiere el siguiente procedimiento:

- Primero es necesario tener capas bases de entidades que la desarrollen, que tengan actualizado todos los elementos relevantes que impacten en el desarrollo de la temática de este proyecto.

²⁸ http://phg.sagepub.com/cgi/pdf_extract/16/3/486

- Segundo es importante alimentar los datos de dos frentes: El GPS es una herramienta sumamente versátil y que sirve para *georeferenciar* rápidamente y con una precisión tolerable elementos que impactan en el tráfico.
- Tercero es hacer la digitalización de elementos espaciales como los segmentos de vías, puede ser un trabajo de profesionales en el campo del dibujo topográfico. Además de lo anterior, es importante tener en cuenta que a la hora de digitalizar, la escala debe respetar la ya planteada en la capa base, para mantener la proporcionalidad correcta.

Se recomienda fuertemente que los datos para la capa base sean tomados de capas ya desarrolladas de entidades que tengan y mantengan los datos actualizados. De esta manera se iniciaría el desarrollo de capas temáticas exitosamente.

5. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

La alternativa que se plantea es la recopilación de información geográfica base. El levantamiento de capas es un proceso en el cual se integran arquitectos, tecnología, equipos de medición avanzada entre otros. Pero esto hace que los costos se incrementen, por lo tanto, se plantea una forma novedosa y posible de realizar el levantamiento de cartografía por medio de imágenes satelitales. Existen compañías extranjeras que tienen a su disposición la tecnología satelital para realizar este tipo de enfoques y conseguir fotografías más exactas. Por lo tanto adoptamos por una herramienta existente llamada Google Earth.

5.1 Google Earth

El Google Earth es un programa informático similar a un Sistema de Información Geográfica (SIG), creado por la empresa Keyhole Inc., que permite visualizar imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google.

Haciendo uso de esta herramienta gratuita se puede observar fotos satelitales de regiones del mundo y por ende de toda Colombia, por lo tanto, surge la necesidad de recopilar una sucesión de imágenes tomadas por medio del Google Earth para lograr tener un diseño aproximado a la cartografía actual de Pereira.

Luego de un análisis claro acerca de las herramientas que pueden ser utilizadas en el proceso de medición y generación de un SIG, se observa que, los recursos y el tiempo que requiere un desarrollo de este tipo, son demasiado elevados, por lo cual fue necesario plantear una estrategia de desarrollo que permitiera llegar al objetivo deseado, el cual fue implementar un prototipo.

Para esto, se parte de un principio fundamental, el cual fue buscar la forma de *vectorizar* de una manera simple un mapa con un sistema coordinado. Debido a que la mayoría de los Sistemas de Información Geográficos y las cartografías en la ciudad eran demasiado costosas en diferentes centros de desarrollo; entonces se optó por una fuente gratuita (pero no incluye los cambios urbanísticos de 2010) para comenzar el desarrollo. Se basa en el software de mapeo centralizado de las principales ciudades del mundo, Google Earth²⁹.

Programa que permite visualizar imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google que permite ver imágenes a escala de un lugar específico del planeta.

También permite introducir el nombre de un hotel, colegio o calle y obtener la dirección exacta, un plano o vista del lugar. También se puede visualizar imágenes vía satélite del planeta. También ofrece características 3D como dar volumen a accidentes geográficos, y en algunas ciudades incluso se han modelado los edificios. La forma de moverse en la pantalla es fácil e intuitiva, con cuadros de mandos sencillos y manejables.

Además, es posible compartir con otros usuarios enlaces, medir distancias geográficas, ver la altura de las montañas, ver fallas o volcanes y cambiar la vista tanto en horizontal como en vertical.

Google Earth también dispone de conexión con GPS (Sistema de Posicionamiento Global), alimentación de datos desde fichero y base de datos en sus versiones comerciales.

La última versión estable ha incorporado notables mejoras:

- Interfaz en inglés, español, francés y alemán.

²⁹ Google Earth (http://es.wikipedia.org/wiki/Google_Earth)

- Tener relación con Google SketchUp, un programa de modelado 3D desde el cual se pueden subir modelos 3D de edificios a Google Earth.
- Panel de mandos que interfiere más discreto y gana en espacio para la visualización de imágenes.
- Mejoras que permiten ver imágenes en 3D "texturizadas" (superficies más realistas, ventanas, ladrillos...)
- Versión en los tres sistemas operativos más importantes para computadores personales (Windows, Linux, y MAC)
- Inclusión de enlaces a los artículos de la Wikipedia en inglés en ciudades, monumentos, accidentes geográficos y otros puntos de interés.

La figura 9, 10 y 11 nos muestran parte del entorno visual del Google Earth.

Figura 9. Requisitos de Software y Hardware.



Figura 10. Entorno inicial del Software

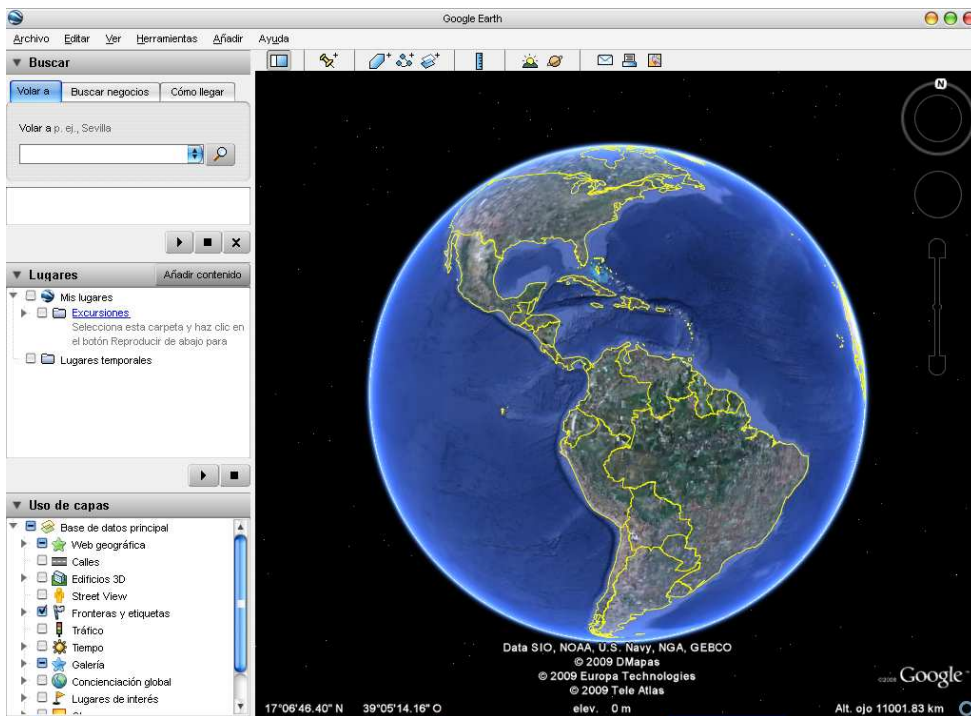


Figura 11. Vista de Colombia delimitada

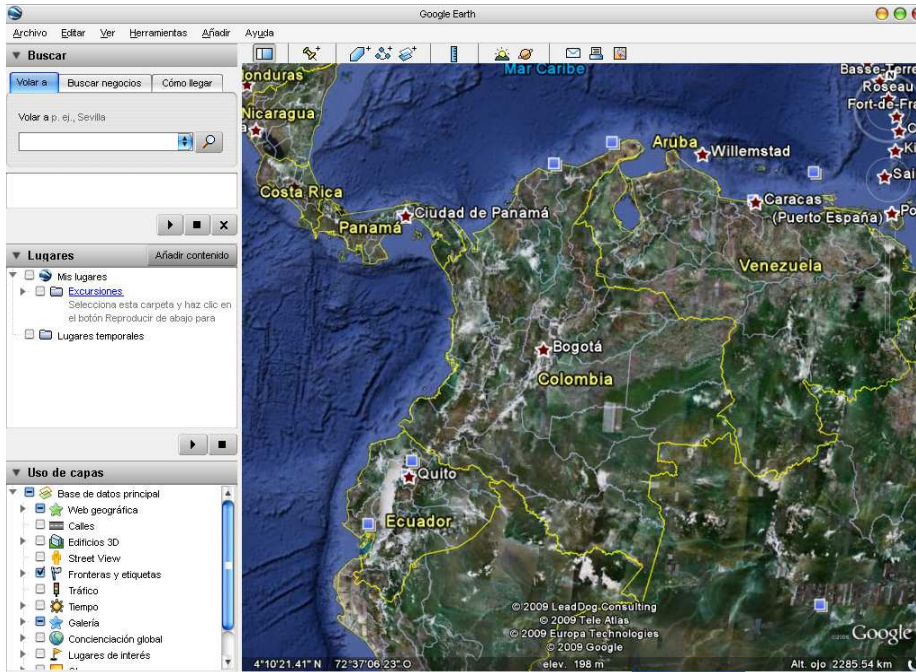
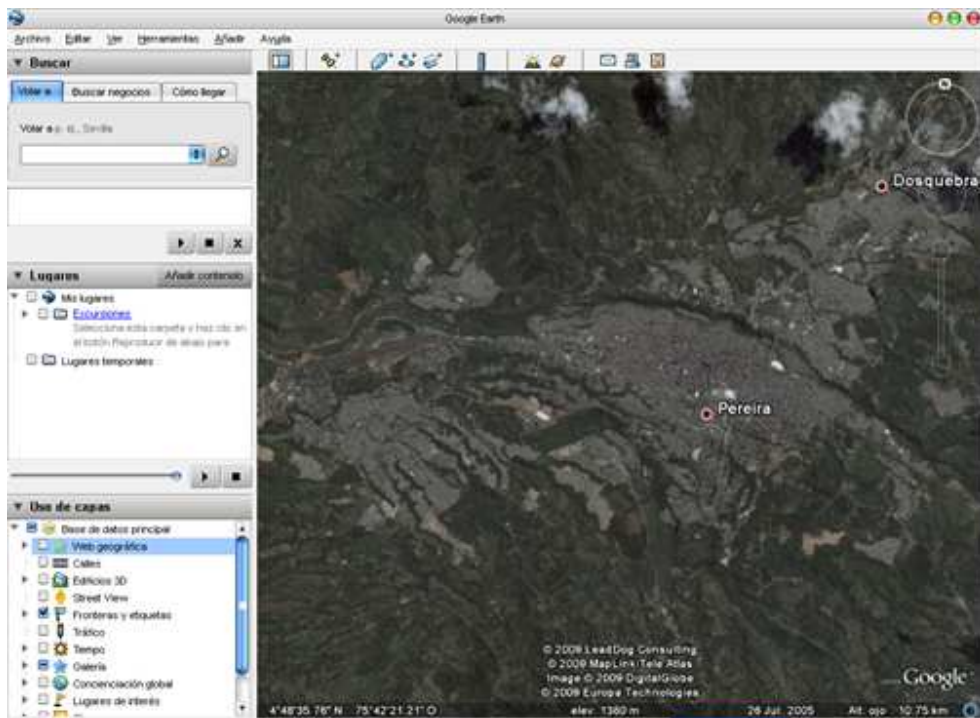


Figura 12. Vista de Pereira y parte Dosquebradas a 10.75 kms



5.2 Herramientas CAD

Teniendo una vista horizontal desde la cual podemos ver todo el esquema de la ciudad, se comienza a bordear cada una de los segmentos y manzanas de la ciudad; esto entregaría una cartografía inicial básica para comenzar a realizar un desarrollo.

Como se puede observar en la figura 14, la escala visible es de 2000 pies, en este caso se tiene una fotografía tomada por medio del Google Earth. En esta imagen se observa la forma de cada una de las vías de la ciudad. Esta imagen se encuentra en pixeles, por lo tanto, no se puede realizar modificaciones ni consultas. Así que se busca un método por el cual se pueda convertir imágenes tipo *Raster* o *Pixeladas*, en imágenes tipo Vectorial. Después de investigar se ideó una alternativa algo simple pero funcional al momento de tratar de crear una cartografía.

En las escuelas primarias es muy común hacer el ejercicio de calcar mapas; tomar un mapa de dibujo o fotografiado y colocar papel de calcar siguiendo sus trazos más definidos, formando el mapa. Se partió de este principio simple para hacer algo similar; al conseguir las imágenes, se sobrepone una capa y se trazan áreas cerradas formando los segmentos y las manzanas.

CAD significa Diseño Asistido por Computador (Computer Aided Design). Tal el nombre lo indica, CAD es todo sistema informático destinado a asistir al diseñador en su tarea específica. El CAD atiende prioritariamente aquellas tareas exclusivas del diseño, tales como el dibujo técnico y la documentación del mismo, pero normalmente permite realizar otras tareas complementarias relacionadas principalmente con la presentación y el análisis del diseño realizado. Si bien un sistema CAD puede adoptar infinidad de aspectos y puede funcionar de muchas

formas distintas, hay algunas particularidades que todos comparten y que han sido adoptadas como normas.

En este caso la herramienta CAD es nuestra hoja de papel de calcar, por lo tanto realizamos una exportación de la imagen y comenzamos a copiar la figura.

5.2.1 Herramienta CAD³⁰

Si bien casi todos los recursos informáticos son útiles y/o necesarios para la práctica de la arquitectura, el CAD es el más propio y específico. El CAD substituye métodos manuales de tablero, las escuadras, las estilográficas y las plantillas, por procedimientos digitales.

5.2.2 Aplicabilidad y Uso

El CAD permite ordenar y procesar la información relativa a las características de un objeto material. En el caso particular de la arquitectura, el CAD sirve para construir un modelo análogo del edificio o instalación. En el espacio imaginario es posible construir, con elementos también imaginarios, la mayor parte de los componentes del edificio; colocar cada elemento en la posición que le corresponde en relación a los demás, caracterizar cada elemento en función de sus propiedades intrínsecas (forma, tamaño, material, etc.) y también caracterizarlo en sus propiedades extrínsecas (función, precio, etc.). El propio CAD permite, a la vez, ver en la pantalla las plantas cortes o vistas necesarios del modelo que se está construyendo y también posibilita modificar en cualquier momento las características del mismo. Los cambios al modelo son reflejados instantáneamente en las distintas formas de representación, por lo que el CAD

³⁰ <http://www.arquitectura.com/cad/artic/elcad.asp>

hace posible la verificación constante de las decisiones del arquitecto, sin necesidad de rehacer una y otra vez los dibujos. En cierto modo, el CAD evita la necesidad de dibujar; es decir: el arquitecto decide cómo son las cosas y el CAD muestra cómo se ven.

5.2.3 Funcionabilidad

Si bien cada sistema tiene una arquitectura distinta, todos coinciden en los aspectos principales. El CAD está concebido como un taller con las instalaciones y herramientas necesarias para la construcción de un objeto imaginario llamado *modelo*. El modelo puede ser bidimensional o tridimensional. En arquitectura, los sistemas CAD actuales operan sobre modelos 3D. En ese taller es posible acceder a *herramientas* dispuestas para efectuar incorporaciones o modificaciones al modelo. Por ejemplo, una herramienta típica es aquella que permite incorporar un muro y normalmente funciona así: en primera instancia se definen las propiedades específicas del muro: altura, materiales, espesores, etc. Una vez establecidas las propiedades, y ya operando sobre el modelo, se indica dónde comienza y donde termina un muro determinado. Una vez incorporado, el muro puede ser modificado tanto en sus características intrínsecas (las propiedades) como extrínsecas (efectuarle una abertura o bien corregir los puntos de arranque y/o de llegada, etc.). Estas modificaciones son realizadas con herramientas complementarias de la anterior. Cada una de estas acciones es reflejada en el dibujo que el CAD efectúa para representar al modelo.

Otro conjunto de herramientas permite establecer cuáles vistas del modelo son mostradas en la pantalla, de acuerdo a las características del modelo y las preferencias del diseñador. Estas son sólo algunas de las funciones de un CAD para arquitectura. Además, hay otras que permiten crear y modificar puertas y ventanas, techos, equipamiento, etc.; agregar cotas y textos descriptivos, rótulos y

simbología convencional, etc. Algunos sistemas CAD incorporan herramientas que complementan a la tarea específica permitiendo crear imágenes muy realistas del modelo e incluso animaciones, así como también funciones que contabilizan los componentes del modelo y emiten un reporte del cómputo en forma de base de datos.

5.2.4 Utilidad de la Herramienta

Todo CAD está diseñado con el objetivo principal de asistir al proyectista. Quien diseña un sistema para diseño conoce las dificultades que afronta al momento de implantar la herramienta que necesita. Puesto que actualmente existen infinidad de recursos para comunicarse con la computadora, el programador procura implementar aquellos que resultarán más familiares. Por ejemplo: El espacio imaginario es representado por una grilla que se presenta en la pantalla a modo de superficie de apoyo de su modelo. Esa grilla puede ser regulada en su tamaño y modulación. Si es necesario crear un muro, seguramente hallará en un menú de la pantalla la instrucción “Muro” o “Pared”. Eventualmente, la misma instrucción puede ser hallada en un botón de la pantalla o en alguna combinación de teclas. Seleccionada esa instrucción, el sistema solicitará datos necesarios para efectuar la tarea, es decir: Cómo es y dónde se halla el muro en cuestión. Este es un ejemplo claro de cómo se puede visualizar la herramienta. En el caso de un CAD para arquitectura, las herramientas básicas que se utilizan de este modo suelen ser las de creación y modificación de muros, aberturas, escaleras, techos y entrepisos.

5.2.5 Particularidades

Es espacial, cartesiano y vectorial. Esto significa que la información, gráfica o no, posee una ubicación determinada en un espacio imaginario y dominado por un sistema coordenado cartesiano. De este modo, toda información puede ser relacionada con la demás de acuerdo al lugar geométrico que cada una ocupa. Por ejemplo: Una línea puede ser paralela a otra, o bien pueden cruzarse o estar alineadas, de modo que ambas líneas dan origen a diferentes significados de acuerdo a la relación entre ellas. A la vez, cada elemento es definido por sus propiedades geométricas y no geométricas en forma independiente del lugar que ocupan.

5.2.6 Base de datos

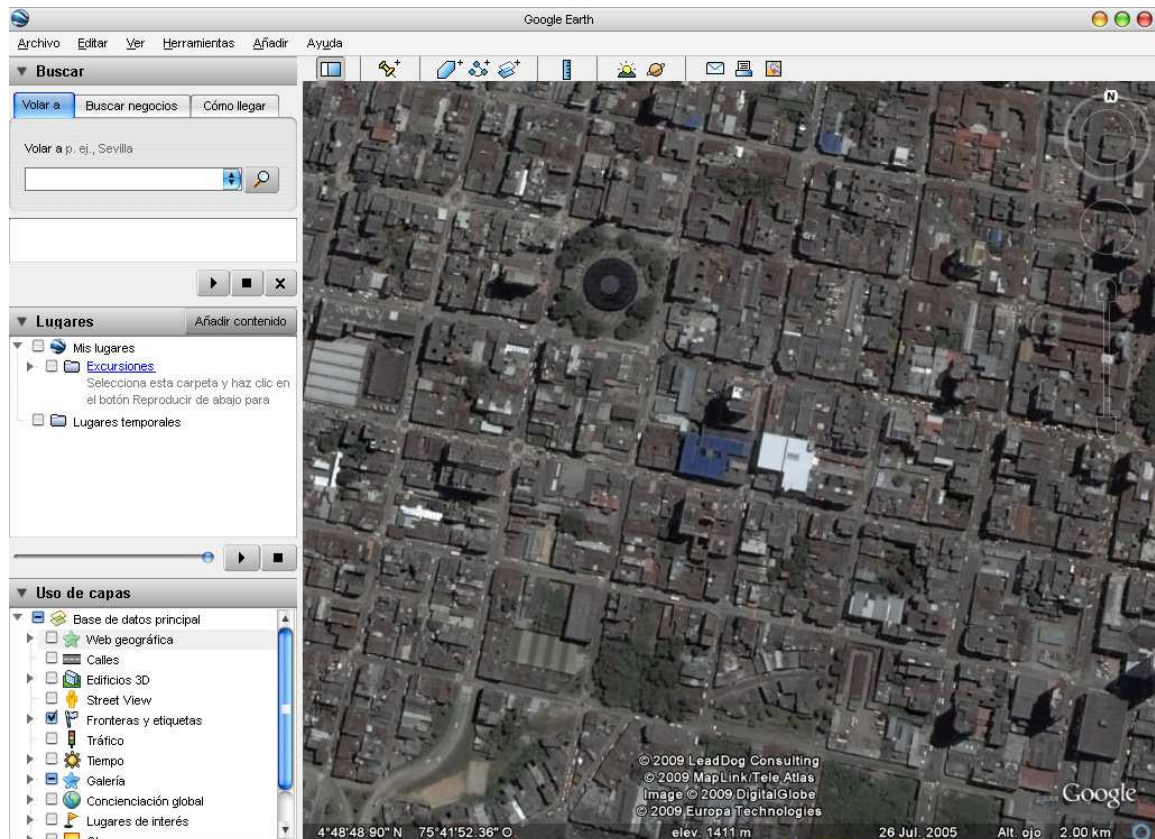
Una base de datos es un conjunto de registros. Cada registro es el conjunto de datos correspondientes a un único objeto. Todos los registros de una base contienen el mismo tipo de información separada en dos o más campos. Por ejemplo: En la base de datos del cómputo métrico por locales de un edificio existirá un registro por cada local. En cada uno de los registros se detallarán al menos los datos bajo los siguientes campos: Número, Destino, Área y Perímetro.

5.2.7 Datos necesarios

De acuerdo a cada sistema, estos datos son requeridos de uno u otro modo, pero generalmente se utiliza el siguiente: Para requerir los datos que definen intrínsecamente al muro, el sistema presenta un cuadro con espacios en blanco a llenar (“cuadro de diálogo” o “asistente”, según el caso); para definir la posición, el sistema muestra el modelo en la pantalla y un elemento móvil (“cursor”) que puede ser controlado con el mouse. Moviendo el mouse, el cursor recorre el espacio y

pulsando el botón del mouse se indica al sistema el lugar deseado para cada cosa.

Figura 13. Vista del centro de Pereira

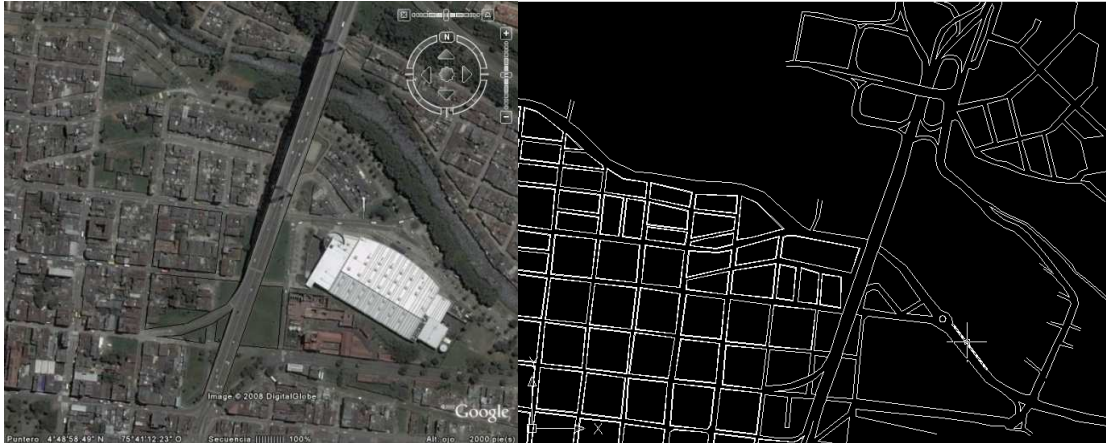


5.3 Inserción de datos base

Como se aprecia en la figura 14 la altitud de todas las medidas es exactamente de 2000 pies lo que equivale a 0,6096 kilómetros. Tomando varias imágenes en esta altura podríamos conseguir un esquema de mapeo inicial. Pero las imágenes son planas y solo nos brindan información visual acerca de la ciudad. Para madurar el concepto fue necesario utilizar una herramienta CAD.

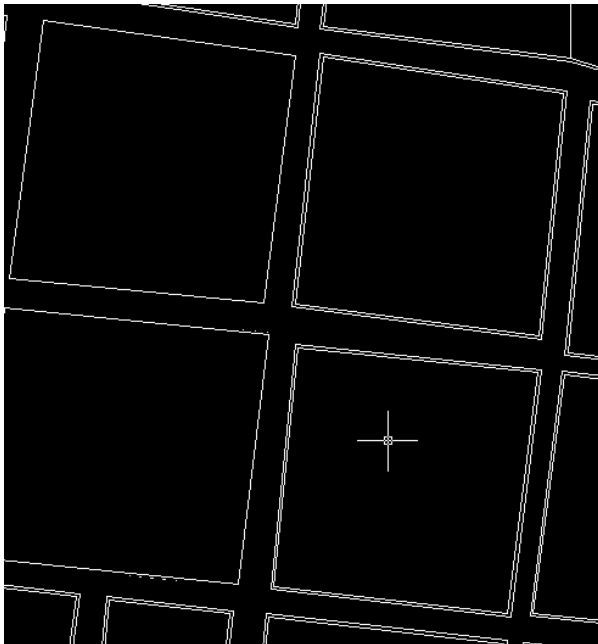
Partiendo de un esquema CAD comenzamos traslapar cada una de las imágenes para obtener un resultado como el que se muestra en la figura 14.

Figura 14. Vista equivalente entre la imagen y la vectorización



Al comenzar a realizar cada una de las líneas las cuales bordean las cuadras y las manzanas se inicia a bordear los andenes los cuales tienen aproximadamente 1.3 mts alrededor de cada manzana por lo tanto nos produce el resultado que se aprecia en la figura 15.

Figura 15. Resultado de Borear las manzanas produciendo andenes.



Con este efecto, se comienza a bordear cada una de las líneas formando un estándar para los andenes, los cuales, luego se van a utilizar para darle un efecto de achurado para las medidas (achurado es un término utilizado por los arquitectos para referirse a un área que debe ser acotada para cerrar un área de mayor extensión).

Luego de realizar el trabajo de traslapar cada una de las imágenes y delinear cada una de las manzanas entonces realizamos un achurado total y nos da como resultado una cartografía básica de la ciudad.

Figura 16. Cartografía Base de la Zona Céntrica de Pereira



Como se observa en la Figura 16, tenemos una cartografía básica la cual utilizaremos para comenzar a realizar la estructuración de giros y sentidos.

Al utilizar la imagen y comenzar a realizar un moldeamiento se puede crear la cartografía, la cual se implementará a medida que se modela cada uno de los segmentos de vías necesarias.

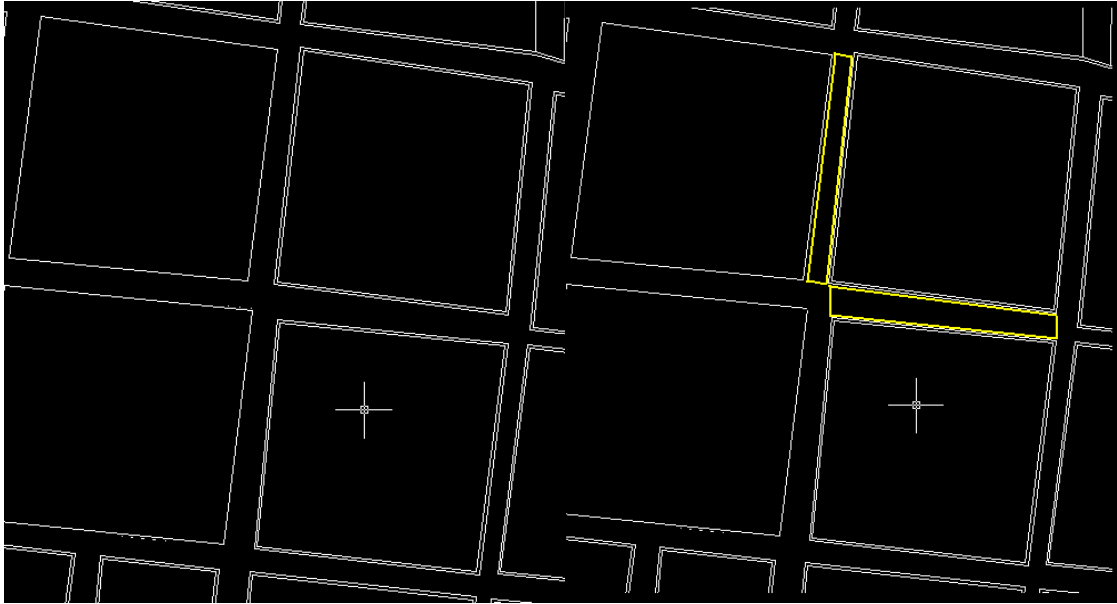
Figura 17 Malla vial base.



Realizando el proceso de modelamiento comenzamos a apreciar un mapa más integrado de la ciudad de Pereira, visualizado en la figura 17.

Teniendo ya un plano básico de la ciudad, se comienza a ubicar cada uno de los segmentos, como se aprecia en la figura 18.

Figura 18. Creación de segmentos.



De esta manera, se comienza a definir todos y cada uno de los objetos geográficos que van a utilizar para plantear el modelo. Como se observa en la figura 18 se comienzan a crear figuras cerradas las cuales se convertirán en segmentos de vía.

5.4 Objetos Geográficos

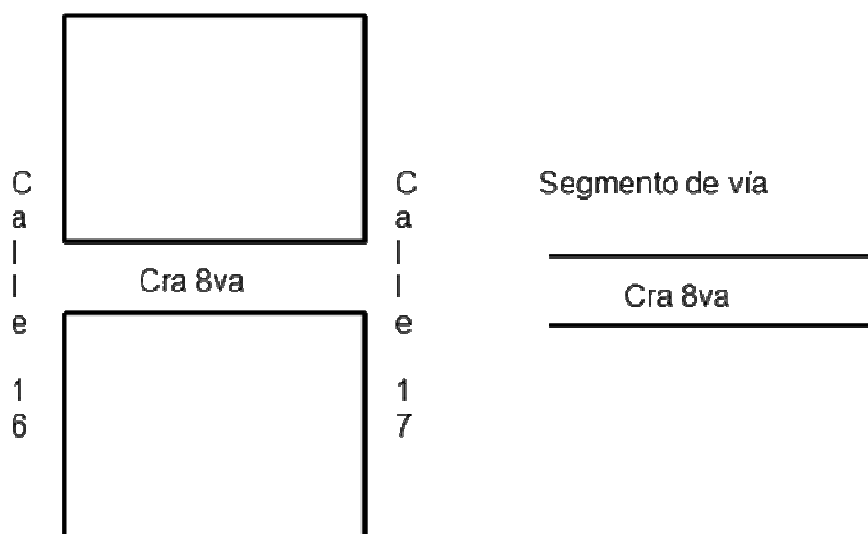
Para nuestra cartografía se han definido objetos geográficos que intervienen en el desarrollo del moldeamiento vial, giros y sentidos de la zona urbana de Pereira. Por lo tanto, luego de haber realizado un estudio de los agentes que intervienen en el tráfico y la movilidad. Se especifican los objetos geográficos que intervienen directamente en el modelo.

- Segmento de vía
- Segmentos especiales
- Sentidos
- Intersecciones
- Elementos viales
- Elementos de tráfico

5.4.1 Segmentos de Vía

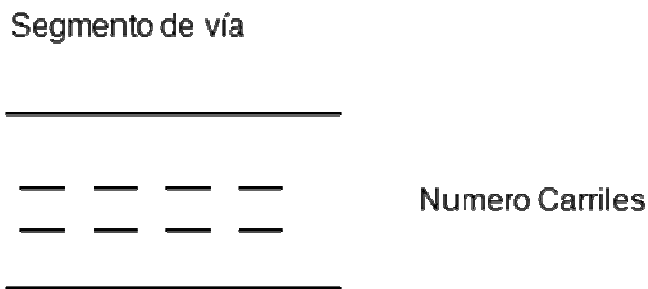
Los segmentos de vía son complemento de una vía; para definir más claramente, se tomará el caso de las calles y las carreras definidas en Pereira. Por ejemplo, la carrera 8ª. Entre calles 17 y 18 se considera como un segmento de vía como se aprecia en la figura 19.

Figura 19. Ilustración de Segmento de Vía



La suma de segmentos de vías da como resultado una vía como una carrera o una calle en la zona urbana. La sumatoria de segmentos de vía genera lo que comúnmente se conoce como malla vial. La cual es un conjunto de vías y segmentos de vías. Un segmento de vía contiene varios subelementos llamados carriles, equivalentes al número de divisiones que tiene una vía como se muestra en la figura 20.

Figura 20. Ilustración de Carriles en el Segmento de Vía

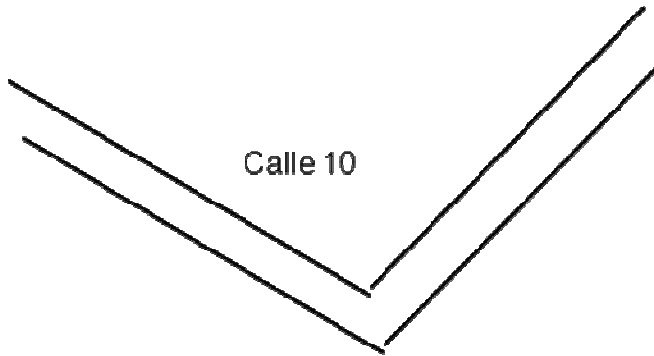


Dependiendo del número de carriles que tenga un segmento, puede haber flujo vehicular direccionado en un sentido definido.

5.4.2 Segmentos Especiales

Un segmento especial es la terminación o cambios de sentidos sin ser un cruce específicamente, los cambios de sentido sugieren que la trayectoria del flujo vehicular cambia pero no se traslapa entre carriles por lo que sigue siendo la misma trayectoria como se muestra en la figura 21.

Figura 21. Ilustración de cambio de sentido de un segmento



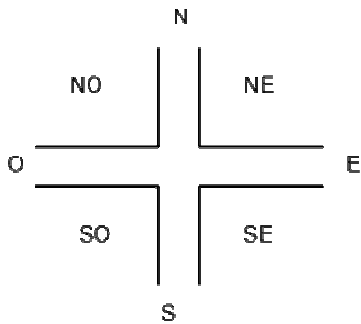
Cuando se comienza a categorizar cada uno de los segmentos, se observa que se convierten en cruces, intersecciones o gloriets. Los cuales simplemente se convierten en elementos geográficos. Hay que anotar que los sentidos se encuentran definidos por puntos de cardinales los cuales ayudan a tener una mejor orientación dentro del sistema de información geográfica.

5.4.3 Sentidos

Los sentidos cardinales o puntos cardinales son el modo de expresar la dirección espacial en términos de norte, sur, este y oeste, el cual por medio de una jerarquía de puntos intermedios se utilizan para subdividir la circunferencia de la brújula. Los puntos cardinales son la base de un sistema de referencia general, universal y reconocido en todos los países, utilizado para orientarse en cualquier lugar de la Tierra, es decir, conocer la posición de un lugar o persona y determinar la dirección que tiene un desplazamiento.

Los sentidos no son sino la categorización de los puntos cardinales de referencia como se muestra en la figura 22.

Figura 22. Puntos Cardinales o de Referencia

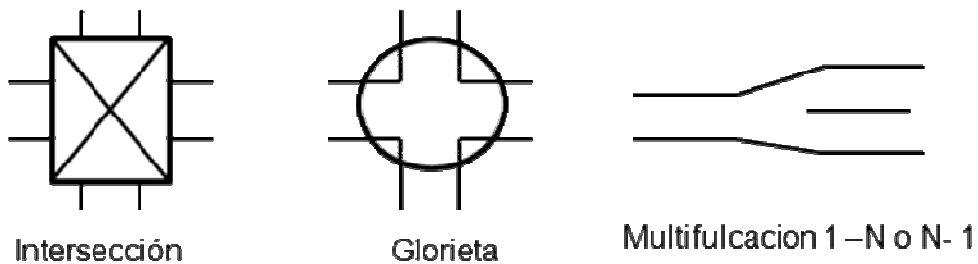


5.4.4 Elementos Viales

Los elementos viales influyen directamente con la malla vial, esta distribuidos a lo largo y ancho de la malla vial. Se clasifican como:

- Intersecciones
- Bifurcaciones
- Glorietas
- Paraderos

Figura 23. Representación geográfica de elementos viales



Estos elementos viales indican que, dependiendo de la dirección a la que se dirija un sentido, este puede transformarse en múltiples sentidos, así como lo muestra la figura 23, lo que indica la necesidad de definir el sentido dependiendo del número de entradas y salida de un elemento vial.

5.4.5 Elementos de Trafico

Estos son algunos de los elementos viales que influyen de forma significativa en el flujo vehicular, los cuales están distribuidos a lo largo y ancho de la malla vial. Son clasificados de la siguiente forma:

- Troncales Peatonales
- Puentes Peatonales
- Semáforos
- Señales de Transito
- Puentes
- Túneles
- Zonas escolares
- Elementos Temporales
 - Construcciones
 - Accidentes
 - Entes externos al trafico

Figura 24. Representación geográfica de elementos de trafico

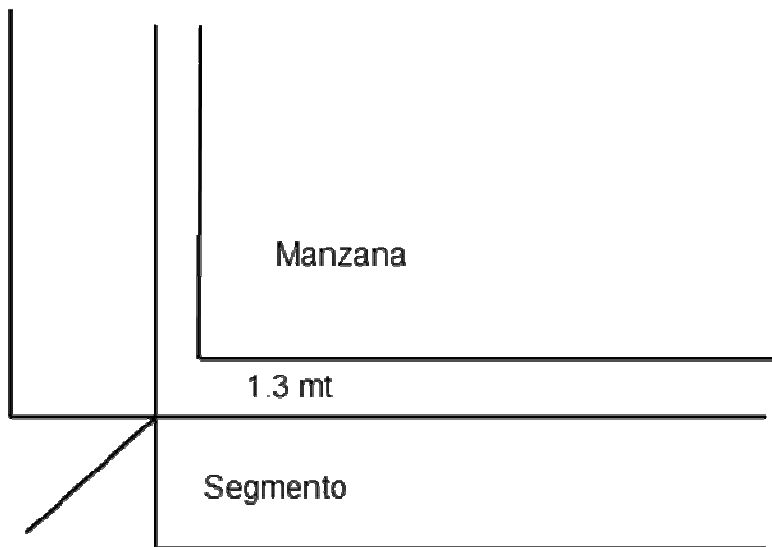


Como nos muestra la figura 24 es una representación geográfica de los elementos de tráfico.

5.4.6 Relación Vía Andén

La medida en las vías es diferente, ya que, el terreno en Pereira es muy accidentado y normalmente tiene que atravesar por montañas, desniveles, entre otros accidentes geográficos, por lo tanto, se toma una medida estándar para el moldeamiento de vías con respecto a andenes. Se hace la suposición que la medida es de 1.3 metros; esto normalmente varía, pero en este caso se convertirá en estándar; para poder profundizar en los objetos geográficos que se generan.

Figura 25. Representación del andén entre la manzana y el segmento.



Todas las manzanas que generamos se encuentran con unidas por medio de un segmento, en el medio de las manzanas y segmentos se encuentra un margen estándar de 1.3 mt el cual representa el andén como se observa en la figura 25.

5.4.7 Equivalencias del SIG

Las señales viales³¹ son aquellas que, como su nombre indica, aparecen dibujadas o marcadas sobre la vía. Sobre el pavimento, el color de las marcas suele ser blanco, aunque también las hay amarillas (prohibiciones), y azules para las zonas de estacionamiento limitado.

Cuando hablamos en el sentido del SIG las señales ayudan a direccionar la circulación de los vehículos, indicando los carriles, sentidos, giros, zonas donde no se desarrolla circulación. También existen marcas viales como señales de limitación de velocidad y otras similares a las señales verticales, entre otras muchas indicaciones.

Las marcas viales son de distinto tipo según su color y la forma geométrica. Según su color pueden ser blancas, amarillas o azules. Las blancas pueden ser:

- Longitudinales, como las de separación de carriles.
- Transversales, como las de paso de peatones.
- Horizontales, como las limitaciones de velocidad o las de *stop*, o de algún otro tipo, como las flechas y los pasos de cebra.
- Las líneas amarillas longitudinales y en zigzag que se encuentran en los laterales de la calzada son muy frecuentes e indican la prohibición de parar/estacionar.
- Las marcas azules indican las zonas de estacionamiento limitado de pago.

³¹ Las principales señales de tránsito se pueden encontrar en las siguientes páginas web:

- Informativas: <http://www.conducircolombia.com/informativas.html>
- Reglamentarias: <http://www.conducircolombia.com/reglamentarias.html>
- Preventivas: <http://www.conducircolombia.com/preventivas.html>
- Señales de piso: <http://www.conducircolombia.com/senalesdepiso.html>

- Las marcas blancas longitudinales.- Son las marcas viales más utilizadas.

Las más usuales:

- Continuas:
 - Si es continua ningún vehículo debe atravesarla ni circular sobre ella.
 - Si esta marca separa los dos sentidos de la circulación no se puede circular por la izquierda. Si en vez de una línea continua, se tienen dos, indican lo mismo.
- Discontinuas:
 - Una marca longitudinal blanca discontinua sirve principalmente para guiar la circulación y delimitar los diferentes carriles que pudiera haber.
 - Si se acerca a una línea continua y luego se vuelve una línea discontinua, entonces se tendrá una separación de su trazo, mientras que si se encuentra dentro de un carril, la marca será más ancha de lo normal.
- Esta línea discontinua no se debe pisar salvo cuando sea necesario hacerlo y se trate de carriles estrechos, es decir, de menos de 3 metros.
- También puede encontrarse una marca continua adosada a otra discontinua. En este caso, los conductores solamente deben tener en cuenta la línea situada en el lado por el que circulan.
- Si hay dos marcas longitudinales discontinuas dobles, delimitando un carril por ambos lados, significará que estamos en un carril reversible.
- En una intersección puede haber en el pavimento marcas de guía que indican cómo se debe hacer una determinada maniobra.

- Por último, las líneas de borde y de estacionamiento no se consideran marcas longitudinales pues tienen como fin hacer más visibles los bordes de la calzada o, unidas a líneas transversales, indicar lugares de estacionamiento.

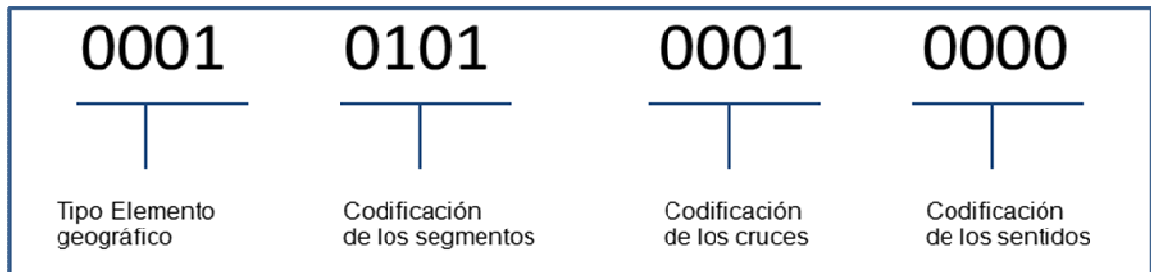
Las marcas blancas transversales. Se consideran las marcas que se encuentran pintadas en la vía de forma que el peatón pueda guiarse para poder atravesar hasta el otro extremo.

- En los pasos de peatones, semáforos y señales STOP, es normal encontrarse con una marca vial transversal continua, que indica que no se debe sobrepasar. Los pasos para peatones (*pasos de cebra*) son marcas blancas transversales de gran anchura, colocadas en bandas paralelas al eje de la calzada, indicando que los peatones tienen preferencia de paso sobre los vehículos.
- También se puede ver una marca transversal discontinua, que normalmente se encuentra tras un *Ceda el Paso* y que indica que no debe ser sobrepasada, salvo que se pueda hacer sin peligro.

5.4.7.1 Sistema de codificación

Se debe tener un sistema de codificación apropiado para identificar cada uno de los elementos geográficos, por lo tanto, se plantea el siguiente esquema de codificación:

Figura 26. Estructura de codificación de elementos geográficos.



En la figura 26 se muestra un sistema de codificación propuesto para cada uno de los elementos geográficos.

La codificación de los sentidos mostrados en la figura 22 que se utiliza para definir cada punto de orientación, ilustrado en la tabla 1:

Tabla 1. Codificación de sentidos

Sentido	Nombre	Código
N	Norte	1
E	Este	2
S	Sur	3
O	Oeste	4
NE	NorEste	12
NS	NorSur	13
NO	NorOeste	14
SN	SurNorte	31
SE	SurEste	32
SO	SurOeste	34
EN	EsteNorte	21
ES	EsteSur	23
EO	EsteOe	24
ON	OesNorte	41
OE	OesEste	42
OS	OesSur	43

Cada elemento tiene su equivalencia, las señales de tránsito son una gran guía al momento de diseñar objetos geográficos, identificando cada elemento para su comprensión y utilización como se muestra en las figuras 27.

Figura 27.1 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (1)


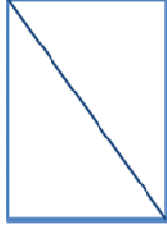
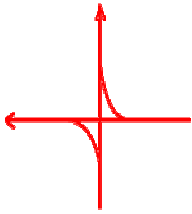
Señal de Transito 1.0	SIG	Sentidos	Codificación Sentido	Cod.
 <p>SP-12 VÍA LATERAL IZQUIERDA</p> <p>SP-13 VÍA LATERAL DERECHA</p>			Este – Norte (E – N)	0001 – XXXX – XXXX – 2100
			Sur – Oeste (S – O)	0002 – XXXX – XXXX – 3400

Figura 27.2 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (2)


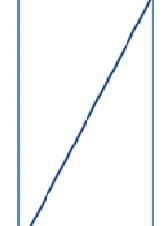
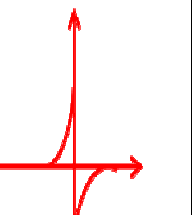
Señal de Transito 1.1	SIG	Sentidos	Codificación Sentido	Cod.
 <p>SP-13 VÍA LATERAL DERECHA</p> <p>SP-12 VÍA LATERAL IZQUIERDA</p>			Oeste – Norte (O – N)	0003 – XXXX – XXXX – 4100
			Sur - Este (S - E)	0004 – XXXX – XXXX – 3200

Figura 27.3 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (3)


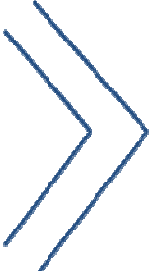

Señal de Transito 1.2	SIG	Sentido	Codificación Sentido	Cod.
 <p>SP-01 CURVA PELIGROSA A LA IZQUIERDA</p>			Suroeste – Noroeste (SO – NO)	0005 – XXXX – XXXX – 3414
			Noroeste - Suroeste (NO – SO)	0005 – XXXX – XXXX – 1434

Figura 27.4 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (4)


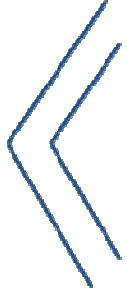

Señal de Tránsito 1.3	SIG	Sentido	Codificación Sentido	Cod.
 <p>SP-02 CURVA PELIGROSA A LA DERECHA</p>			Sureste – Noreste (SE – NE)	0006 – XXXX – XXXX – 3212
			Noreste - Sureste (NE – SE)	0006 – XXXX – XXXX – 1232

Figura 27.5 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (5)

Señal de Tránsito 1.4	SIG	Sentido	Codificación Sentido	Cod.
 <p>SP-03 CURVA PRONUNCIADA A LA IZQUIERDA</p>			Sur -Noroeste (S –NO)	0007 – XXXX – XXXX - 3014

Figura 27.6 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (6)

Señal de Tránsito 1.5	SIG	Sentido	Codificación Sentido	Cod.
 <p>SP-04 CURVA PRONUNCIADA A LA DERECHA</p>			Sur -Noreste (S –NE)	0008 – XXXX – XXXX - 3012

Figura 27.7 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (7)



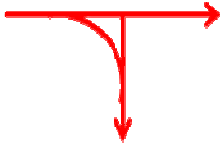
Señal de Transito 1.6	SIG	Sentido	Codificación Sentido	Cod.
			Oeste - Este (O - E)	0009 - XXXX - XXXX - 4200
			Oeste - Sur (O - S)	0009 - XXXX - XXXX - 4300

Figura 27.8 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (8)



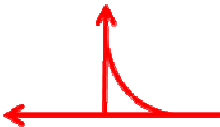
Señal de Transito 1.7	SIG	Sentido	Codificación Sentido	Cod.
			Este - Oeste (E - O)	0010 - XXXX - XXXX - 2400
			Este - Norte (E - N)	0010 - XXXX - XXXX - 1200

Figura 27.9 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (9)


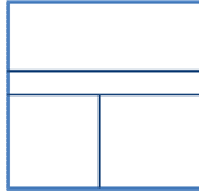
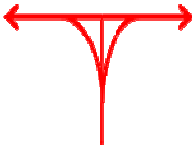
Señal de Transito 1.8	SIG	Sentido	Codificación Sentido	Cod.
			Sur - Oeste (S - O)	0011 - XXXX - XXXX - 3400
			Sur - Este (S - E)	0011 - XXXX - XXXX - 3200

Figura 27.10 Figura de equivalencia de las señales de tránsito (10)

Señal de Tránsito 1.9	Equivalencia SIG
 <p>SP-15 BIFURCACIÓN EN "Y" SP-16 BIFURCACIÓN IZQUIERDA SP-17 BIFURCACIÓN DERECHA SP-21 INCORPORACIÓN DE TRÁNSITO IZQUIERDA SP-22 INCORPORACIÓN DE TRÁNSITO DERECHA</p>	<p>Estas señales de tránsito son casos especiales de las equivalencias de bifurcaciones 1.0, 1.1 , 1.2 , 1.3 , 1.4 y 1.5</p>

Figura 27.11 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (11)

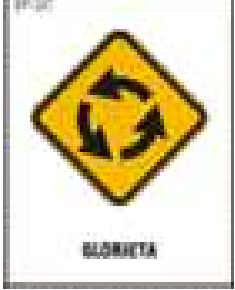
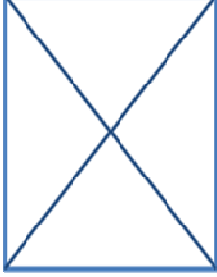
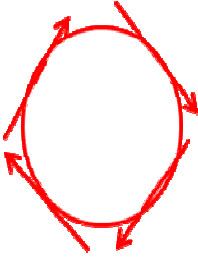


Señal de Tránsito 2.0	SIG	Sentido	Codificación Sentido	Cod.
 <p>SP-20 MANECILLAS DEL RELOJ</p>			<p>Manecillas del Reloj</p>	<p>0020 – XXXX – XXXX - 1234</p> <p>Invertido Manecillas del Reloj</p> <p>0020 – XXXX – XXXX - 4321</p>

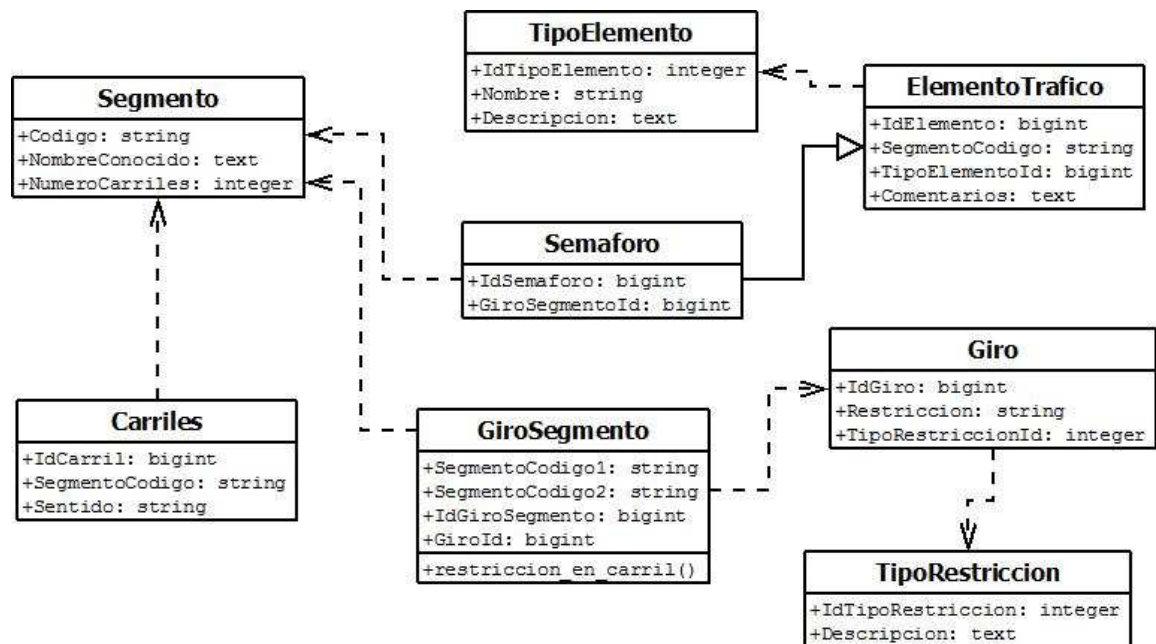
Figura 27.12 Figura de equivalencia y codificación de las señales de tránsito (12)

Señal de Tránsito	SIG	Estado		Cod.
 <p>SP-23 SEMÁFORO</p>		<p>Rojo – R Amarillo – M Verde - V</p>		

5.4.8 Entidades identificadas

Las entidades mencionadas anteriormente, se clasificaron y se abstraieron en el siguiente modelo, expresado en el siguiente diagrama de clases (ver la figura 28):

Figura 28. Diagrama de clases de entidades y sus atributos.



Como se aprecia en la figura 28 se muestra el diagrama de clases con cada una de sus asociaciones.

5.4.8.1 Segmentos

Cada segmento tiene un código asociado; un nombre el cual contiene la carrera y la calle por la cual se encuentra (por ejemplo: carrera 8ª. entre calles 35 y 36); y la suma de los carriles que lo conforman (este atributo es calculado a partir de la relación que se tiene con los carriles).

Para poder almacenar de manera coherente la malla vial, el código se formó para poder hacer las conexiones entre uno y otro segmento. Aunque, las conexiones no se hacen directamente, sino a través de los giros, los códigos de segmento son los que implícitamente tienen la forma de acoplarse unos con otros, por lo que están especialmente pensados:

- Es una cadena de caracteres alfanuméricos de la forma:
XXX-XXX-XXX-XXX-X
- Cada grupo se define como: CraI-CIII-CraF-CIIF-E
 - CraI: Carrera desde donde inicia el segmento.
 - CIII: Calle inicial de segmento.
 - CraF: Carrera en la que finaliza el segmento
 - CallF: Calle final de segmento.
 - E es la bandera que muestra que es un caso especial, como una diagonal o una transversal; en el caso de una diagonal, dos segmentos tendrían más de una unión, por lo que esta llave cobra sentido.
- XXX denota la secuencia de la carrera o calle que se está referenciando; esta secuencia es propia para cada calle dentro del sistema y es un consecutivo que se maneja internamente por los alimentadores de la base de datos.
- Para poder definir qué calles y carreras inician y finalizan, se toma la misma orientación que se tiene establecida en la ciudad, comenzando desde la primera carrera en la primera calle al sur y de este a oeste; de esta manera se pueden definir los sentidos en la ciudad además del código.
- Se define un ejemplo con respecto a toda la carrera séptima (7ª) en la ciudad de Pereira la cual en el *tramo del lago* pasa de uno, dos y luego tres carriles en las calles 24, 25 y 26.

5.4.8.2 Carriles

Cada carril está asociado a un segmento y tiene un sentido, haciendo posible que un segmento de doble vías. El sentido se define desde dónde se comienza y hacia dónde termina, (segmento de inicio y segmento de fin). El código del sentido: Según la orientación cardinal del segmento, Este, Oeste, Norte, Sur, o sus combinaciones, de la forma XX, siendo XX los números codificados como se muestra en las equivalencias del SIG.

Las restricciones sobre los giros se pueden llevar hasta el dominio de los carriles, ya que hay ciertos segmentos, en los cuales a pesar que más de un carril tiene el sentido para que se pueda hacer el giro, sólo en uno de ellos está permitido hacerlo.

5.4.8.3 Giros y Restricciones

La entidad *Giro* es la definición genérica de los giros en la ciudad, por lo que pueden ser utilizados más de una vez para unir segmentos; además de esto, cada giro tiene una restricción específica, la cual, hace parte de la definición de giro, cada restricción tiene un tipo de restricción que define qué tan permisiva es la restricción, en otras palabras, muestra el grado de severidad con la que la restricción debe ser tomada en cuenta, ej.: Obligatoria; Permitida sólo en emergencias; permitida sólo por un segmento (una cuadra).

5.4.8.4 GiroSegmento

Esta es una de las entidades más importantes en el modelo, porque es la que finalmente une los segmentos, dependiendo de los giros, por lo que tiene el código de los dos segmentos que une, además del código del giro que define esta unión; cuando no hay giro, significa que los dos segmentos hacen parte de la misma calle, carrera, transversal, diagonal, autopista o avenida, etc. A la cual los dos segmentos se unen, por lo que esta, entidad se convierte en una especie de nodo para la red.

5.4.8.5 Elemento Tráfico

Todo elemento que impacta directamente el tráfico, se instancia en esta entidad. Cada elemento está asociado a un segmento, tiene una descripción y es de un tipo en específico. Los tipos de elemento son definidos por autoridades competentes.

5.4.8.6 Semáforos

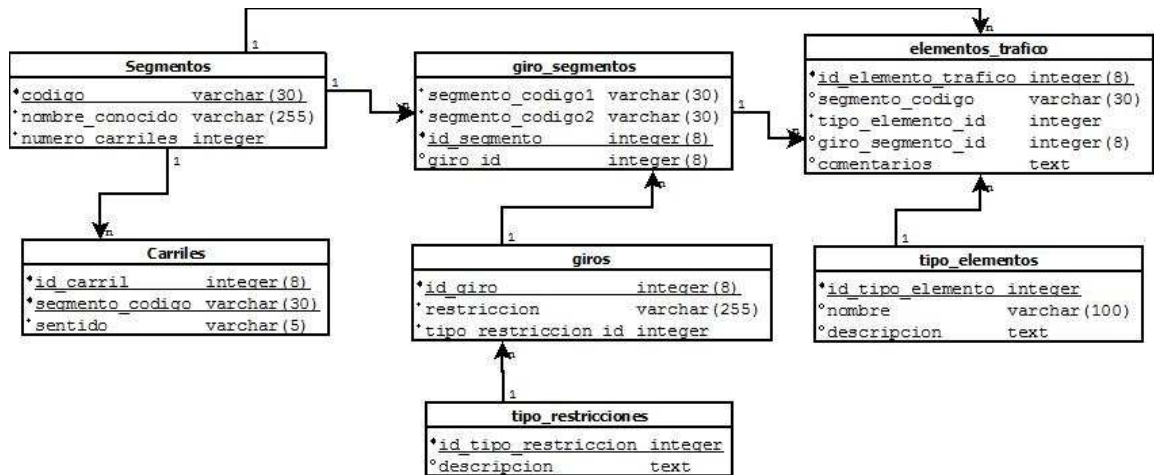
Los semáforos son elementos de tráfico muy especiales, ya que hacen parte de las intersecciones y están al final de los segmentos modelados en el sistema, además controlan el tiempo en que los automóviles pueden transitar de un segmento a otro.

Cada semáforo está asociado a un segmento (del cual controla su tráfico) y a un *GiroSegmento*, del cual hace parte también, porque permite hacer la unión con al menos otro segmento.

No siempre el semáforo controla el flujo de un segmento a otro, sino que controla el flujo de un segmento a otro 2 (por lo menos), por lo que la asociación con el *GiroSegmento* es con el segmento principal de ese flujo vehicular saliente.

5.4.9 Estructura de datos

Figura 29. Diagrama de estructura de datos.



Como se aprecia en la figura 29 tenemos *Segmentos* que están asociados con diferentes tipos de *elementos geográficos*, cada uno de estos tiene una codificación primaria con identificadores únicos, como se muestra la relación de un *segmento* con un *elemento de tráfico* es de 1 a n como también lo es con el número de *carriles* asociados.

5.5 Esquema General

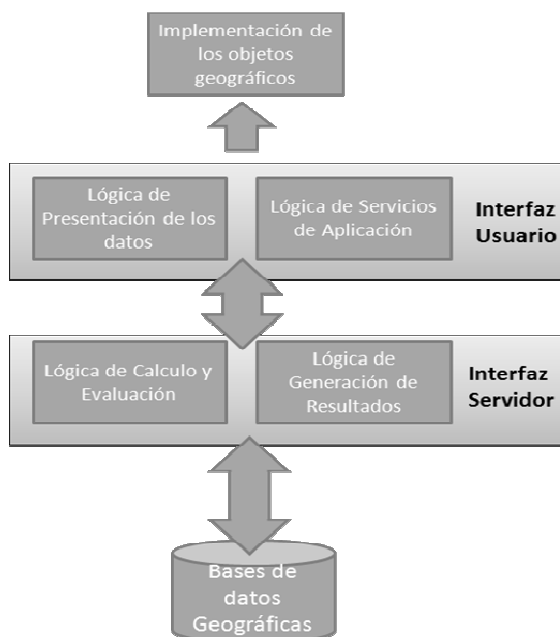
5.5.1 Arquitectura Software

El diseño del software se ha hecho partiendo de una arquitectura en tres capas o niveles, que dotan a la herramienta de mayor flexibilidad y escalabilidad para dar servicios web, aunque, el uso de módulos implementados en Visual Basic abre las posibilidades de la herramienta para ser combinada con otras aplicaciones. Estas capas son:

1. Interfaz de usuario, con módulos desarrollados en Visual Basic.
2. Los programas de aplicación que gestionan y evalúan los datos.
3. El Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD) que almacena los datos.

Dentro de estos niveles o capas, los tres módulos fundamentales de la arquitectura software del sistema se muestran en la Figura 30.

Figura 30. Arquitectura del sistema



5.5.1.1 Interfaz de Usuario

Gestiona la apariencia visual, además de comunicarse con el servidor. Pertenece a los programas de aplicación que pueden ser desarrollados por medio de módulos de Visual Basic con sistemas de información geográfico.

5.5.1.2 Interfaz de Servidor

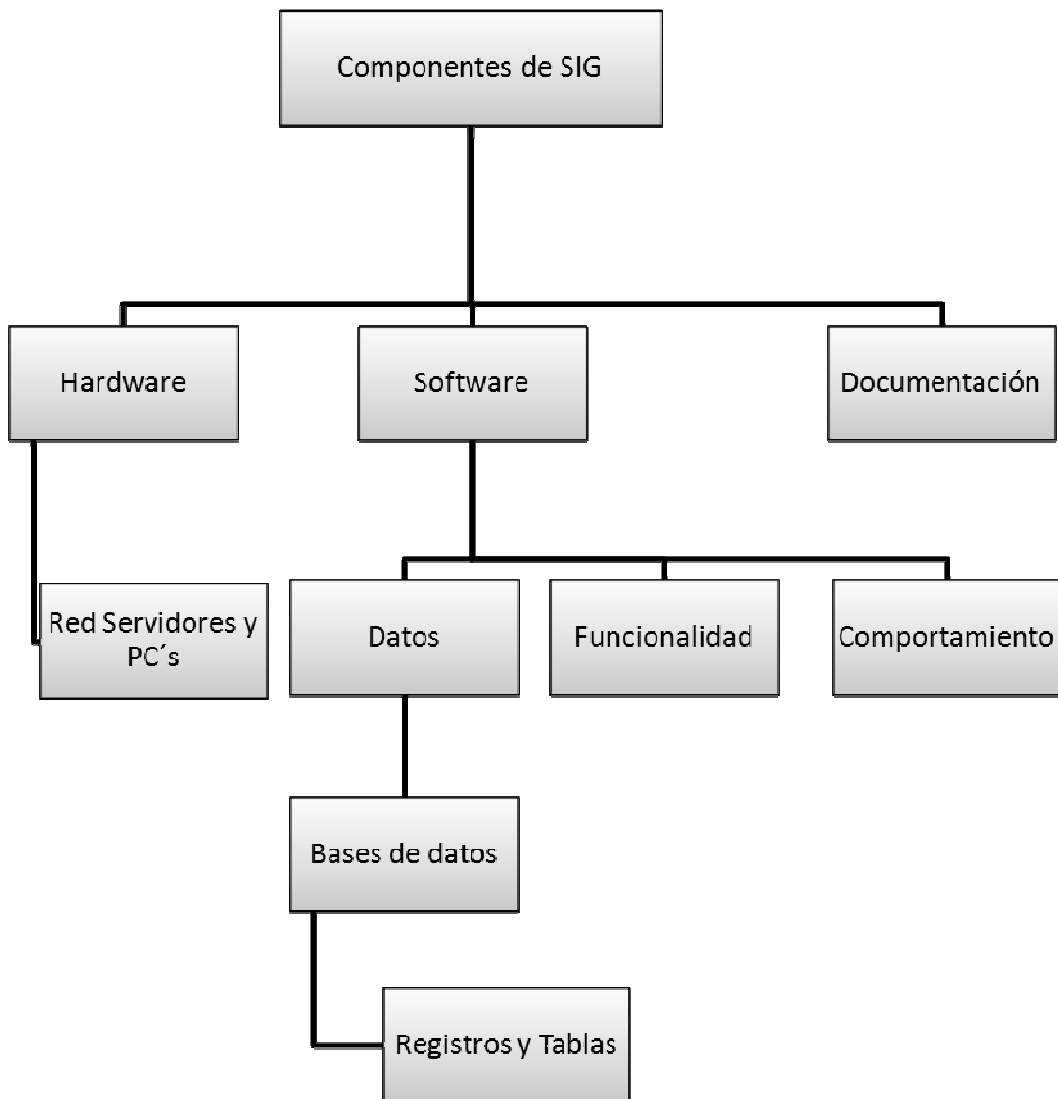
Realiza las evaluaciones y los informes además de servir los mapas resultados de dichas evaluaciones. Pertenece a los programas de aplicación, e incluye la plataforma interfaz entre el Sistema de información geográfica y la base de datos.

5.5.1.3 Servidor de Datos o Bases de Datos Geográficas

Donde se almacenan todos los datos del sistema (incluyendo información geográfica), conformando un modelo territorial completo. El sistema accede a los datos a través de la librería SIG utilizada en la interfaz de servidor. Actualmente, la mayoría de estas librerías, acceden a los Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD) más comunes (si bien, hay que hacer mención a que la mayoría de ellos son relacionales).

5.6 Diagrama General de Componentes

Figura 31. Diagrama general de componentes



5.7 Utilización de Software SIG

5.7.1 Introducción

El software a utilizar por mejores capacidades funcionales es el Arcview. A continuación se muestran las capacidades específicas de la herramienta.

5.7.2 Datos que pueden utilizarse en *Arcview*

Los datos que describen cualquier parte de la superficie terrestre o los objetos que se encuentran sobre ella, pueden llamarse datos geográficos. Esto no sólo incluye datos cartográficos y científicos, sino también datos comerciales, catastrales, fotográficos, bases de datos acerca de clientes, guías de viaje, listados de bienes raíces, documentos legales, video filmaciones, etc.

En *ArcView* pueden utilizarse datos geográficos procedentes de una multiplicidad de fuentes, a saber:

5.7.2.1 Datos espaciales

- Archivos de configuración de *ArcView*
- Coberturas de ARC/INFO
- Dibujos de AutoCAD

5.7.2.2 Datos en forma de imágenes

Los datos en forma de imágenes incluyen imágenes de satélites, fotografías aéreas y otros datos capturados de forma remota o mediante escáner:

- Datos de cuadrícula (GRID) de ARC/INFO

- TIFF
- Datos de imagen comprimidos TIFF/LZW
- ERDAS
- BSQ, BIL y BIP
- Archivos de trama de *Sun*
- Archivos comprimidos mediante la metodología de longitud de repeticiones

5.7.2.3 Datos en forma de tablas

ArcView soporta los Siguietes formatos:

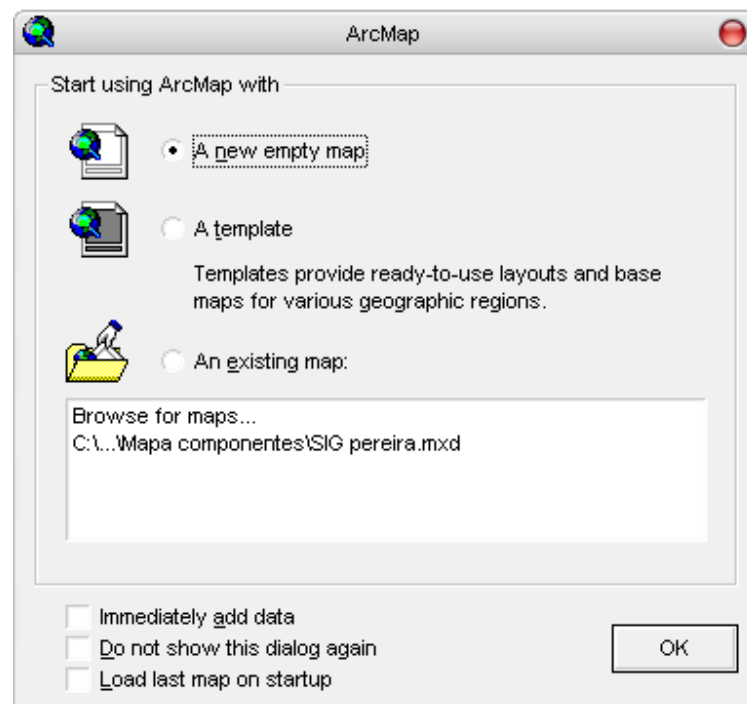
- Datos de servidores de bases de datos tales como Oracle, Ingres, Sybase, Informix, etc.
- Archivos de dBASE III
- Archivos de dBASE IV
- Tablas de INFO
- Archivos de texto con campos separados por caracteres de tabulación o comas

En este caso, se utiliza el archivo generado por la herramienta CAD. Existen diferentes herramientas; en este proceso se utilizó el *Autocad 2008* versión trial para dar forma al sistema *georeferenciado*.

5.7.3 Utilizando la herramienta

Una vez instalado el *Arcview*, se abre al programa *ArcMap*.

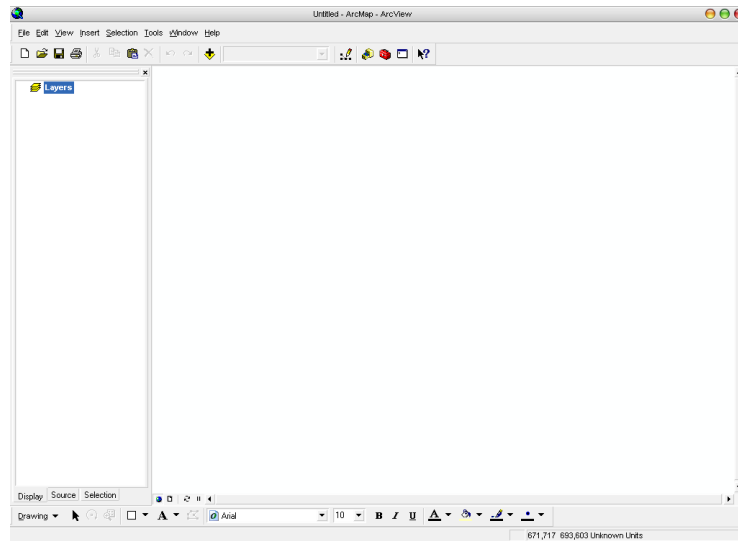
Figura 32. Creando el entorno de un nuevo mapa en *ArcMap*



Como se observa en la figura 32 debemos tener en cuenta si vamos a crear un nuevo mapa o si simplemente utilizamos una plantilla o un mapa existente.

Se crea un nuevo proyecto.

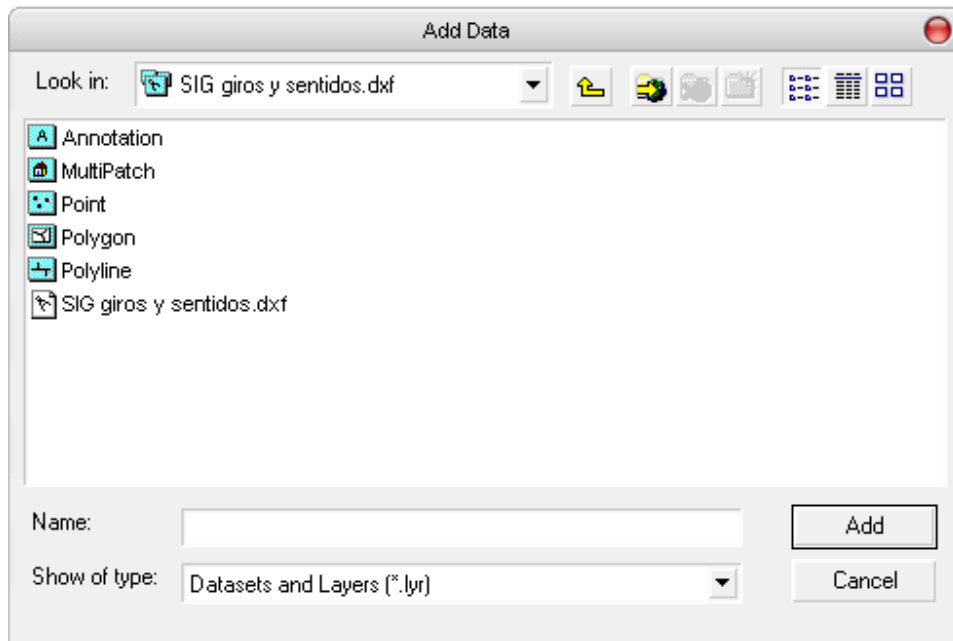
Figura 33. Creando los *layers* y Capas



En la figura 33 se muestra la posibilidad de un nuevo proyecto, por lo tanto, se importa el desarrollo que se había realizado previamente en *Autocad*.

Por lo que se selecciona la opción *Add Data*.

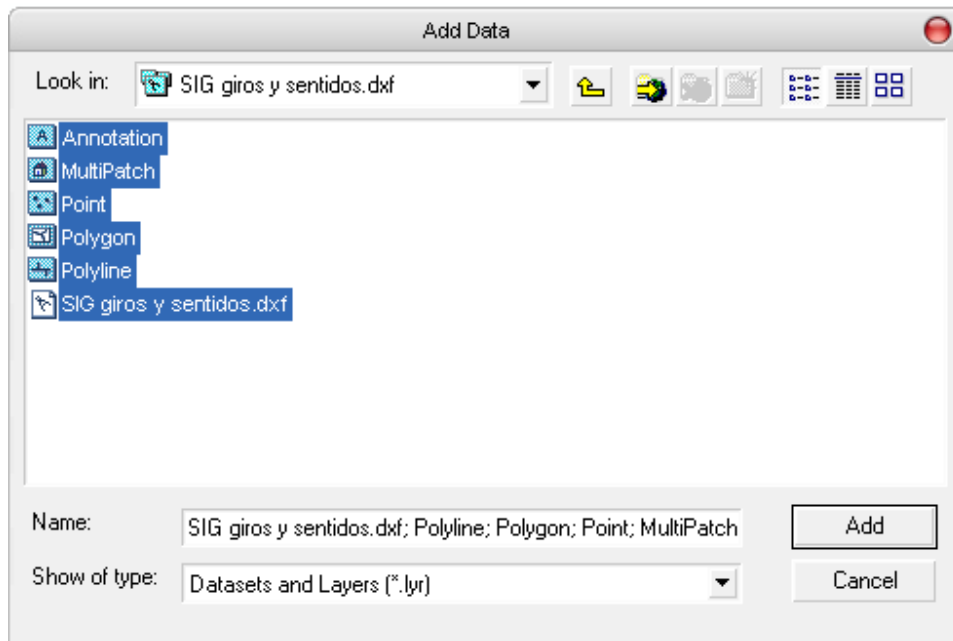
Figura 34. Incluyendo Capas de tipo Polígonos, Línea y Punto.



Como se observa en la figura 34 buscamos el documento, que en este caso se llama *SIG giros y sentidos.dfx*, el formato *dfx* es propio del *Autocad* y es compatible con *Arcview*.

Como se puede observar, el archivo se encuentra clasificado por capas las cuales puede ser de tipo punto, polígono o línea.

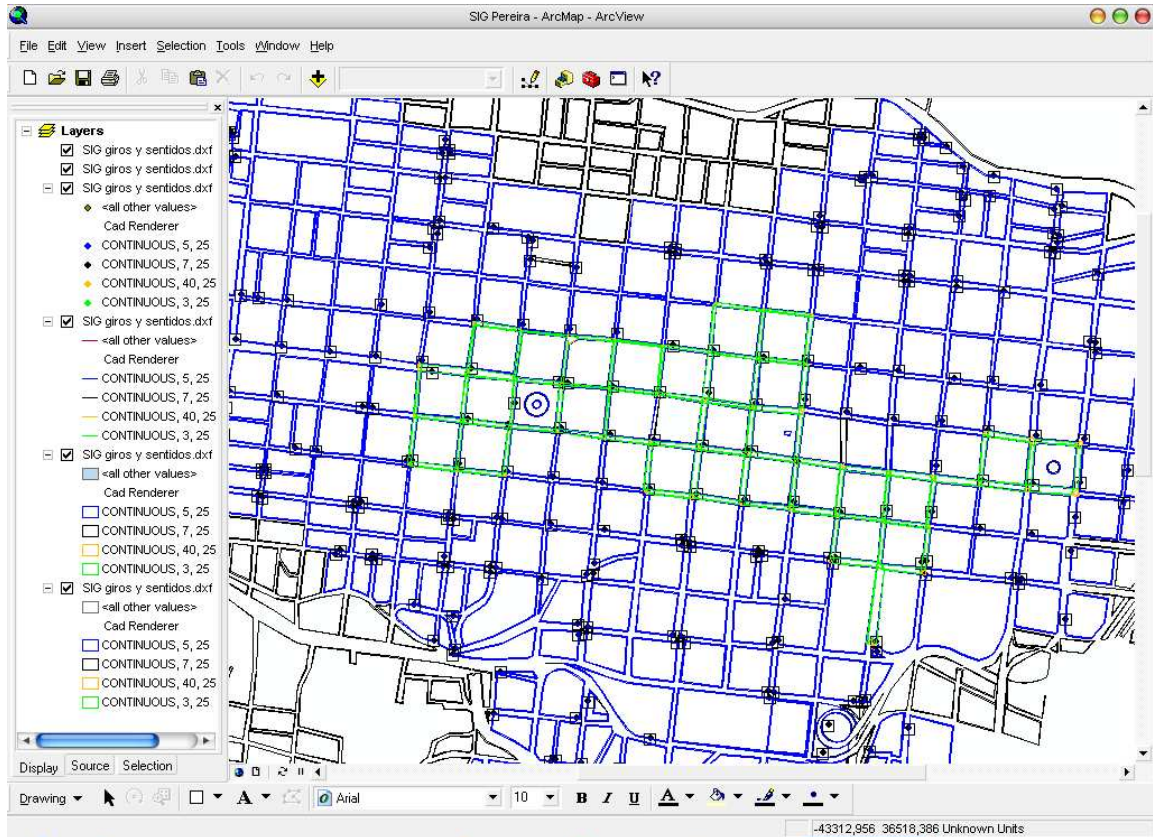
Figura 35. Seleccionando las capas de tipo Polígonos, Línea y Punto.



Se seleccionan todas las capas como se muestra en la figura 35 y se hace clic en *Add*.

Se carga automáticamente todos los elementos y capas relacionadas con el SIG. Por lo que se debe clasificar por capas y colores.

Figura 36. Sistema de información Geográfico con sus componentes.



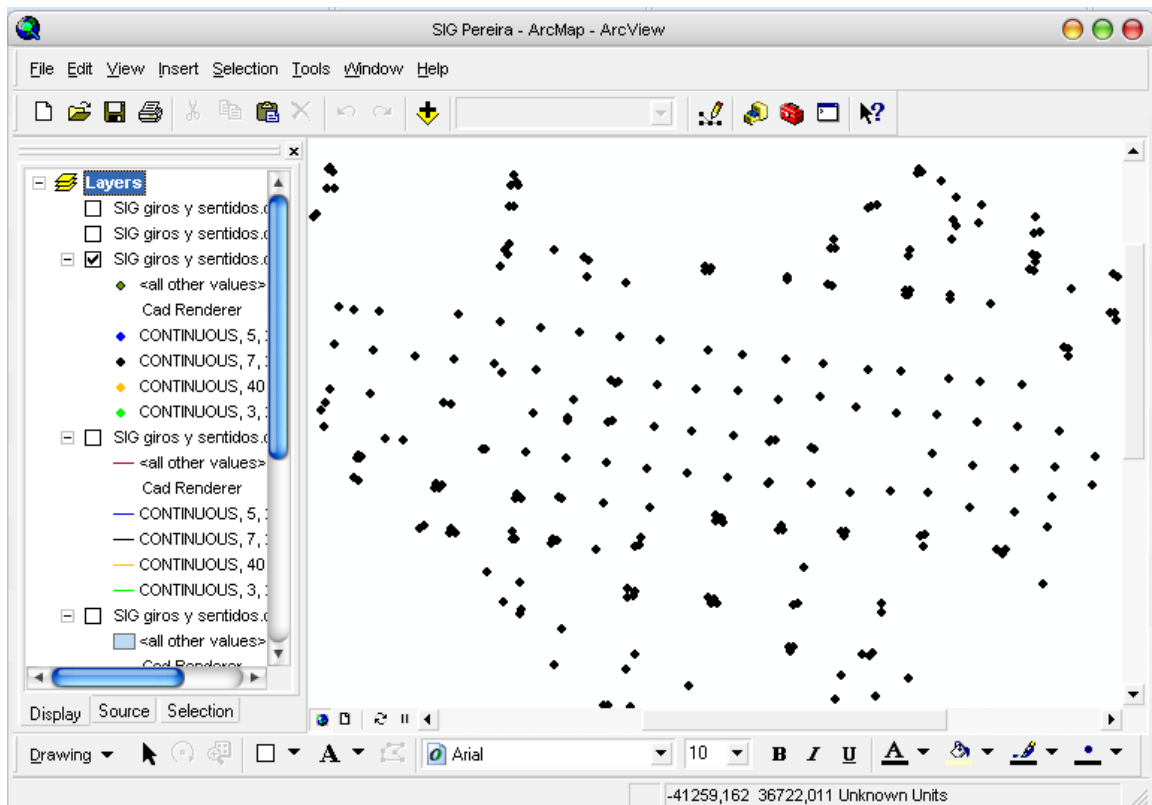
El menú consta de los menús en la parte superior que muestran diferentes opciones para la manipulación y el control de todos los elementos relacionados con el sistema de información.

En la parte izquierda se cuenta con una ventana diseñada especialmente para tener el control de las capas y el modo de visualización que se desea, dependiendo de las tareas que se hayan asignado, estos se definen como *Layers*.

En la parte central se puede apreciar la visualización gráfica del sistema de información, en el cual podemos navegar por medio de las teclas.

Se puede aplicar un filtro por capas seleccionando en la parte de *Layers* lo que se desea visualizar.

Figura 37. Seleccionando una Capa.



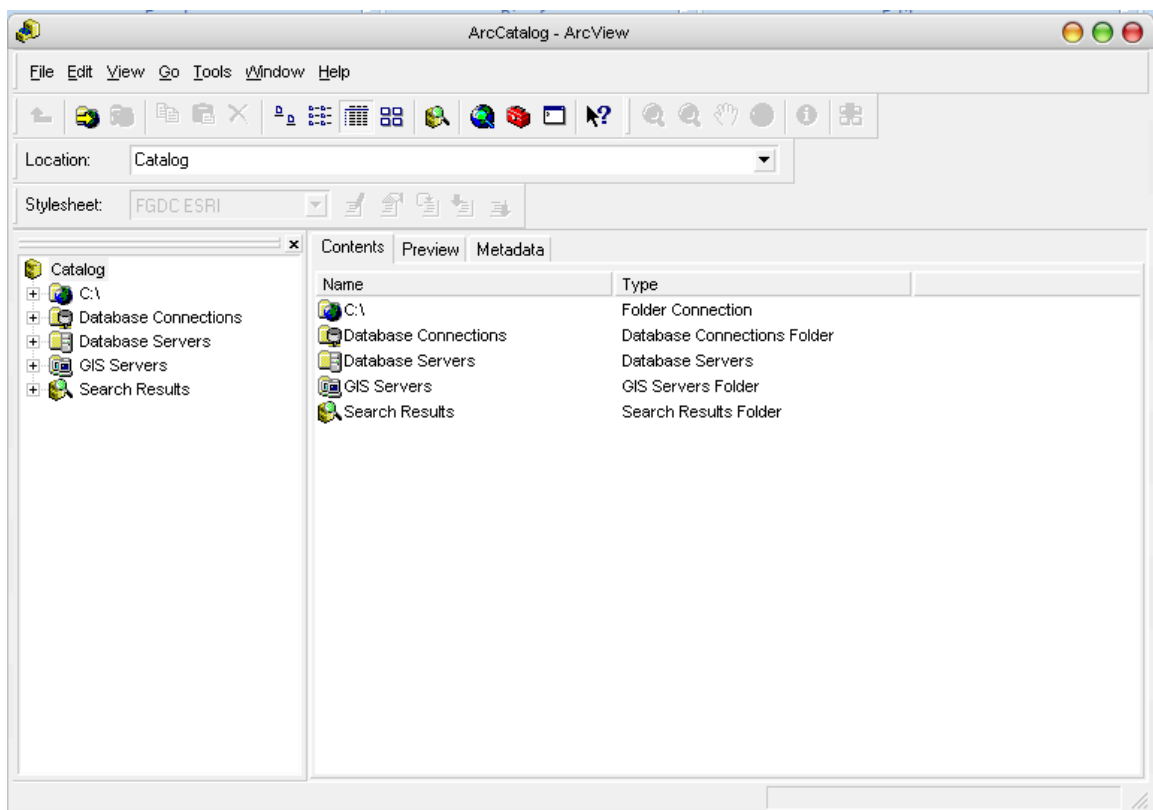
Por ejemplo, en la figura 37 solo se filtra la capa de semáforos y elementos geográficos relacionados. Si se desea clasificar las demás capas de nuevo, simplemente se hace clic sobre el *check box* que se encuentra en la ventana de *Layers*. Así como se puede filtrar la visualización, también se puede adicionar capas que se vayan desarrollando de forma independiente.

Un Sistema de Información Geográfico es mucho más útil cuando se tienen todos los datos relacionados con los elementos geográficos, por lo tanto, se ha creado una base de datos relacional, la cual permite asociar los elementos geográficos con características específicas de cada elemento. Lo que se necesita para asociar

una base de datos al sistema de información, es la herramienta ArcCatalog con la que se puede importar una base de datos que ya se tenga creada.

5.7.3.1 Asociando la base de datos

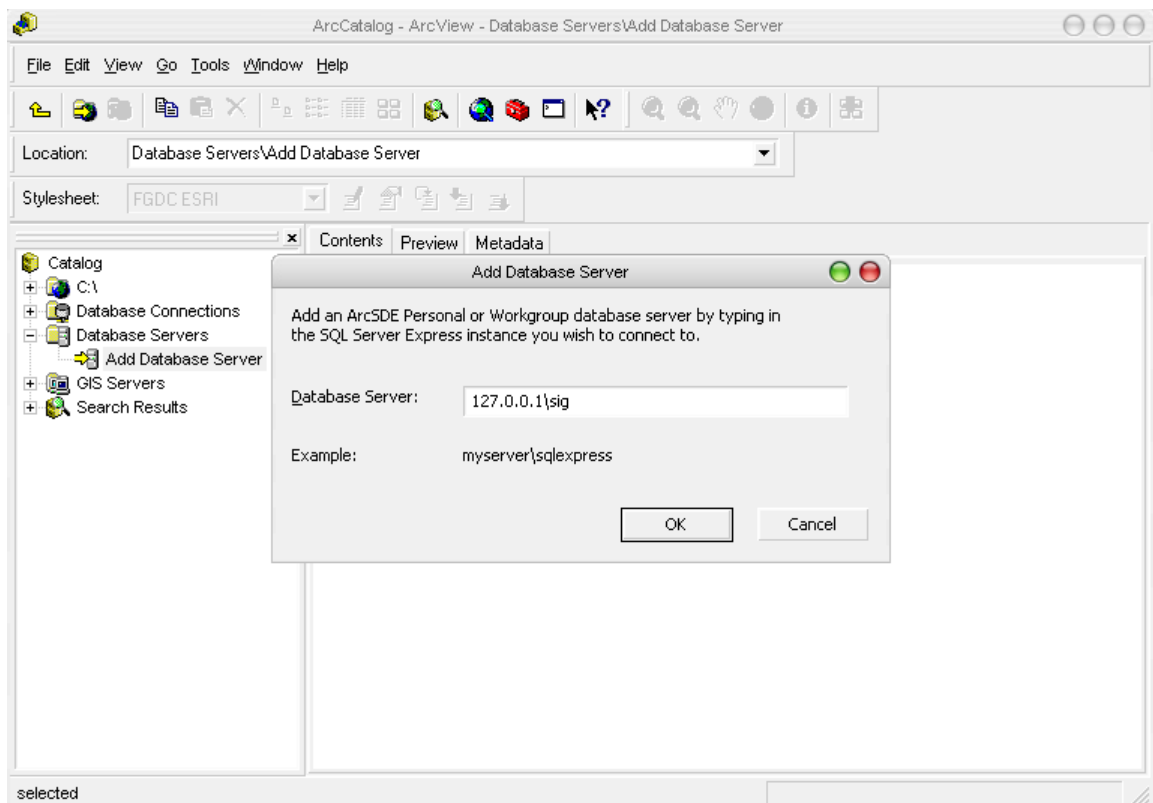
Figura 38. Creando una conexión con la base de datos.



Como se puede observar en la figura 38 tenemos diferentes funciones para realizar la especificación de la base de datos. Lo primero que se debe tener en cuenta es la localización de nuestra base de datos, por lo tanto, si se tiene un servidor instalado con cualquier tipo de base de datos relacional, se recomienda utilizar bases de datos creadas en *Mysql*, *Postgresql*, *Access*, *Oracle* o cualquier otro gestor de última generación.

Para adicionar una base de datos, se selecciona la opción *Database servers* y luego la opción *add data base servers*.

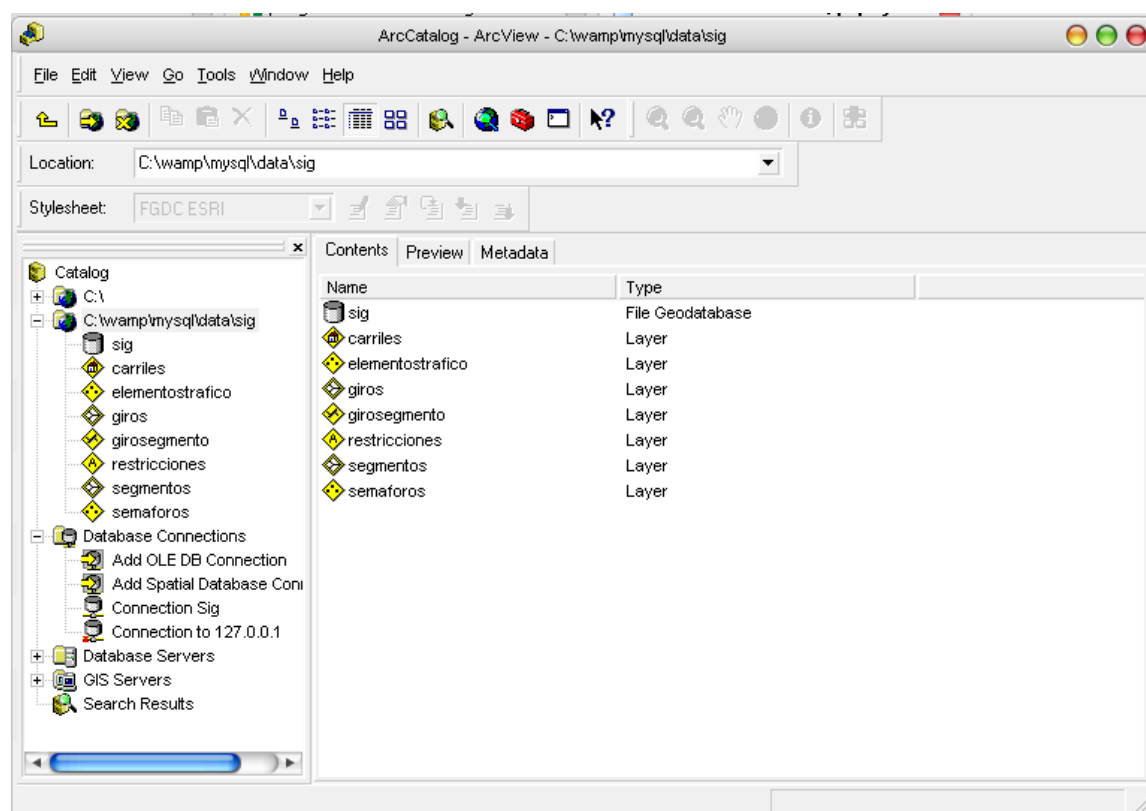
Figura 39. Adicionando la Ruta de conexión con el Servidor.



Si ya se tiene un servidor instalado con todos los servicios de bases de datos y un motor web como Apache, entonces se escribe una ruta de enlace, si no, entonces se agrega una base de datos local, (en este caso se llama SIG) que se encuentra creada en con la estructura mencionada anteriormente. Se digita la ruta de acceso al servidor como se muestra en la figura 39.

Al adicionar todos los elementos de la base de datos, se observa que cada una de las tablas que se han adicionado, quedan como tipo *layer*(ver figura 40), lo que quiere decir que se puede realizar la relación con las tablas y los objetos *georeferenciados* por medio de un índice único, el cual se define desde el *Arcmap*.

Figura 40. Elementos de la base de datos y el SIG.

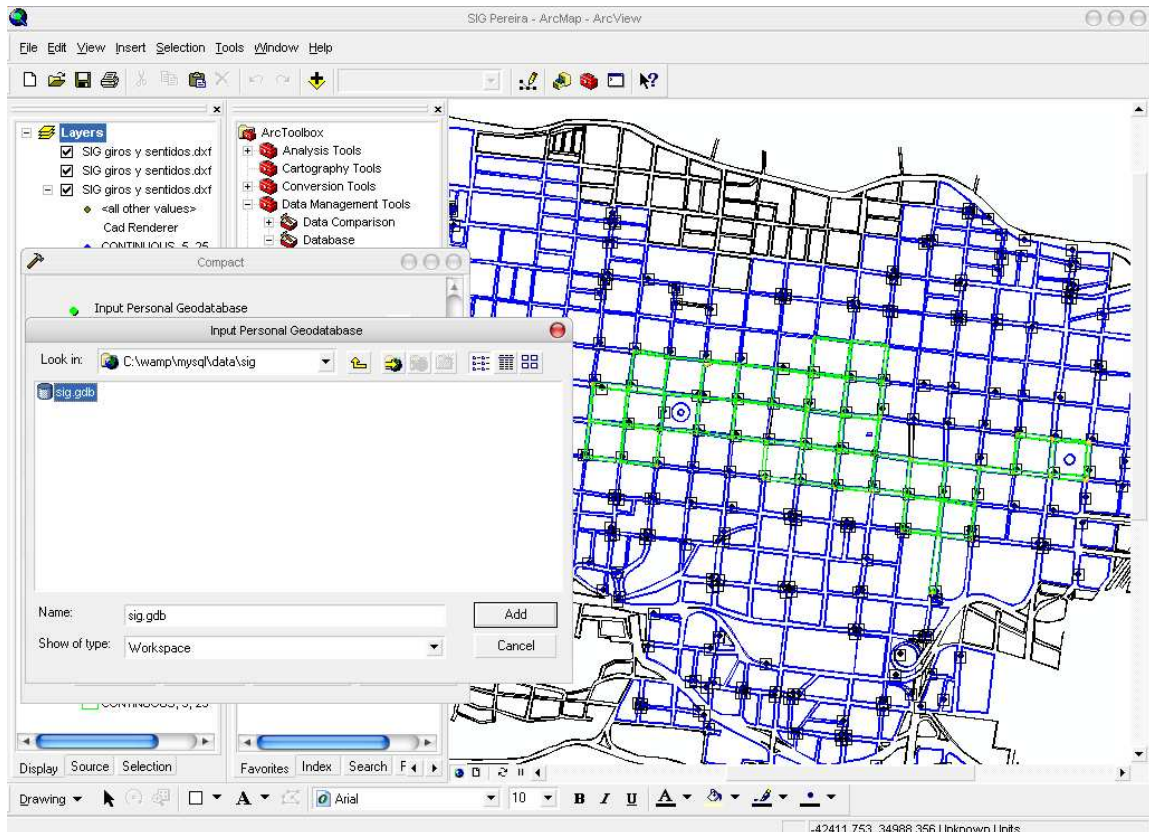


Al crear una base de datos se debe importar por medio del *ArcCatalog*, pero también se pueden importar bases de datos que ya tengan una estructura de *georeferencias* y cuenten con un índice único, el cual relaciona directamente las tablas con los objetos referenciados.

Al adicionar nuestra base de datos SIG automáticamente se enlazan con un índice único. Al haber utilizado una herramienta CAD para el diseño del esquema inicial,

es necesario depurar algunos de los campos que quedan definidos al momento de realizar la conversión.

Figura 41. Asociando base de datos con SIG.

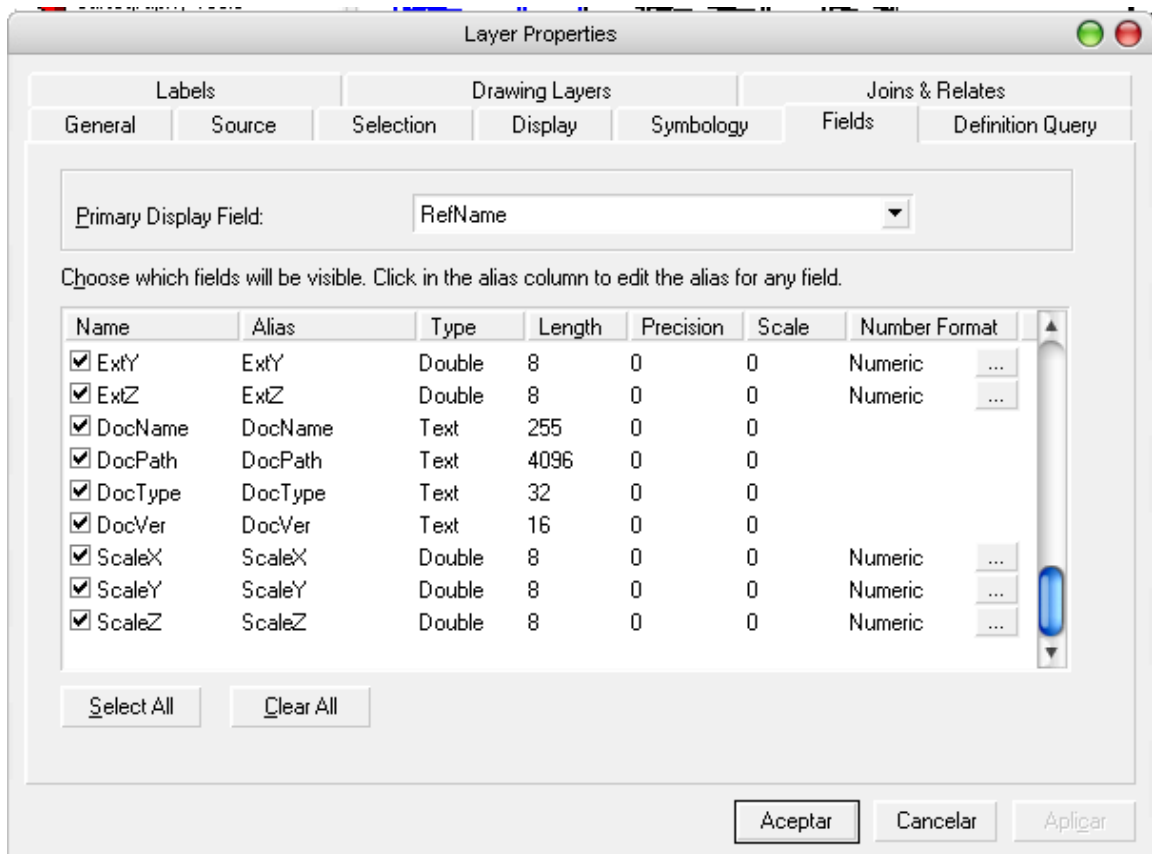


Cuando se tienen las tablas relacionadas con el sistema de información, se cuenta con una integración de los datos contenidos en la base de datos; para verificar el origen y la composición de los datos hacemos clic en las propiedades de los *layers*. Al realizar la verificación nos muestra la ruta de fuente de datos para asociarlos con nuestros layer (ver figura 41).

5.7.4 Propiedades de los Layers

Los *layers* son las capas o los niveles, los cuales contiene un Sistema de Información Geográfico bien definido. El *ArcMap* es una herramienta que proporciona la definición y manipulación de cada una de estas, en este caso se ve la composición geográfica de un *layer* por medio de una tabla relacional.

Figura 42. Propiedades de los Layers.



Como podemos observar en la figura 42 hay muchos atributos que componen nuestra capa algunos son de tipo texto, otros de tipo *double* y otros de tipo *numeric*. Como podemos ver nuestro sistema está compuesto de un sistema *georeferenciado* en una escala definida en X, Y y Z.

5.7.5 Unidades de Medida

La tabla en la parte inferior nos muestra las equivalencias de la medida de conversión utilizada para realizar el Sistema de Información prototipo basados en una escala de imágenes tomadas a una altitud de 2000 pies por lo tanto se muestran las relaciones de unidad x medida y su equivalencia.

Figura 43. Tabla de unidades de medida.

UNIDAD DE MEDIDA	EQUIVALENCIA
PIES	2000
BRAZAS	365.02994011393
ESTADIOS	3.0302729033233
KILÓMETROS	0.60960000000002
LEGUAS	0.10939042115573
METROS	609.60000000002
MILLAS TERRESTRES	0.37878882026173
MILLAS NÁUTICAS INTERNACIONALES	0.32915766738661
MILLAS NÁUTICAS UK	0.3289476524275
PULGADAS	24000.000000001
VARAS	729.18660286851
YARDAS	666.6666666626

Inicialmente se toma como base 2000 pies contra otras unidades de medida que sirven para la integración del sistema *georeferenciado* con respecto a los índices en la base de datos. Por lo consiguiente, podemos afirmar que nuestro SIG está relacionado con las escalas normalizadas y que puede ser fácilmente utilizado en otros gestores de *cardinalidad*.

5.7.6 Álgebra de mapas

Para realizar cálculos con respecto al sistema coordinado y la especificación de ejes existen diferentes métodos conformados por lo que se conoce como Álgebra de Mapas.

Puesto que todas las capas *raster* que se requieren en este caso han de compartir una misma extensión de *grid*, se debe tener un área que conforme el *grid*.

El orden en que se establezca la selección es irrelevante en ciertos casos, ya que un módulo puede utilizar todas las capas seleccionadas de la misma forma. En otros casos, sin embargo, el orden sí tiene importancia, y deben ordenarse las capas seleccionadas de acuerdo con lo que se desee calcular.

Para modificar el orden, se puede seleccionar un elemento en la parte derecha y después utilizar los botones *Arriba* y *Abajo* para desplazarlo de una posición a otra.

En este caso, el orden de las mismas si es importante, ya que será en función del mismo como posteriormente se haga referencia a cada capa a la hora de introducir la expresión matemática a evaluar por la calculadora de mapas.

Seleccionar las capas que se quieran usar, situarlas en un orden adecuado y recordar que son para su uso posterior. Al cerrar el cuadro de dialogo de selección

múltiple, la selección quedara sucintamente expresada en el campo dentro de la ventana de parámetros.

A partir de este punto, las capas seleccionadas se codifican empleando caracteres sencillos, de este modo se pueden nombrar en la fórmula. La forma de hacer esto es sencilla: la primera capa se llama a, la segunda b, la tercera c, y así sucesivamente.

Conociendo la posición de una capa en el orden de las seleccionadas, simplemente basta utilizar la letra asignada a la misma para incorporarla en la fórmula, en lugar de hacerlo por su nombre u otro atributo similar.

Se insiste en lo importante de recordar dicho orden para evitar resultados incongruentes. Por lo demás, el método no presenta mayor dificultad.

Se selecciona una capa de salida en el campo Resultado. Habiendo establecido ya las capas de entrada y salida, es el momento de definir el elemento clave del módulo: la fórmula a emplear.

Esta fórmula se introduce en el campo nombrado como tal; consiste en una sencilla cadena de texto. *ArcMap* admite en este módulo el empleo de números enteros y reales, la realización de operaciones aritméticas básicas entre ellos.

No es en absoluto necesario el introducir capas en la fórmula (es decir, añadir caracteres a la misma), aunque obviamente ello resulta mucho más útil y habitual.

Por ejemplo, la fórmula $1+5*6$ dará como resultado una nueva capa constante con valor 31.

La precedencia de operadores es la habitual: + y - se evalúan tras * y /, y estos después del operador de potencia. Para evitar errores, se recomienda usar paréntesis en caso de duda, para estar completamente seguro de como el programa evaluará la fórmula introducida.

Para añadir una capa a la fórmula, simplemente se usa el carácter que la representa. Por ejemplo, la siguiente fórmula genera una nueva capa con la media de las dos primeras seleccionadas: $(a+b)/2$.

ArcMap soporta los siguientes operadores:

- Suma (+)
- Resta (-)
- Multiplicación (*)
- División (/)
- Potencia (^)

Junto con los anteriores, hay algunas funciones que también pueden usarse. Los parámetros requeridos van entre paréntesis, en caso de ser varios se separan mediante comas. La siguiente es una lista detallada de todas las funciones que implementa el módulo de calculadora de mapas.

- $\ln(x)$: devuelve el logaritmo neperiano de x .
- $\sin(x)$: devuelve el seno de x . x debe estar en radianes
- $\cos(x)$: devuelve el coseno de x . x debe estar en radianes
- $\tan(x)$: devuelve la tangente de x . x debe estar en radianes
- $\text{asin}(x)$: devuelve el arcoseno de x , en radianes
- $\text{acos}(x)$: devuelve el arcocoseno de x , en radianes
- $\text{atan}(x)$: devuelve la arcotangente de x , en radianes
- $\text{atan2}(x,y)$: devuelve la arcotangente de y/x , en radianes
- $\text{abs}(x)$: devuelve el valor absoluto de x . $\text{abs}(-5)=5$
- $\text{int}(x)$: devuelve la parte entera de x . $\text{int}(5.4)=5$
- $\text{mod}(x,y)$: devuelve el módulo de x/y . $\text{mod}(7,4)=3$

También se incluyen algunas funciones de tipo lógico que pueden combinarse con las anteriores. El valor cero representa falso, mientras que el valor 1 representa verdadero. He aquí una lista de las funciones lógicas soportadas por la calculadora de mapas:

- `gt(x,y)`: devuelve verdadero si x es mayor que y .
- `lt(x,y)`: devuelve verdadero si x es menor que y .
- `eq(x,y)`: devuelve verdadero si x es igual que y .

Al evaluar estas funciones, como en el caso de los operadores iniciales, el programa lo hace celda a celda. Así pues, `eq(a,b)` no devuelve verdadero si la capa a es igual a la b , sino que devuelve uno para las celdas que sean iguales en ambas capas, y cero en caso contrario.

Condicionales: `ifelse(condición, x, y)`: devuelve x si la condición es verdadera (si el valor de la expresión es distinto de cero) o y si la condición es falsa (si es igual a cero).

Todas estas funciones pueden combinarse y añadirse para crear fórmulas tan complejas como se necesite, aunque es recomendable en muchas ocasiones el trabajar con fórmulas más reducidas y llevar a cabo varios cálculos, para evitar expresiones difíciles de comprender que pueden dar lugar a errores fácilmente.

La integridad de la fórmula es comprobada por el programa, en caso de encontrar algún error lo comunicara a través de la pestaña de ejecución de códigos.

Los errores posibles incluyen una sintaxis errónea; el uso de caracteres no asignables a capas (por ejemplo si se emplea el carácter h y sólo hay 3 capas seleccionadas).

Un aspecto importante a tener en cuenta es el relativo a las celdas sin datos, ya que si una de ellas aparece, el resultado arrojado, con independencia de la

expresión, es otra celda sin datos. De igual modo, expresiones como 0 también devuelven valor de sin datos.

Las divisiones por cero, como por ejemplo 4/0, devuelven valor infinito. También es recomendable prestar atención a los valores nulos que pueden aparecer en una capa al usar la calculadora de mapas.

5.7.7 Visual Basic

ArcMap es una herramienta en la cual también se puede crear macros por medio de Visual Basic; por lo que lo primero que se hizo, fue un formulario para enlazar algunas consultas con respecto al sistema *Georeferenciado*.

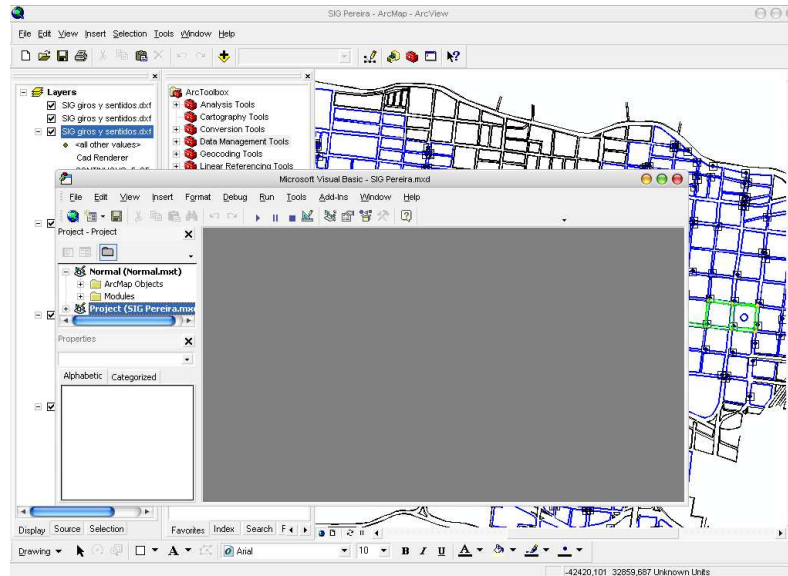
5.7.7.1 Creación de Formularios

El editor de Visual Basic que viene con *ArcGis* es muy parecido al que viene en Access, aunque el abanico de clases disponibles es mucho mayor -lógico si tenemos en cuenta la amplitud de herramientas que vienen con la aplicación-.

Para crear un formulario se debe ir a la pestaña "Herramientas" - "Macros" - "Editor de Visual Basic", donde se accede al editor de formularios. Los controles de los que se disponen son los típicos de Access, como Etiquetas, cuadros de texto, Combo Box o Botones. Como se observa en la figura 44 el editor de Visual Basic contiene las herramientas básicas de Visual 6 para codificar algoritmos y generar ejecutables asociados a *ArcGis*.

La idea principal es crear una aplicación que arranque automáticamente cuando se abre *ArcGis* y manejar todo el programa a través de estos formularios.

Figura 44. Editor de Visual Basic.



5.7.8 Módulo Sistema de Información Geográfico

Cuando se tiene un Sistema de Información Geográfico es necesario realizar consultas avanzadas en una base de datos relacional, por lo cual se desarrolló un módulo prototipo para realizar consultas de pruebas con los datos que se tienen almacenados en la base de datos SIG, por lo tanto, se creó el módulo “Sistema de Información Geográfico”. Como se muestra en la figura 45.

Figura 45. Interfaz Inicial del Prototipo.



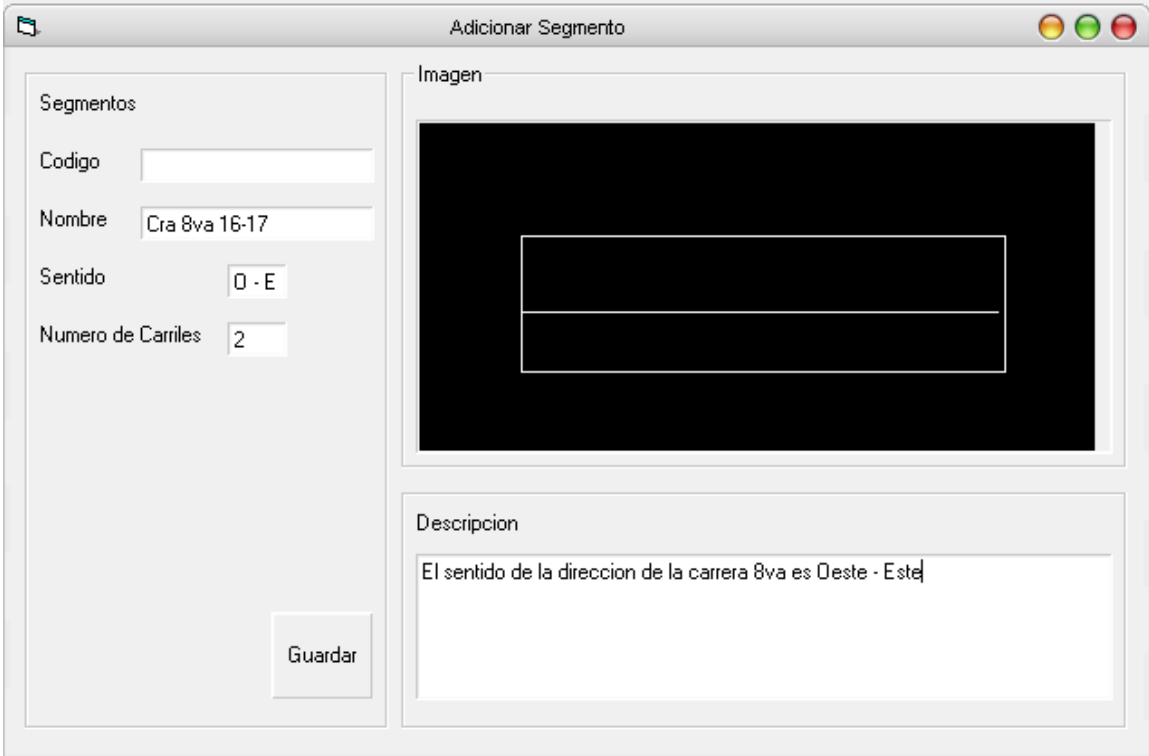
El cual enlaza un desarrollo realizado en Visual Basic con el SIG. Como se puede ver, se tiene dos menús principales que se componen de Archivo y Consultas.

En archivo se puede adicionar todo lo relacionado con Segmentos viales, Giros y Sentidos.

5.7.8.1 Creando un Nuevo Segmento

Para crear un nuevo segmento se hace clic en Archivo – Nuevo Segmento mostrando lo siguiente (ver figura 46):

Figura 46. Adicionando nuevos Segmentos.



The screenshot shows a window titled "Adicionar Segmento". On the left side, under the heading "Segmentos", there are four input fields: "Codigo" (empty), "Nombre" (containing "Cra 8va 16-17"), "Sentido" (containing "O - E"), and "Numero de Carriles" (containing "2"). Below these fields is a "Guardar" button. On the right side, there is an "Imagen" section showing a black rectangle with a white border, and a "Descripcion" section with a text area containing the text "El sentido de la direccion de la carrera 8va es Oeste - Este".

El *código* es opcional, si se deja en blanco el sistema realiza una búsqueda en la base de datos seleccionando el máximo id + 1; el *nombre* indica el nombre de la calle por lo que es un campo tipo *varchar*; el *sentido* indica en qué dirección tiene el segmento por lo que su formato debe tener el correspondiente al sentido cardinal como se muestra en la figura 47.

Figura 47. Matriz de sentidos cardinales.

N	E	S	O
O	N	E	S
S	O	N	E
E	S	O	N

Separados por un (-), puede haber combinaciones entre ellos pero solo del consiguiente a la izquierda o derecha. El número de Carriles indica cuántos *subsegmentos* contiene, por lo que en la vista preliminar se visualiza el diseño del segmento. Al guardar el segmento queda asociado con el objeto *georeferenciado*; se debe recordar que antes de ingresar el segmento, es necesario haber creado el objeto geográfico en el SIG.

5.7.8.2 Creando un Nuevo Giro

Para crear un nuevo giro, se hace clic en *Archivo – Nuevo Giro* mostrando la siguiente interfaz (ver figura 47):

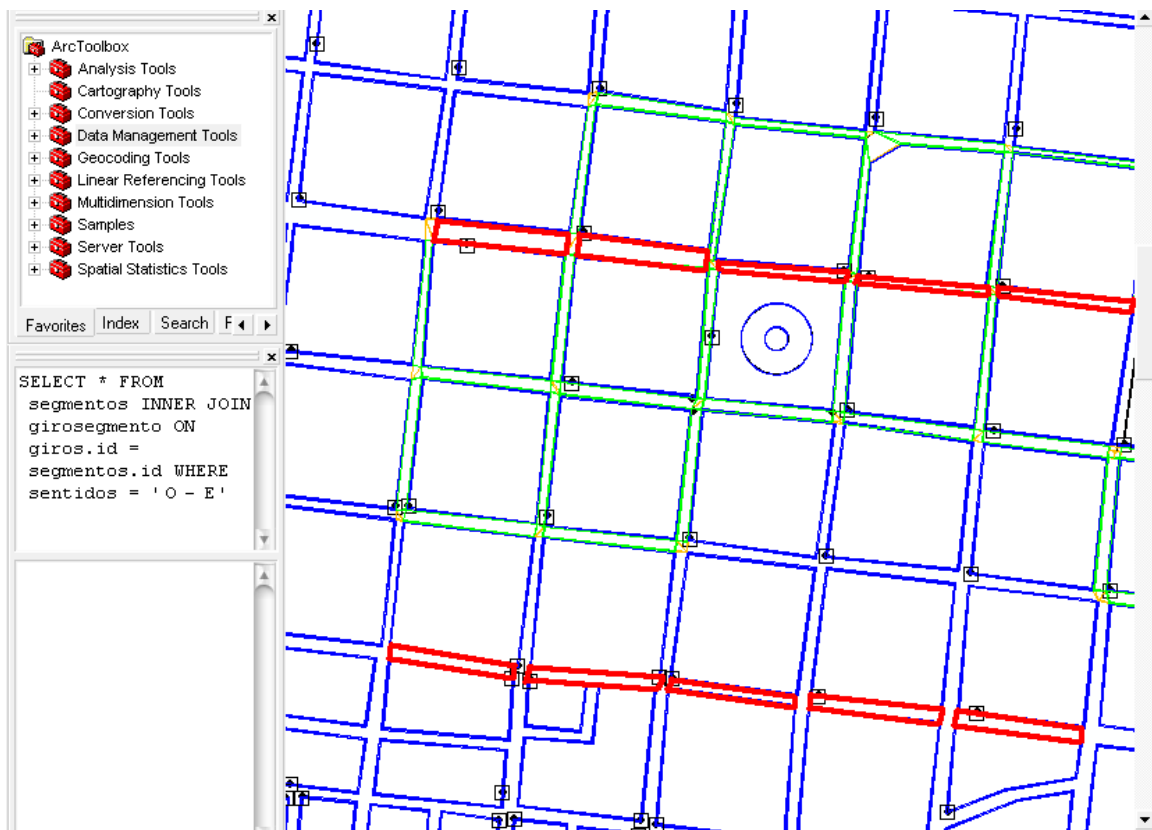
Figura 48. Adicionando nuevos Giros.

Similar a los segmentos, es propio de la persona que este administrando el SIG que asigne los códigos que considere necesarios para un buen desarrollo. Como se puede apreciar, es recomendable estructurar una gama de restricciones que son estándar para luego adicionarlas de ser necesario en un giro. También se cuenta con una interfaz que genera una gráfica representativa del giro a medida que se va editando las características. Una descripción para colocar todo lo referente al giro, esta descripción puede ser colocada por el usuario o por la máquina dependiendo de eventos que se presente en un momento determinado.

5.7.8.3 Consultas SQL

Al tener todo un sistema de información geográfico integrado, se puede realizar consultas SQL directamente desde la base de datos por medio de una consola integrada al *ArcView*; para ingresar a esta consola de comandos regresa a la interfaz principal y hacemos clic en *Window – Command Line*. Aparece una interfaz similar a la consola de Linux por lo que directamente podemos digitar una consulta SQL.

Figura 49. Consulta de Segmentos.



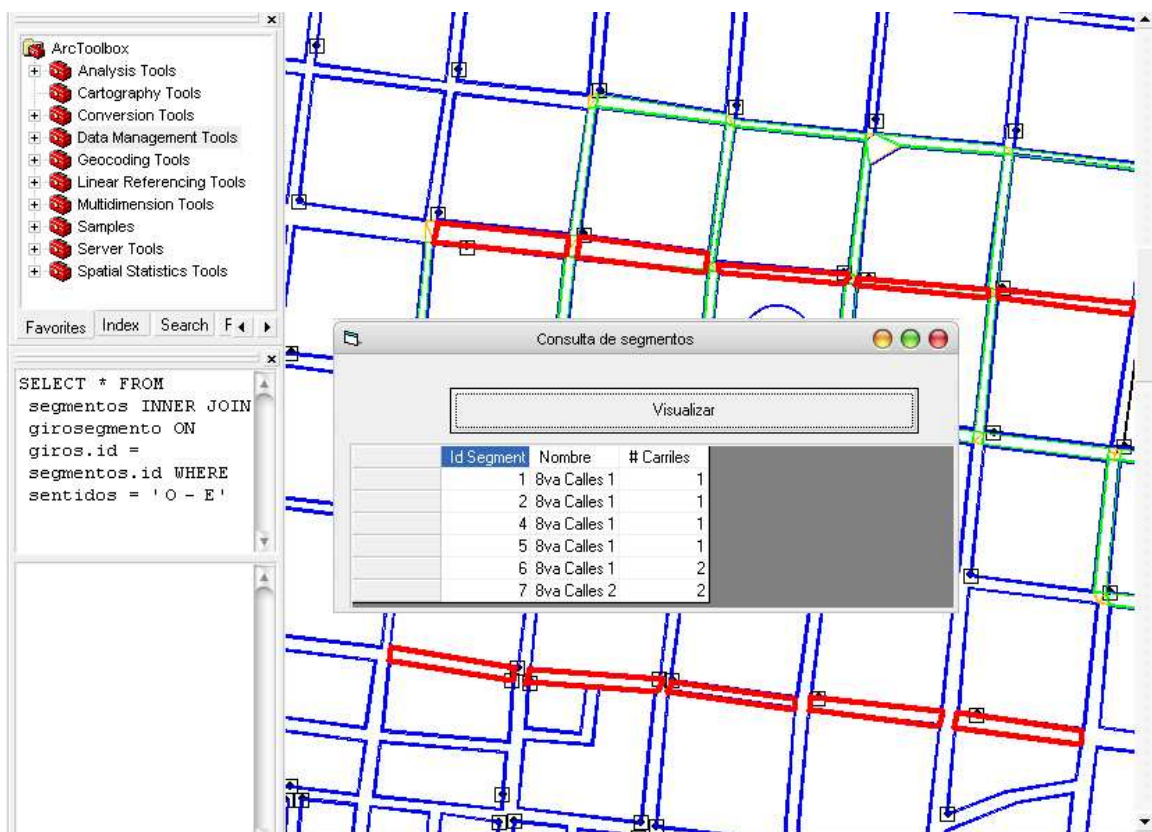
En este caso, se utiliza la consulta:

“SELECT * FROM segmentos INNER JOIN girosegmento ON giros.id = segmentos.id WHERE sentidos = 'O - E'”

Lo que en resumen quiere decir que, seleccione todos los segmentos que vayan de Oeste a Este, que estén enlazados con giros creados. Como se puede ver, el resultado se resalta en un color Rojo.

Al ver el resultado de la consulta, se puede ver más información del objeto georeferenciado si hace clic sobre él.

Figura 50. Resultado de la Consulta SQL.



Como se puede observar en la figura 49, aparece un *grid* el cual muestra el resultado de la consulta con respecto a los segmentos del SIG. Se puede idear diferentes tipos de consulta dependiendo de la alimentación que se vaya realizando al SIG. Una parte fundamental de crear un sistema de información es la organización y las diferentes decisiones que se faciliten con el uso de este.

5.7.8.4 Comandos utilizados para la conexión en la base de datos

La base de datos del prototipo fue creada en *Mysql* por lo que se utiliza un conector *Mysql* ODBC versión 3.51 de uso libre para los desarrolladores independientes, el servidor es la dirección IP que se esté utilizando, en este caso es por defecto *localhost* es (127.0.0).

Por lo consiguiente, se puede conectar de manera estática, aunque se recomienda que sea por medio de una variable, que sea ingresada por el usuario al momento de realizar la conexión, además del nombre de la base de datos, que en este caso se llamó SIG.

```
CONEXION = "DRIVER={MySQL ODBC 3.51 Driver}; SERVER=127.0.0.1;  
DATABASE=sig; UID=root"
```

```
cn.Open CONEXION
```

Se observa la identificación de conexión que indica el *User ID* en este caso, se conecta a través con *root*, quien tiene todos los permisos de sobre la base de datos.

Sin embargo se recomienda crear usuarios que tengan permisos diversos de modificación y consulta de información. Dependiendo del lenguaje que se utiliza, va a variar la sintaxis al momento de realizar una conexión con una base de datos.

6. ANÁLISIS SUPERFICIAL DEL IMPACTO EN EL TRÁFICO DEL TRANSPORTE MASIVO

Los cambios que se producen en una ciudad a través del tiempo a causa de la explosión demográfica o del mejoramiento de vida de los ciudadanos, hace que el aumento vehicular sea consecuentemente creciente; por lo que las oficinas de planeación municipales, se enfrentan constantemente a desafíos de movilidad versus el número de vehículos terrestres existentes.

Para las ciudades colombianas se ha concebido un sistema integrado de transporte masivo (en conjunto con otras medidas) con resultados positivos, en cuanto a mejoramiento en movilidad se refiere.

Haciendo alusión a la introducción del artículo *Megabús* en es.wikipedia.org:

En el año 2002 el gobierno nacional destina una partida presupuestal para la implementación de Sistemas Integrados de Transporte Masivo en las principales ciudades del país, las ciudades que se tuvieron en consideración, fueron aquellas con una población mayor o igual a 500.000 habitantes, con zonas metropolitanas en desarrollo y con proyecciones de alto crecimiento demográfico; las áreas seleccionadas, fueron:

- *Barranquilla (Transmetro)*
- *Cartagena (Transcaribe)*
- *Bucaramanga (Metrolinea)*
- *Cúcuta (Metrobus)*
- *Valle de Aburrá-Medellín (Metroplús)*
- *Área Metropolitana de Pereira (Megabús)*

- *Bogotá-Soacha (TransMilenio)*
- *Cali (MIO-Metrocali)*

Estas ciudades debían completar un proceso donde se demostrara la factibilidad del proyecto, su mantenibilidad en el corto y largo plazo y realizar cronogramas de ejecución, el primero de estos proyectos en concluirse fue el de la ciudad de Pereira, del cual se entregó el primer tramo (la ruta troncal 3) el 21 de Agosto de 2006, las otras dos rutas troncales iniciaron su funcionamiento el 22 de Octubre del mismo año.

En la ciudad de Pereira particularmente, el sistema de transporte masivo *Megabús*, ha concentrado el transporte de pasajeros, más no ha resultado en un mejoramiento ostensible de la movilidad vehicular urbana. Según los transportadores tradicionales³² del Área Metropolitana Centro Occidente (AMCO), la solvencia de tráfico no ha mejorado debido a la recurrente utilización de los buses articulados en calles normales de la ciudad, formando calles mixtas o completamente inutilizadas para vehículos particulares. Según ellos.

Para lograr una solución a este problema -opinaron- es necesario implementar políticas de gestión, la construcción de nuevas vías y control efectivo por parte de las autoridades de tránsito.

Por otro lado, la Red de gestores sociales hace una reseña³³ sobre el progreso de los sistemas integrados de transporte masivo en Colombia, entre ellos el de AMCO:

³² http://www.eltiempo.com/colombia/ejecafetero/2008-07-28/movilidad-de-pereira-se-afecto-con-el-megabus-aseguran-transportadores-tradicionales_4411428-1

³³ [http://www.rgs.gov.co/items_areas_tematicas.shtml?cmd\[63\]=x-86-20769](http://www.rgs.gov.co/items_areas_tematicas.shtml?cmd[63]=x-86-20769)

PEREIRA**Megabús**

El Megabús de Pereira empezó a funcionar en el 2006. Cada día transporta 110.000 pasajeros. Los buses se detienen en cada estación por un lapso de 15 segundos, tardan 23 minutos en llegar al centro, desde el intercambiador temporal de Cuba (al sur), hasta la estación de la Calle 13.

Desde septiembre se permitió aumentar la velocidad de los buses articulados, para terminar el ciclo de recorrido (cuba-centro-cuba) en 40 minutos

El Megabús recibió una mención de honor en Washington, en un concurso promovido por la Unión Internacional de Transporte y el Banco Mundial sobre proyectos urbanos que han renovado ciudades y mejorado medio ambiente.

Sin embargo, se le critica que se tomó buena parte de las calles principales de la ciudad y desplazó al transporte particular y mixto. Otro problema es que no cubre toda la ciudad ni la demanda de pasajeros, por lo cual convive con el anterior sistema de transporte y, en muchos casos, compite con él.

Hay algunas restricciones que se han adoptado para abrir un corredor de paso exclusivo de buses de transporte masivo, previendo posibles colisiones de tránsito automotor, medidas necesarias para evitar mayores contratiempos en la movilidad del centro de Pereira.

Las restricciones implantadas a causa del *Megabús* se pueden resumir en el siguiente cuadro:

Carrera	Calle Afectada	No. de Restricción
6 (afectada)	12 a 24	1
6	14	2

6	16	2
6	18	2
6	20	2
6	22	2
6	13	3
6	15	3
6	17	3
6	19	3
6	21	3
6	12	4
6	18	5
6 a 7	24	6
7	24 a 44	7
7	26	8
7	28	8
7	30	8
7	32	8
7	35	8
7	39	8
7	41	8
7	42	8
7	42B	8
8	44 a 24	9
8	43	10
8	42B	10

8	42	10
8	41	10
8	38	10
8	34	10
8	33	10
8	31	10
8	29	10
8	27	10
8	25	10
8	42B	11
8	42	11
8	41	11
8 a 10	24	12
10	24 a 13	13
10	23	14
10	21	14
10	19	14
10	17	14
10 a 6	13	15
9	13	16
7	13	16
6	13	16

No.	Restricción	Observaciones
1	Ningún vehículo puede transitar por más de dos cuadras por la carrera donde sólo está el corredor del <i>Megabús</i>	
2	Prohibido giro a la derecha (calles de norte a sur)	
3	Prohibido giro a la izquierda (calles de sur a norte)	
4	Prohibida la entrada desde el viaducto, hay que desviarse al sur y al norte.	
5	Cerrada (Doble sentido de Cra. 5 a 6)	
6	Sólo se permiten vehículos de emergencia para descarga de pacientes, no se permite parquear.	
7	No se permite parquear, dos carriles para tránsito de vehículos mixtos	
8	Prohibido giro a la izquierda	Hay que desviarse una calle antes hacia la Cra. 6 y atravesar la Cra. 7 una calle después
9	Sólo un carril mixto, en este carril no pueden parquear ni detenerse	
10	Prohibido giro a la izquierda	Hay que desviarse una calle después, girar hacia la Cra. 9 y atravesar la 8 en la calle deseada
11	Un solo sentido de Cra. 8 a Cra. 7	Hay que entrar a esta calle perpendicularmente desde la Cra. 9

12	Carril exclusivo para <i>Megabús</i>	Sólo se permite el tránsito hasta el parqueadero entre Cra. 8 y Cra. 9
13	Un carril al costado norte exclusivo para el <i>Megabús</i> , otro al costado sur para el tránsito mixto, prohibido parquear o detenerse	
14	Prohibido giro a la izquierda	Hay que desviarse una calle antes hacia la Cra. 11 y atravesar la Cra. 10 una calle después
15	Dos carriles mixtos al costado oriental y uno exclusivo para <i>Megabús</i> al costado occidental, está prohibido parquear o detenerse	
16	Prohibido giro a la izquierda	Hay que desviarse una Cra. Después hacia la calle 12 y atravesar la calle 13 una Cra. antes (a la deseada)

Lo anterior nos muestra claramente un patrón de obstaculización de tránsito vehicular, ya que, se ha reducido un carril las vías que sirven de corredor al *Megabús* y en el caso de la carrera sexta, la vía se ha convertido (en tramo de la calle 12 a la 24) dedicada solamente de corredor de transporte masivo, con algunas excepciones muy restringidas.

El patrón muestra que para hacer un giro a la izquierda o a la derecha (según sea el caso), se debe girar una calle antes o después, hacia el sentido contrario, transitar paralelo a la calle por donde se venía, girar de nuevo dirigiéndose directamente hacia la calle destino del giro original, lo cual multiplica el tránsito de un giro en al menos 3 cuadras.

En la recopilación de datos, no se logró acceder a datos actuales de los cambios reales que ha sufrido la ciudadela Cuba a causa de la reconfiguración del tráfico vehicular por el transporte masivo. Pero a cualquier transeúnte puede apreciar empíricamente como la entrada hacía otros barrios (y que se hace tránsito por Cuba), que antes se hacía sin mayores contratiempos; ahora es un problema mayor en cuanto a tiempos de desplazamiento vehicular se refiere.

El departamento de planeación municipal probablemente se ha preparado, haciendo los cambios necesarios para que el impacto del transporte masivo de pasajeros sea minimizado, pero, mientras el área metropolitana crece en demografía y consecuentemente en tráfico vehicular; cambios como estos se convierten en desafíos mucho mayores.

Para ayudar a la planeación y mejoramiento del tráfico metropolitano de Pereira -y potencialmente cualquier ciudad colombiana-, una herramienta como la que se presenta en este proyecto, se vuelve indispensable, ya que, no solamente ayuda a tener una visual clara del territorio objetivo de estudio, sino que, (con el desarrollo suficiente sobre la herramienta) se puede analizar de antemano el impacto de cualquier cambio que se pueda realizar sobre un área de influencia.

Herramientas informáticas que ayuden a simular las consecuencias de decisiones que se tomen sobre la malla vial son de vital importancia, porque permiten visualizar sin consecuencias los resultados potenciales, lo cual puede derivar en grandes ahorros por costos a causa de decisiones que no tuvieron los resultados esperados.

7. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados que derivaron después del análisis a la información recopilada y generada con las herramientas utilizadas para alcanzar los objetivos propuestos inicialmente. Primeramente se describen cada una de las pruebas realizadas para obtener las imágenes y generar la capa base del SIG; se analizan las unidades de medidas en las que se toman las imágenes y sus respectivas equivalencias, junto con las especificaciones para la actualización de datos del SIG.

Las pruebas realizadas en el prototipo de SIG desarrollado determinan los siguientes objetivos:

- Unidades de medida.
- Probabilidad de error en las medidas.
- Búsqueda y consulta en cada uno de los segmentos.

7.1 Calculo de Probabilidad de error

Con una población total de 250 imágenes extraídas por medio del Google Earth describiendo el área metropolitana de Pereira, hemos *vectorizado* las mismas generando un prototipo del sistema de información geográfico, al tomar una muestra de 12 imágenes que tienen una medida aproximada a la estándar. Se tiene como medida estándar 2000 pies, con el cálculo esta medida obtenemos un porcentaje de error el cual nos indica la proporción general en pies de nuestra muestra.

	Aproximado en pies	Estándar de medida	Porcentaje de Error
	1998	2000	0.999
	2000	2000	1

	1995	2000	0.9975
	2021	2000	1.0105
	1999	2000	0.9995
	2012	2000	1.006
	1996	2000	0.998
	2001	2000	1.0005
	2003	2000	1.0015
	2002	2000	1.001
	1998	2000	0.999
	2001	2000	1.0005
Promedio	2002.166667	2000	1.001083333

Como se observa en la tabla llegamos a un promedio de error que es del 1,001 % lo cual indica que cada una de las imágenes contiene un error de visibilidad en la vertical de 1.001 %, pero este resultado debe tener en cuenta el porcentaje de error de las muestras fotográficas que es el 7.2 % este resultado se obtiene luego de multiplicar el índice de imágenes tomadas del Google Earth con la proporción en error de las muestras tomadas que es el 0.0288.

Numero de Imágenes = $250 * 0.0288 = 7.2 \%$ Total de error = $7.2 + 1.001 = 8.201 \%$

Evidentemente no se puede tener un porcentaje de error sobre la superficie real debido a dos factores determinantes: El no acceso a los datos del SIG que contienen estos datos recolectados de manera profesional; y la posible discordancia por que las imágenes base no son actualizadas (del último año). Por lo que el Total de error se puede minimizar dependiendo de la exactitud y la actualización de las muestras tomadas.

7.2 Búsqueda y Consulta en cada uno de los segmentos

Las siguientes consultas seleccionan y cuentan respectivamente todos los segmentos que contengan carriles cuyo sentido es especificado por el usuario.

```
SELECT * FROM segmentos INNER JOIN girosegmento ON giros.id =
segmentos.id WHERE sentidos = 'ValorTabla'
```

```
SELECT COUNT(segmentos.codigo) As Total FROM segmentos INNER JOIN
carriles ON carriles.segmento_codigo = segmentos.codigo WHERE
carriles.sentido='ValorTabla'
```

ValorTabla es el valor del sentido especificado en la tabla que se muestra a continuación.

Sentido	Nombre	Código
N	Norte	1
E	Este	2
S	Sur	3
O	Oeste	4
NE	NorEste	12
NS	NorSur	13
NO	NorOeste	14
SN	SurNorte	31
SE	SurEste	32
SO	SurOeste	34
EN	EsteNorte	21
ES	EsteSur	23
EO	EsteOe	24
ON	OesNorte	41
OE	OesEste	42
OS	OesSur	43

La razón por la que la tabla *carriles* contiene el *sentido* y no la tabla de *segmento*, es porque un segmento puede contener varios carriles con diferentes sentidos cada uno.

7.3 Modificación de datos del SIG

En el desarrollo urbanístico de la ciudad, surgen cambios debido a proyectos de modificación o reestructuración de los espacios públicos; esto muchas veces conlleva a un cambio directo en los datos del SIG, como por ejemplo, un cambio de sentido en cualquiera de los carriles de un segmento en la malla vial. También puede deberse a decretos gubernamentales que introducen restricciones a la malla vial.

Por lo anterior se sugiere introducir cambios a los datos, después que un proyecto o decreto haya sido ejecutado causando un cambio en la malla vial o en los elementos que se han representado en el SIG.

Para introducir cambios o actualizaciones a los datos del SIG prototipo desarrollado en este proyecto, se utilizaron comparaciones de imágenes en los periodos de tiempo 2008 y 2009, extraídos de la misma fuente inicial que actualizó sus imágenes base.

7.4 Conclusiones de los resultados alcanzados

Hay que tener en cuenta que no se suministró ninguna capa base para el desarrollo del prototipo, por lo que se recurrió a generar una capa base a partir de una fuente de imágenes públicas, como lo es Google Earth. Debido a esto, no se puede generar con exactitud toda la malla vial de Pereira.

Se deja sentada una base metodológica para el posterior desarrollo en capas base suministrada por las entidades públicas.

8. CONCLUSIONES

Del desarrollo del proyecto de capas temáticas para los giros y sentidos de Pereira se puede concluir lo siguiente:

- Como primera instancia de la investigación del uso de las herramientas existentes necesarias para realizar el desarrollo del proyecto, se llega a la conclusión de que se necesitan recursos tanto de Hardware como de Software para desarrollar una cartografía base, para la consecución de buenos datos encontramos que se encuentra entre el 60 % y 80% del presupuesto de implementación. El uso de las herramientas CAD es fundamental al momento de realizar un esquema base.
- Al Obtener dos metodologías de medición de datos, la primera recopilación y las muestras por medio de mediciones humanas con artefactos de medición y la segunda recopilación se realiza tomando imágenes satelitalmente. De estas dos, se optó por la de menor costo y de acceso público. Por medio de la herramienta Google Earth.
- Los factores más resaltantes que se encontraron al momento de realizar el levantamiento cartográfico es la actualización del sistema recopilado y las imágenes tomadas en los espacios de tiempo diferentes. Lo que lleva tener en cuenta que los sistemas de información geográficos tienen un gran índice de obsolescencia, debido a las construcciones y modificaciones que se realicen sobre la ciudad.
- Satisfactoriamente se llegó a la recopilación de las modificaciones de giros y sentidos, impactados por el transporte masivo en Pereira. Los factores más críticos fueron las anulaciones de giros hacia la izquierda y la anulación de varios carriles así como toda la Cra. 6ª.

- Al momento de comenzar la digitalización se pudo obtener un resultado con respecto al modelamiento vial, al cerrar las manzanas se obtuvo segmentos de calle, esto gracias a que en la mayoría de los casos un segmento especial (curva) está relacionado directamente con el cierre de una manzana. Por lo que esto facilita la segmentación de las carreras y calles gracias al área de una manzana.
- El prototipo que se adjunta es solo la fase inicial de la cartografía, con este se abre un sinfín de posibilidades para el desarrollo de un Sistema de información integrado.

Durante el desarrollo del Prototipo en este Proyecto, se analizó y se diseñó una estructura sistemática para albergar la temática de los giros, sentidos y elementos que impactan el tráfico en el área urbana. Este diseño se considera suficiente para ser aplicado en el desarrollo de un proyecto con datos reales.

9. Sugerencias

A partir de la recopilación de información teórica sobre los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se puede llegar que, para desarrollar cualquier especialización es necesario contar con elementos base, como capas, estudio y análisis geográfico del terreno objetivo. Este desarrollo base debe tomarse de entidades competentes que tengan un SIG con un sistema coordinado y escalas correctas, como datos profesionalmente obtenidos y *georeferenciados*.

Además se planteó la necesidad de dejar abierto el desarrollo de este proyecto a futuro mejoramiento, ya que sólo a partir de un ambiente de producción pueden surgir nuevas necesidades y por lo tanto, extensiones al desarrollo inicial.

Para el desarrollo de este proyecto de manera definitiva, se debe hacer levantamiento de elementos viales por GPS (para una *georeferenciación* mucho más exacta); también se puede hacer por otros métodos descritos, como digitalización con herramientas especiales (como tableros digitales), y escaneo de mapas hechos profesionalmente (Herramientas CAD).

Dado que la recolección de los datos en un proyecto de este tipo tiene que hacerse con personal capacitado en el campo de digitalización de referencias geográficas (y en el desarrollo del prototipo no se contó con talento humano en este campo), los datos que se tienen, no son datos con los que se pueda trabajar directamente sin previa corrección por un equipo capacitado; por lo que se mostró cómo funcionaría una malla vial con esta herramienta, pero no está completa, por lo que los desarrolladores del proyecto no tuvieron acceso a este tipo de recurso.

9.1 Aplicaciones

Esta es una lista de posibles proyectos que se pueden realizar a partir del modelo planteado.

9.1.1 Monitoreo Vial

Este proyecto complementa el sistema de información geográfico a partir de instalación de cámaras especiales que logren capturar imágenes y flujo vehicular, para alertar acerca de posibles focos críticos ocasionados por accidentes o restricciones en la vía. Generando posibles rutas alternativas para normalizar el flujo vehicular.

9.1.2 Rutas Turísticas

Al momento de generar una alternativa para los extranjeros que no conozcan nuestra ciudad. El SIG podría marcar rutas de destinos y abastecimiento de (combustible, alimentos y salud) también incluyendo las restricciones de giros y sentidos para evitar complicaciones al momento de viajar. La plataforma Web brindara a los usuarios una forma de generar una ruta y de generar reservas para hoteles y restaurantes más concurridos de nuestra ciudad.

9.1.3 Aplicación inmobiliaria

Cuando es necesario construir, también es necesario identificar los lugares idóneos para hacerlo. Por medio de clasificación de los accidentes geográficos se pueden plasmar los lugares óptimos para la construcción. La Gobernación de Risaralda ofrecerá una alternativa para la venta de lotes disponibles por medio del SIG, teniendo un repositorio de fotos de los predios que se encuentran a la venta actualmente y dando un estimado de su costo, tanto para la compra como para la construcción.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Lloyd P. Queen and Charles R. Blinn. "The Basics of Geographic Information Systems", página web
<http://www.extension.umn.edu/distribution/naturalresources/DD5926.html> 2009
- [2] Los Sistemas de Información Geográfica – SIG - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, página web.
<http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpage=70001> 2009.
- [3] Center for Technology in Government, Sharing the Costs, Sharing the Benefits: The New York State GIS Cooperative Project (2001).
- [4] Fiona Ellis and I. Bishop, Dr A. Zerger – Traducción: Esther Pérez. "Entrada de Datos Geográficos – Teoría Específica", documento digital descargado.
<http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/EntradaDatosGeograficos/SDModule/SDETheory.doc> (2000).
- [5] Colaboradores de Wikipedia. SEXTANTE (SIG) [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2010 [fecha de consulta: 23 de febrero del 2010]. Disponible en <[http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=SEXTANTE_\(SIG\)&oldid=34311335](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=SEXTANTE_(SIG)&oldid=34311335)>.
- [6] Colaboradores de Wikipedia. Megabús [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2010 [fecha de consulta: 22 de marzo del 2010]. Disponible en <<http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Megab%C3%BAs&oldid=35391249>>.

11. LISTA DE FIGURAS

	TEMA	PÁGINA
Figura 1.	Un modelo conceptual de un SIG	13
Figura 2.	Esquema de componentes básicos de un SIG	14
Figura 3.	Coordenadas geográficas y Coordenadas planas	19
Figura 4.	Zona urbana de Pereira	20
Figura 5.	Modo de digitalización discontinuo	32
Figura 6.	Modo de digitalización continuo	32
Figura 7.	Fotointerpretación aérea	39
Figura 8.	Trayectoria de vuelo de la fotografía aérea inferior	40
Figura 9.	Requisitos de Software y Hardware (Google Earth)	51
Figura 10.	Entorno inicial del Software (Google Earth)	51
Figura 11.	Vista de Colombia delimitada (Google Earth)	52
Figura 12.	Vista de Pereira (Google Earth)	52
Figura 13.	Vista del centro de Pereira (Google Earth)	57
Figura 14.	Vista equivalente entre la imagen y la vectorización	59
Figura 15.	Bordear las manzanas produciendo andenes	59
Figura 16.	Cartografía Base de la Zona Céntrica de Pereira	60
Figura 17.	Malla vial base	61
Figura 18.	Creación de segmentos	61
Figura 19.	Ilustración de Segmento de Vía	63
Figura 20.	Ilustración de Carriles en el Segmento de Vía	64
Figura 21.	Ilustración de cambio de sentido de un segmento	65
Figura 22.	Puntos Cardinales o de Referencia	66
Figura 23.	Representación geográfica de elementos viales	66
Figura 24.	Representación geográfica de elementos de tráfico	67

Figura 25.	Representación de andén en los segmentos	64
Figura 26.	Estructura de codificación de elementos geográficos	72
Figura 27.	Equivalencias de las señales de tránsito (1 -12)	73 - 76
Figura 28.	Diagrama de clases de entidades y sus atributos	77
Figura 29.	Diagrama de estructura de datos	81
Figura 30.	Arquitectura del sistema	82
Figura 31.	Diagrama general de componentes	84
Figura 32.	Creando el entorno de un nuevo mapa en <i>ArcMap</i>	87
Figura 33.	Creando los <i>Layers</i> y Capas	88
Figura 34.	Incluyendo Capas de tipo Polígonos, Línea y Punto	89
Figura 35.	Seleccionando Capas de tipo Polígonos, Línea y Punto	90
Figura 36.	SIG con sus componentes	91
Figura 37.	Seleccionando una Capa	92
Figura 38.	Creando una conexión con la base de datos	93
Figura 39.	Adicionando la Ruta de conexión con el Servidor	94
Figura 40.	Elementos de la base de datos y el SIG	95
Figura 41.	Asociando base de datos con SIG	96
Figura 42.	Propiedades de los <i>Layers</i>	97
Figura 43.	Tabla de unidades de medida	98
Figura 44.	Editor de Visual Basic	103
Figura 45.	Interfaz Inicial del Prototipo	104
Figura 46.	Adicionando nuevos Segmentos	106
Figura 47.	Matriz de sentidos cardinales	107
Figura 48.	Adicionando nuevos Giros	107
Figura 49.	Consulta de Segmentos	109
Figura 50.	Resultado de la Consulta SQL	110

12. ANEXOS

Los siguientes anexos están adjuntos en el disco compacto que acompaña este documento escrito.

- **Anexo Mapa Prototipo (Carpeta)**
 - **Imágenes de muestra (Carpeta)**
 - **Shapes (Carpeta)**
 - **SIG PROTOTIPO 1.0.pdf**
- **Anexo Software Interfaces (Carpeta)**
 - **Código Visual Basic (Carpeta)**
 - **Script para generar la base de datos SIG (Carpeta)**
- **Otros Anexos**
 - **Manual de Conversión de mapa de AutoCAD a ArcView.doc**