



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

52

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

287476

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICO PARA EL MANEJO DE SONDEOS  
GEOTÉCNICOS (SIG-SG)”

TESIS

Para obtener el Título de:  
INGENIERO EN COMPUTACIÓN

PRESENTAN

MA. DEL CARMEN REYES RODRÍGUEZ  
ALICIA VILLAMIL RODRÍGUEZ



Director de Tesis :  
Dr. Felipe Lara Rosano

México, D.F.

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro más profundo agradecimiento a la Facultad de Ingeniería, a nuestros profesores, y a la UNAM, por la educación impartida que fue la que nos permitió concluir esta etapa de nuestra vida.

Agradecemos al Instituto de Ingeniería e Instituto de Geografía, por proporcionarnos el apoyo necesario para la creación y conclusión de este trabajo, así como a todos nuestros compañeros de la Coordinación de Geotécnica y Cómputo.

Agradecemos a todas las personas involucradas en el desarrollo de este proyecto que sin ellas no se hubiera terminado satisfactoriamente :  
Dr. Felipe Lara R. y equipo de trabajo, Ing. Oscar Gutiérrez, Mtro. Ing. Jesús Uribe, Geógrafa Gabriela Cuevas, Lic. Gabriel Sánchez, Dr. Gabriel Auvinet,  
Ing. Edgar Méndez e Ing. Moisés Juárez.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA EL MANEJO DE SONDEOS GEÓTECNICOS (SIG-SG)

INTRODUCCIÓN	1
1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 ¿Qué es un Sistema de Información Geográfica (SIG) ?	6
1.2.1 Componentes de un SIG	7
1.2.2 Funciones y elementos de un SIG	8
1.2.3 Principales niveles de complejidad de análisis de un SIG	11
1.2.4 Mantenimiento y análisis de los datos espaciales	13
1.2.4.1 Formato de transformaciones	13
1.2.4.2 Transformaciones geométricas	13
1.2.4.3 Análisis Conflation	14
1.2.4.4 Ajuste de límites	14
1.2.4.5 Edición de elementos gráficos	14
1.2.5 Funciones de mantenimiento y análisis de atributos de datos no espaciales	15
1.2.5.1 Funciones de edición de atributos	15
1.2.5.2 Funciones de consultas a los datos de los atributos	15
1.2.6 Integración y análisis de los datos espaciales y atributos de datos	16
1.2.6.1 Funciones de recuperación clasificación de atributos espaciales	16
1.2.6.2 Operaciones de recuperación	16
1.2.6.3 Clasificación y generalización	16
1.2.6.4 Funciones de dimensión	16
1.2.6.5 Operaciones de sobreposición	17
1.2.6.6 Operaciones con valores vecinos	17
1.2.6.7 Funciones de conectividad	18
1.2.6.8 Formato de salida	18
1.2.7 Nuevas tecnologías en SIG	19
1.2.8 Aplicaciones	19
2. Fundamentos de procesamiento de imágenes geográficas	21
2.1 Captura de imágenes por medio de digitalización	21
2.2 Modelo de datos vector	22
2.3 Modelo de datos raster	25
2.4 Entradas de atributos	28
2.4.1 Entrada de atributos	28
2.4.2 Creación de la topología	29
2.4.3 Georeferenciación del mapa	30
2.4.4 Identificación y corrección de errores	31
2.5 Manipulación en mapas	32
2.6 Presentación de un mapa digitalizado	36
2.6.1 Detalles y escala en el mapa	37



3.5.2.7 Acceso de archivos de imágenes (formato raster DLL)	72
3.5.2.8 Rectificación de imágenes (EIRF)	72
3.5.2.9 Impresión y proyección de mapas	73
3.5.2.10 Manejo de pixeles (EPXM)	73
3.5.2.11 Análisis de GIS RASTER (ERGA)	73
3.5.2.12 Estadística (esta)	73
3.5.2.13 Vectores (EVEC)	73
3.5.2.14 Manejo de la configuración (ECFG)	74
3.5.2.15 Manejo de sesión (ESMG)	74
3.5.2.16 Visualizador (EVUE)	74
3.5.2.17 Selección (ESEL)	74
3.5.2.18 Tabla de símbolos (ESYM)	74
3.5.2.19 Aplicaciones	75
3.5.3 ARCVIEW	75
3.5.3.1 Análisis Espacial Superior	76
3.5.3.2 Análisis de una nueva red	76
3.5.3.3 Creación de datos y realce de edición	77
3.5.3.4 Acceso al manejador de sistemas de bases de datos cliente-servidor	77
3.5.3.5 El lector de dibujo tipo K	77
3.5.3.6 Análisis de red de ArcView	78
3.5.3.7 Análisis espacial de ArcView	78
3.5.3.8 El poder del análisis raster	79
3.5.3.9 Fuentes de datos	79
3.5.3.10 Herramientas de desarrollo	79
3.5.3.11 Extensiones de ArcView GIS	79
3.5.4 Herramientas hardware y software	80
3.5.5 Equipos y periféricos	80
4. Construcción del SIG para el manejo de sondeos geotécnicos	83
4.1 Análisis del SIG-SG	83
4.1.1 Planteamiento del problema	83
4.1.2 Necesidades del usuario	83
4.1.3 Categoría de usuarios	84
4.1.4 Salida de la información	84
4.1.5 Elecciones técnicas	84
4.1.5.1 Software para la creación del sistema	84
4.2 Diseño del SIG-SG	85
4.2.1 Modelo usado para la base de datos	85
4.2.1.1 Primer conceptualización de la base de datos	85
4.2.1.2 Elección del sistema de administración de la base de datos	87
4.2.2 Lenguaje para la implementación del sistema	87
4.2.3 Interface entre máquina y el operador	87
4.2.4 Herramientas de desarrollo	87
4.2.5 Capacidad de comunicar, leer datos de otros software y exportarlos	88

<b>4.3 Elementos que componen el SIG-SG</b>	<b>88</b>
<b>4.3.1 Equipo de hardware</b>	<b>88</b>
4.3.1.1 Especificaciones técnicas	89
4.3.2 Datos	89
4.3.3 Personal	90
<b>4.4 Elaboración del SIG-SG utilizando el software Arc/Info</b>	<b>90</b>
4.4.1 Recolección de información	90
4.4.2 Procesamiento de la información	90
4.4.2.1 Estructura de los datos en el SIG-SG	91
4.4.2.2 Procesamiento de la cartografía urbana	91
4.4.2.2.1 Sistema escogido para la cartografía UTM	93
4.4.2.3 Procesamiento de los datos	94
4.4.2.4 Escaneo de dibujos de sondeos	94
4.4.3 Creación de la base de datos del SIG-SG	96
4.4.4 Automatización del sistema	98
<b>4.5 Presentación del SIG-SG</b>	<b>101</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>107</b>
<b>Anexo A</b>	<b>109</b>
<b>Anexo B</b>	<b>113</b>
<b>Anexo C</b>	<b>115</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>117</b>
<b>Hemerografía</b>	<b>119</b>

# INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se muestra un sistema de información geográfico aplicado a sondeos geotécnicos, el cual concentra el mayor número de estudios recabados por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, (SMMS), así como por el Instituto de Ingeniería (I. I.), el cual facilita la interpretación y la ubicación de los mismos.

El trabajo consta de cuatro capítulos; en el primero, **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, se mencionan los antecedentes de los SIG, componentes, niveles de complejidad, mantenimiento y análisis de los datos que lo conforman, lo cual fijará las bases para la comprensión del lector en este trabajo.

El segundo capítulo, **Fundamentos de Procesamiento de Imágenes Geográficas**, se menciona la forma de capturar imágenes por medio de digitalización, su georeferenciación, así como identificar los posibles errores y la corrección de los mismos finalizando con su manipulación en forma de mapas.

El siguiente capítulo, **Obtención, Almacenamiento y Tratamiento de Datos**, habla de la topología de fuentes de información geográfica para hacerlos funcionales dentro del sistema. Así mismo recalca la importancia de los datos tabulares, y se realiza una breve descripción de los modelos de bases de datos para seleccionar el óptimo. Después se describen tipos de *software* de SIG comerciales, haciendo mayor énfasis en *ArcInfo*, el cual se utilizó para este trabajo.

El último capítulo, **Construcción del SIG para el Manejo de Sondeos Geotécnicos**, menciona primeramente el planteamiento del problema utilizando SIG así como el *software ArcInfo*. También describe el análisis y diseño del sistema de manera detallada y para finalizar este capítulo se presente una secuencia de pantallas que conforman el sistema para dar una idea al lector de lo que se visualiza en una sesión del sistema.

Para finalizar este trabajo, se muestran las conclusiones las cuales mencionan el alcance de este trabajo así como sus niveles de expansión y un apéndice en el cual se muestra el código de un programa en *AML (Arc Macro Lenguaje)*, código de un programa MENU y el listado de la Base de Datos del Sistema.



# 1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

## 1.1 ANTECEDENTES

A través del tiempo, el hombre ha tenido la necesidad de saber cuál es su territorio, dónde está situado y cuáles son sus características geográficas; de tal manera que los primeros hombres en crear mapas, capturaban en ellos las características necesarias del terreno que pisaban. Imperios como el egipcio, mesopotámico y sobre todo el romano, hicieron gran uso de ellos.

México también tuvo una gran tradición cartográfica; el pueblo mexicano tuvo su propia cartografía mucho tiempo antes de que se descubriera América, los indígenas del México prehispánico, no fueron ajenos a la necesidad de conocer y representar el mundo que habitaban, así como el de los pueblos vecinos.

Desde las primeras civilizaciones, los mapas han sido usados para visualizar información acerca de la superficie de la tierra. Los navegantes, exploradores y militares usaban mapas para mostrar la distribución espacial de rasgos geográficos importantes. Las expediciones y los mapas fueron hechos como una parte integral del gobierno de Roma, pero con la declinación del Imperio Romano, las expediciones y la elaboración de mapas también declinaron.

Fue hasta el siglo XVIII que la elaboración de mapas tuvo su renacimiento en Europa, cuando los gobernadores retomaron el valor de "*mapear*" como un significado de grabar y planear el uso de sus tierras, y fue entonces cuando los institutos nacionales fueron comisionados para producir coberturas de mapas de países.

El propósito general de los mapas era mostrar las elevaciones de la tierra y los límites de la nación o unidades administrativas que fueron producidas. Al igual que el estudio de recursos naturales desarrollados, la temática de los mapas se usó para mostrar la distribución espacial de rasgos tales como geología, geomorfología, suelos y vegetación.

Con el paso del tiempo, fueron mejorando las formas de obtener características del terreno para obtener de éste, todo lo relacionado a la geografía, asentamientos humanos e información que ayudara al mejor manejo de datos geográficos.

"Aunque los sistemas de información geográfica constituyen una nueva tecnología, cuya irrupción en el mercado informático constituye un hecho relativamente reciente, los antecedentes de estos sistemas se remontan a las primeras etapas del desarrollo de la geografía cuantitativa, en la década de los cincuenta y primera mitad de los sesenta"<sup>1</sup>. El análisis de mapas y la cartografía, se ha

---

<sup>1</sup> SIG: Sistemas de Información Geográfica. p. 3

desarrollado de tal forma que han sido puntos decisivos para la creación de los sistemas de información geográfica modernos.

En el siglo XX, con el paso de la ciencia y la tecnología se aceleró esta área. Este incremento creó la demanda de grandes volúmenes de datos geográficos para ser presentados en forma de mapas más rápida y eficiente. Con el desarrollo de nuevas tecnologías tales como la fotografía aérea y el reconocimiento del terreno a través del uso de satélites, empezó una gran producción de datos geográficos de uso amplio y análisis más sofisticados. Los datos geográficos ahora están comenzando a generarse más rápido de lo que pueden ser analizados.

Los datos geográficos han sido presentados tradicionalmente en forma de mapas; hasta que el uso de las computadoras fue más accesible, los datos geográficos fueron representados como puntos, líneas y áreas dibujadas sobre un pedazo de papel o película; éstos eran codificados usando símbolos, texturas y colores que eran explicados en el mapa con una leyenda o texto. El mapa y su documentación constituyeron la base de datos geográficos.

“El uso de mapas temáticos de recursos naturales comenzó como una herramienta para grabar y clasificar información. Los métodos de análisis fueron principalmente cualitativos. Se recuperaron y analizaron los datos de los mapas dependiendo principalmente de una inspección visual del mapa y un análisis intuitivo de los datos del mismo. El análisis cuantitativo de los mapas pudo haber sido creado con una escala para medir distancias y una malla de puntos o un planimetro”<sup>2</sup>. Los sistemas de información geográfica basados en computadoras fueron desarrollados para proveer la capacidad de poder analizar una gran cantidad de datos geográficos.

En E.U. y Canadá, el trabajo sobre la primera operación de computadora basada en sistemas de información geográfica comenzó a mediados de los años sesenta. En esa década, “hubo tres factores importantes que ayudaron a la creación de sistemas de información digitales: el refinamiento en las técnicas cartográficas, un rápido desarrollo en los sistemas de información digitales y la revolución cuantitativa en el análisis espacial.”<sup>3</sup> Fueron varias las universidades que comenzaron con investigaciones de este tipo, siendo considerado como el pionero el *Sistema de Información Geográfica de Canadá (CGIS, 1964)*; este sistema fue llamado el primer *Geographical Information System (GIS)* de la era moderna; su objetivo principal era analizar el territorio canadiense para hacer un inventario de datos, los cuales fueron recolectados para encontrar tierras marginadas, además de ayudar al desarrollo de la agricultura.

---

<sup>2</sup> *Geographical Information Systems. An Introduction...*, p. 56

<sup>3</sup> *Ibidem* p. 19.

La Universidad de Washington en Seattle hizo importantes contribuciones en áreas de análisis de transportación y planeación urbana particularmente; otros sistemas fueron desarrollados por la Universidad de Harvard entre 1966 y 1980; el primero fue *SYMAP*, sistema de cartografía temática; después crearon los sistemas *GRID* e *IMGRID*; posteriormente se perfeccionó el *Analysis Package Map*, con lo que se desarrollaron análisis funcionales *raster* basadas en el concepto de las superposiciones de capas, pero después creó *POLYVRT*, que incorporaba explícitamente relaciones de elevación del terreno como contigüidad y conectividad; a su vez, éste dio paso para la creación de *Odyssey* que era un Sistema de Información Geográfica (*SIG*) vectorial topológico que salió a finales de los años setenta; también por parte de la Oficina del Censo de los Estados Unidos en 1970, crearon *DIME*, que hace relaciones topológicas entre áreas (manzanas) y líneas (tramos de calles), pero este no era propiamente un *SIG* sino una estructura de datos.

El Condado de Nassau, en Nueva York, sería el primero en proporcionar un acceso automático total a los registros de los propietarios de la tierra; finalmente, el *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, es el instituto que creó el *software* comercial *Arc/Info* para el desarrollo de sistemas de información geográfica, a partir de 1980 estos crecieron enormemente, pudiendo entrar a todos los campos de investigación relacionados con el estudio de la Tierra.

Como se ha visto, es en las universidades donde se desarrollan estos complejos sistemas, ya que requieren de *software* y *hardware* igualmente complejos, además de especialistas en geografía, ciencias de la computación y varias áreas de la ingeniería, aunque esto no evita que día con día se abran las puertas a firmas comerciales en el uso de ésta tecnología.

En lo que respecta a México, se tiene gran uso de estos sistemas, principalmente las instituciones gubernamentales, Universidades e Institutos son los que más utilizan esta tecnología, claro que algunas empresas del sector privado se auxilian de estos mismos para obtener información de rutas comerciales o zonas con alto potencial de compra de algún determinado producto, por ejemplo.

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se presentó un proyecto conjunto con la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (*SMMS*) para desarrollar, diseñar y poner en servicio un Sistema de Información Geográfica para Sondeos Geotécnicos (*SIG-SG*). Este sistema ayudará a mejorar la información que hasta hoy se tiene acerca de las características del suelo en la Ciudad de México y en el futuro, de otras zonas urbanas de todo el país.

Esta información permitirá a los ingenieros, particularmente en el área de la construcción, tener una idea clara de los problemas que se visualizan en el subsuelo en cada sitio particular, así se pondrá a disposición de quienes tienen la responsabilidad de proyectar, construir y conservar las

diversas obras de infraestructura o de expansión urbana; de igual forma, de todos aquellos organismos e instituciones encargadas de planificar el crecimiento y regular el uso del suelo.

Así podemos ver que el Sistema de Información Geográfica para el manejo de Sondeos Geotécnicos (SIG-SG) para el valle de México fue desarrollado aprovechando todas las ventajas que presentan los SIG.

### 1.2 ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)?

Es necesario saber qué es un sistema de información en general, ya que a partir de éste se desarrollaron los Sistemas de Información Geográfica. Un sistema de información "es una cadena de operaciones que nos lleva desde planear la observación y colección de datos, hasta almacenarlos y analizarlos, para tomar decisiones derivándonos de la información que se analizó"<sup>4</sup> (ver fig. 1.1). Por otra parte la geografía (*geo*-tierra y *grafia*-escribir) es una disciplina que estudia todas las características de la tierra en su contexto espacial y su relación con el hombre.<sup>5</sup>

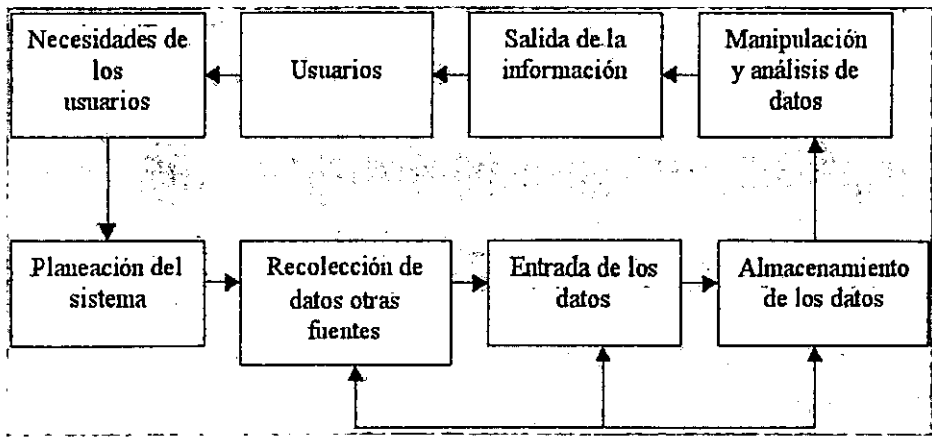


Figura 1.1 Vista de un Ciclo de un Sistema de Información simplificado

Se puede ver que conjuntando los sistemas de información con una disciplina como es la geografía se obtiene un Sistema de Información Geográfico (SIG). Se manejan diversas definiciones de los Sistemas de Información Geográfica, depende del autor y del tema que se esté abordando para quedarse con una sola definición, pero en general no varían, pues se puede ver que el objetivo principal no se pierde.

El manual *Understanding GIS the Arc/Info method* define a un SIG como "una colección organizada de *hardware*, *software*, datos geográficos y personal diseñados eficientemente para

<sup>4</sup> Loc. cit.

capturar, almacenar, dar de alta, manipular, analizar y desplegar toda la información referenciada geográficamente.”<sup>6</sup> Aronoff Stanley dice que “un SIG está diseñado para coleccionar, almacenar y analizar objetos y fenómenos donde la localización geográfica es una característica importante o una parte crítica del análisis.”<sup>7</sup>

Por último, Jeffrey y John Star definen al SIG como “un sistema de información que está diseñado para trabajar con datos referenciados por coordenadas espaciales y un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos referenciados espacialmente.”<sup>8</sup> Con base a las definiciones anteriores, podemos dar nuestra propia definición y el cómo visualizamos el sistema:

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema que puede manejar, manipular, analizar y almacenar datos geográficos, rápida y eficientemente de tal forma que permite tener acceso a mapas, cartas (topográficas, urbanas, etc.), modelos digitales y bases de datos relacionadas a las características geográficas que se tienen en el sistema (ver fig. 1.2).

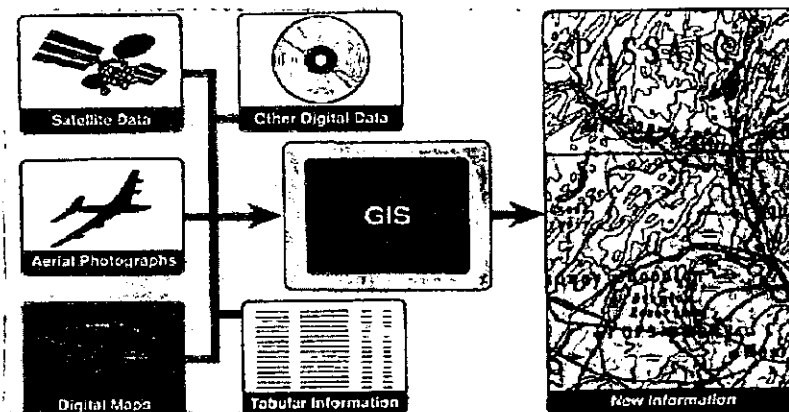


Figura 1.2 Vista de un SIG

### 1.2.1 COMPONENTES DE UN SIG

Los componentes de un SIG para que pueda trabajar óptimamente son los siguientes: *hardware*, *software*, datos y personal que se encargue del manejo y mantenimiento del sistema.

1. *Hardware*: Estaciones de trabajo, computadoras personales, tabletas digitalizadoras, *plotters* e impresoras, información almacenada en cualquier medio magnético y cualquier dispositivo de entrada de datos.

<sup>5</sup> Ibidem p. 2

<sup>6</sup> Understanding GIS. The Arc/Info Method. pág. 1-2

<sup>7</sup> A management Perspective p. 1

<sup>8</sup> Geographical Information Systems. Loc. cit. p. 2

2. *Software*: El necesario para diseñar el sistema, para la implementación de las bases de datos y para el uso de los periféricos a utilizar. En el mercado podemos encontrar el *software* que se adecue a nuestras necesidades dependiendo de la plataforma que se utilizará, además del equipo con el que se cuente para crear el *SIG*.
3. Datos: La materia prima en este caso son los datos geográficos, ya que éstos son los que darán forma a nuestro *SIG*. Los hay de dos tipos, alfanuméricos y gráficos; los primeros se refieren a datos, atributos y toda la captura de la información necesaria; los segundos están compuestos básicamente de mapas, cartas y todo lo que se obtenga del mundo real donde vivimos; esta parte abarca más tiempo, ya que se debe recolectar la información existente, aunque a veces ésta es obsoleta, y la que no se encuentre, (como es en la mayoría de los casos) se debe capturar o generar por uno mismo.
4. Personal: Éste es el soporte principal de un *SIG*, ya que el personal se encarga tanto de unir todas las partes que se tienen para desarrollar un *SIG*, como del buen funcionamiento del sistema dándole mantenimiento, actualizando los datos y revisando el equipo con que se cuente; se conjuntan personas de diversas carreras y especialidades de tal forma que se complementan en la búsqueda y manipulación de la información. Hoy en día este es un aspecto difícil, ya que por ser una tecnología nueva no es fácil encontrar gente capacitada para la misma (ver fig. 1.3).

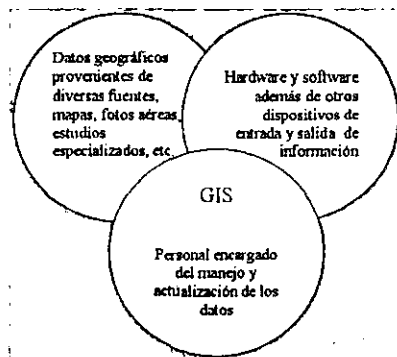


Figura 1.3 Componentes de un *SIG*

### 1.2.2 FUNCIONES Y ELEMENTOS DE UN *SIG*

Las funciones de un *SIG* son facilitar el manejo y análisis de la información que se tiene; ayudar a simplificar el trabajo y analizar en el menor tiempo posible toda la información recopilada y almacenada de una manera automatizada. Los elementos esenciales que debe contener un *SIG* son la adquisición de datos, manipulación y análisis de éstos, pre-procesamiento de los mismos, manejo y generación de nuevos datos.

En cualquier aplicación de un *SIG* se deben ver todos los elementos como un proceso continuo, ya que estos sistemas están constantemente en retroalimentación; varios autores los definen de maneras diferentes.

"Lo que distingue a un *SIG* de otros tipos de sistemas de información son sus funciones de análisis espacial. Estas funciones usan datos de atributos espaciales y no espaciales en una base de datos para responder preguntas acerca del mundo real..., un modelo es usado para responder preguntas acerca de lo que existe ahora o existió en algún punto en el pasado, por lo tanto es importante. Éste puede ser usado para predecir qué pasará o ha pasado en otra ubicación o punto en algún tiempo. Un *SIG* provee estas capacidades que significa sus funciones de análisis".<sup>9</sup>

"El esquema de funcionalidad de un *SIG* está primeramente basado sobre el trabajo de Maguire y Raper (1990)..., sobre una clasificación jerárquica que va de la parte más alta a la más baja en la cual, esta clasificación es por los tipos de función, los cuales caracterizan un *SIG*... En el esquema propuesto, las 10 mayores categorías son identificadas. Éstas siguen la progresión lógica de datos en un *SIG*: (i) captura; (ii) transferencia; (iii) validación y edición; (iv) almacenar y estructurar; (v) reestructurar; (vi) generalizar; (vii) transformar; (viii) consultar; (ix) analizar y (x) presentar"<sup>10</sup>.

Al citar estas definiciones podemos ver claramente que las funciones de un *SIG* son básicamente el manejo de información proveniente de bases de datos, mapas, cartas geográficas, almacenamiento de la misma y recopilación de atributos espaciales. La parte medular es el análisis de todo este gran conjunto de información, donde se dan las respuestas a preguntas hechas al sistema, éste da la salida de manera que pueda ser manejada por el usuario final sin tener mayor problema que interpretarla de acuerdo a sus propios intereses.

El sistema hace al análisis basándose en toda la información proporcionada y almacenada, modelando lo que es el mundo real, pero siempre con base a lo que ya tiene, por lo que es importante renovar la información para evitar un posible rezago de la misma y en consecuencia no tener información fidedigna para el momento en que se necesite.

Comprender la funcionalidad de un *SIG* es muy simple, ya que podría decirse que es como un sistema experto, pero sin una máquina de inferencia que le ayude al sistema a aprender y tomar decisiones propias, ya que un sistema de información geográfica no infiere cosas, sino que responde a preguntas hechas con la información que tiene almacenada, trabajando con todo lo que tiene, hace un análisis a través de operaciones automatizadas y aprovecha todos los recursos con los que cuenta.

---

<sup>9</sup> Ibidem. p. 324

<sup>10</sup> Geographical Information Systems. V. 1: Principles p. 21

Al plantear las preguntas al sistema, se debe tener cuidado de cómo se van a formular o qué se quiere preguntar exactamente, ya que se puede caer en confusiones y el sistema podría responder algo erróneo o que nosotros no queríamos saber pero que dio esa salida por el tipo de entrada (pregunta) que le dimos.

Las preguntas pueden variar dependiendo de lo que se quiere saber, pero lo que no varía en sí, es la idea misma, por lo que se pueden hacer de tres maneras diferentes:

1. ¿Cuáles son los datos?. Se refiere a la información almacenada en la base de datos de la cual se necesita algo.
2. ¿Cuál es el patrón en los datos dados?. Se busca que la información cumpla con ciertos tipos de características que se le dieron al principio.
3. ¿Qué podrían ser los datos?. El sistema predice lo que pasará de acuerdo al modelo que usará para el estudio del mundo real.

Cuando el sistema nos da la presentación de las respuestas, estas se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. una presentación de los datos ocurridos,
2. un patrón de los datos ocurridos, y
3. una predicción de qué datos podrían encontrarse en un tiempo diferente o lugar, dependiendo lo que se tenga.

De esta manera, las respuestas que se reciben se pueden clasificar en tres tipos:

1. almacenamiento y manejo de funciones,
2. mostrar las funciones de consulta, y
3. modelar funciones.

Como se ha mencionado, un Sistema de Información Geográfica es una poderosa herramienta para el manejo de datos espaciales, ya que nos ayuda en el análisis de los datos y en la rápida obtención de resultados confiables y manejables (ver fig. 1.4).

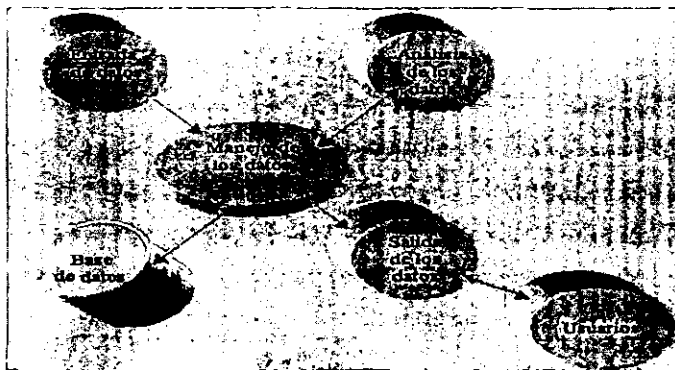


Figura 1.4 Elementos Funcionales de un SIG



### 1.2.3 PRINCIPALES NIVELES DE COMPLEJIDAD DE ANÁLISIS DE UN SIG

En la práctica se ha visto que se tienen diversos análisis de complejidad en los SIG; esto se debe a que las necesidades varían, ya que cada sistema tiene su propio objetivo, por lo que son específicos e implica que el nivel de análisis de un SIG varíe, pues para cada problema se tiene una solución, aunque por lo general el análisis siempre gira en torno a datos espaciales y datos no espaciales.

Como se ha visto anteriormente, lo que distingue a un SIG de otros tipos de sistemas de información es que maneja atributos no espaciales (bases de datos) para responder preguntas acerca del mundo real, por lo que estas últimas forman entidades que pueden ser nombres o listas individuales de propiedades, los cuales se relacionan con otros tipos que pueden incluir su propio grupo, para que juntas provean un modelo.

Un modelo puede ser representado en palabras, ecuaciones matemáticas, como un grupo de relaciones espaciales desplegadas en un mapa o almacenadas en una computadora manejadas por un SIG; cuando se habla de construir un modelo, es porque se quiere representar aspectos del mundo real, además de que con el modelo se puede ver cómo ha cambiado el ámbito que se quiere estudiar, ya que se puede saber cómo sucedieron acciones en el pasado, cómo se encuentran en el presente y predecir lo que pasará en el futuro a través del análisis de este modelo. Un SIG nos provee de todo este tipo de funciones de análisis. El análisis de un SIG está basado en la manera de cómo se encuentren los datos, así como qué tipo de datos y métodos serán utilizados para la representación de los datos geográficos.

"...Sobre un mapa de papel, la información geográfica está usualmente organizada en grupos de temas, tales como caminos, flujos, tipos de suelo y límites políticos... Para cubrir un área grande como un país, debe ser necesario usar varias hojas de mapas, y también utilizar un sistema con el cual sea conveniente dividir las áreas de cobertura dentro de mapas individuales. El nivel de detalle usado para representar la información geográfica es escogido de acuerdo a las necesidades que fueron especificadas y las limitaciones del medio de almacenamiento. En una computadora que tenga un SIG, todas estas consideraciones de organización son manejadas muy diferente. Una vez que los datos almacenados y presentados son separados, el nivel de detalle el cual la información geográfica puede ser almacenada está limitada por la capacidad de almacenamiento del *hardware*. La legibilidad de un reporte de salida como un mapa puede ser controlada por la selección de la escala y el nivel de detalle de la información y los símbolos al tiempo cuando el mapa se está imprimiendo".<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> GIS, A Management Perspective. p. 137

Uno puede representar información con menos nivel de detalle que con la que estaba almacenada, pero no se puede presentar más detalle de la información de la que exista en la base de datos. Por esta razón, la información necesita ser introducida sólo una vez, después el nivel de detalle que sea requerido.

Cuando se tienen mapas en papel, por lo general están subdivididos en grupos para un fácil manejo, pero cuando se necesita revisarlos al tratar de unirlos suele dificultarse y por consecuencia no se ajustan los límites; pero un SIG tiene funciones sofisticadas que permiten la unión sin desfase de los límites de diversos mapas, lo cual permite manejar errores muy pequeños en la salida de la información. El desarrollo de las técnicas del SIG, ha provisto un crecimiento constante de funciones de análisis cada vez más sofisticados. La ventaja usada en este proyecto, es el grupo de funciones que se clasifican en cuatro categorías, cada una con varias subdivisiones como se presenta en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Clasificación de las funciones de análisis de un SIG

Mantenimiento y análisis de los Datos espaciales	Formato de transformaciones Transformaciones geométricas Transformaciones entre proyecciones de mapas <i>Conflation</i> Ajuste de límites Edición de elementos gráficos <i>Line coordinate Thinning</i>
Mantenimiento y análisis de los atributos de datos	Funciones de edición de atributos Funciones de búsqueda de atributos Funciones de recuperación, clasificación, dimensión Operaciones de sobreposición Operaciones vecinas Funciones de conectividad
Integración y análisis de datos espaciales y atributos de datos	
Formato de salida	Anotaciones en mapas Etiquetas de texto Patrones de texto y estilo de línea Símbolos Gráficos

Cada uno de estos grupos está subdividido en otros tipos de funciones, pero las distinciones en estas categorías son algo artificiales, ya que tal vez varíen en alguna etapa del análisis, pero en conjunto proveen un manejo útil de los datos. La forma en que se implementa la función de un SIG depende de factores como el modelo de los datos, el *hardware*, el criterio para el desarrollo del sistema y cómo serán provistos los datos; además se debe tomar en cuenta la rapidez en el procesamiento de éstos. Sin embargo, este nivel de detalle no es necesario para entender qué tipo de funciones de análisis provee un SIG, cómo pueden ser usados y por qué son valiosos.

## 1.2.4 MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS ESPACIALES

El mantenimiento y las funciones de análisis se usan para transformar, editar y evaluar la exactitud de los archivos de datos espaciales. Estos primeramente requieren pequeñas referencias para asociarlos con información que no sea de atributos espaciales.

El manejo para proveer estas funciones difieren de todos los *SIG*, ya que estos requieren de la capacidad para transformar los datos obtenidos a un formato que será usado en el sistema y para editar los datos una vez creados. También puede ser necesario juntar archivos por áreas adyacentes dentro de un solo archivo, para tener un mejor manejo de su almacenamiento.

### 1.2.4.1 Formato de transformaciones

Cuando se introducen los datos al sistema, estos pueden venir en diversos medios tales como tabletas digitalizadoras, archivos digitales, fotografías aéreas, entrada de *GPS* o paquetes que se encargan de dibujar mapas; así que para su uso se hacen transformaciones a los archivos en su estructura de datos y en el formato de los mismos para luego homogenizarlos y usarlos dentro del sistema.

Para la creación de archivos con algún tipo de topología de los datos coordinados se utilizan instrucciones propias del *software* para poder obtener estos tipos de archivos y después introducirlos al análisis del sistema; este procedimiento es rápido con grupos de datos pequeños, pero si por el contrario son mayores y manejan más características topográficas, puede tardar dependiendo de las capacidades del *hardware* y *software*.

En general, se debe tener cuidado con la introducción de datos, ya que si se tiene errores, el trabajo se vuelve doble y consume más tiempo, por lo que se debe depurar y editar la información para el uso de ésta y por tanto, obtener resultados más confiables.

### 1.2.4.2 Transformaciones geométricas

Las transformaciones geométricas son usadas para asignar coordenadas terrestres y reales a un mapa o *capa* de datos que serán utilizados en el sistema, pero siempre siguiendo un estándar en las transformaciones, ya que al hacer el *traslape* de los datos o mapas, se debe tener cuidado de que estos tengan el mismo tipo de mapa coordinado para que las proyecciones sean las correctas. Hay dos aproximaciones que son usadas en el registro de las coordenadas, el ajuste de posiciones absolutas y el ajuste de posición relativa.

El término posición relativa se refiere a la localización de características relativas con respecto a otras características; un ejemplo es cuando a partir de una capa llamada esclava se hace su

operaciones de traslape de capas; ya que en los límites de ciertos polígonos se pueden formar delgados polígonos, pero con las funciones necesarias se detectan y corrigen automáticamente, por lo que se reduce substancialmente el tiempo de edición para remover esto.

Hay una función que se usa para reducir la cantidad de datos coordinados que deben ser almacenados en el *SIG*, ya que al digitalizar un mapa se puede introducir un número considerable de puntos coordinados por lo que aumenta el volumen de la información. Esto es muy usual en las líneas donde se tienen demasiados vértices, pero con esta función se quitan los que no se necesitan y sólo se dejan los que marcan las características de las líneas o polígonos.

### *1.2.5 FUNCIONES DE MANTENIMIENTO Y ANÁLISIS DE ATRIBUTOS DE DATOS NO ESPACIALES*

Este grupo de funciones es usado para editar, revisar y analizar los atributos de datos no espaciales (bases de datos). Por ejemplo, un *SIG* que esté basado en archivos vectorizados donde el área y perímetro de los polígonos son comúnmente acumulados en archivos de atributos.

Para producir una tabla de áreas de polígonos, los datos pueden ser traídos de los archivos de datos, sin hacer referencia a los datos espaciales; en un *SIG* basado en archivos *raster*, donde los atributos de datos pueden ser encajados en un archivo de datos, como por ejemplo, una leyenda o las coordenadas de latitud y longitud de esquinas de una capa de datos.

En varios sistemas, los atributos son almacenados separadamente de los datos espaciales, la gran complejidad de estos tipos de *SIG*, también pueden proveer una gran flexibilidad en el análisis, almacenamiento y manejo de grandes grupos de datos.

#### *1.2.5.1 Funciones de edición de atributos*

Las funciones de edición permiten a los atributos ser recuperados, examinados y modificados, ya que nuevos atributos pueden ser adicionados, y algunos obsoletos pueden ser eliminados. En la vida de un *SIG*, constantemente van cambiando los atributos de una u otra forma, ya que un *SIG* estudia las características geográficas, por lo que éstas no son estáticas, lo cual implica que se tenga un constante cambio en las mismas, ya que si se limitaran las ediciones de las mismas, el sistema estaría limitado y con el paso del tiempo no serían confiables los resultados que éste proporcionaría.

#### *1.2.5.2 Funciones de consultas a los datos de los atributos*

Las funciones de consulta recuperan registros en la base de datos de atributos de acuerdo a un operador lógico, dependiendo del manejador de base de datos que se use, se obtendrán los resultados, pero un *SIG* robusto, debe tener una base de datos que soporte tanto consultas complejas

que manejen búsquedas selectivas de todos los atributos de una o más capas, como la generación de un reporte de resultados.

El análisis de los atributos puede ser muy poderoso y eficiente porque las operaciones espaciales complejas no son usadas, ya que todos los datos provienen de las bases de datos que se tienen, por lo que únicamente en estas funciones se manejan las bases de datos, siendo de gran importancia tener cuidado con la información introducida en estas.

## *1.2.6 INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS ESPACIALES Y ATRIBUTOS DE DATOS*

### 1.2.6.1 Funciones de Recuperación y clasificación de atributos espaciales

Con estas funciones son recuperados los datos y atributos espaciales, pero únicamente los atributos de los datos son modificados o creados. No se hacen cambios en la localización de elementos espaciales y no se crean nuevos elementos espaciales.

### 1.2.6.2 Operaciones de recuperación

Estas operaciones se ocupan de la recuperación de datos espaciales y de atributos que implican búsqueda selectiva, manipulación, y salida de datos sin la necesidad de modificar la localización geográfica de rasgos o crear nuevas entidades espaciales, todas estas operaciones trabajan con elementos que fueron introducidos a la base de datos.

### 1.2.6.3 Clasificación y generalización

Al procedimiento de identificar un grupo de rasgos pertenecientes a otro grupo se denomina clasificación. En el caso de una sola capa, la clasificación puede implicar el asignamiento de un nombre de clase para cada polígono como un atributo. El proceso de clasificación puede envolver asignación de valores numéricos a las celdas y escribir estos nuevos valores dentro de una nueva capa de datos.

La clasificación es importante porque define patrones. Una de las funciones más importantes de un *SIG*, es asistir en el reconocimiento de nuevos patrones. La clasificación es hecha usando capas de datos simples, así como múltiples capas de datos como parte de una operación de sobreposición de capas de datos.

### 1.2.6.4 Funciones de dimensión

Cada *SIG* provee algunas funciones de medición. Las dimensiones espaciales incluyen distancias entre puntos, longitudes de líneas, perímetros y áreas de polígonos, el tamaño de un grupo de celdas con la misma clase y las tolerancias que se manejarán para la edición de rasgos espaciales.

### 1.2.6.5 Operaciones de sobreposición

La sobreposición aritmética incluye operaciones como suma, resta, multiplicación y división para cada valor en la capa de datos, en la localización de una segunda capa. Una sobreposición lógica implica encontrar todas las áreas donde un grupo de condiciones específicas ocurren (o no ocurren) juntas. La flexibilidad provista por las operaciones y el nivel de desempeño de las operaciones de sobreposición varían mucho en los SIG; uno de los mayores factores que afectan el desempeño de estas funciones es el modelo de datos que se comenzó a usar.

Los modelos *raster* y *vector* difieren significativamente en la manera en que son implementadas las operaciones aritméticas y lógicas. En muchos SIG la aproximación híbrida es usada para tomar ventaja de ambos modelos. Un sistema basado en un modelo *vector*, puede implementar algunas funciones en el dominio *raster* por el desempeño de la conversión *vector-raster* sobre la entrada de datos, haciendo el proceso como una operación *raster* y convirtiendo el resultado *raster* de regreso a un archivo *vector*.

En un SIG basado en modelos *raster*, las técnicas de compresión de datos pueden ser usados para crear elementos que representen áreas contiguas (o un grupo de celdas) que tienen el mismo valor. Hay una tendencia a introducir más procesos integrados *raster-vector* en un SIG, porque los dos modelos de datos ofrecen diferentes ventajas y muchos grupos de datos digitales están disponibles en uno o en ambos formatos.

### 1.2.6.6 Operaciones con valores vecinos

Estas operaciones evalúan las características del área circundante a la localización específica. Cada función de este tipo requiere la especificación de por lo menos tres parámetros básicos: uno o más objetivos de localización, una especificación de la vecindad alrededor de cada objetivo y una función que se desempeñe sobre los elementos sin la vecindad.

Virtualmente todos los *software* de un SIG proveen algunas operaciones de vecindad. Los tipos más comunes son la función de búsqueda, funciones topográficas e interpolación. Algunas operaciones de este tipo deben ser implementadas usando alguna división regular del área de estudio. Por esta razón, es preferible utilizar un modelo *raster*.

Enseguida se describirán brevemente las funciones que tiene este modelo:

**Búsqueda.** Es una de las más comunes, esta función asigna valores a cada rasgo de acuerdo a algunas características de su vecindad; las funciones de búsqueda son usualmente predefinidas y los operadores se seleccionan de las que se ofrecen.

Líneas en polígonos y puntos en polígonos. En un *SIG* basado en vector, la identificación de puntos y líneas en un área de un polígono son funciones de búsqueda especializada. En un *SIG* basado en *raster*, es esencialmente una operación de sobreposición, con los polígonos en una capa de datos y los puntos y líneas en una segunda capa.

Funciones topográficas. Se refieren a las características topográficas de un área; en un *SIG* se representa de forma digital por elevaciones en los datos de las celdas del modelo.

Polígonos de *Thiessen*. Define áreas individuales de influencia alrededor de cada grupo de puntos. Es una aproximación a extender la información de los puntos, los cuales asumen que la mejor información para localización cuando no hay datos, es el valor más cercano al punto con un valor conocido.

Interpolación. Es el procedimiento de predecir valores desconocidos en localizaciones vecinas.

Generación de contorno. El contorno de líneas es usado para representar el relieve de la superficie como un grupo de líneas que conectan puntos del mismo valor y van dando forma a una superficie.

#### 1.2.6.7 Funciones de conectividad

El rasgo que distingue la función de conectividad, es que ésta usa otras funciones que acumulan valores sobre el área que se va a cruzar. Esto es, que requiere la evaluación de uno o más atributos.

Las funciones de conectividad han sido agrupadas dentro de las siguientes categorías: contigüidad, proximidad, red, expansión, intervisibilidad, iluminación y perspectiva.

#### 1.2.6.8 Formato de salida

Esta es la parte de preparación de los datos que se obtuvo del resultado de los análisis para dar una salida. Aquí la salida varía dependiendo del análisis y de qué se quiere obtener, la salida puede ser en mapas, tablas, en el monitor, en algún medio de almacenamiento, etc. Algunos de los tipos más comunes de salida son los siguientes:

- Mapas. Contienen anotaciones como títulos, leyendas, barras de escala y flechas de norte, todos estos tienen posiciones fijas sobre el mapa.
- Etiquetas de textos. Son puestas en el mapa con información de éste, pueden ir cerca de algún punto con una localización (nombre de una ciudad), una línea (nombre de un río), un polígono (nombre de un país). Éstas forman parte importante de un mapa, ya que además de mostrar el nombre de un rasgo geográfico, también muestran la orientación de estos rasgos, su tamaño relativo y su clase.

- Patrones de textura y estilos de línea. Es la selección del ancho de líneas y colores, aunque también depende del tipo de dispositivo de salida, ya que algunos pueden generar varios patrones de salida y dar más opciones para el formato de mapas.
- Símbolos gráficos. Éstos son usados para representar objetos en los mapas. Los símbolos para representar una ciudad, un pico de montaña o un puente, son algunos ejemplos muy comunes. Algunos sistemas proveen un grupo estándar de estos símbolos, pero no permiten crearlos; otros en cambio, tienen esa capacidad de crearlos y almacenarlos para usarse en el *SIG*.

### 1.2.7 NUEVAS TECNOLOGÍAS EN SIG

Hablar de nuevas tecnologías, sería ver cómo ha crecido la tecnología respecto a la implementación de nuevos *software* y *hardware*; además del rápido crecimiento de los *SIG*, estos han evolucionado; actualmente se puede ver su manejo de una forma más flexible, ya que el creciente uso de éstos, ha permitido poder trabajar los sistemas en cualquier tipo de plataforma, por ejemplo en una computadora; aunque el rendimiento y la velocidad en el manejo de los datos no son los mismos que en una estación de trabajo, la flexibilidad se ha incrementado considerablemente.

Todo el equipo de *hardware* que se usa para el desarrollo de un *SIG* se presta para la configuración que se necesite, de igual forma el uso creciente de los *SIG* ha originado la creación de *software* tanto comercial como de uso público que cuenta con todo lo necesario para poder desarrollar un sistema fuerte y robusto, pero las nuevas tecnologías dentro de este campo irán creciendo rápidamente, ya que con el rápido avance de la industria de la computación en todos sus campos, permitirá un aumento en el desarrollo de esta tecnología, que aunque relativamente es nueva, ha crecido enormemente como se ha visto a través de los últimos 30 años, ya que comparando aquel *SIG* de Canadá a mediados de los años sesenta con un *SIG* actual, podemos ver el avance, desarrollo y evolución, por lo que sabemos hacia dónde se dirigen estos mismos y podríamos imaginarlos como algo mayor a lo que se nos presenta actualmente.

### 1.2.8 APLICACIONES

Cuando se creó el primer *SIG*, no se pensó hasta qué campos llegaría, ya que cuentan con una gran versatilidad en el manejo de datos, además del análisis que desempeñan. Desde un principio se obtenían los datos manualmente o en medios de almacenamiento magnético, hoy en día se auxilian de satélites, *GPS (Geographical Position Systems)* y muchos otros medios para monitorear el crecimiento, condiciones de la población y la demanda de productos o servicios. Sirven para visualizar cambios en la fauna de algún país por el crecimiento de ciudades, además de la extinción



de algunas razas de animales o expansión de animales nocivos en algún ecosistema (plagas), protección de áreas arqueológicas y la localización de varias de ellas.

En el área de la geología se usan los *SIG* para la explotación de minerales, exploración de petróleo, el reconocimiento en el nivel de exploración, la identificación de patrones geológicos en algún terreno (*mapeo*) y para relacionarlos con diversos grupos de datos. También en esta área se puede ver la concentración de elementos disueltos en ríos, la composición de materiales de rocas en el drenaje básico de éstos, el monitoreo de los campos magnéticos de la tierra y campos de gravedad que pueden indicar la presencia de depósitos de petróleo y minerales significativos.

En aplicaciones municipales ayuda básicamente para buscar rutas alternativas en casos de siniestro, ya que se busca la ruta más corta a algún hospital o estaciones de bomberos y de policía; también ayuda a planear la construcción de casas habitación o centros comerciales, drenajes, tuberías de agua potable, servicios de cableado de teléfono, luz y otros. También se puede controlar el manejo de terreno para el censo de personas en un área delimitada, áreas construidas, saber quiénes son sus dueños, cuáles son los servicios con los que se cuenta como centros de salud, escuelas, áreas de diversión así como de qué servicios carece, además de ver cómo ha sido el crecimiento de los mismos.

Compañías privadas usan los *SIG* para el manejo de inventario de sus productos o seguimiento de rutas de acceso a algún lugar como rutas comerciales o zonas donde se tenga ciertas características de importancia para la venta de algún producto como por ejemplo, poner un supermercado en una zona altamente poblada.

También se tiene aplicaciones globales en los cuales se estudian los efectos ecológicos, por ejemplo, en la atmósfera por el dióxido de carbono, ya que desde la década de los ochenta, se ha presentado un crecimiento en la concentración del dióxido de carbono y se estudia cómo afecta esto en el calentamiento global y en los diversos ecosistemas. Por ejemplo, en Canadá se han establecido programas como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (*UNEP*) que coordina el manejo y la relación de los diversos climas en el mundo, océanos y recursos renovables, además de la contaminación en las ciudades, del manejo del crecimiento de las zonas desérticas y de la disminución de las selvas, como la Amazona, por citar algún ejemplo.

Como se ha visto, han crecido los campos donde se pueden usar los *SIG*, ya que por el fácil manejo de la información, el acceso rápido a la misma y todo lo que se puede obtener para la toma de decisiones, en el futuro será usado para el modelado no únicamente de características aunadas a la tierra, sino de otras disciplinas.

## 2. FUNDAMENTOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

### GEOGRÁFICAS

La digitalización de imágenes es una técnica usada para la obtención de mapas u otras imágenes; hoy en día, se digitaliza de manera automatizada para obtener mejores resultados y tener mejor manejo de las imágenes digitalizadas, aunque aún se digitaliza manualmente. “La idea principal para la adquisición y procesamiento de imágenes, es llevarlas al dominio de la computadora, donde estas se pueden desplegar, manipular y alterar. Cuatro procesos son manejados aquí: entrada, desplegado, manipulación y salida”.<sup>1</sup> Las computadoras que se han convertido en herramientas esenciales para el hombre en cálculos, procesos, operaciones y manejo de todo tipo de información, han permitido que esta disciplina se desarrolle cada vez más hoy en día.

Se pueden tener varias entradas de la imagen, a través de un archivo que ya se tenga guardado en algún medio magnético y con el *software* apropiado se recupera la imagen con un *scanner*, esto es, que la imagen pasa a través de un dispositivo óptico sensible que puede leer y registrar la imagen, de tal manera que se obtiene un campo de pequeñísimos píxeles a través de un *chip CCD* (*Charge Coupled Device*), este dispositivo “es un tipo particular de arreglo de silicónes -un tipo de *chip* de computadora- que actúa como un detector de la intensidad de la luz”<sup>2</sup> en los cuales se registra un número que representa la intensidad de luz recibida de la imagen y la envía a la computadora a través de un convertidor analógico/digital, el cual pone la imagen en un arreglo de números. Este arreglo es desplegado como una imagen en formato *raster* y con el *software* apropiado, se puede visualizar y manejar.

Otra entrada de imagen, es a través de terminales interactivas tipo sensor remoto (*Global Position System*) o imágenes de satélite, finalmente la digitalización de imágenes a través de una tableta digitalizadora (que es la que nos importa, ya que fue a través de ésta que se adquirieron algunas curvas de nivel) que se usó para la creación del Modelo Digital de Elevación de la Cuenca de México, este modelo puede ser usado para derivar información valiosa acerca de la morfología, zonificación, superficie y principalmente para la obtención hidrológica de la Cuenca.

#### 2.1 CAPTURA DE IMÁGENES POR MEDIO DE DIGITALIZACIÓN

En la captura de imágenes a través de una tableta digitalizadora se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

---

<sup>1</sup> *Modern Image Processing...* p. 9

- ) recopilación de las fuentes,
- ) seleccionar las fuentes a utilizar ya sea por escala, tipo de proyección y fecha de edición; y
- ) prepara las fuentes a utilizar.

Al digitalizar a través de una tableta, ésta nos permite convertir datos en formato analógico a formato digital pero almacenados en formato vectorial.

La digitalización vectorial de imágenes, es usada principalmente para mapas topográficos y en especial las curvas de nivel; para realizar este trabajo, el sistema crea una copia de trabajo de la imagen a vectorizar, y conforme se digitalizan las curvas o trazos, estos se deben ir borrando del archivo de trabajo para asegurar que no se repitan trazos ya hechos. Posteriormente será necesario realizar algunos tipos de tratamiento a la imagen para adecuarla a nuestras necesidades, ya sea que se quieran detectar arcos no conectados, picos pronunciados en los arcos, pseudo nodos, etc.

Una vez que se ha digitalizado y revisado la imagen completa, se puede cambiar de formato para exportarse a otros módulos y generar el Modelo Digital del Terreno o Elevación.

Hoy en día podemos encontrar dos métodos de digitalización de imágenes, el formato vector y el formato *raster*, depende del formato y el cómo se obtuvieron los datos en la entrada (ver fig. 2.1).

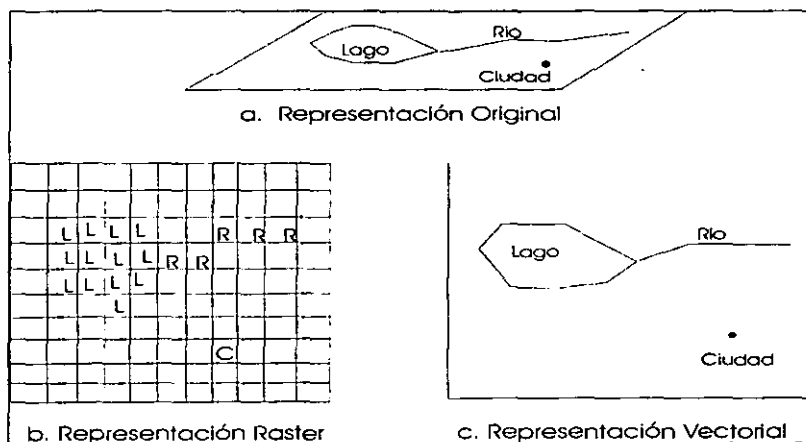


Figura 2.1 Representación del mundo real en formato gríd y vector

## 2.2 MODELO DE DATOS VECTOR

“Esta es una estructura de datos basada en coordenadas comúnmente usadas para representar rasgos geográficos lineales, cada rasgo lineal está representado como una lista de vértices ordenados.

Las estructuras de datos de vector tradicionales incluyen doble digitalización de polígonos y modelos arco-nodo<sup>3</sup> (ver fig. 2.2).

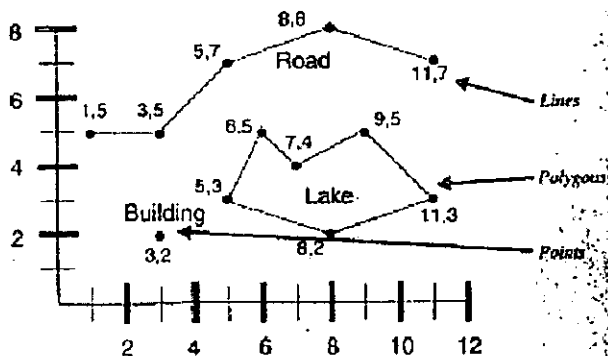


Figura 2.2 Representaciones de datos en formato vector

El modelo vector se obtiene al momento de digitalizar la imagen en una tableta, al hacer el seguimiento de curvas de nivel, vialidades, estados u otras características físicas del mapa o carta que se esté digitalizando a través de un *mouse* o una pluma para digitalizar.

Este modelo representa características geográficas en forma similar que los mapas comunes y corrientes. Esto se hace a través del sistema de coordenadas cartesianas (x, y), así, se hace referencia a lugares en el mundo real. "En este modelo cada lugar es grabado como una coordenada x, y; los puntos como una sola coordenada, las líneas son grabadas como una serie ordenada de puntos coordenados, las áreas como una serie de coordenadas definiendo segmentos de líneas que encierran un área."<sup>4</sup> En las figs.2.3 y 2.4 se puede apreciar cómo se almacenan las coordenadas.

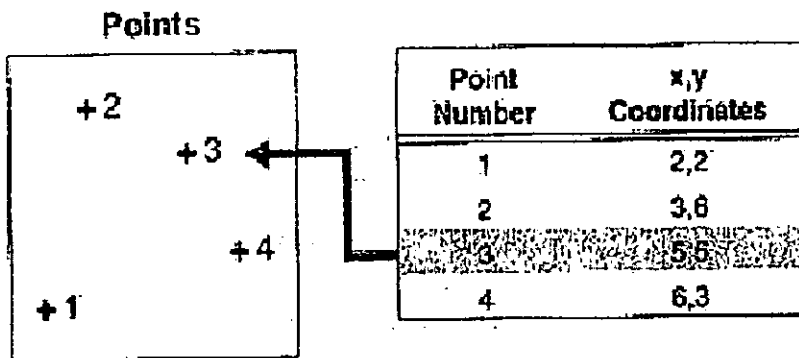
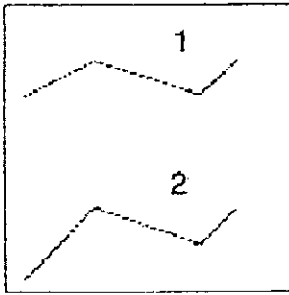


Figura 2.3 Almacenamiento de puntos en formato vector

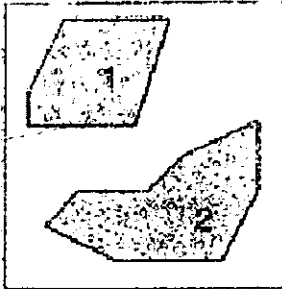
<sup>3</sup> ESRI, ayuda del software *Arc/Info*

## Líneas (arcs)



Line Number	x,y Coordinates
1	1,5 3,6 6,5 7,6
2	1,1 3,3 6,2 7,3

## Polygons



Polygon Number	x,y Coordinates
1	1,4 1,5 2,7 5,7 4,4 1,4
2	1,2 2,3 4,3 5,4 7,5 7,3 6,1 3,1 1,2

*Figura 2.4 Almacenamiento de una línea y un polígono en formato vector*

También se tienen otros rasgos geográficos compuestos por otros rasgos geográficos, por ejemplo, los límites de la cuenca de México pueden ser modelados por los estados que la componen y estos son áreas.

Los rasgos geográficos pueden cambiar y se debe tener en cuenta estos cambios históricos pues son importantes, por ejemplo, un área determinada de tierra de la cual se tiene registrada su forma original, después se subdivide para vender pedazos separados de este mismo terreno; dos rasgos geográficos que pueden traslaparse son dos rutas de camiones distintas que transitan por la misma calle.

Para la representación de superficies, el modelo de datos vector representa cada superficie como una serie de isolíneas; por ejemplo, las elevaciones deben ser representadas como una serie de contornos. Sin embargo, es útil para desplegar información, no fácilmente soporta los cálculos de características tales como pendientes de la superficie en un punto en particular o la dirección de una pendiente. Ambas características son importantes para el análisis que implica dicha superficie.

## 2.3 MODELO DE DATOS RASTER

“Es una estructura de datos de celdas compuesta de renglones y columnas para el almacenamiento de imágenes. Grupos de celdas con el mismo valor representando características de ésta”<sup>5</sup> (ver fig. 2.5).

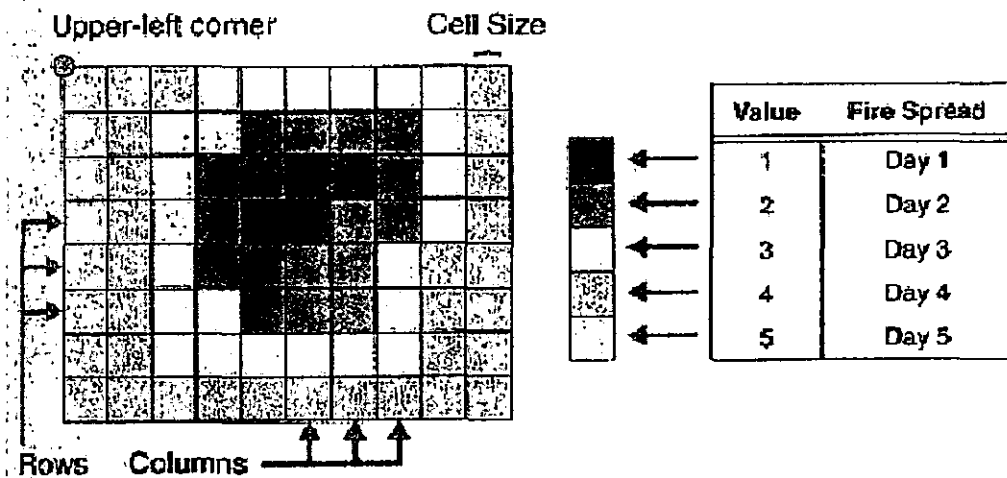


Figura 2.5 Representación de datos en formato grid

El modelo *raster* está compuesto por una matriz de celdas y está organizada “en renglones y columnas a las que se les denomina malla, tiene puntos de tamaño regular (llamadas celdas o pixeles) las cuales almacenan valores y cada localización está representada como una celda. Cada renglón contiene un grupo de celdas con valores que representan los fenómenos geográficos y las celdas contienen valores numéricos los cuales representan datos geográficos.”<sup>6</sup>

Cuando se almacena una imagen en una computadora se está usando un modelo tipo *raster*, cuando se usa este tipo de modelo se ve una superficie continua. Hay tres maneras de interpretar cada punto en un modelo de estos, primero un punto forma parte de un elemento de la imagen; segundo, interpretarlo como una medida del valor de su color o de gris; la tercera es definir un pixel relativo como un punto de referencia de algún rasgo geográfico; cuando se crea un *grid* se crea una tabla de datos *VAT* en la cual se guardan en una columna los valores que tiene cada celda y en otra columna cuantas celdas contienen ese valor, pero se pueden crear más campos en la tabla en caso de ser necesarios para el manejo de otro tipo de información (ver fig. 2.6).

<sup>5</sup> ESRI. *Ayuda del Software Arc/Info*

<sup>6</sup> ESRI. Ob. cit. pp. 1-27

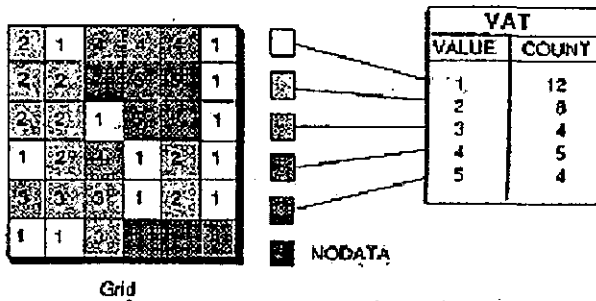


Figura 2.6 Un grid con su respectiva tabla VAT (Value Attribute Table)

Los valores en cada celda pueden representar algún tipo de clasificación como tipo de vegetación, tipo de suelo o asentamientos humanos. Éstas se pueden ver como una medida de satélite que mide la luz que refleja la Tierra o pueden ser interpretadas como una elevación geográfica.

El modelo *raster* representa todos los rasgos geográficos como puntos, líneas y polígonos. Un punto se representa como un solo valor en una celda, una línea se representa como una serie de celdas conectadas que pintan una longitud y un área como un grupo de celdas conectadas pintando algún tipo de forma (ver fig. 2.7).

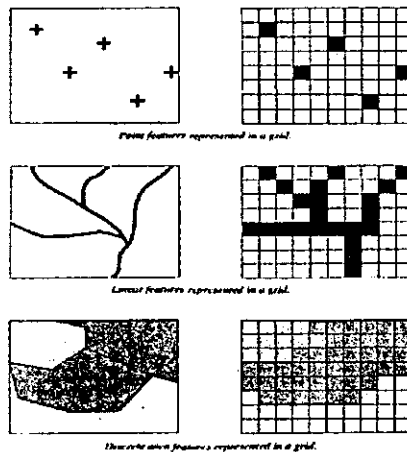


Figura 2.7 Representación de puntos, líneas y áreas en formato grid

En el modelo *raster*, la resolución depende de la representación que se tenga en el tamaño de cada celda, esto es que una celda puede tener dimensiones grandes o pequeñas.

En este modelo las relaciones espaciales son implícitas, por lo tanto, las relaciones espaciales almacenadas explícitamente no son requeridas como en el modelo vector. Este modelo es

georeferenciado especificando el sistema de coordenadas en el cual se está trabajando con la malla, el tamaño de las celdas es dado por las distancias que se manejen en el mundo real al igual que las esquinas de los vértices de la malla.

“Para la representación de superficies, el valor de la superficie (por ejemplo la elevación) es registrada para cada celda. Más que tener el valor representado en celda completa, éste es representado únicamente por un punto en el centro de la celda, a este grupo de puntos dentro de las celdas en la malla se le llama entretejer una superficie (*lattice*), éste soporta cálculos de pendientes de las superficies como ver el cambio de valor en una pendiente sobre una distancia, direcciones de las caras de las pendientes e interpolaciones de los contornos. El Reconocimiento Geológico de los Estados Unidos (*USGS*) usa este modelo para crear su Modelo digital de Elevación (*MDE*)”<sup>7</sup> (ver fig. 2.8).

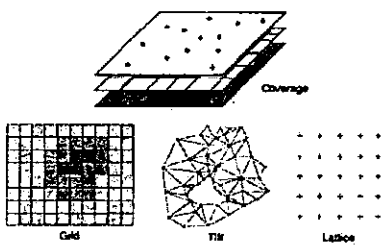


Figura 2.8 Vista de formato grid, tin y lattice

Hay un modelo llamado Red Triangular Irregular *TIN* (*Triangulated Irregular Network*) que se deriva del modelo de datos *raster* que “es un modelo alternativo del modelo *raster* y sirve para representar superficies continuas, este modelo representa una superficie como una serie de triángulos ligados y estos pueden tener sus vértices en cualesquiera de los puntos por lo que son irregulares y estos triángulos crean una red para almacenar las relaciones topológicas de los triángulos. El elemento fundamental de esta construcción es el nodo”<sup>8</sup> (ver fig. 2.9).

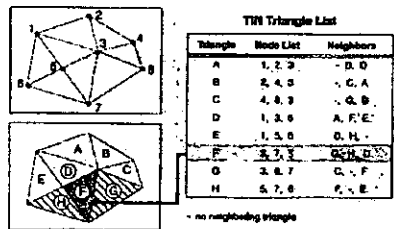


Figura 2.9 Almacenamiento de datos en un formato TIN

<sup>7</sup> ESRI. Ob. cit. pp. 1-32



Los tres modelos vistos anteriormente en la fig. 2.8 son muy útiles para modelar la Tierra, ya que cada uno tiene su propio sistema coordinado, una escala y el ajuste de sus coordenadas para que al llevarse a cabo un análisis con estos se tenga la seguridad que la misma coordenada representa al mismo lugar en cada modelo, esto es la georeferenciación (tener la referencia de un elemento con su posición verdadera dentro del mundo real) y es importante para poder seleccionar el modelo que más convenga para la representación de características sobre la Tierra además de ayudarnos en el análisis, manejo, cálculo y despliegado de nuestros datos (ver fig. 2.10).

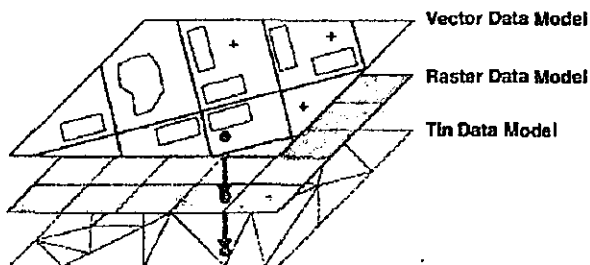


Figura 2.10 Traslape de tres formatos diferentes de datos

## 2.4 ENTRADA DE ATRIBUTOS

### 2.4.1 ENTRADA DE ATRIBUTOS

La entrada de atributos es una de las partes más importantes, ya que a través de ésta se introducen los datos necesarios para poder obtener un modelo lo más semejante a lo que se quiere modelar.

Cuando ya se obtuvo una imagen digitalizada se introducen atributos (rasgos o características de algún tipo) a estas imágenes (en nuestro caso mapas geográficos), esto manejado a través de una cobertura (espacio de trabajo que contiene información en formato vectorial dentro de *Arc/Info* y generalmente representa cada clase de datos geográficos).

Cuando hablamos de coberturas, nos referimos a la forma en que se están almacenando los datos para su manejo; los más comunes son arcos, nodos, polígonos, puntos, *tics*, etiquetas y textos; may otros que son más elaborados y que se construyen a partir de los primeros como son rutas, secciones, regiones, puentes y extensión de la cobertura. La manera en que se relacionan estos elementos va de acuerdo a las características geográficas que se quieren modelar o representar con ellos en la cobertura(ver fig. 2.11).

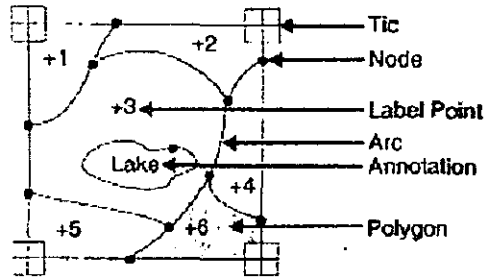


Figura 2.11 Diferentes elementos gráficos en una cobertura

La relación entre coberturas y datos tabulares con relación a datos espaciales se ligán por medio de relaciones uno a uno, o sea a un rasgo geográfico (con sus respectivas coordenadas geográficas) le corresponde un dato en su respectiva tabla de atributos.

A cada rasgo o característica geográfica le corresponde una determinada tabla en la cual se guardan los registros y atributos de esa característica, se pueden agregar más campos (los que se necesiten).

Cuando se habla de topología nos referimos a la característica geográfica que representa una cobertura, por ejemplo áreas de terrenos, topologías de polígonos (superficies cerradas), exploraciones de la tierra, topología de puntos (un punto que sirve para denotar donde se encuentran), rutas de ríos, vías de ferrocarril, calles, topología de líneas, y así consecutivamente dependiendo del fenómeno geográfico que se quiera manejar o modelar.

Cuando se tiene una cobertura con rasgos geográficos se le indica a la computadora tres cosas:

- tipo de característica geográfica que se quiere modelar en la cobertura,
- dónde se encuentra situada esa característica geográfica, y
- la relación que guarda con otras características geográficas.

Así tendremos la seguridad de que el almacenamiento de la información será el correcto y el análisis que se obtenga a partir de éstos nos dará los resultados deseados con el menor error.

#### 2.4.2 CREACIÓN DE LA TOPOLOGÍA

Cuando se introduzcan los atributos que tendrá nuestra imagen, se deben introducir todos aquellos que indican las características geográficas y su respectiva descripción que los liga con sus tablas de atributos, pues de esta manera los identifica correctamente el sistema. Hay que tomar en cuenta que esto se hace para crear la cobertura que guardará todos los rasgos geográficos, al terminar de introducir éstos, se debe crear una topología apropiada para el grupo de datos que tiene la cobertura, esto con el fin de asegurar que todos los datos tengan bien definidas las características,

se crea la topología y se construyen las tablas de atributos, el uso de cada comando depende del tipo de cobertura (líneas, polígonos, etc) (ver fig. 2.12).

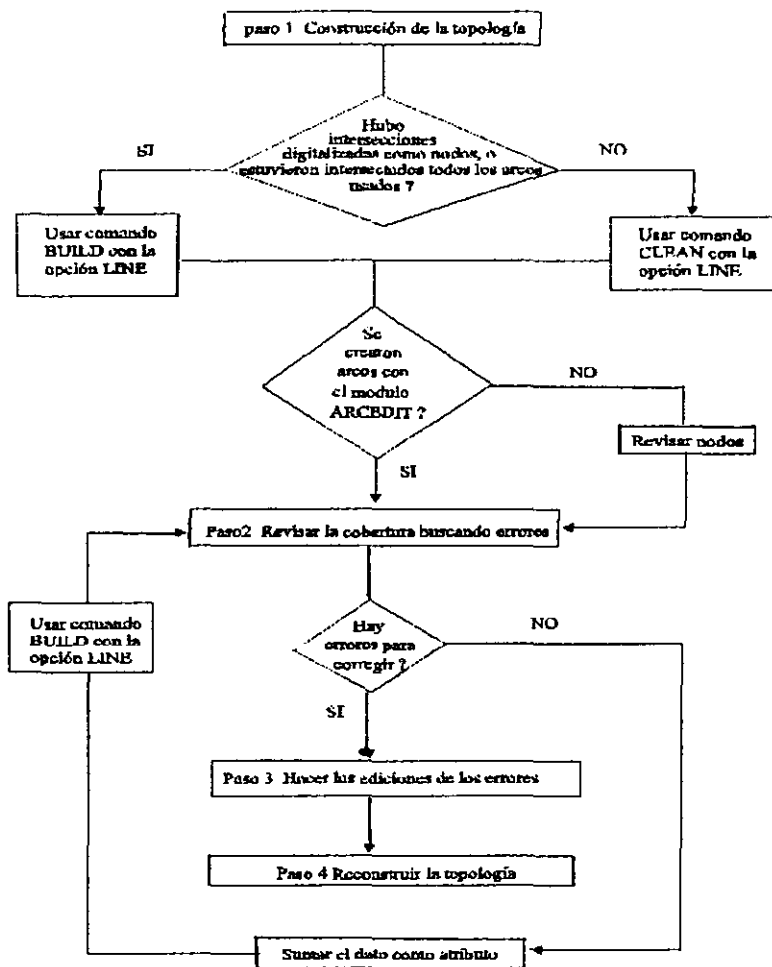


Figura 2.12 Corrección de datos espaciales para una cobertura de líneas

### 2.4.3 GEOREFERENCIACIÓN DEL MAPA

Cuando se haya terminado con la introducción de atributos, se debe proceder a dar la ubicación que tiene este modelo sobre la Tierra, esto es, obtener su georeferenciación geográfica (asignarle las coordenadas correctas de acuerdo al sistema coordenado que se elija), se define por la proyección del mapa sobre el sistema coordenado deseado y se cuidan las tolerancias con que se llevarán a cabo todas las operaciones por realizar; un ejemplo es cuando se está digitalizando un mapa, se toman en cuenta las unidades en que se expresa la digitalización, ya que las tolerancias con las que se trabaja,

afectarán la resolución alrededor del movimiento de coordenadas o a la salida del mapa cuando se lleve a las unidades originales, se debe tener cuidado al crear la cobertura y asignarle valores a su tolerancia en la entrada de los datos.

Cuando se haga la georeferenciación, debe hacerse con los comandos necesarios para la transformación de coordenadas o para ponerle un sistema coordinado adecuado, la utilización de cada uno de ellos depende de si se hará una transformación a partir de un archivo con las coordenadas reales o si se desea cambiar el sistema coordinado a otro diferente al que se tiene.

#### 2.4.4 IDENTIFICACIÓN Y CORRECCIÓN DE ERRORES

Se debe tener cuidado al trabajar con el equipo que se cuenta, ya que el incorrecto o el mal manejo de éste, ocasiona errores humanos, además de los que se obtienen por las diversas entradas de la información.

El error *RMS (root mean square)* es una medida que se toma de los *tics* cuando se está digitalizando o haciendo una transformación de coordenadas.

La resolución de una cobertura se refiere a qué tanto se puede reconocer o distinguir en la misma, todas estas características se ven "influenciadas por tres factores: la precisión con las que se introdujeron las coordenadas de entrada, la precisión de entrada en el dispositivo a usarse (tableta digitalizadora), la escala del documento de entrada y las tolerancias en el procesamiento de la cobertura."<sup>9</sup>

También se corrigen errores cuando se editan valores con los que se manejarán diversos comandos, esto es, que en la edición de algún arco, un nodo, un punto, etc., se tienen tolerancias para obtener la característica deseada. Es importante señalar que también ayuda la visualización de la carta que se digitalizó previamente, ya que a partir de ésta se encuentran errores que salen a simple vista.

Se deben detectar los errores obtenidos en las operaciones que se hallan hecho, una vez detectados se deben corregir a través de un módulo (en *Arc/Info*) que se llama *arcedit*, en éste se pueden editar todos los rasgos gráficos que se tienen en la cobertura para poder manipularlos. Se debe tener cuidado de revisar todos y cada uno de los atributos que se introdujeron al directorio de trabajo, pues en caso de que falte alguno, se introduce y los que estén incorrectos se corrijan, al final se vuelve a construir la topología correspondiente al directorio de trabajo, con esto se tendrá correcta la cobertura de nuestro mapa.

---

<sup>9</sup> ESRI. Ob. Cit. p. A-2

## 2.5 MANIPULACIÓN EN MAPAS

La manipulación de mapas nos ayuda a obtener los datos o la información que se necesite del modelo, para hacerlo, se debe tener la cobertura o archivo (en la que se encuentra nuestro mapa ya digitalizado y corregido) que se encuentra en formato vectorial, para pasarla a formato de datos *raster*, ya que es más fácil la manipulación de imágenes con este formato.

El modelo *grid* de *Arc/Info* es un modelo de datos basado en celdas (también es una cobertura pero de tipo *grid*), al igual que el *raster*, se almacenan los valores correspondientes en cada celda. Con el modelo *grid*, se puede hacer un modelo y manipular los datos geográficos, ya que “un modelo de datos *grid* tiene por lo menos tres ventajas distintas, el procesamiento es rápido,... puede representar fenómenos espaciales continuos como la elevación del terreno, mostrar distancias desde algún tipo de rasgo geográfico, reflejos espectrales, alguna característica especial del suelo o modelar algún tipo de vida silvestre...; las celdas tienen cada una más utilidad para operaciones de análisis que no son posibles con las coberturas de datos vectoriales...”<sup>10</sup>

Cuando hablamos de un *grid*, tal vez pensemos si realmente se está optimizando nuestra información, además del correcto manejo de ésta, pero como se señala, “los *grid* en *Arc/Info* no tienen problemas y sus limitaciones inherentes como en muchas estructuras basadas en celdas es por lo grande de la celda.

Los *grid* son almacenados como una serie de *bloques* con los datos comprimidos en cada uno de estos. Al menos no hay necesidad de preocuparse por cuántos *bloques* son creados y usados en un grupo de datos *grid*, ya que el *grid* lo maneja en vez del usuario; lo que se ve y se usa es una simple cobertura *grid* -no un grupo de *grid* adyacente que puede ser manejado individualmente-. Por lo tanto el manejo de un *grid* es transparente para el usuario”<sup>11</sup> (ver fig. 2.13).

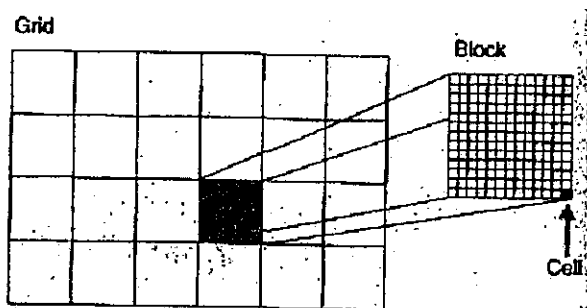


Figura 2.13 Vista de un grid mostrando un bloque con sus respectivas celdas

<sup>10</sup> ESRI. Ob. cit. pp. 2-10 – 2-12

El fenómeno que mejor maneja los *grid*, es la representación de datos espaciales continuos en la producción de superficies continuas donde se pueden visualizar diversas características que son inherentes de la superficie, los *grid* tratan a todas las características geográficas de la misma forma, como celdas en un *grid* (red). “Cuando todos los tipos de datos están en la misma estructura, un lenguaje semántico puede ser usado. Más importante, los diferentes tipos pueden ser mezclados con no prioridades en la preparación. Un medio ambiente que integra tipos de datos provee al usuario una mayor flexibilidad cuando se modelan.”<sup>12</sup>

Se deben tomar en cuenta algunas características para obtener los mejores resultados en el manejo de nuestro modelo *grid*, una de ellas es la resolución, ésta es el tamaño con el que se manejará la celda en el área de estudio para los análisis que se harán; otra es el tamaño de la celda, éste debe ser lo suficientemente pequeña para capturar cualquier detalle que se requiera, pero lo suficientemente grande para que la computadora pueda llevar a cabo los procesos sin tener mayores problemas en su almacenamiento y análisis.

Otra característica importante, es el valor que se asocia a cada celda como un identificador que define el grupo al que pertenece y la categoría o el miembro de celdas al que pertenece, este valor puede ser un entero o un flotante y es asociado a uno o varios atributos.

El siguiente factor, es el sistema de unidades de medida a utilizar, ya que éste puede tener un efecto dramático en la interpretación de los resultados, los valores de las medidas pueden ser divididos dentro de cuatro grupos: radio, intervalo, ordinal y nominal.

- 1) Radio: este sistema es derivado de un punto fijo marcado como cero en una escala lineal, y a partir de este, se llevan a cabo las operaciones matemáticas de edades, distancias, pesos, etc.
- 2) Intervalos: estos son valores sobre una escala calibrada pero no relativa a un punto fijo en cero en el tiempo o el espacio, por ejemplo los años en un calendario, la temperatura en una escala *Fahrenheit*, el valor de *PH*, etc.
- 3) Ordinales: estos valores determinan la posición, ésta medida muestra el lugar, como primero, segundo, tercero, etc.
- 4) Nominales: estos valores son asociados con el sistema de medida para identificar una instancia de otra; también pueden establecer el grupo, la clase, el miembro o la categoría con el objeto que se asocia, estos valores son cualitativos no cuantitativos, por ejemplo, los esquemas de código para uso de suelo, tipos de suelo, códigos postales, números telefónicos, etc.

<sup>11</sup> ESRI. Ob. cit. pp. 2-14

<sup>12</sup> ESRI. *Cell-based Modeling with GRID*. pp. 2-3

La computadora no distingue entre estos cuatro diferentes tipos de medidas, pero cuando se llevan a cabo las operaciones necesarias, éstas trabajan sobre estas medidas.

Cuando se tienen los datos almacenados en información *grid*, no es necesario tenerlos con la misma resolución a menos que se lleve a cabo un proceso entre estos *grid*, pues se necesita que sean las mismas resoluciones, ya que se establece una base matemática para construir el *grid* de salida.

El sistema *grid* trabaja sobre localidades y procede a describirlas. Cuando se alinean las celdas de diferentes *grid* para realizar una operación de la computadora, no es entre valores y diferentes capas de *grid*, sino que se hace una comparación entre los valores en las localidades, procesar *grid* es igual que procesar matrices, estas operaciones en la computadora son muy rápidas (ver fig. 2.14).

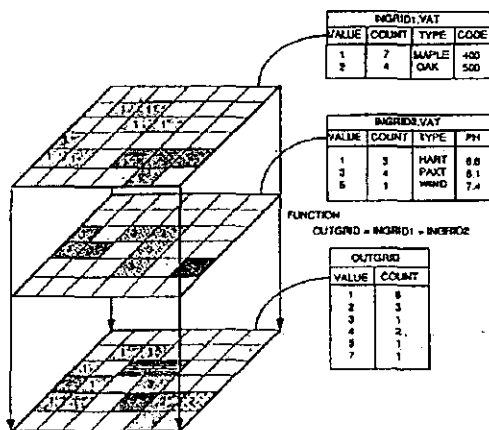


Figura 2.14 Ejemplo de una operación de suma entre dos grids

Se manejan cuatro métodos principales para determinar el valor de las celdas, estos son:

- 1) Método de *centroide*. Aquí cada celda es asignada al valor de la característica que pasa a través del centro de la celda, este método puede ser usado para cualquier tipo de rasgo, pero se usa más para la obtención de datos continuos como elevaciones, fluidos de flujo, etc.
- 2) Método de tipo predominante. En este caso el valor de la celda será llenado con el valor que predomine en la celda, este método se usa para datos discretos o que no sean continuos, por ejemplo *grid* de vegetaciones, suelos, tierras, etc.
- 3) Método del tipo más importante. Cada celda es asignada al valor asociado con el rasgo que ha sido especificado como más importante para el estudio del *grid*, por ejemplo un *grid* que contiene animales en extinción, un determinado tipo de vegetación, el suelo, etc.
- 4) Método del porcentaje dividido. En este método, a una celda se le asignan varios valores, uno por cada rasgo físico que tenga, de acuerdo al porcentaje que ocupe cada rasgo en la celda, este

método es difícil de implementar, pues además de los costos en los datos de entrada, es usado en el manejo de datos estadísticos.

Se entiende que estas operaciones tienen sus limitaciones y que el uso apropiado de los datos nos ayudará a obtener los resultados deseados, así como a utilizarlos apropiadamente.

El análisis con *grid* se hace a través del álgebra de mapas, éste es un lenguaje diseñado específicamente para los *grid* de alto nivel para la descripción del modelado cartográfico.

Las funciones asociadas con los *grid* pueden estar divididas en tres tipos:

- 1) funciones que trabajan sobre sólo celdas (ver fig. 2.15),
- 2) funciones que trabajan sobre celdas y sus vecindades (ver fig. 2.16), y
- 3) funciones que trabajan sobre las celdas con zonas (ver fig. 2.17).

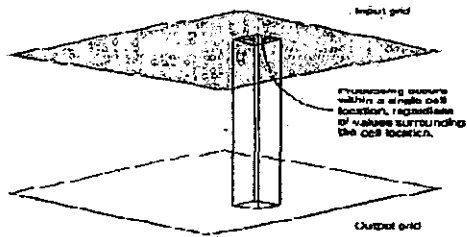


Figura 2.15 Función que trabaja sobre una celda

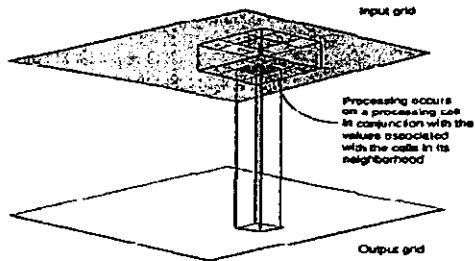


Figura 2.16 Función que trabaja sobre las vecindades de la celda escogida

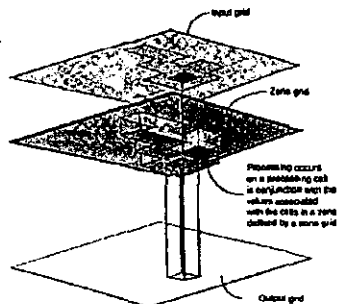


Figura 2.17 Función que trabaja sobre una zona alrededor de la celda escogida



Los comandos en el módulo *grid*, son principalmente instrucciones para el manejo de *grid* y su área de trabajo donde se están analizando, las funciones de estos *grid* son herramientas para modelar la cartografía espacial diseñada específicamente para analizar estos tipos de formato de datos.

Al igual que en cobertura de datos vectoriales, aquí se pueden hacer proyecciones, transformaciones, cálculo de distancias, áreas, georeferenciaciones, exportar una imagen *grid* a un archivo *ASCII* y hacer un análisis con más de dos *grid*, por lo que se vuelve más eficiente la obtención de resultados, la diferencia está en la rapidez para hacer estas operaciones, ya que es más rápido en las de formato *grid* porque los datos están vaciados en matrices y las operaciones en matrices son rápidas y eficientes.

La manipulación de las imágenes *grid* depende de qué se tiene, qué se quiere y qué se espera, tomando en cuenta un margen de error a la entrada de la información o por el redondeo en ciertas operaciones, lo cual también es importante) ya que sin tener esto claro no podríamos definir qué tipo de análisis se quiere realizar, por lo que se podría caer en resultados erróneos o poco reales, esto afectaría gravemente las decisiones que se tomen a partir de lo que se obtenga; un factor importante para llevar esto a cabo, es conocer con qué comandos se cuenta o tener una idea de hasta dónde se puede llegar con un solo comando para nuestro análisis.

Se pueden encontrar comandos que por sí solos hacen un análisis complicado, pero en la mayoría de los casos se necesitan combinar varios comandos para lograr lo que se quiere (ver fig. 2.18).

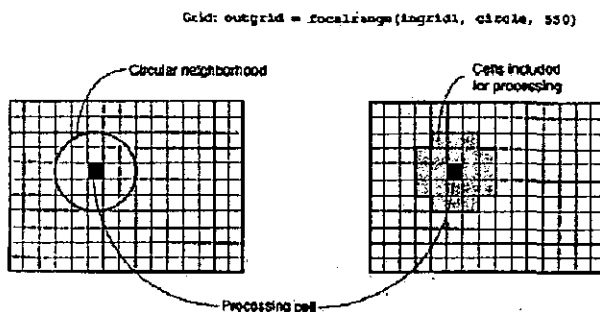


Figura 2.18 Ejemplo de un comando para obtener un análisis a partir de un radio dado

## 2.6 PRESENTACIÓN DE UN MAPA DIGITALIZADO.

Cuando ya se ha obtenido el mapa se procede a hacer su presentación, la salida se le dará al usuario, ya sea en un despliegue gráfico a través de una impresora o *plotter*, o por algún tipo de archivo. Cuando hablamos de la presentación del mapa, nos referimos a todo lo que esto incluye

para que el usuario final, pueda comprender el contenido del mapa y qué tipo de información le está proporcionando; el diseño del mapa en su presentación debe contener su simbología correspondiente y toda la información que se deba saber acerca de éste como el lugar que está representando, puntos importantes a señalar, etc.

Los mapas “son representaciones gráficas de la realidad usadas para mostrar información geográfica. Las personas encargadas de elaborar mapas usan símbolos para describir las localizaciones y distribuciones que son importantes para el usuario del mapa. Un mapa no puede mostrar todo acerca de un lugar en detalles exactos. Hay un límite de cuántas características pueden ser representadas porque, alrededor de todas, un mapa tiene que ser legible. Muchos colores diferentes, líneas, formas y texto deben causar un efecto visual sobre el mapa.”<sup>13</sup>

Así que cuando se hace la representación de un mapa debemos ser lo más claro posible, y no poner cosas que no sean importantes para el usuario; para esto se debe definir cuál es el propósito del mapa y hacia qué tipo de usuario va dirigido; esto nos ayudará a saber qué tipo de características se resaltarán o se deben incluir en nuestro mapa y con qué símbolos o colores se van a representar gráficamente.

Se tienen varios tipos de mapas como los siguientes:

Mapas temáticos y mapas de propósito general, estos últimos a su vez se dividen en mapas de referencia, mapas planimétricos y mapas topográficos, nosotros nos enfocaremos a los topográficos.

### 2.6.1 DETALLES Y ESCALA EN EL MAPA

Cuando vemos un mapa podemos notar que en uno de escala grande se ven mas detalles que si vemos uno con una escala menor, esto se debe a que en un mapa con una escala mayor se tiene más espacio para poder mostrar todas las características individualmente, aunque no hay una regla que indique cuántos elementos geográficos se pueden mostrar, todo depende del propósito de nuestro mapa como se indicó anteriormente, ya que dependemos de esto para saber cuántos elementos geográficos debe contener nuestro mapa y el nivel de detalle que éstos tendrán; con esto queremos decir cuántos elementos gráficos pueden ser mostrados, aunque esto no depende únicamente de la escala sino también de la fuente de información, ya que si la fuente de entrada no contiene algún dato que sí contenga el lugar original, entonces por consecuencia, este dato no estará presente en nuestro mapa.

La escala nos indica cómo se está representando una longitud en relación con la realidad, ya que como “la escala es un radio entre una distancia sobre el mapa y una distancia sobre la tierra. Este radio es usualmente expresado como una fracción.”<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> ESRI. *Map display & query*, pp. 1-2

<sup>14</sup> ESRI. Ob. Cit. pp. 1-4

## 6.2 ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS

Un elemento cartográfico es todo lo que pondremos como texto y símbolos gráficos, ya sea una barra de escala que nos indique la escala a la que está el mapa, un símbolo de norte para tener la ubicación cardinal del mapa, leyendas referentes a la simbología que se este usando en el mapa, tales como ríos, caminos, zonas pobladas, etc.; también colores o algún diseño gráfico que indique la ubicación de una característica geográfica como líneas, círculos u otro símbolo gráfico, títulos para el mapa o alguna característica importante que se quiera resaltar de éste, al igual que bloques pequeños de texto para información de algún elemento gráfico del mismo mapa, para lo cual se debe tener especial cuidado al poner etiquetas a algún elemento geográfico dentro del mapa, ya que podría visualizarse más grande el texto que la misma característica a la que se hace referencia.

## 6.3 SALIDA DEL MAPA

La salida final puede ser a través de un despliegue gráfico como la pantalla de una computadora o una estación de trabajo, en papel, ya sea por una impresora o un *plotter*, como se dijo anteriormente aunque este último es el más indicado para tener una buena resolución del mapa, así como para ver mejor los elementos que componen a éste; finalmente, se puede obtener la salida del mapa en algún medio de almacenamiento magnético.

Por lo general la salida del mapa es en papel, esto implica tener cuidado al definir el tamaño de la página donde será dibujado el mapa, los límites y el medio de impresión (ver fig. 2.19).

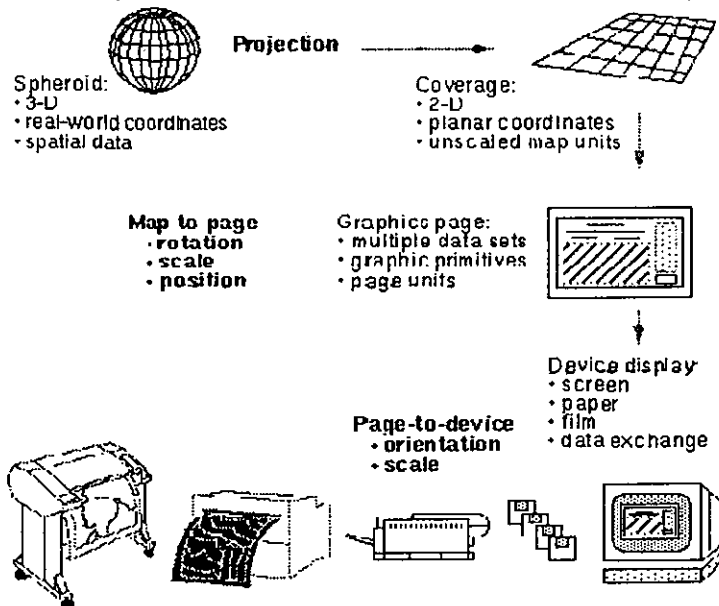


Figura 2.19 Proceso para salida final de un mapa

### 2.6.3.1 Dispositivos usados para la impresión de mapas

Se debe tomar en cuenta que cuando se visualiza un mapa en un despliegue en la pantalla, quizá al imprimirse no se obtenga el mismo resultado, con relación al que se está viendo en pantalla; esto se debe al medio que se este usando como impresión. Ya que no todos los *plotters* o impresoras manejan la misma resolución, también depende del tipo de papel que se esté usando para imprimir dicho mapa. Se debe escoger el dispositivo apropiado para la impresión de nuestros mapas basándose en las necesidades y el costo que esto implica.

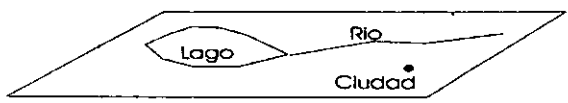
# 3. OBTENCIÓN, ALMACENAMIENTO Y TRATAMIENTO DE DATOS

## 3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

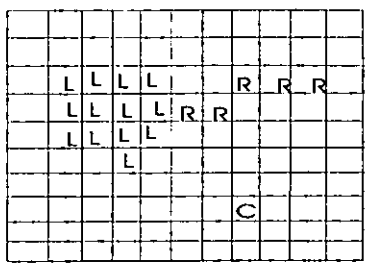
Una vez que se ha mencionado que un SIG se caracteriza por trabajar con información geográfica a diferencia de los sistemas de información, es necesario especificar las diferentes fuentes de información con que se cuenta. El principal componente de un SIG es principalmente la información geográfica, así como los atributos que ésta contiene.

La información geográfica representa problemas naturales, es decir, no toda la información sirve para el SIG en diseño, sino que después de seleccionar la que no sirva, ésta sea extraída para analizarla, por ejemplo si se tiene una fotografía aérea y éstos en diseño sólo requiere de las carreteras, la vegetación y los poblados que ésta incluya serán descartados.

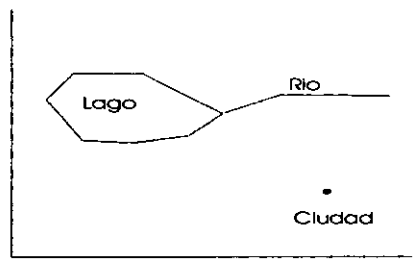
Primeramente se hablará de las fuentes de información geográfica, la cual dependerá del tipo de SIG que se esté desarrollando, es decir, del tema en particular, pero además dependerá si es *raster* o vectorial, aunque es necesario mencionar que estos tipos de información se pueden intercambiar de un formato a otro. Sin embargo se hará mención de las fuentes de información para cada uno (ver fig. 3.1).



a. Representación Original



b. Representación Raster



c. Representación Vectorial

Figura 3.1 Representación del mundo real en formato raster y vectorial

### 3.1.1. FUENTES DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA UN SIG RASTER

Un SIG raster puede obtener información geográfica de un mapa analógico, éste puede ser digitalizado utilizando un scanner, lo cual dará como resultado un archivo digital que después puede ser importado y manipulado en un SIG raster. Cabe mencionar que hay que prestar atención a la

elección de la resolución con que sea “escaneado” el mapa, aunque el resultado dependerá de la calidad del mapa original, dado que en algunos casos hay que remarcarlo para seleccionar la formación que deberá figurar en una capa temática o cobertura.

Otra manera de obtener información es por medio de imágenes de satélite, las cuales periódicamente, mediante sensores remotos, se registran en formato digital; la resolución de estos sensores es variable, esto en función de los distintos sensores remotos en activo. Posteriormente estas imágenes pueden ser procesadas para producir información geográfica, como usos de suelo, estado de cosechas, inundaciones, calidad del agua, etc. En la actualidad existen sistemas integrados que permiten realizar tratamiento de imágenes digitales aplicando operaciones como la corrección y clasificación; el análisis posterior se hará por medio del *SIG raster*.

Una de las ventajas de trabajar con esta fuente de información, es que siempre está actualizada y algunos sensores cubren toda la superficie de la tierra, la desventaja es que la resolución no siempre es apropiada para algunos tipos de análisis, específicamente en el urbano.

En ocasiones la información ya se encuentra disponible en un formato *raster* pero con formatos distintos, en este caso los *SIG raster* permiten la conversión de formatos *raster* comunes, por ejemplo *TIFF*, *SUNraster*, *PCX*, *BIL* o *BIP*; o los de sistemas *ERDAS*, *IDRISI* o *Arc/Info*.

Una manera adicional de entrada de datos es cuando la información se encuentra en formato vectorial, en este caso es necesario utilizar un proceso de conversión de formato vectorial a *raster*, lo cual consiste en transformar la información vectorial a celdas de un mapa *raster* mediante un procedimiento de presencia-ausencia (ver fig. 3.2), es decir, si una celda queda ocupada parcial o totalmente por un objeto, sea punto, línea o polígono, se registra su presencia, o en caso contrario, su ausencia.

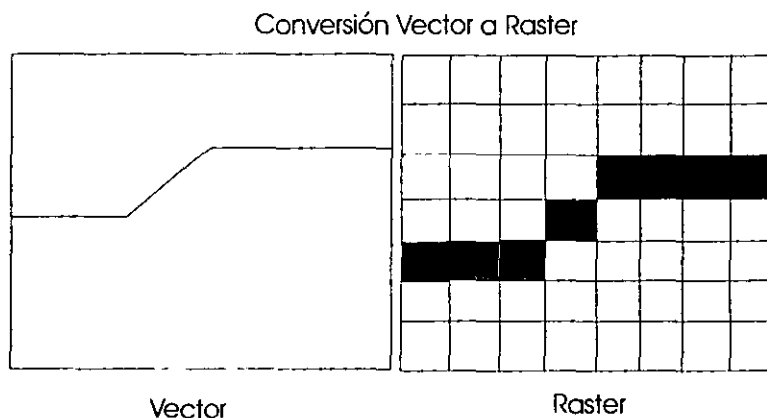


Figura 3.2 Representación del procedimiento presencia-ausencia

Dicho procedimiento es relativamente sencillo y se encuentra implementado en cualquier sistema *raster*, aunque desafortunadamente implica pérdida de exactitud.

### 3.1.2. FUENTES DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA UN SIG VECTORIAL

Una manera de obtener información para este tipo de *SIG*, es por medio de información digital disponible en archivos, esto es, información que suele existir en formato distinto a los que maneja el *SIG* vectorial, los cuales son posibles de utilizar pasando primeramente por un proceso de conversión, dicha información puede ser obtenida en formatos propios de instituciones públicas (por ejemplo *INEGI*) o privadas, de archivos de CAD (*AutoCAD* o *DXF*), de formatos vectoriales, de otros *SIG* vectoriales que sean estándares y de archivos en formatos *raster* que también sean estándares, los cuales serán convertidos a formato vectorial.

Otra fuente de información es proporcionada por una tableta digitalizadora con su respectivo *mouse*, la cual requiere tener un mapa analógico sobre la tableta; el usuario desplazará el *mouse* siguiendo la forma o bordes de la información a digitalizar, cuyas coordenadas serán guardadas automáticamente en un archivo y dibujadas al mismo tiempo en la pantalla gráfica (ver fig. 3.3), hay que mencionar que la tableta detecta y transmite la posición del *mouse* con un aceptable nivel de exactitud.

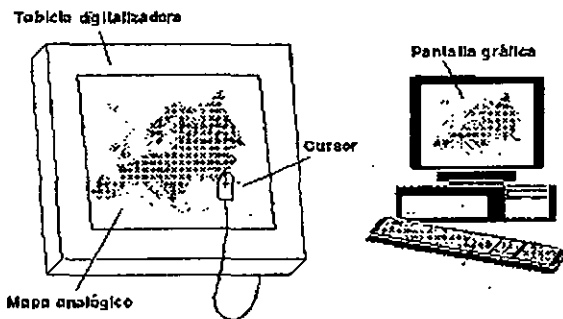


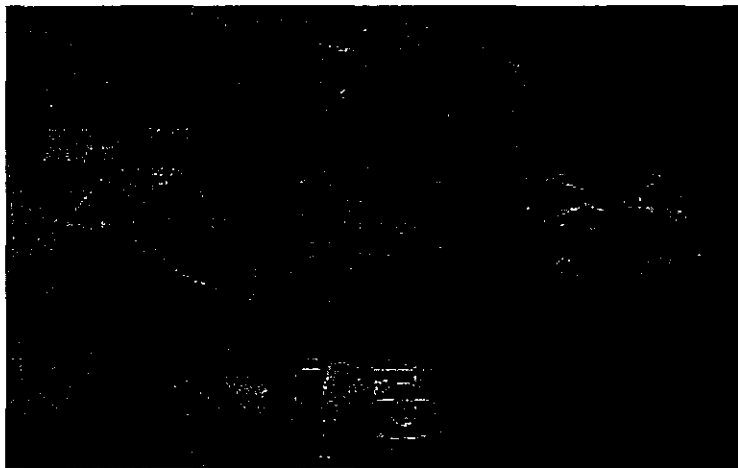
Figura 3.3 Ilustración de la visualización que se tiene al digitalizar un mapa

Existe otra manera de obtener información geográfica, por ejemplo, por medio de un *GPS* (*Global Position System*), el cual permite registrar las coordenadas de algún terreno utilizando un receptor que recibe las señales emitidas por varios satélites, esto realizando cálculos de triangulación, el receptor obtiene y registra la posición en que se ubica con un pequeño margen de error, el cual puede ser menor de un metro; el poder utilizar estos receptores es de gran utilidad para ciertas aplicaciones, por ejemplo la elaboración cartográfica de carreteras, o para el monitoreo de autos, trenes u objetos en constante movimiento.

Hasta el momento sólo se han mencionado las fuentes de información geográfica, más adelante se mencionará la fuente de información de los atributos de la base de datos, los cuales pueden ser por medio del teclado ingresando los datos campo por campo, o bien importando la información de un archivo. Para la entrada de datos, la fuente de información de los atributos de la base de datos puede ser por medio del teclado, ingresando los datos campo por campo; o bien importando la información de un archivo que haya sido realizado en algún procesador de textos o en alguna base de datos compatible con el *software SIG* que se esté utilizando.

### 1.3. DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO

Todos los datos en un *SIG*, espaciales o no espaciales, deben ser físicamente almacenados en algún lugar de la computadora, éstos se pueden dividir en tres categorías que se mencionan a continuación y que se ilustran en la fig. 3.4.



*Figura 3.4 Dispositivos de almacenamiento de datos*

**Almacenamiento primario.** Almacenamiento que puede ser manipulado directamente por el *CPU* (unidad central de proceso), el principal ejemplo de este tipo de almacenamiento es la memoria principal (*RAM*), así como el disco duro, en estos el acceso es más rápido aunque más costoso.

**Almacenamiento secundario.** Usualmente basados en dispositivos magnéticos, es decir, dispositivos (controladoras entrada/salida) que son accedados indirectamente por el *CPU*, éstos son más lentos y más baratos que los dispositivos primarios, por ejemplo discos flexibles (*floppys*).

**Almacenamiento terciario.** Dispositivo poco usual que normalmente se encuentran fuera de la computadora para almacenar grandes cantidades de información, por ejemplo las unidades de cinta que normalmente se utilizan para respaldos de la información.



### 3.2. AUTOMATIZACIÓN DE DATOS ESPACIALES

Al momento de consultar un *SIG*, lo ideal es que muestre la información geográfica así como sus atributos correspondientes, lo cual implica que al momento de seleccionar algún componente geográfico se seleccionen sus atributos para que cuando el usuario quiera verlos, estos estén disponibles.

#### 3.2.1. TIPOS DE AUTOMATIZACIÓN

Hay dos tipos básicos de información de mapas, una de ellas es la información espacial, la cual describe la ubicación y la forma de los rasgos geográficos y su relación espacial con otros rasgos geográficos. El otro tipo de información es la información descriptiva acerca de los rasgos geográficos.

#### 3.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MAPAS

Los mapas transfieren información por medio de representación de características geográficas, como los puntos que se utilizan para representar elementos puntuales, es decir, una ubicación discreta, comúnmente representada por un símbolo especial o etiqueta tales como pozos o postes de teléfonos; otra característica son las líneas formadas por un conjunto de coordenadas que representan caminos y corrientes de agua; la última característica son las áreas, que son figuras cerradas utilizadas para representar lagos o límites de poblaciones.

Los mapas gráficamente representan relaciones espaciales entre sus características, lo cual depende de la interpretación del lector; por ejemplo, se puede ver un mapa y determinar alguna ciudad cercana a un lago o encontrar la distancia entre dos ciudades por medio de la distancia de las carreteras; aunque el mapa no presenta esta clase de información explícitamente, para obtenerla es necesario interpretar las relaciones espaciales entre las características geográficas. Los rasgos característicos de un mapa están representados como símbolos gráficos.

#### 3.2.3. ALMACENAMIENTO DE DATOS DIGITALES

Una base de datos de un mapa digital, consiste en dos tipos de información, la espacial y la descriptiva; como se había mencionado, la computadora almacena una serie de archivos que contiene la información de los archivos espaciales y descriptivos acerca de los rasgos del mapa. El poder de un *SIG* yace en la habilidad de poder enlazar estos dos tipos de datos y mantener las relaciones espaciales entre los rasgos geográficos (ver fig. 3.5).

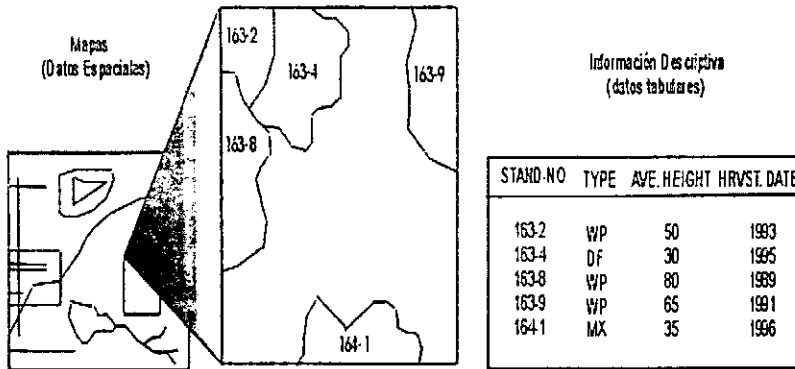


Figura 3.5 Representación del enlace entre la información espacial y la descriptiva

La integración de datos tabulares abre la posibilidad de crear nuevas maneras de analizar datos, permite tener acceso la información de la base de datos tabular a través del mapa o crear mapas basados en la información de la base de datos; para tener acceso y desplegar datos, la computadora debe almacenar los dos tipos de datos en formatos que puedan ser reconocidos por ella.

#### 3.2.4. CONSTRUCCIÓN DE LA TOPOLOGÍA Y TABLAS DE ATRIBUTOS

En el modelo de datos *raster* se centra más interés en las propiedades del espacio que en la representación precisa de los elementos que lo conforman, por ello divide el espacio en una serie de elementos discretos en forma de matriz o malla, a la cual se hace referencia por medio del número de renglón y columna.

En el modelo vectorial como parte del proceso de automatización, es necesario crear una topología en las coberturas para que los datos ahí almacenados sepan qué tipo de relación espacial existe entre ellos; una relación espacial es expresada como una lista, por ejemplo, un polígono es definido por una lista de arcos que definen su borde.

El uso de la topología tiene varias ventajas, como el almacenamiento eficiente de los datos; un amplio número de datos puede ser procesado rápidamente, facilita funciones analíticas, tal como el modelado de flujo a través de líneas que conectan una red, combinando polígonos adyacentes con características similares, identificando características adyacentes y sobreponiendo características geográficas.

La estructura de datos arco-nodo soporta tres principales conceptos topológicos:

- a) Conectividad. Conecta arcos unos con otros.
- b) Definición de área. Arcos que conectan para rodear un área que define un polígono.
- c) Contigüidad. Arcos que tienen dirección y reconocen su vecindad a la derecha e izquierda.

### 3.2.4.1. Conectividad

La estructura arco-nodo implica que un arco es definido por dos puntos extremos, donde inicia un nodo, está indicado por *from-node*, y donde el nodo termina es indicado por *to-node*. La topología *arco-nodo* es soportada por una lista que identifica el inicio y fin de cada arco; para determinar los arcos que están conectados, se investiga a través de números de nodos comunes en la lista.

En la fig. 3.6 se muestra que es posible determinar que los arcos 1, 2 y 3 se interceptan dado que ellos comparten el nodo 11, por lo que la computadora puede determinar que es posible viajar a través del arco 1 hasta el 3 y regresar.

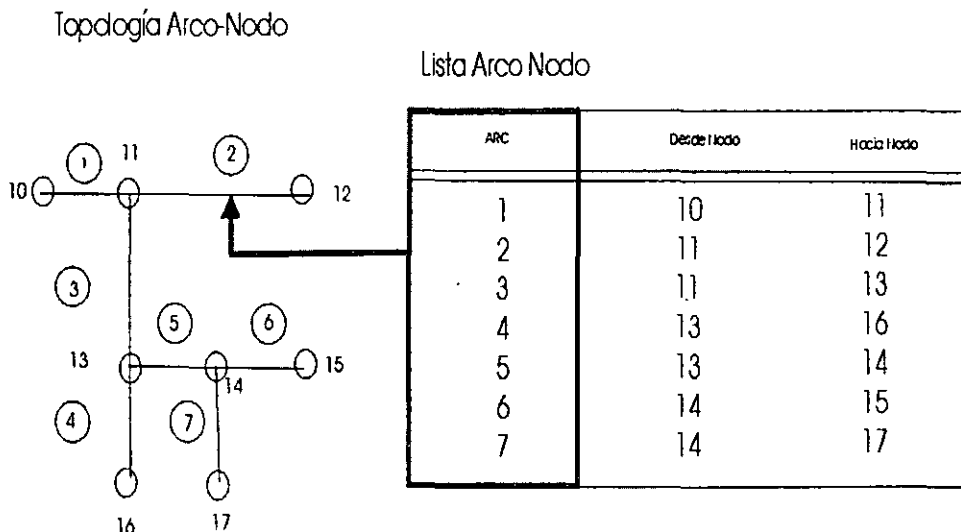
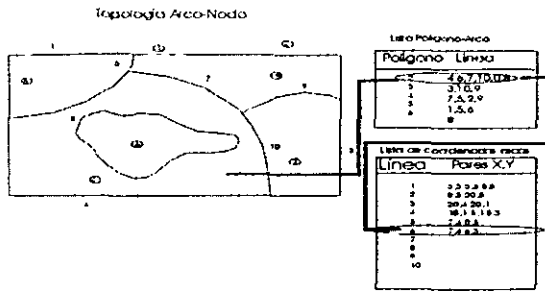


Figura 3.6 Ejemplo topología de tipo conectividad

### 3.2.4.2. Definición de área

Los polígonos son representados como una serie de coordenadas (x, y) que se unen para cerrar un área, algunos sistemas almacenan polígonos en este formato. Así *ArclInfo* almacena los arcos que definen un polígono en lugar de un conjunto de coordenadas; en una lista de arcos que constituyen un polígono, son almacenados y usados para construir el polígono cuando es necesario, principalmente al dibujarlos.

Por ejemplo en la fig. 3.7 los arcos 4, 6, 7, 10 y 8 comprenden el polígono 2, en la primera tabla superior después se encuentra un 0 seguido de un 8, lo cual indica que el polígono 2 contiene un polígono interno.

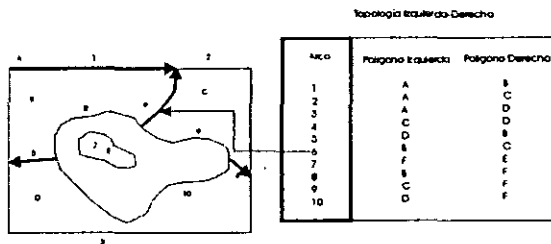


*Figura 3.7 Representación de área*

### 2.4.3. Contigüidad

Dos rasgos geográficos que comparten un mismo límite son llamados adyacentes. La contigüidad es el concepto topológico que permite al modelo vectorial determinar la adyacencia entre las características geográficas. Haciendo referencia a la estructura *arco-nodo*, es decir que los arcos comienzan en un nodo y terminan en otro (*from-end, to-end*), se puede determinar que los arcos tienen dirección, es decir que, un polígono que se encuentre a la izquierda o derecha (*left-right*) de un arco podrá ser determinado.

La topología *left-right* se refiere a los polígonos que se encuentran a la derecha o izquierda de un arco, como se observa en la fig. 3.8, el polígono B a la izquierda del arco 6 y el polígono C está a la derecha del mismo arco 6 y al mismo tiempo se observa que los polígonos B y C son adyacentes.



*Figura 3.8 Ejemplo de topología contigua*

Una cobertura consiste en aspectos geográficos vinculados topológicamente y sus datos descriptivos asociados se almacenan como un mapa automatizado. Para crear las relaciones espaciales es necesario construir las topologías de los rasgos contenidos en la cobertura.

### 2.4.4. Tablas de atributos

En el apartado 3.2.4 surgió el concepto de atributos de rasgos geográficos, éstos son archivos *INFO* asociados con cada tipo de rasgo, por ejemplo la construcción de la topología de una

cobertura de polígono crea una tabla de atributos de polígonos (*PAT*), para una cobertura de líneas, una tabla de atributos de arcos (*AAT*), y para una de puntos, una tabla de atributos de puntos. Cada tabla está compuesta por renglones y columnas, donde las columnas representan un campo, como el perímetro, considerando que los renglones representan un rasgo individual, por decir el polígono número 2 (ver fig. 3.9).

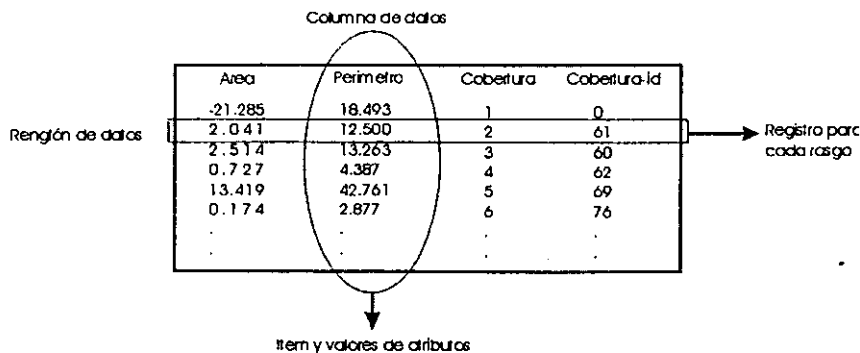


Figura 3.10 Representación de campos de una tabla de atributos

Como ya se mencionó en el cap. 1, la potencialidad de un SIG recae en enlazar los datos geográficos (espaciales) y los datos tabulares (descriptivos), acerca de esta conexión, hay tres características notables:

- Hay una relación uno a uno entre los rasgos sobre el mapa y los registros en la tabla de características de atributos.
- El enlace entre los rasgos geográficos y sus registros es soportado mediante un número único asignado al rasgo geográfico.
- El identificador único es almacenado físicamente en dos lugares, en los archivos que contienen las coordenadas (x, y) y en el registro correspondiente en la tabla de atributos.

### 3.3. EDICIÓN DE DATOS ESPACIALES Y ATRIBUTOS

La edición de los datos espaciales puede ser cuando las coberturas se editen por ejemplo en *ArcEdit (ArcInfo)*, en el cual los datos se pueden modificar, agregar y quitar nodos, entre otras cosas; los atributos pueden ser modificados de dos formas, una de ellas es al momento de editar una cobertura gráficamente en *ArcEdit*, donde se selecciona un rasgo geográfico y se lista su tabla de atributos, modificando desde ahí a ésta, es decir, modificar el contenido de los campos de las plantillas topológicas; la segunda forma es ingresando al módulo de *Tables*, en la cual se selecciona la tabla de atributos deseada, por ejemplo *puntos.pat*, se listan sus campos y utilizando comandos propios de ese módulo, se puede modificar el contenido de éstos.

#### 3.4. BASE DE DATOS

Como ya se vio, en el apartado 3.1 se cuenta con diversas fuentes de información con que se puede alimentar un *SIG*, geográfica y temáticamente, pero al hablar de base de datos, es conveniente aclarar que un Sistema Manejador de Bases de Datos (*DBMS*) presenta problemas para almacenar y tratar información espacial, por ejemplo:

Los registros de datos espaciales usados en un *SIG* tienen una longitud variable que varía dependiendo ya sea del número de puntos utilizados para representar líneas, o dependiendo del número de arcos que definen un arco, es entonces cuando *DBMS* no funciona porque está diseñado para manipular datos de longitud fija.

Manipular los datos geográficos implica el manejo de conceptos espaciales, por ejemplo proximidad, conectividad y superposición de mapas; estos conceptos no los maneja *DBMS*. Un *SIG* necesita capacidades gráficas que no son soportadas normalmente por un *DBMS*.

Ante esta problemática se ha recurrido a almacenar separadamente la información geográfica o espacial y temática o de atributos, esto permite que a cada objeto espacial le corresponde un registro de la base de datos en el que se almacenan sus atributos relacionados por medio de un número de identificador, esta solución recibe el nombre de modelo de datos híbrido.

##### 3.4.1. EL DISEÑO DE LA BASE DE DATOS ESPACIAL

Para el buen funcionamiento de un *SIG* debe ponerse suma atención al momento de diseñar la base de datos, es decir, debe decidirse qué entidades incluir y qué objeto espacial se utilizará para representarlas (líneas, polígonos, etc.); en este caso no existe mucho problema, pero en otros casos deberá tomarse una decisión en función de la escala del mapa, del tipo de análisis a realizar u otros criterios.

Un segundo punto se refiere a los atributos (la descripción de la información geográfica), a cuáles incluir y cómo se registrarán en la base de datos; el primero se enfoca a que en ocasiones no todos los atributos son importantes para el estudio que se está realizando; el segundo se refiere a la forma en que deben almacenarse los atributos en la base de datos, es decir, si se utiliza una o más tablas para cada cobertura, longitud de campos, tipo de variables y tipo de almacenamiento de atributos (numérico o carácter), con la existencia siempre de un número identificador que sirva de enlace entre las tablas de atributos y la información geográfica.

Un tercer punto es la partición del mapa en secciones en caso de que se trabaje con áreas muy extensas o detalladas; en el caso de los *SIG*, supone una mayor rapidez en el acceso de los datos y tratamiento informático, e incluso la partición es necesaria por el tamaño de los datos a almacenar.

Hay que ser cuidadoso con la partición porque existe el inconveniente de que al momento de volver a unirlos se pueden traslapar o incluso en algunas partes no llegar a coincidir en los límites. Por último también hay que tomar un criterio respecto a la calidad de los datos, lo cual garantizará un cierto nivel de calidad y de que ésta sea homogénea en toda la base de datos.

### 3.4.2. BASES DE DATOS TEMÁTICAS

Antes de entrar de lleno al manejo de la base de datos, es conveniente tener claro los conceptos a utilizar, iniciando por lo que significa base de datos, ésta es una colección de relaciones o tablas bidimensionales formadas por renglones y columnas, donde en cada intersección se obtiene el campo, y contienen una columna con una llave principal que sirven al momento de realizar una consulta.

Un *DBMS* es un manejador de bases de datos que permite interrelacionar los datos y un conjunto de programas para tener acceso a ellos. Además un *DBMS* cuida cinco puntos principalmente:

- a) Independencia de los datos. Es decir, los programas que utilizan los datos son independientes de la manera en que éstos son almacenados, o sea que, el uso para los usuarios es transparente.
- b) Control de la integridad. Quiere decir que el valor de los datos esperados corresponda con el tipo de variables con que fueron declarados.
- c) Control de las redundancias. El sistema debe minimizar la información redundante en la base de datos, dado que no sólo implica un consumo innecesario de espacio de disco, sino que también dificulta las tareas de actualización.
- d) Sincronización. La base de datos puede ser utilizada por varios usuarios al mismo tiempo, en estos casos es importante prevenir que dos usuarios intenten modificar un registro al mismo tiempo.
- e) Seguridad. Se encarga de restringir el acceso a los usuarios, es decir, se darán privilegios dependiendo del tipo de usuario, o sea que algunos sólo podrán leer la información, otros podrán modificarla y un administrador será el encargado de proporcionar los permisos.

Los dos últimos puntos sólo aplican a las bases de datos en las que pueden haber varios usuarios al mismo tiempo.

#### 3.4.2.1. Modelos de bases de datos

Por otro lado, respecto a las bases de datos, existen tres modelos típicos, el jerárquico, el de red y el relacional, éstos se describen a continuación.

- a) Modelo Jerárquico. Los objetos se organizan en una estructura de árbol, donde las relaciones, como su nombre lo indica, son jerárquicas, es decir, cada objeto se relaciona con otro objeto que se encuentra abajo o encima de él, pero no al mismo nivel; dicho de otra forma, acepta sólo una

relación con un objeto superior y una o más con objetos ubicados en un nivel inferior, el nivel superior es raíz, el tipo de relaciones aceptada por este modelo es uno a uno o uno a muchos; este modelo es fácilmente comprensible y sencillo al momento de actualizar datos, sus desventajas son la rigidez con que contempla las relaciones que son siempre jerárquicas, la limitación de una relación con un elemento del nivel superior y la dificultad al momento de realizar alguna búsqueda, ya que es necesario recorrer varios niveles jerárquicos; en la actualidad este modelo es inusual.

**Modelo de red.** En este modelo, cada objeto puede tener relaciones con varios niveles superiores y no necesariamente tiene que existir una raíz única, por lo que este modelo permite relaciones muchos a muchos, al realizar una búsqueda no es necesario recorrer varios niveles, además las redundancias son menores.

**Modelo relacional.** En este modelo, los datos se almacenan en tablas, en la que los renglones corresponden a los diferentes objetos y las columnas a los atributos de esos objetos. Para que ningún objeto se repita existe una columna que recibe el nombre de llave primaria; las búsquedas se pueden realizar sobre una tabla con base a cualquier atributo o sobre varias tablas utilizando elementos comunes. Sus principales ventajas son su flexibilidad frente a los modelos anteriores, su simplicidad para organizar los datos y la reducción de redundancias; su desventaja son el tiempo de respuesta y el consumo de recursos cuando es necesario relacionar varias tablas entre sí.

La aplicación de las bases de datos relacionales en los *SIG* es relativamente reciente, pues surgió a principios de la década de los ochenta, siendo actualmente mayoritarios los *SIG* soportados con este tipo de modelos de bases de datos.

#### 4.3. CONSULTAS A LAS BASES DE DATOS

Un *SIG* puede ser utilizado como herramienta de análisis, o como un simple instrumento de consulta.

##### 4.3.1. Consultas por atributos

Este tipo de consulta se realizará en la base de datos seleccionando los objetos espaciales que cumplen con una o varias condiciones fijadas por el usuario y que serán visualizados en la pantalla;

este tipo de consultas se realiza con el fin de localizar el lugar donde están estos objetos.

En la búsqueda por atributos se pueden utilizar operadores de tres tipos:

- a) Relacionales >, <, >=, <=, =
- b) Aritméticos: =, -, \*, /
- c) Booleanos: AND, OR, NOT



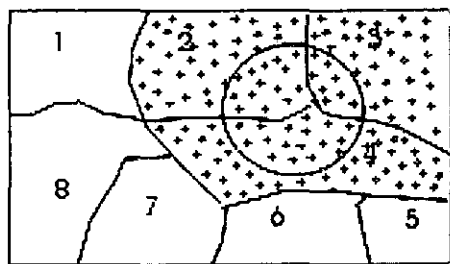
Estos operadores se pueden combinar para realizar selecciones más complejas, éstas también se conocen como consultas por expresión lógica, un ejemplo sería  $USO = 8 \text{ AND } AREA > 100$ , en el que *USO* y *AREA* son nombres de campos pertenecientes a la base de datos y los demás son operadores relacionales.

### 3.4.3.2. Consultas espaciales

En este tipo de consultas se seleccionan ciertos objetos sobre el mapa, los registros correspondientes quedan a su vez seleccionados en la base de datos. Es decir, en estas consultas lo que se quiere conocer es qué hay en el área seleccionada. Dicha consulta se realiza sobre un mapa que se visualiza en pantalla, para lo cual existen diferentes posibilidades de selección, por ejemplo:

- Seleccionando con el mouse el, o los objetos seleccionados.
- Trazando un círculo ubicado en el centro del mismo con el mouse e indicando el área en metros o en las unidades que el *SIG* esté manejando (ver fig. 3.11).
- Trazando líneas con el *mouse* que dan forma a un polígono.
- Ubicando dos puntos extremos utilizando el *mouse* que dan forma a un rectángulo.

Mapa Digital



Base de datos de atributos

ID	Área	Uso	Prop	Prec	IMP
1	900	8			
2	1200	8			
3	1100	7			
4	1800	2			
5	500	8			
6	700	1			
7	1000	1			
8	1500	8			

Figura 3.11 Ejemplo de consultas por medio de círculos

Una vez que se determinó el objetivo del proyecto, el paso siguiente es diseñar la base de datos que es la fase más crítica del desarrollo del proyecto, dado que la entereza y exactitud de la base de datos determina la calidad de análisis del producto final. Hay que dedicar el tiempo necesario del diseño de la base de datos, antes de automatizarla hay que asegurarse de que todas las coberturas y tablas de atributos necesarias estarán disponibles para ejecutar el análisis.

El diseño de la base de datos consiste en tres pasos importantes: identificar los rasgos geográficos, los atributos y capas de datos que el proyecto requiere; definir los parámetros de almacenamiento para cada atributo y asegurar la coordinación de los registros.

## 5. SOFTWARE COMERCIAL

### 5.1. DESCRIPCIÓN ARCAD/INFO

Antes de describir a fondo el software Arc/Info, cabe mencionar que es una versión para estaciones de trabajo, a su vez, existe PC Arc/Info para computadoras personales, de la cual, se hará una breve descripción.

PC Arc/Info es un programa con todas las características de un SIG basado en PC, con sistema operativo MS-DOS y/o Windows compuesto por seis módulos integrados:

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| a) PC STARTER KIT     | Funciones básicas de un SIG y utilerías |
| b) PC ARCPLOT         | Diseño cartográfico y consulta          |
| c) PC ARCEDIT         | Entrada de datos y edición              |
| d) PC DATA CONVERSION | Conversión raster y vectorial           |
| e) PC OVERLAY         | Corredores y sobreposición de polígonos |
| f) PC NETWORK         | Análisis de redes y modelado            |

PC Arc/Info incluye TABLES, éste es un manejador de base de datos tabular que puede ser usado con dBase IV para manipular, administrar y sacar reportes sobre datos tabulares. Una interface adicional incluida PC ARCSHELL, permite el acceso a los comandos por medio de menús.

La versión para Windows incluye soporte multitarea con ventajas como acercamiento, alejamiento, copiado y pegado.

Estas características como varias otras, dan gran poder de funcionalidad, mejorando la capacidad para la integración de información geográfica con otras aplicaciones de escritorio. El software Arc/Info ayuda a crear un SIG con capacidad para la modificación, automatización, administración, análisis y despliegue de información geográfica.

Arc/Info desarrollado por el ESRI (Environmental System Research Institute, Instituto de Investigaciones en Sistemas del Medio Ambiente) en Redlands, California, E.U. y goza actualmente de gran difusión. Desde su creación fue ideado como un sistema genérico apto para ser utilizado en gran variedad de trabajos de geoprocreso. Responde a la necesidad de manejar y analizar grandes volúmenes de datos espaciales junto con sus atributos temáticos asociados, todo ello dentro de algún sistema de coordenadas terrestres (UTM, geográfica, Lambert, etc.)

Arc/Info contiene cientos de funciones avanzadas para el geoprocresamiento como son: Entrada de datos y edición. Los mapas pueden ser introducidos desde una tableta digitalizadora, escaner,

*conversión, sistema de posicionamiento global (GPS)<sup>1</sup>, datos topográficos o estaciones totales. Tiene un manejo eficiente para la edición de gráficos y atributos de datos.*

*Conversión de datos e integración. Puede convertir gran cantidad de formatos tanto vectoriales, raster, CAD e imágenes. Permite el acceso, la edición y total soporte de datos con DBMS (Manejador de Sistemas de Bases de Datos) comerciales.*

*Funcionalidad a base del SIG. Realiza proyección de mapas, transformaciones, administración y manipulación de datos, superposición de polígonos, análisis espacial de datos incluyendo avanzadas capacidades para el modelado lineal, herramientas para el despliegue y consulta completa de datos. Soporta sofisticadas consultas espaciales y de datos, crea y despliega gráficos que pueden ser de tipo vectorial o raster; también efectivo almacenamiento y administración de grandes bases de datos multiusuario distribuidas a través de instituciones.*

*Un ambiente de interface guiado por menús que brinda herramientas de productividad.*

*Adecuación y sistema de desarrollo. Una aplicación del ambiente de desarrollo que permite a los usuarios crear interactivamente menús, soportar complejas aplicaciones, automatizar sus procedimientos y dar prioridad al sistema acorde con sus necesidades.*

*Salida de datos. Genera y produce datos geográficos digitales, reportes tabulares y publicación de mapas de calidad. Arc/Info puede ser usado por organizaciones que:*

- a) creen, manejen y usen intensivamente información geográfica;*
- b) mantienen grandes bases de datos multiusuario,*
- c) integren múltiples tipos de datos,*
- d) realicen sofisticados análisis espaciales y producen salidas de alta calidad, y que requiere aplicaciones específicas para los usuarios finales.*

#### *3.5.1.1. Conceptos básicos para la manipulación de Arc/Info*

##### *3.5.1.1.1. Directorio*

*El lugar de trabajo de Arc/Info es en directorios y archivos a través de la computadora. Los sistemas operativos de las computadoras usan directorios para organizar los datos. Un directorio es una localidad de disco que contiene archivos relacionados con temas afines que a su vez puede contener otros directorios, los cuales reciben el nombre de subdirectorios (ver fig. 3.12)*

---

<sup>1</sup> *GPS (Global Positioning System), permite registrar las coordenadas sobre el terreno mediante un receptor que capta las ondas emitidas por varios satélites.*

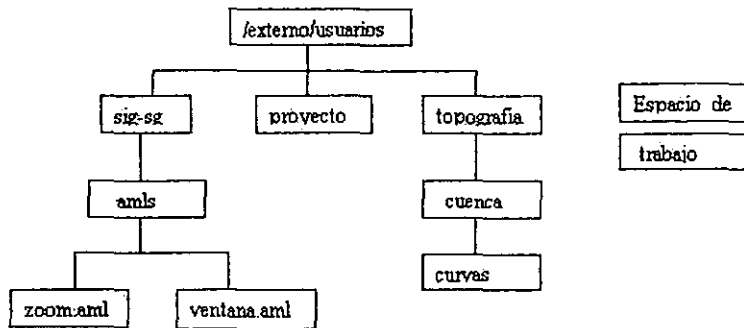


Figura 3.12 Representación de directorios

### 5.1.1.2. Espacio de trabajo (Workspace)

En Arc/Info, un espacio de trabajo es el área de trabajo usada durante una sesión de este mismo; dentro del sistema de archivos de la computadora, el espacio de trabajo es un directorio que contiene uno a más conjuntos de datos geográficos (por ejemplo coberturas de tipo Arc, Tin, Grid, etc. ver figs. 1.3. y 1.2) y una base de datos local de nombre INFO así como otros tipos de datos.

Los conjuntos de datos geográficos dentro de un espacio de trabajo, son almacenados como subdirectorios que contienen archivos de datos de arcos, coordenadas, etc., tales como BDN, TIC, MAT, y así sucesivamente. En resumen, la base de datos INFO es almacenada en un subdirectorio del mismo nombre, el cual contiene las tablas de características de atributos, tablas relacionales para las coberturas tipo Arc y tipo grid en el espacio de trabajo. Estos también pueden contener varios archivos de datos Arc/Info, como por ejemplo archivos de menú y programas escritos en AML (Lenguaje de Macros ARC), archivos de cartografía y simbologías (ver fig. 3.1.3).

```

tlalli 16% ls
total 3200
drwxr-xr-x  2 arcinfo  user      4096 Nov  4 16:43 a39-23_ca/
drwxr-xr-x  2 arcinfo  user      4096 Nov  4 16:43 a39-23_co/
drwxr-xr-x  2 arcinfo  user      4096 Jan 20 14:48 a39-23_mf/
drwxr-xr-x  2 arcinfo  user      123 Jan 20 14:49 a39-23_mf/
drwxr-xr-x  2 arcinfo  user      123 Nov  4 16:47 a39-23_nm/
drwxr-xr-x  2 arcinfo  user      123 Jan 20 14:49 a39-23_np/
-rw-r--r--  1 arcinfo  user    1601915 Feb 17 17:52 a39-23u.dxf
-rw-r--r--  1 arcinfo  user      1619 Mar  1 17:37 consul_circle.aml
drwxr-xr-x  2 arcinfo  user      4096 Mar 15 17:15 info/
-rw-r--r--  1 arcinfo  user      4809 Mar 15 17:15 log
-rw-r--r--  1 arcinfo  user      285 Mar  4 17:55 repgrafico.aml
tlalli 17%
  
```

Figura 3.13 Listado de un espacio de trabajo

En la tabla 3.1 se muestra cómo es almacenado un conjunto de datos geográficos dentro de un espacio de trabajo.

Tabla 3.1 Formas de almacenamiento de datos en Arc/Info

Conjunto de datos geográficos	Forma de Almacenamiento
Cobertura tipo Arc	Directorio
Cobertura tipo GRID	Directorio
Archivo de datos INFO	Archivo dentro de la base de datos INFO
Tabla DBMS	Nombre de una base de datos dirigida por algunos de los siguientes manejadores: ORACLE, INGRES, INFORMIX, SYBASE, etc. Directorio
Cobertura tipo TIN	Directorio
LATTICE	Directorio
Imagen	Archivo con alguna de las extensiones soportadas por ARC/INFO (BMP, JPG, GIF)
Catálogo de imágenes	Archivo dentro de INFO
Dibujos CAD	Archivo con extensión DXF

Cabe mencionar que los nombres de los archivos y directorios que contiene un espacio de trabajo, los define el usuario. Hay un número de comandos en Arc/Info que manipulan los espacios de trabajo y el conjunto de datos geográficos; en algunos casos, los archivos que se almacenan fuera del ambiente Arc/Info en el espacio de trabajo, no siempre será posible manipularlos dentro del mismo. La convención para los nombres de archivos para PC Arc/Info, será de 8 caracteres (letras o números) iniciando con letras con una extensión de tres caracteres, y para Arc/Info, el nombre tendrá un máximo de 16 caracteres.

#### 3.5.1.1.3. Base de datos INFO

Cada espacio de trabajo en Arc/Info, contiene un directorio INFO en el cual la base de datos se almacena para el conjunto de coberturas vectoriales y coberturas GRID; cada cobertura vectorial contiene al menos dos tablas con extensión TIC y BND, donde el primero contiene cuatro puntos de control de la cobertura y el segundo sólo dos puntos de coordenadas, la mínima y la máxima; también puede tener tablas de atributos de polígonos (PAT), arcos (AAT), texto (TAT), y así cada grid contiene una tabla con extensión BND, STA, la cual almacena datos estadísticos y VAT que almacena atributos asociados de celdas.

#### 3.5.1.1.4. Usos de los espacios de trabajo

Los usuarios típicamente ejecutan todo su trabajo del SIG en un espacio de trabajo local, el cual cuenta con permisos de lectura y escritura, donde se puede copiar datos desde una base central y usar las rutas de acceso al conjunto de datos que se encuentra en otra ubicación; en cada espacio de trabajo el usuario puede generar nuevos datos a través de la sobreposición de coberturas, automatizar conjuntos de datos geográficos, generar mapas, reportes y consultas directamente de la base de datos y copiar porciones seleccionadas dentro del mismo. Otras opciones más usuales son las siguientes:

Usar rutas de acceso para desplegar datos geográficos y ejecutar consultas lógicas y espaciales sobre una central o base de datos distribuida por un SIG desde el mismo espacio de trabajo.

Sobreponer coberturas de ubicación de las cuales sólo se tiene acceso a lectura y direccionar la salida hacia nuestro espacio de trabajo.

Crear la salida de mapas por medio de datos geográficos desde la base de datos principal, dicha salida será salvada en nuestro espacio de trabajo.

Los espacios de trabajo pueden organizar con éxito la automatización de coberturas. Un método común es crear un espacio de trabajo para cada cobertura que se desee automatizar. En el espacio de trabajo, una copia de la cobertura es hecha en cada paso de la automatización por lo que el estado de la cobertura puede ser recuperada en cada etapa.

La figura 3.14 resume en forma gráfica a la estructura de almacenamiento de los datos y los distintos niveles en que trabaja el programa. En caso de que Arc/Info no esté instalado, desaparecerá el directorio de ese nombre y los ficheros que se encuentran bajo él.

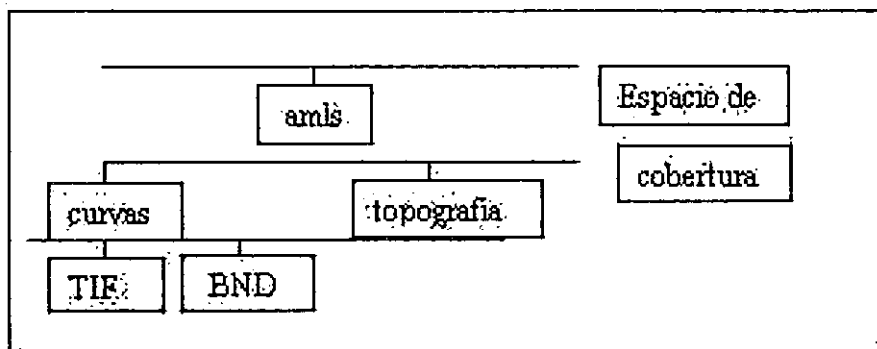


Figura 3.14 Estructura de almacenamiento

#### 5.1.1.5. Coberturas, sus tipos y elementos constituyentes

Se denomina cobertura a un conjunto de hechos geográficos ligados mediante una topología específica (polígonos, líneas o puntos), cuyos atributos son almacenados en una base de datos asociada. Aparecen así coberturas de polígonos, de líneas o de puntos.

En Arc/Info existen otros tipos mixtos menos utilizados, cuando una misma cobertura contiene polígonos y líneas, se denomina cobertura de red, cuando incluye elementos lineales y puntuales, entonces se llamará cobertura de lazo. Nunca se encontrarán polígonos y puntos en una misma capa.

Al margen de la definición técnica, podríamos identificar cobertura con capa temática, de manera que los diferentes hechos geográficos del área estudiada aparezcan con el mayor desglose posible en las coberturas originales. Es más sencillo realizar a posteriori las combinaciones o superposiciones de elementos desglosados que extraerlos de una cobertura compleja (ver fig. 3.15).

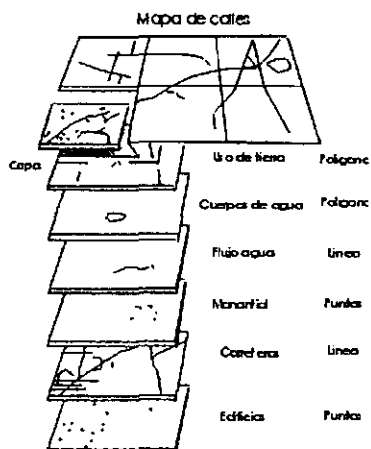


Figura 3.15 Desglose de coberturas

Dentro de una cobertura se distinguen elementos primarios (arcos, nodos, etiquetas y polígonos) y elementos secundarios (puntos de control o tics, extensión de la cobertura y anotaciones (ver. fig. 3.16).

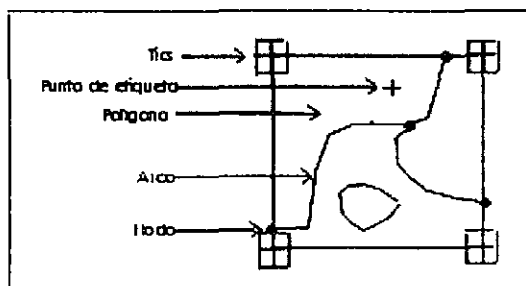


Figura 3.16 Elementos de una cobertura

Los arcos representan elementos lineales (ríos, carreteras) o zonales (bordes). En realidad, se trata de segmentos de línea delimitados necesariamente por nodos o pseudonodos. Arc/Info distingue entre aquellos puntos en los que confluyen solamente dos arcos (pseudonodos) y los que conectan tres o más arcos (nodos).

La diferencia entre unos y otros es mínima (un pseudonodo puede eliminarse mediante la unión de los dos arcos, lo que no es posible en el caso de los nodos); sin embargo comparten la función fundamental, que es posibilitar la relación topológica del resto de los elementos primarios de una cobertura de líneas o polígonos. Los datos temáticos referidos a los arcos en las coberturas de líneas son almacenados en la tabla AAT (Arc Attribute Table).

Las etiquetas pueden ser usadas para representar hechos puntuales, esto es, hechos definidos por una única coordenada (x, y) para asignar identificadores de usuario a los polígonos, o para añadir una etiqueta de texto dentro de un polígono (en módulo ARCPLOT).

En este caso como en el anterior, la etiqueta pasa a ser el identificador de usuario (User-ID) del polígono cuando se construye la topología. Es por ello necesario prestar suma atención a este proceso, en el cual pueden presentarse tres casos:

- ) polígonos sin etiqueta: su identificador de usuario será 0;
- ) polígonos con más de una etiqueta: en este caso no hay forma de determinar cuál de ellas será usada por el programa para asignar el identificador de usuario, y
- ) varios polígonos con el mismo identificador: los comandos CLEAN o BUILD (ver glosario) asignarán entonces los atributos del primero a los polígonos en los que aparece por segunda o tercera vez.

Puesto que este elemento puntual es usado tanto para representar puntos como para identificar polígonos mediante su etiqueta, ambos elementos (puntos y polígonos) han de ser organizados necesariamente en coberturas separadas. Los datos descriptivos sobre las etiquetas son almacenados por Arc/Info en una tabla PAT (Point Attribute Table o Polygon Attribute Table, según se trate de uno u otro tipo de cobertura).

Por último, en lo que se refiere a los elementos primarios, los polígonos representan hechos superficiales, dado que Arc/Info sólo reconoce arcos y nodos, un polígono estará definido topológicamente por la serie de arcos que componen su borde y por una etiqueta situada en su interior que lo identifica.

Pasando a los elementos secundarios, los tics o puntos de control, han de ser introducidos y calculados a partir de localizaciones cuyas coordenadas sean bien conocidas (esquinas del mapa topográfico, cruces de carreteras, etc.). Los tics permiten registrar todos los hechos en una



cobertura en coordenadas comunes, con lo cual posibilitan una correcta digitalización y posterior transformación a coordenadas reales. A través de los tics se calcula el error medio cuadrático (RMS, Residual Mean Square), que indica la calidad del ajuste de esas coordenadas.

Por extensión de la cobertura (coverage extend, archivo BND) se entiende el rectángulo mínimo en que están incluidas las coordenadas mayor y menor de los arcos y puntos de una cobertura. Las anotaciones son fragmentos de texto utilizados en las coberturas de puntos o polígonos únicamente con fines de visualización.

### 3.5.1.1.6. Subdirectorios más comunes dentro de una cobertura

Todos los elementos que aparecen relacionados en una cobertura son organizados por Arc/Info en distintos archivos, en la tabla 3.2 se muestran los más frecuentes.

Tabla 3.2 Organización de archivos en Arc/Info

AAT.DBF	Tabla de atributos de arcos accesible desde TABLES o dBASE III PLUS: contiene los números internos de los nodos inicial y final de cada arco, el polígono situado a la izquierda y derecha, la longitud, el número interno y el identificador de usuario de cada arco. Como su equivalente (tabla PAT), es creada automáticamente por el programa al ejecutar los comandos de generación de topología (clean y build).
ARC	Contiene un registro para cada arco.
ARF	Archivo de referencia cruzada de arcos. Creado también al generar topología.
BND.DBF	Coordenadas máxima y mínima de la cobertura. Debe consultarse desde TABLES o dBASE
CNT	Tabla de centroides <sup>2</sup> de polígonos; cuando se pide al programa que genere automáticamente las etiquetas que identificarán los polígonos, Arc/Info debe hallar previamente esos centroides donde colocará la etiqueta.
LAB	Coordenadas y topología de los puntos de etiquetas.
LOG	Archivo bitácora en formato ASCII.
LUT.DBF	Tabla de referencia de datos creada por TABLES, en Arc/Info estos tipos de tablas externas son utilizadas con varios fines, en ARCPLOT permite construir paletas de colores.
MSK	Almacena las máscaras de edición de la cobertura (elementos modificados o introducidos desde el último proceso de generación de topología). Una vez que se ejecuta BUILD o CLEAN, este archivo desaparece.
PAL	Convierte el contenido de un polígono a una región de un archivo PAL a un archivo INFO.
PAT.DBF	Equivalente a la tabla de atributos de arcos.
PRF	Archivo de referencia cruzada de puntos o polígonos.
TIC.DBF	Coordenadas e identificadores de los tics o puntos de control. Accesible desde TABLES o dBASE.
	Almacena las tolerancias FUZZY y DANGLE de la cobertura, estos valores pueden

<sup>2</sup> Centroide es el punto de intersección de las tres medianas de un triángulo.

TOL	ser consultados mediante el comando TOLERANCE del módulo principal.
TRN.DBF	Describe las relaciones de los arcos conectados en una cobertura de red.
TXT	Anotaciones de la cobertura.

### 3.5.1.2. Topología y tolerancias

Hay que recordar que Arc/Info solamente reconoce líneas y puntos mediante la creación de la topología y asume relaciones espaciales o de posición dentro de la cobertura. Las tolerancias para Arc/Info son pequeñas distancias, márgenes de maniobra en las que se realizarán las operaciones sobre la base de datos espacial.

Se denomina FUZZY TOLERANCE a la distancia mínima que separa todas las coordenadas en una cobertura. Durante la creación de la topología mediante el comando CLEAN; dos o más puntos situados a una distancia menor son asumidos como uno solo (ver fig. 3.17). Se produce entonces cierto desplazamiento de los elementos y una generalización de las líneas. Dicho de otro modo, es la distancia máxima que se puede desplazar un punto durante la ejecución del comando CLEAN. Es importante decidir por anticipado la escala del mapa sobre el que se va a digitalizar.

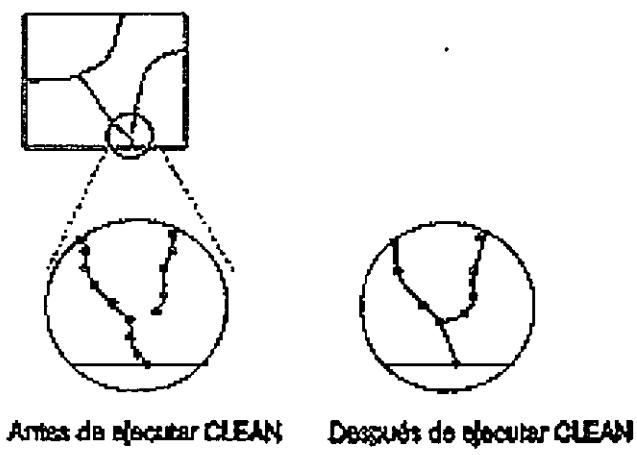


Figura 3.17 Primer tipo de tolerancia

Al elegir una distancia demasiado pequeña, el comando CLEAN puede impedir que lleguen a conectarse los arcos; por el contrario, elegir una demasiado grande, provocará que los objetos se muevan demasiado y que disminuya de forma peligrosa la exactitud del producto final.

Un segundo tipo de tolerancia es llamada DANGLE LENGTH o longitud mínima permitida para los arcos colgantes dentro de una cobertura. Un arco colgante, es aquel que tiene el mismo polígono tanto a la derecha como a la izquierda, es decir, aquel que sobrepasa el arco con el que debería conectar (ver fig. 3.18), los cuales aparecen como círculos blancos.

El valor de este tipo de tolerancia se almacena junto con la FUZZY TOLERANCE, en el archivo TOL, es también, un parámetro del comando CLEAN, que una vez ejecutado, cualquier arco colgante de longitud inferior es ilimitado.

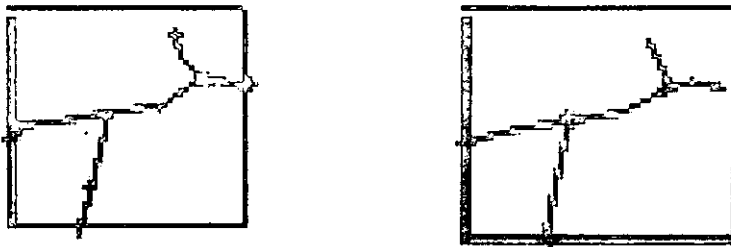


Figura 3.18 Representación del segundo tipo de tolerancia

La tercera tolerancia denominada NODE MATCH TOLERANCE sirve para forzar a los nodos que aparecen dentro de esa distancia a ser coincidentes. (ver fig. 3.19).

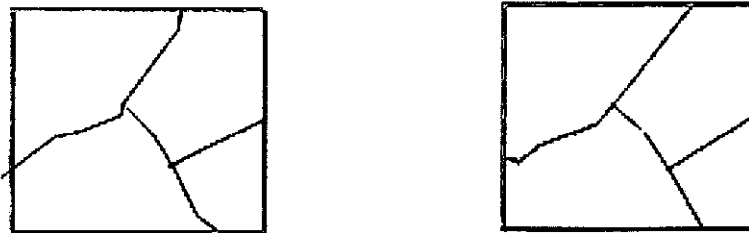


Figura 3.19 Ejemplo del tercer tipo de tolerancia

El RMS (Residual Mean Square, error medio cuadrático) expresa la variación de la posición relativa de las coordenadas de los tics introducidas en la primera sesión de digitalización cuando éstos son de nuevo introducidos en las siguientes sesiones. Este error o variación, debe ser menor que 0.003 pulgadas, en caso contrario, es conveniente volver a introducir los puntos de control desde la tableta. Esta medida asegura la coherencia espacial de los elementos de la capa temática, aunque el mapa no se coloque en la misma posición sobre la tableta. El RMS, también es calculado por medio del comando TRANSFORM (conversión de coordenadas de tableta a coordenadas reales).

### 3.5.1.3. Una estructura dual

Como es habitual en otros sistemas de información geográfico, Arc/Info se ha organizado de forma que las vertientes espacial y temática, se articulen en dos sistemas independientes, aunque

relacionados de manera que cualquier actualización en uno de ellos se refleja automáticamente en el otro (ver fig. 3.20).

El sistema ARC maneja las coordenadas y la topología; está capacitado para manejar los datos geográficos. El sistema INFO almacena y maneja los atributos temáticos asociados (modelo relacional).

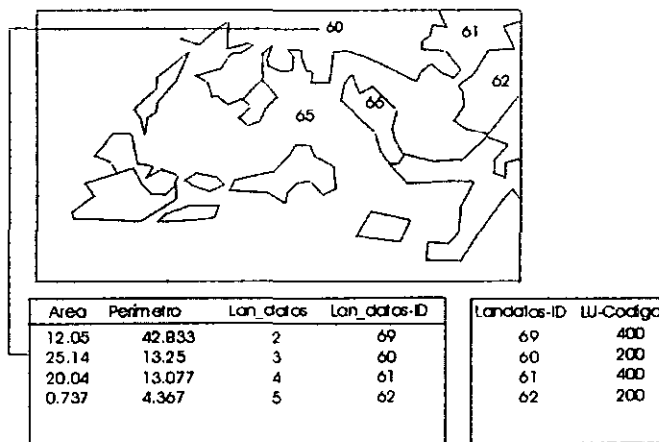


Figura 3.20 Ilustración de la dualidad de Arc/Info

#### 3.5.1.4. Módulos incluidos en el programa base

Una vez que nos hallamos dentro de Arc/Info, la comunicación con el usuario se realiza a través de un sistema de comandos genéricos de geoprocreso secuenciales, que pueden ser ejecutados desde el teclado o invocados a través de un archivo AML.

El módulo básico Arc/Info incluye algunos subsistemas fundamentales como:

- a) ADS (ARC DIGITIZING SYSTEM): posee un menú básico para trabajos de edición y digitalización de mapas.
- b) TABLES: programa de creación, manipulación y gestión de una base de datos relacional (emula la base de datos INFO).
- c) AML (ARC MACRO LANGUAGE): lenguaje de programación de macros que incluye posibilidades de evaluación de expresiones, gestión de entradas y salidas de información y direccionamiento del flujo de control del programa. Su funcionalidad se extiende a todos los módulos de Arc/Info.
- d) PLOT : conjunto de comandos para enviar mapas a un plotter o una impresora normal.
- e) ARCPLOT: Módulo donde se puede crear mapas de alta calidad, ejecutar análisis avanzados y visualización sobre datos espaciales.

f) *ARCEDIT: Aquí se construyen y mantienen bases de datos espaciales de coberturas grid y vectoriales, tablas con funciones de edición topológica avanzada, modelo de datos georelacionales que representan y analizan características geográficas del mundo real, tales como calles, parcelas, etc.; manipulación de datos descriptivos de características en un análisis DBMS y decisiones de análisis espaciales avanzados, usando otros módulos de Arc/Info de geoprocésamiento que soportan integración de imágenes, sobreposición de polígonos, geoprocésamiento tipo raster, modelado de superficies e integración de RDBMS (Relational Data Base Management System, sistema manejador de base de datos relacional).*

*Arc/Info es capaz también de hacer uso de los comandos del sistema operativo de la plataforma que esté utilizando (direccionar, crear, borrar y transferir archivos), soportar comunicaciones con otras computadoras donde esté instalado Arc/Info, y de proporcionar información sobre los comandos disponibles en él.*

*Arc/Info está organizado en subsistemas separados, orientado cada uno de ellos hacia una fase de desarrollo de una aplicación de un SIG (como la creación de la base de datos gráfica y temática asociada), corrección de errores, análisis espacial, modelado cartográfico, etc. Cada uno de estos módulos pueden ser comprados de forma independiente y agregado sobre el programa base. Una vez instalados, funcionan como un todo coherente y solidario; todos ellos se hallan relacionados internamente por una base de datos INFO (o TABLES, como se ha mencionado).*

*A continuación se listan dichos módulos:*

- |                        |                          |                       |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|
| <i>a) ARC/INFO</i>     | <i>f) Arc Grid</i>       | <i>k) ArcView3</i>    |
| <i>b) Arc Plotting</i> | <i>g) ArcScan</i>        | <i>l) AVSpatial1</i>  |
| <i>c) Arc Network</i>  | <i>h) ArcStorm</i>       | <i>m) AVArcPress1</i> |
| <i>d) Arc TIN</i>      | <i>i) ArcStormEnable</i> | <i>n) AVNetwork1</i>  |
| <i>e) Arc COGO</i>     | <i>j) Arcpress</i>       | <i>o) AV3DI</i>       |

*de los cuales se describirán brevemente los más usuales.*

*a) Arc Tin: Modelado de superficies y análisis del terreno incluyendo creación, análisis, almacenamiento y despliegue de información de superficies en el ambiente Arc/Info. Arc Tin es una herramienta ideal para aplicaciones como el despliegue en tres dimensiones de depósitos de gas y petróleo, análisis volumétrico de cortes y rellenos, generación de contornos y análisis de acuíferos (ver fig. 3.21)*

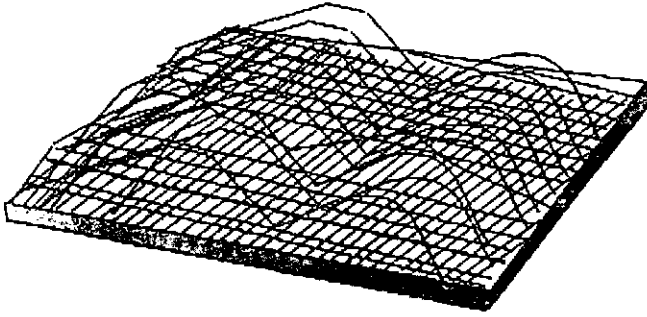


Figura 3.21 Ejemplo de manipulación que se puede realizar con Arc Tin.

- b) **ARC NETWORK:** Modelado y análisis de redes lineales, incluyendo sofisticadas funciones de rutas y geocodificación, interacción espacial y análisis de localización. NETWORK es usado para la ubicación de vehiculos, el análisis de transporte, planeación urbana, mercadeo al por menor, selección y ubicación de distritos escolares, optimización de envíos y despachos.
- c) **ARC grid:** Con este módulo, se puede obtener una integración completa de datos tipo raster y vector en un sólo sistema de geoprocetamiento, ofrece total manejo de entrada de datos raster, despliegue, edición, análisis y salida. Incluye un amplio conjunto de herramientas integradas de análisis espacial basado en celdas con un poderoso lenguaje de modelado (modeling language) y ambiente de análisis. ARC grid puede ejecutar desde simples consultas hasta un modelo completo, soportar parcelas, vecindades y sobreponer análisis; también se puede personalizar ARC grid de acuerdo a las necesidades que se tengan (ver fig. 3.22).

### Grids

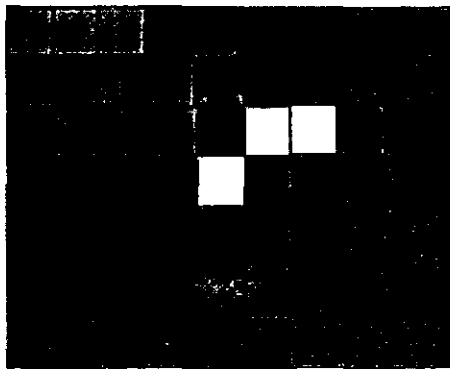


Figura 3.22 Ejemplo de datos grid

Tiene una serie completa de operadores matemáticos, acepta entrada directa de archivos raster, diferentes resoluciones, ejecuta conversiones raster-vectorial, no tiene límites sobre el

*tamaño de su base de datos, rápido procesamiento sobre uno o varios conjuntos de datos y utiliza el lenguaje espacial de mapas.*

- d) ARC COGO: Integra inspección de datos con otras coberturas, provee una selección de entrada de métodos, soporta grandes bases de datos incluyendo el uso de suelo y catastro nacional, provee herramientas tubulares de reporte y conserva la exactitud de los datos.*
- e) Cuenta con una interfaz gráfica fácil de usar, soporta datos de diversas fuentes y formatos, DXF, IDGS (Interactive Graphics Design Software) y archivos IGES (Initial Graphics Exchange Standar); también contiene herramientas interactivas para ejecutar las siguientes tareas: detectar/construir intersecciones con líneas o puntos, puntos autoestables (fijos), puntos y curvas, ángulos, conexiones y distancias; detecta y construye puntos de tangencia; agrega una línea desde una serie de segmentos conectados, porciones de segmentos rectos y curvas, caminos con líneas paralelas y curvas, etc.*
- f) ARCSCAN: Permite al usuario del SIG la construcción de bases de datos vectoriales usando imágenes digitalizadas como elemento de partida. ARCSCAN incluye herramientas para el procesamiento raster, construcción de la base de datos y conversión de raster a vector y su edición.*
- g) ARCEXPRESS: Acelera la ejecución de despliegue de Arc/Info sobre una estación de trabajo, proporciona un conjunto completo de capacidades de visualización para un rápido despliegue y manipulación de una imagen gráfica incluyendo alejamiento, acercamiento, ventanas y refresco de imagen; permite el despliegue y edición eficiente de grandes conjuntos de datos.*
- h) ARCPRESS: Es el meta-archivo gráfico raster para la salida de mapas e impresión que puede aumentar notablemente la velocidad, eficiencia y calidad de salida de un SIG; mantiene estándares de salida de formatos gráficos ESRI (1039, 1040 composiciones de mapas, CGM o POSTSCRIPT ). Soporta impresoras, tiene varias opciones de salida incluyendo la pantalla, múltiples copias, rotación, diversas escalas, corrección de color, saturación, etc.*
- i) ARCSTORM (Arc Storage Manager). Es un administrador de bases de datos espaciales que ayuda a los usuarios de los SIG a administrar enormes bases de datos geográficas e integrarlas con los programas de ESRI. Esta revolucionaria tecnología administra información espacial a nivel objeto y soporta acceso multiusuario para la base de datos continua, que puede ser distribuida en toda la organización. ARCSTORM está basado en la moderna arquitectura llamada cliente-servidor. En este modelo, un servidor procesa todos los requerimientos de los clientes sobre redes de alta velocidad.*

*Procesos de Arc/Info, acciones de ARC/VIEW y sesiones de ARCCAD son considerados procesos de clientes, cuyos requerimientos de datos son plenamente satisfechos por el servidor de ARCSTORM.*

*ARCSTORM no solamente coordina actividades de gran volumen de usuarios con una base geográfica, la cual permite el acceso a todos los usuarios para que se beneficien de la base central, sino además cuenta con las siguientes características:*

- a) base de datos continua del mapa,*
- b) administración de transacciones a nivel de objeto o fila,*
- c) archivo total histórico del contenido de la base de datos,*
- d) soporta base de datos relacional integrada,*
- e) integridad entre transacciones espaciales y DBMS, administración de datos distribuidos.*

*Si bien el uso de ARCSTORM es opcional, éste es recomendado para organizaciones que implementan actividades de SIG en gran escala. Son organizaciones típicas que requieren ARCSTORM aquellas que:*

- a) usan grandes bases de datos espaciales,*
- b) actualizan datos frecuentemente espaciales y tabulares,*
- c) requieren de un archivo de datos y recuperación, y*
- d) usan ArcView o ArcCad en conjunto con Arc/Info para que permita mantener la coherencia de la información almacenada.*
- e) Aplicaciones de Arc/Info*

### **3.5.2 DESCRIPCIÓN ERDAS**

*Arc/Info se utiliza en diversas aplicaciones como ubicar los nuevos sitios de almacén para encontrar rutas más eficientes para una flota de camiones de entrega, hasta problemas de índole global con manejo de datos más complejos. Arc/Info ayuda a los usuarios a reducir costos de operación, a ser más eficientes con los recursos, al fácil manejo y almacenamiento de la información y ayuda a realizar una mejor toma de decisiones en aplicaciones como ordenamiento territorial y evaluación de impuestos en los departamentos de gobierno local, análisis de impacto ambiental, análisis de redes y planeación de la demanda en compañías eléctricas, selección de sitio y perfil demográfico de grandes abastecedores, automatización de datos y salida de alta calidad en la producción cartográfica, exploración de petróleo, mejor manejo de cultivos, etc.*

*Erdas fue fundada en 1978 como un software comercial de desarrollo de tecnología en la Universidad de Harvard y en el Instituto de Tecnología de Georgia, Erdas Imagine es un software*



especial para el análisis y procesamiento de imágenes de satélite y fotografía aérea. El uso de las imágenes de satélite se ha diversificado y actualmente existen muchas aplicaciones para esta clase de tecnología.

Con *Erdas Imagine*, el usuario tiene al alcance las herramientas para obtener realces espectrales, espaciales y redimétricos; corrección geométrica de imágenes, procesos de clasificación no supervisada, composición cartográfica de calidad final y herramientas de impresión de productos, opciones de importación y exportación de datos, y herramientas de personalización mediante el lenguaje de programación *EML*, análisis de *Fourier* y análisis topográfico de funciones en un *SIG*.

El *kit* de herramientas *Imagine* es un conjunto de librerías y documentación para usuarios de *Erdas Imagine* que desean modificar la versión comercial del *software* o desarrollar completamente nuevas aplicaciones para extender las capacidades de acuerdo a las necesidades de un proyecto específico, este *kit* incluye un conjunto *API* (*Application Program Interface*, interfaz de programa de aplicación) de lenguaje C. Aunque la interfaz de usuarios es diseñada para hacer fluir los trabajos fácilmente para una variedad de tareas y niveles de experiencia, las capacidades de la personalización básica de *Erdas Imagine*, están particularmente bien organizadas para modificar el uso fácil de la interfaz gráfica, mientras que el *kit* de herramientas de los creadores de *Imagine* está diseñado principalmente para usuarios que necesitan utilizar el *software* más allá de este nivel.

*Erdas Imagine* ofrece dos amplias categorías de personalización, cada una ejecutada con un conjunto diferente de herramientas, además provee un rango de posibilidades de personalización para completar cambios a la interfaz de los usuarios, por ejemplo el lenguaje, y para simplificar, en caso necesario, aplicaciones específicas como foto-interpretación.

Las personalizaciones se manejan por medio del editor de preferencia, éste se encarga de manejar una base de datos de valores que son usados en todo el producto para modificar su funcionamiento. Una personalización es un valor, el cual es definido por una selección del usuario para algún aspecto opcional del *software*. Las preferencias pueden ser salvadas de manera local o global, un cambio local afecta solamente al usuario guardándolo en su directorio actual, un cambio global es salvado en el directorio de instalación de *Erdas Imagine* y afecta a todos los usuarios.

La interfaz gráfica de usuarios de *Erdas Imagine* fue desarrollada con el lenguaje de Macros *Erdas* (*EML*), el cual viene con cada licencia de este *software*. Este lenguaje puede ser usado para definir la estructura y contenido de la interfaz de usuario, así como proveer algunos procedimientos fundamentales; cada archivo es interpretado al iniciar la sesión y convertido a instrucciones de acuerdo al sistema que se está utilizando (por ejemplo los archivos *EML* de interfaz de usuario

convertidos a *MOTIF* bajo *UNIX* y *WIN32* en *Windows*). Cada *script* es un archivo *ASCII*, el cual puede ser editado para cambiar su contenido (ver fig. 3.23)

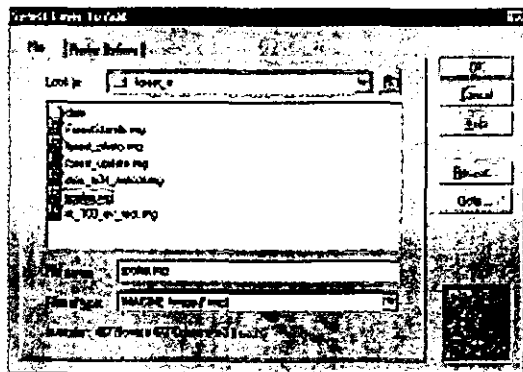


Figura 3.23 Interfaz gráfica de Erdas

### 3.5.2.1. Extensiones *SML*

Nuevas aplicaciones pueden ser construidas usando *SML*, el cual es un componente de *Imagine*. El intérprete *Image* en *Erdas Image* está formado principalmente de *scripts SML* con una interfaz *EML*. Una vez que se ha desarrollado un nuevo algoritmo usando el ambiente marcador de modelo gráfico, se puede generar un *script SML* que puede ser cambiado con una interfaz de usuarios personalizada. La nueva aplicación puede ser incluida dentro de una estructura de menú existente en *Erdas Image*.

### 3.5.2.2. Importar/Exportar

De los datos que se pueden importar y exportar, el más común de las aplicaciones agregadas a *Erdas Image* es el *kit* de herramientas el cual contiene funciones que proveen entrada/salida para el formato de archivos *Erdas Image*, así como también funciones que hacen posible crear importación/exportación.

### 3.5.2.3. Personalizando archivos *DLL*

Una característica de la arquitectura de *Erdas Image 8.3* es el uso provisto de archivos *DLL* (*Dinamically Loadable Library* Librería Dinámicamente Autocargable), para personalización de extensiones.

*DLL* es una parte del código que puede ser ubicado y usado al momento de ejecutar una aplicación. *Erdas Image* los usa para crear conexiones *plug-in* en una variedad de usos como acceso a imágenes, tipos de letras, conversión y proyección de coordenadas. Sin modificación para

aplicaciones existentes, un formato *raster DLL* puede ser escrito y agregado al sistema, el cual permite a todas las aplicaciones *Erdas Imagine* tener acceso a los datos almacenados previamente en un formato de archivos no soportado directamente y sin necesidad de ninguna conversión de archivo.

Las librerías están organizadas dentro de varios grupos funcionales, la librería base llamada *ELIB (Erdas Library)* contiene todo lo relacionado con entradas y salidas, manejo de memoria, etc. La Librería de Lenguajes de Macros *Erdas (EMLIB)* contiene todas las funciones para la creación de una interfaz de usuario gráfico e interfaces con *EML*.

#### 3.5.2.4. Arquitectura de *Erdas*

*Imagine Developers Kit* está organizado como un número de paquetes el cual crea y soporta un tipo de objeto de datos. El paquete usualmente define pocos tipos de datos, los cuales son entonces manipulados por las funciones. Estos paquetes están en grupos de rutinas:

- a) Clases *DLL*: Algunos de estos paquetes son construidos sobre un mecanismo *DLL*, el cual permite que la rutina sea expandida dinámicamente.
- b) Anotaciones: La rutina de anotaciones contiene funciones para creación, lectura, escritura, interpretación y edición de elementos de anotaciones y sus estilos de *Erdas Imagine*. Los elementos de anotación consisten de polilíneas, polígonos, elipses, arcos elípticos, puntos, textos y grupos.
- c) Área de interés (*eaoi, Erdas area of interest*): Está formado de herramientas básicas para el análisis de áreas de interés. Esto incluye operaciones de estructuras de *AOI* (crear, borrar, copiar), operaciones de entrada y salida de *AOI*, así como de su interpretación.
- d) Librería de color (*ecfb*): Provee soporte para las librerías de colores, conversiones RGB/IHS y niveles de franjas.
- e) Clasificación: Consiste de todos los clasificadores por bloque tal como probabilidad máxima, distancia mínima, etc.
- f) Conversión de unidades (*ecut*): Provee rutinas para conversión de unidades de distancias y ángulos. Las unidades soportadas son definidas en una base de datos llamada *units.dat*, las cuales definen la relación entre una unidad estándar y otra.
- g) Descriptor de tablas de acceso (*Descriptor Table Access, edsc*): Contiene herramientas básicas para la manipulación del descriptor de tablas. Un descriptor de tablas es la parte de un archivo de extensión *img* de *Erdas Imagine* que almacena información sobre el valor de un dato particular o conjunto de valores de datos que puede incluir un histograma de valores, un nombre de una clase y área total, y averiguar el valor de un color en la tabla de colores. Las funciones *edsc* permiten

al programador crear fácilmente estructuras de datos en memoria para el descriptor de tablas y la transferencia de información entre el disco y la memoria.

- h) Procesamiento digital de señales: Este bloque de funciones de procesamiento digital de señales, permite ejecutar la “transformada rápida de *Fourier*” así como su “transformada inversa” sobre datos reales o complejos. Las funciones en esta rutina han sido especialmente diseñadas para la transformación eficiente de secuencias de valores reales y matrices.
- i) Soporte gráfico: El paquete de soporte provee funciones para la interpretación de datos tipo vector (anotaciones, vectores) y salida a dispositivos.
- j) Aritmética gráfica de punto flotante (*efga*): Provee rutinas para ejecutar vectores usados comúnmente como matrices, puntos y transformación de funciones polinomiales.
- k) Aritmética de datos generales (*egda*): Contiene herramientas básicas para ejecutar operaciones sobre varios objetos de datos basados sobre la estructura (*EGDA\_BASEDATA*), dichos objetos están generalizados en las librerías del *kit* de *Erdas*. Los derivados de esta estructura de datos, incluyen capas de pilas, matrices, tablas, vectores, ventanas y objetos escalares.

En resumen, contienen funciones para crear, copiar, modificar y destruir estos tipos de datos; las rutinas también pueden manipular operaciones como conversión de tipos de datos, funciones de punto estándar, funciones de punto *SIG*, operaciones de un solo o múltiple argumento.

#### 3.5.2.5. Características de espacio (*EFSP*)

Incluye lectura y escritura de características de nodos en un espacio como archivos con extensión *img* y como listas de características de nodos espaciales para comunicación con el proceso de transformación.

#### 3.5.2.6. Jerarquía de Acceso de Archivos (*EHFA*)

Contiene una implementación del archivo de formato *EHFA* de *Erdas Imagine*, este formato mantiene una representación de datos orientada a objetos en un archivo de disco por medio del uso de una estructura de árbol.

Todos los archivos *ASCII* usados por *Erdas Imagine* están en este formato. Las funciones en esta rutina permiten al programador identificar, crear, copiar, abrir y cerrar archivos *EHFA*, también permite ubicar, leer y escribir objetos dentro de un archivo *EHFA*.

#### 3.5.2.7. Acceso de Archivos de Imágenes (Formato *RASTER DLL*)

Contiene herramientas para tener acceso y manipular datos en archivos *IMG* de *Erdas Imagine*. El paquete incluye funciones de lectura y escritura de objetos estándar *IMG* tal como información de

mapas, parámetros de proyección, estadística, histogramas, covariancia de matrices, descriptores de tablas, nombres de clases y valores de colores. También contienen funciones de alto nivel para procesamiento de datos *raster* dentro de los archivos *IMG* incluyendo funciones para crear, leer y escribir capas *raster*, ventanas asociadas y áreas de interés con una capa *raster* y aplicar funciones de vecindad de capas *raster*.

#### 3.5.2.8. Rectificación de imágenes (*EIRF*)

Contiene herramientas para rectificar una imagen por parámetros polinomiales. Tres métodos son soportados: vecindad más cercana, interpolación bilineal y convolución cúbica.

Los datos están esperando ser presentados en las rutinas de muestreo en forma de pila, la misma estructura de datos usada por el paquete *EIMG* para mantener la lectura de datos *raster* desde un archivo *img*.

#### 3.5.2.9. Impresión y proyección de mapas

El proceso de impresión de mapas (*emap*) provee rutinas para la generación y lectura de archivos de mapas (extensión *MAP*) y para creación, lectura y escritura de todo tipo de archivos asociados con la salida del mapa.

La proyección de mapas (*eproj*) consta de herramientas para almacenamiento y recuperación de información para capas de mapas, y poder convertir coordenadas entre proyecciones de mapas. También contiene las funciones necesarias para la ejecución de proyecciones que son externas a *Erdas Imagine*.

#### 3.5.2.10. Manejo de píxeles (*EPXM*)

Contiene funciones para la creación y copiado de matrices rectangulares de píxeles de algunos de los 30 datos soportados por *Erdas Imagine*. Los píxeles de rectángulo son compatibles con las funciones *egda*.

#### 3.5.2.11. Análisis de *GIS Raster* (*ERGA*)

Contiene herramientas para analizar datos *raster*, incluyendo herramientas para análisis de puntos, vecindad, región y extracción de características.

### 3.5.2.12. Estadística (esta)

Provee herramientas para manipulación (lectura, escritura de/hacia archivos *EHFA*, creación y copiado en memoria de estructuras de datos, etc.), estadísticas (media, desviación estándar, etc.) histogramas, covariancia de matrices, tablas de colores y nombres de clases.

### 3.5.2.13. Vectores (*EVEC*)

Esta rutina contiene herramientas para:

- a) crear y eliminar estructuras relacionadas con capas vectoriales,
  - b) abrir y cerrar capas vectoriales,
  - c) lectura de características y sus atributos,
  - d) obtener información sobre las capas,
  - e) medir distancias y extensiones,
  - f) modificar arcos de vértices (*splining*, *generalization* y *densifying*) y
  - g) determinar las relaciones espaciales entre puntos, líneas y polígonos.
- h) Transformaciones (Modelos Geométricos *DLL*).

Contiene un conjunto de herramientas generalizadas para la creación y manejo de transformación de coordenadas, a pesar del tipo; cada transformación puede ser una combinación de algún número de transformaciones básicas. El paquete provee funciones para trazar conjuntos de puntos a través de una transformación, transformada-inversa y composición de transformadas.

### 3.5.2.14. Manejo de la configuración (*ECFG*)

Brinda facilidades para manejar la configuración de la base de datos *Erdas Imagine*. La configuración de la base de datos almacena información sobre las sesiones que requerirán acceso a *Imagine*. La iniciación de la base de datos es tratada de manera transparente al programa de aplicación cuando está siendo ejecutado en una sesión de *Erdas Imagine*.

### 3.5.2.15. Manejo de Sesión (*ESMG*)

Contiene una interfaz de manejador de sesión de *Erdas*. Las funciones primarias son conectar al manejador de sesión, indicar el estado del trabajo, progreso, mensajes de precaución e indicar el fin de un trabajo.

### 3.5.2.16. Visualizador (*EVUE*)

Contiene un conjunto de funciones de iteración con el visualizador de *Erdas Imagine*. Estas funciones permiten una aplicación para consultar el contenido de visualizadores específicos, cargar

imagen, anotaciones, vectores, capas de área de interés (*AOI*), retirar imágenes del visualizador, crear gráficas con líneas o áreas en ubicaciones específicas, seleccionar áreas o líneas iterativamente, desplegar composiciones, asignar los límites o extensiones de la imagen, crear/destruir vistas, alejar imágenes y crear pantallas enlazadas.

#### 3.5.2.17. Selección (*ESEL*)

Contiene un conjunto de funciones para implementar consultas basadas en un lenguaje simple. Una consulta es una expresión, la cual es convertida a un formato interno y es usada por el evaluador de consultas. El resultado de la consulta es almacenado en una tabla de *BIT* de resultados *booleanos*.

#### 3.5.2.18. Tabla de Símbolos (*ESYM*)

Conjunto de funciones usadas para crear y manejar tablas de símbolos. Cada una contiene uno o más símbolos que son relacionados con algún tipo de datos de usuarios. El paquete provee funciones para agregar símbolos a la tabla y para ubicarlos en una tabla dada.

#### 3.5.2.19. Aplicaciones

El uso de imágenes de satélite se ha diversificado y actualmente existen muchas aplicaciones para esta clase de tecnología, como el manejo de recursos naturales, la determinación de usos de suelo, el monitoreo de cuerpos de agua, la prevención de desastres, el análisis topográfico del terreno, el impacto ambiental, el manejo de infraestructura, la detección de cambios geofísicos y geológicos, el análisis de vegetación, planeación regional y urbana, la actualización cartográfica y oceanográfica, el monitoreo de bosques y cultivos, las aplicaciones militar, vulcanológica e hidrológica.

### 3.5.3. ARCVIEW

Es un sistema completo para el acceso, despliegue, consulta, análisis y publicación de datos de una organización; enlaza herramientas de análisis de los datos tradicionales (como hojas de cálculo y gráficos) con mapas, para un sistema personal a ser expandido a un departamento entero en una división u organización. Esta nueva arquitectura hace posible que *ESRI* desarrolle una serie de módulos *plug-in* para *ArcView* que pueden ser mezclados y agregados a fin de extender las capacidades funcionales del mismo.

Mientras algunos de estos módulos de extensión representan muchos de los múltiples progresos realizados por *ArcView*; *ESRI* también maneja dos novedosas y significativas extensiones de análisis geográfico avanzado llamadas: análisis espacial de *ArcView* y análisis de Red de *ArcView*.

Estas extensiones de software le agregan una serie sofisticada y a la vez, completamente integrada; con las herramientas de análisis geográfico, utilizadas para el análisis espacial vector-raster en el análisis de red y de rutas, manteniendo la interface gráfica del usuario relativamente fácil de usar (*GUI*) (ver fig. 3.24).

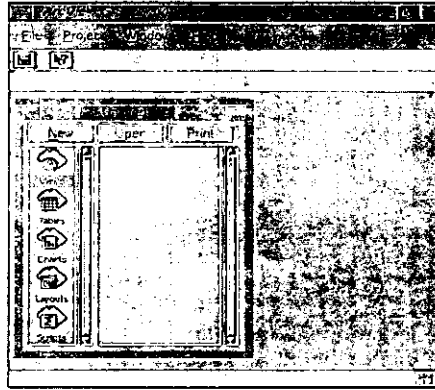


Figura 3.24 Pantalla de trabajo de ArcView

### 3.5.3.1. Análisis espacial superior

El análisis espacial de *ArcView* introduce un extenso rango de poderosos dispositivos de análisis espacial de datos; los cuáles, permiten crear, consultar, realizar mapas y analizar datos basados en celdas y ejecutar análisis vector-raster utilizando elementos basados en temas de celdas (*grid*).

El análisis espacial de *ArcView* está particularmente provisto para dar soluciones a los problemas que requieren precisión en la distancia u otras informaciones espaciales continuas, las cuáles deben ser consideradas como parte del análisis. Por ejemplo, el análisis de un sitio determinado requiere a menudo, combinar información acerca de pendientes, elevaciones y dirección de pendientes (en este caso la información es mejor representarla en formato *raster*), como la localización de ríos, caminos y los límites de la propiedad (aquí es más conveniente representarla con vectores) para alcanzar la mejor localización de un nuevo servicio. El análisis espacial no sólo puede generar la más apropiada representación de superficies de una variedad de fuentes de datos existentes, sino que también puede derivar nueva información acerca de múltiples temas (ver fig. 3.25).



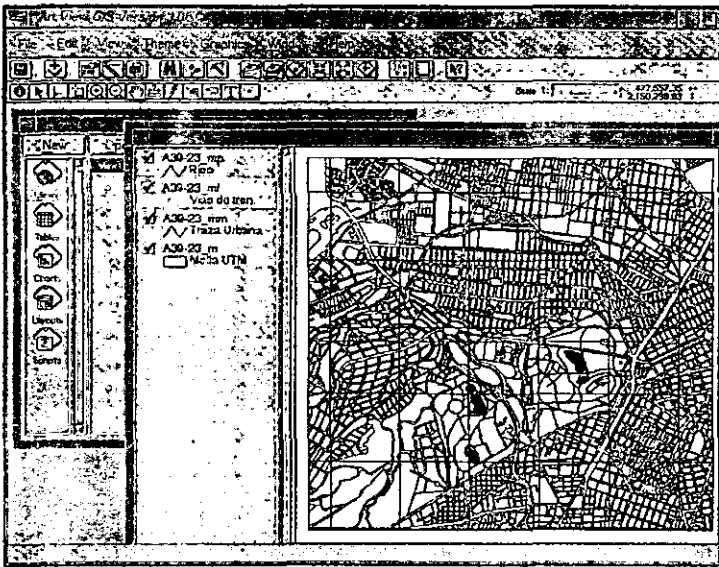


Figura 3.25 Visualización de varios datos existentes en ArcView

### 3.5.3.2. Análisis de una Nueva Red

La extensión de análisis de red de *ArcView* hace posible resolver una gran cantidad de problemas utilizando redes geográficas (incluyendo calles, autopistas, ríos, oleoductos, líneas eléctricas, etc.) para encontrar la ruta más eficiente para viajar, generar direcciones de rutas, encontrar las instalaciones más próximas o definir las áreas de servicio en términos de tiempo de viaje.

El análisis de red de *ArcView*, le agrega una interfaz de gráficos integrada para los usuarios que proveen el acceso a las capacidades del patrón de la red de trabajo; incluyendo encontrar la ruta más directa entre dos puntos, la ruta más óptima entre muchos puntos, los servicios más próximos en cada ruta y ejecutar el análisis del tiempo de duración de manejo.

### 3.5.3.3. Creación de datos y realce de edición

*ArcView* tiene totalmente integrado la habilidad de editar o crear conjuntos de datos geográficos usando el *mouse* o a través de una tableta digitalizadora; provee nuevas formas de despliegue y visualización de los datos temáticos incluyendo una diversidad de símbolos para mapas, mapas de densidad de puntos y simbología de escala y rotación.

#### 3.5.3.4. Acceso al manejador de sistemas de bases de datos cliente-servidor

*ArcView* provee el acceso tipo cliente a los datos administrados por *SDE*. El *SDE* es la primera base de datos de la industria multiusuario cliente/servidor específicamente diseñado para proveer un rápido y eficiente acceso a bases de datos geográficas. Los temas de las bases de datos de *ArcView* hacen posible trabajar directamente con *SDE* para observar, hojear y consultar los datos de *SDE*. *ArcView* y *SDE* proveen una solución integrada para la empresa que desee mejorar el manejo de recursos de información geográfica.

#### 3.5.3.5. El Lector de dibujo tipo CAD

Esto incluye soporte directo a los dibujantes de *AUTOCAD*, incluyendo *AUTOCAD* versión 13 y las *Microstation* diseñadas para ello. En adición a los diferentes formatos de lectura, además, *ArcView* puede acceder atributos de bloques de *AUTOCAD* y los atributos de la *Microstation* utilizados comúnmente para unir registros de bases de datos. Esto permite a los archivos de los dos programas líderes del CAD ser empleados sin necesidad de trasladar los datos de *ArcView* a *Arc/Info*, así como una extensa variedad de tipos de imágenes y muchos formatos de bases de datos.

Todas las herramientas de *ArcView* como visualización, análisis espacial y consulta; pueden ser aplicados a los datos del CAD junto a otros tipos de datos. Por ejemplo, empleando la extensión de análisis espacial de *ArcView*, los contornos pueden ser producidos por los datos de puntos en un archivo *DGN* de la *Microstation* y ser utilizados para el análisis con datos de terreno de una cobertura de *Arc/Info*, mientras que ambos grupos de datos permanecen en sus formatos originales. El análisis de red de *ArcView* puede ser utilizada para encontrar un camino eficiente para la ruta a través de la red de dibujo *AUTOCAD* y el resultado obtenido combinarlo con una fotografía aérea para visualizar, la ruta de un autobús.

#### 3.5.3.6. Análisis de Red de *ArcView*

El análisis de red de *ArcView*, es usado para el manejo de operación comprensible de un sistema de planificación para el transporte, el análisis de logística, la administración de servicios, el mapeo automatizado, y otras aplicaciones que requieran operaciones con redes lineales; también posibilita al usuario solventar una variedad de problemas basados en redes geográficas, por ejemplo calles, autopistas, ríos, oleoductos y líneas útiles. A la vez, resuelve situaciones tales como encontrar la ruta más eficiente a través de la ciudad, generar direcciones para viajar, encontrar el vehículo de emergencia más cercano o bien las facilidades de servicio en casos de emergencia, definir áreas de servicio o territorios de ventas basados en el tiempo de duración del viaje.

Debido a la extensión del análisis de red dentro de *ArcView*, estos nuevos distintivos de análisis son fáciles de utilizar y de adaptar a través de *AVENUE*, éste provee una excelente aplicación de desarrollo, orientada a encontrar soluciones ambientales.

Es muy fácil utilizar la red de análisis de *ArcView* con una extensa variedad de datos existentes para lo que no se necesita tener una red especial de datos. Las redes geográficas (representadas como rasgos lineales) almacenadas en los formatos de datos de tipo *CAD* (*DWG*, *DXF*, *DGN*) soportadas por la extensión lectora de dibujo *CAD* de *ArcView*, pueden ser utilizadas en sus formatos originales tan fácil como los datos almacenados en la cobertura de *ArcInfo* o en los formatos de archivos de *ArcView*, sin necesidad de realizar conversión alguna.

A continuación se mencionan algunas de las funciones que ejecuta la red de análisis:

- a) Determinar rutas de entrega, logística de distribución, rutas de tránsito y otras actividades que requieren encontrar la ruta más óptima para minimizar distancias o tiempo de viaje empleado.
- b) Determinar qué instalación o vehículo está más cerca; escoger la ubicación más cercana para reducir el tiempo de viaje; decidir qué vehículo puede responder a una situación particular al mismo tiempo que determinar la ruta más directa para viajar en caso de accidente, dependiendo de la exactitud de los datos.
- c) Crear una lista de direcciones de viaje para utilizar en respuesta de emergencias, o vehículos de servicio para despacho y en la investigación de clientes para un servicio

#### 3.5.3.7. Análisis espacial de *ArcView*

Nuevo módulo de extensión de *ArcView* que brinda un sofisticado análisis de datos *raster* de escritorio. El análisis espacial de *ArcView* hace posible crear y analizar mapas de datos *raster* basados en celdas; además; provee nueva información de datos existentes, información requerida a través de múltiples estratos de datos y un completo e integrado conjunto de datos *raster* basados en celdas con fuentes tradicionales de datos tipo vector.

#### 3.5.3.8. El poder del análisis *raster*

La serie de datos *raster* basada en celdas, están especialmente disponibles para representar fenómenos tradicionalmente geográficos que varían continuamente en el espacio como la elevación, inclinación y precipitación; pero puede ser utilizada para representar tipos de información menos tradicionales tales como la densidad de población, el comportamiento del consumidor y otras características demográficas.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

Las celdas también son datos ideales de representación para el modelo espacial, el análisis de flujos y tendencias sobre los datos representados como superficies continuas tales como modelado de vertientes o los cambios dinámicos de población sobre el tiempo.

La combinación de estos nuevos análisis espaciales y la visualización de herramientas para datos *raster* con los operadores espaciales de *ArcView* basados en vectores, brindan una capacidad de análisis sin precedentes en la visualización y elaboración de mapas.

#### 3.5.3.9. Fuentes de datos

El análisis espacial puede crear fuentes de datos *raster* de cualquier punto, línea o fuente de rasgos de polígonos (incluyendo fuentes de datos *CAD* soportados por *ArcView*, *DWN*, *DXF* y *DGN*), o importar datos de formatos estándares (incluyendo *TIFF*, *BIL*, *SUN-RASTER*, *DEM*, *DTED* y otros).

#### 3.5.3.10. Herramientas de desarrollo

La extensión de análisis espacial de *ArcView* también incluye una extensa y avanzada serie de herramientas de análisis, ésta puede ser accesada a través de *AVENUE* para realizar aplicaciones de análisis espacial.

#### 3.5.3.11. Extensiones de *ArcView GIS*

La arquitectura de *ArcView GIS* permite nuevas extensiones opcionales que se conectan a *ArcView GIS* de tal forma que se puede activar o desactivar mientras trabaja; éstas extensiones son:

- a) *ArcView NETWORK ANALYST* Modelado y *ruteo* de redes.
- b) *ArcView SPATIAL ANALYST* Geoprocador integrado de *raster/vector*.
- c) *ArcView 3D ANALYST*. Presentación y análisis de superficies tridimensionales.
- d) *ArcView INTERNET MAP SERVER* Publicación de mapas en red.
- e) *ArcPress* para *ArcView* Impresión avanzada de mapas.
- f) *ArcView BUSINESS ANALYST* Solución poderosa de escritorio que incluye gran cantidad de datos y herramientas para resolver problemas específicos de negocios.
- g) *ArcView IMAGE ANALYSIS* Herramienta poderosa de imágenes.
- h) *ArcView TRACKING ANALYST* Rastreo en tiempo real, presentación y análisis.

*ArcView* cuenta con un lenguaje orientado a objetos llamado *AVENUE* con el cual se puede:

- a) Personalizar la manera de ver *ArcView*,
- b) modificar las herramientas estándares de *ArcView*,
- c) crear nuevas herramientas,

- d) integrar *ArcView* con otras aplicaciones, así como
- e) desarrollar y personalizar la distribución de aplicaciones sobre *ArcView*.

### 3.5.4. HERRAMIENTAS HARDWARE Y SOFTWARE

En la tabla 3.3 se muestra de forma resumida el *hardware*, sistema operativo y manejadores de bases de datos soportados por los tipos de software descritos con anterioridad.

Tabla 3.3 Herramientas soportadas en el *software* descrito

Programa	<i>Arc/Info</i>	<i>PC Arc/Info</i>	<i>ArcView</i>	<i>Erdas</i>
Hardware Soportado	Estaciones de trabajo (Digital, <i>Hawlett-Packard</i> , <i>IBM</i> , <i>Silicon Graphics</i> y <i>Sun</i> ), <i>Alpha</i> .	Computadoras Personales con Procesador <i>Intel</i> ,	Computadoras personales con procesador <i>Intel</i> , <i>Macintosh</i> , Estaciones de trabajo ( <i>Digital</i> , <i>Hawlett-Packard</i> , <i>IBM</i> , <i>Silicon Graphics</i> y <i>Sun</i> ), y <i>Sistemas Vax</i> .	Computadoras personales y Estaciones de trabajo ( <i>Digital AlphaStations</i> , <i>Hewlett-Packard</i> series 700, 800 y 900, <i>IBM RS/6000</i> , <i>Silicon Graphics</i> , <i>Sun Solaris</i> ).
Sistema Operativo Soportado	<i>UNIX</i> , <i>Windows NT</i> y <i>Alpha NT</i> .	<i>DOS</i> , <i>Windows 3.11</i> , <i>95</i> y <i>NT</i> .	<i>Windows 3.11</i> , <i>95</i> , <i>NT</i> , <i>UNIX</i> y <i>Macintosh Sistema 7</i>	<i>UNIX</i> , <i>Windows 95</i> y <i>NT</i> .
Manejadores de Bases de datos Soportados	<i>Oracle</i> , <i>Microsoft Access</i> , <i>Microsoft SQL Server</i> y <i>Sybase</i> .	<i>dBase</i> y compatibles.	<i>dBase</i> , <i>ASCII</i> , Texto, <i>info</i> , Bases de datos líderes <i>SQL</i> .	

La selección del hardware a utilizar dependerá en gran medida de la cantidad de información a manejar así como la calidad de despliegue que se desee obtener.

### 3.5.5. EQUIPOS Y PERIFÉRICOS

Además de las especificaciones anteriores de la tabla 3.3 hay que contemplar otro tipo de accesorios necesarios para los equipos que se utilicen como unidad de *CD-ROM*, tabletas digitalizadoras, impresoras láser blanco y negro o de color, *plotter* y *scanner*.

Los paquetes mencionados anteriormente permiten otra entrada de datos además de las ya conocidas como son el teclado, la tableta digitalizadora, y la unidad de *CD-ROM*; cuando la información es distribuida por alguna compañía, en nuestro caso la cartografía que manejamos (por citar algún ejemplo) es distribuida por el *INEGI* (Instituto Nacional de Estadística y geografía Informática).

## **4. CONSTRUCCIÓN DEL SIG PARA EL MANEJO DE SONDEOS GEOTÉCNICOS**

En este capítulo, se presentará la metodología para crear el Sistema de Información Geográfica aplicado al manejo de Sondeos Geotécnicos (*SIG-SG*).

### **4.1 ANÁLISIS DEL SIG-SG**

#### **4.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La necesidad de crear un sistema con información de sondeos geotécnicos, surgió a raíz de los sismos registrados en septiembre de 1985, los cuales, como es sabido, causaron grandes daños en construcciones medianas, así como en casas habitación, dado que no se tenía un conocimiento profundo del tipo de suelo sobre el cual éstas estaban construídas.

Los estudios del subsuelo (sondeos), en la mayoría de las veces, se realizan en grandes construcciones como en edificios o en líneas del metro; lo que se pretende es recopilar el mayor número posible de sondeos ya realizados, dado que si se va a realizar una nueva construcción, si no se pueden hacer nuevos sondeos, que por lo menos se tenga una idea del tipo de suelo sobre el que se va a construir, basándose en los anteriores.

Debido a esta problemática, el Instituto de Ingeniería (I. I.) de la UNAM en unión con la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS), el CONACYT y el Gobierno del D.F., desarrollaron un proyecto conjunto para diseñar y poner en servicio un Sistema de Información Geográfica para Sondeos Geotécnicos (*SIG-SG*). Este sistema coadyuvará a que la SMMS siga cumpliendo con su principal objetivo: promover y divulgar los conocimientos de esta especialidad, mediante la publicación de información sobre el subsuelo, y con ello, mejorar el estado actual del conocimiento sobre las características del subsuelo en la Ciudad de México y áreas conurbanas, y en un futuro, en otras zonas urbanas del país.

Dicha información permitirá a los ingenieros formarse una idea clara de los problemas planteados por el subsuelo en cada sitio en particular. Esta información se pondrá a disposición de quienes tienen la responsabilidad de proyectar, construir y conservar las diversas obras de infraestructura o de expansión urbana, así como de aquellos organismos e instituciones encargadas de planificar el crecimiento y regular el uso del suelo.

#### **4.1.2 NECESIDADES DEL SISTEMA Y DEL USUARIO**

Principalmente el sistema debe ser capaz de desplegar en forma clara la información geográfica, especialmente del D.F. y áreas conurbadas en esta fase del proyecto, así como la información

descriptiva o temática de los sondeos que se encuentren contenidos, si es que existen, en el área seleccionada por el usuario.

El manejo del sistema debe ser sencillo, dado que está enfocado a ingenieros del área de ingeniería civil o de especialistas en mecánica de suelos, que en ocasiones no se encuentran familiarizados totalmente con el manejo de sistemas, o con el equipo de cómputo.

### 1.3 CATEGORÍA DE USUARIOS

La categoría de usuarios para consulta del sistema, se reduce principalmente a aquellos ingenieros o personas cuya especialidad o interés sea sobre la mecánica de suelos. Por el lado de la administración del sistema y de la estación de trabajo, la categoría de usuarios será de ingenieros del área de computación.

### 1.4 SALIDA DE LA INFORMACIÓN

Hay dos formas de acceso a la información, la primera es por medio de la pantalla, en la cual se desplegarán las diferentes ventanas que conforman el sistema según la secuencia elegida por el usuario; la segunda forma de tener acceso a la información es por medio de la impresión de archivos cuyo formato está dado en texto plano, con lo que se facilita poder acceder a la información con cualquier editor de texto, ya que el contenido de los archivos es de tipo alfanumérico, además de los archivos que incluyen los mapas de las cartas urbanas, éstos con el formato *hpg*, lo que permite ser compatible con las impresoras.

### 1.5 ELECCIONES TÉCNICAS

#### 1.5.1 *Software* para la creación del sistema

Se utilizó el *software* de *Arc/Info* para plataforma *UNIX-Irix* dado que era con el que se contaba en el Instituto de Ingeniería. Para la base de datos *Arc/Info* cuenta con un manejador, el cual para los alcances planteados para el proyecto es el adecuado para manipular la base de datos con que cuenta el sistema.

Cabe hacer mención que para el diseño original de la base de datos se utilizó el modelo jerárquico, pero se modificó para utilizar el modelo entidad-relación, para que en caso de ser necesario se pueda migrar hacia otro manejador, permitiendo con ello ser totalmente portable; lo anterior es debido a que el modelo entidad-relación, es el más óptimo para realizar consultas; con lo cual se garantiza que no existirán problemas mayores dentro del manejador una vez que se haya efectuado dicha migración.

Los mapas o cartas urbanas manejadas por el sistema, se adquirieron por medio del INEGI en *CD-ROM*; a tal información se le realizó un proceso de depuración utilizando *AutoCad 13* con la finalidad de adecuarlo a los requerimientos del sistema.

## 4.2 DISEÑO DEL SIG-SG

### 4.2.1 MODELO USADO PARA LA BASE DE DATOS

La creación de la base de datos para el *SIG-SG* es uno de los elementos principales del sistema; el primer antecedente de esta base de datos se remonta al primer banco de datos computarizado *CATSON* (Catálogo de Sondeos) el cual “se creó a raíz de los sismos de septiembre de 1985, ya que las autoridades tomaron una mayor conciencia de la importancia de la ingeniería de cimentaciones y la mecánica de suelos por las consecuencias que se tuvieron con los temblores, por lo cual la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos decidió integrar este banco de datos con la intención de tener un mejor manejo y acceso a los sondeos realizados en la Ciudad de México, y ampliarlo a todo el ámbito nacional.”<sup>1</sup>

El objetivo de este catálogo de sondeos (*CATSON*) es “almacenar y sistematizar la información disponible sobre el subsuelo de las principales áreas urbanas del país, con esta información será posible generar o revisar zonificaciones del subsuelo, así como apoyar a la práctica profesional de la ingeniería de cimentaciones, todo esto implica que se tendrán que hacer adecuaciones a Reglamentos de Construcción, Normas Técnicas para Análisis de Cimentaciones, criterios de diseño sísmico y estudios de riesgo sísmico, además de que la información almacenada será de gran valor práctico para todas las instituciones de enseñanza e investigación, todas las entidades paraestatales, federales y personas del ramo.”<sup>2</sup>

#### 4.2.1.1 Primer Conceptualización de la Base de Datos

La primer conceptualización de esta base de datos fue vista como un conjunto de bloques de información contenidos unos dentro de otros, conforme a la programación estructurada. En esta anidación de bloques se le dio al primer bloque o el bloque exterior el nivel 1, al bloque siguiente, anidado en el primero se le dio el nivel 2 y así consecutivamente. De esta manera se fueron construyendo los bloques uno dentro de otro en forma de capas, el primer bloque (nivel 1) corresponde a la República, el segundo (nivel 2) corresponde a cada uno de los estados de la República, el tercero (nivel 3) corresponde a cada una de las ciudades que componen cada estado, en

---

<sup>1</sup> *Manual del usuario Sistema del Banco de Datos CATSON*, p. 1



En el caso del D.F., el nivel 3 corresponde a las 16 delegaciones y municipios conurbados de los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala; el cuarto nivel corresponde al sondeo que se encuentre en esa ciudad o delegación (ver fig. 4.1).

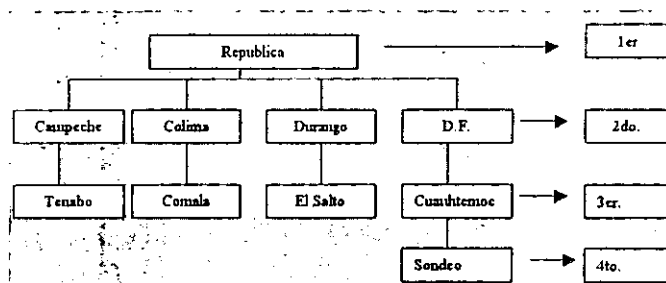


Figura 4.1 Conceptualización de la Base de Datos por bloques

“La estructura del banco de datos así definida facilita el manejo de la información, eliminando la posibilidad de confusión de la misma, ya que sólo existe subordinación directa de un determinado bloque respecto a los otros de nivel superior que lo contengan. La agrupación de la información por ciudades en el primer nivel, obedece a que el subsuelo de cierta área urbana no tiene relación con el de ninguna otra en el ámbito nacional. De este modo, la unidad fundamental de concentración de la información es el área urbana, o ciudad en su sentido más amplio de núcleo de población integrada, independiente de la división política. Este banco de datos se compone de una serie de bases de datos, interrelacionadas entre sí en forma jerárquica. La liga entre dos bases de datos diferentes se estableció a partir de un campo llamado clave. Estas bases contienen la información de los sondeos, agrupando los datos convenientemente de acuerdo a sus características propias”<sup>3</sup> (ver fig. 4.2).

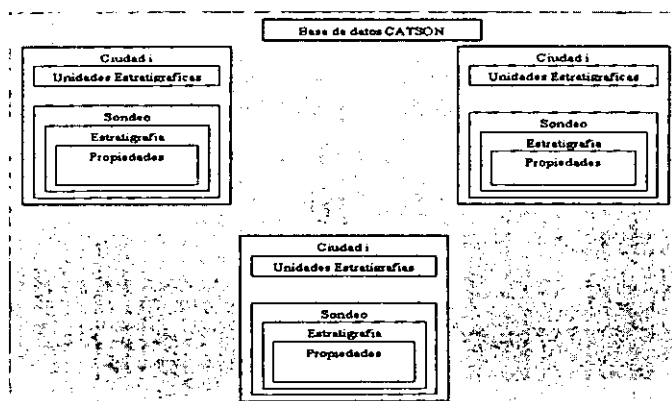


Figura 4.2 Modelo Conceptual Jerárquico de CATSON

Esta conceptualización fue la primera que se tuvo para esta base de datos, pero mostraba algunos errores tales como el de la fecha, ya que sólo tomaba en cuenta dos cifras para la captura de sondeos, hoy en día con el problema del nuevo milenio se debe cambiar para no tener errores en el almacenamiento de la información. Otros problemas se encuentran en el manejo de las tablas en el SIG-SG, pues además de que podrían llegar a ser redundantes los datos, también podría ser lenta la recuperación de la información; la descripción correspondiente se menciona más adelante de este trabajo.

#### 4.2.1.2 Elección del sistema de administración de la base de datos

Al realizar este sistema, la expectativa del mismo, sólo implicaba el uso de consultas, el manejador con que cuenta *Arc/Info* es capaz de realizar esta tarea, a menos que en un futuro se piense ampliar las funciones del mismo, tal vez sea necesario pensar en algún manejador de sistemas externo, como *Oracle*, *Sybase*, *Informix* o *Microsoft SQL Server*.

#### 4.2.2 LENGUAJE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

*Arc/Info* cuenta con un intérprete de comandos llamados *AML (Arc Macro Language)*, el cual es flexible porque puede combinar la ejecución de comandos del sistema operativo (*UNIX-Irix*), así como comandos de *Arc/Info* o bien de cualquiera de sus módulos; también permite la ejecución de ciclos (*if, do while, etc.*).

#### 4.2.3 INTERFACE ENTRE MÁQUINA Y EL OPERADOR

La interface estará dada por medio de una estación de trabajo (para este caso la estación de trabajo se encuentra en el Instituto de Ingeniería, modelo *Octane, SGI*) que fue seleccionada por la calidad de despliegue gráfico que ofrece al momento de ejecutar el sistema para las cartas urbanas que se manejan, el teclado y el *mouse* servirán para realizar selecciones respectivamente, además de que si se desea, se puede contar con un *plotter* o una impresora para la salida de los mapas o reportes que se puedan generar al momento de consultar el sistema.

#### 4.2.4 HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

Para la programación del sistema se utilizaron los comandos manejados por el lenguaje *AML* que es con el que cuenta *Arc/Info*; para modificar el contenido de la base de datos del sistema se usó el *software* de *Microsoft Excel*; para depurar las cartas urbanas, se usó *AutoCad*; para escanear los estudios de sondeos ya existentes, se utilizó *Deskscan II*.

---

<sup>3</sup> Sistema del Banco de Datos CATSON, Manual del usuario p. 4

## 1.2.5 CAPACIDAD DE COMUNICAR, LEER DATOS DE OTROS SOFTWARE Y EXPORTARLOS

Para comunicar, *Arc/Info* cuenta con comandos que le permiten poder conectarse a manejadores de sistemas de bases de datos externos como *Oracle*, *Sybase*, etc., creando un archivo dentro de la ruta *\$ARCHOME/database/nombre\_DBMS.dbs*, que contenga como mínimo las siguientes instrucciones:

*Arc/Info* 7.1 – *Oracle Server*

*\$ARCHOME/bin/dbi\_oracle* y

ejecutando el comando *connect* se realiza la conexión.

Para exportar una cobertura se convierte a formato *DXF*, el cual permite que pueda ser leído en otro *software* de *SIG*, por mencionar alguno *Ilwis*, o bien *Arc/Info* puede recibir información geográfica en ese mismo formato *DXF*, y convertirla a una cobertura de *Arc/Info*.

## 1.3 ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SIG-SG

Como ya se vio en el capítulo 1, se tienen tres elementos que son fundamentales para la elaboración del *SIG-SG*, estos son el *hardware*, los datos y el personal. Si alguno de estos tres elementos falta o está incompleto no se podrá crear correctamente el *SIG*, ya que los tres en conjunto dan vida a nuestro sistema, también se debe tener cuidado al hacer la selección de cada uno de estos elementos, pues si no se escogen correctamente no se podrá llegar al objetivo planteado desde un principio. No importa el orden, lo que importa es cómo se complementen cada uno de éstos.

### 1.3.1 EQUIPO DE HARDWARE

Comencemos con una de las tres partes importantes para la creación del sistema como lo es el equipo de cómputo. Todo el equipo que se utilizó es importante, pero una de las piezas clave fue la estación de trabajo y su unidad de disco externo, ya que a través de la estación de trabajo se llevó a cabo todo el procesamiento de la información; la visualización gráfica se hizo en el monitor, y en la unidad de disco externo se almacenó toda la información.

Para la creación del *SIG* se necesitaron varios dispositivos, todos ellos importantes de alguna manera, los cuales se mencionan y explican a continuación:

- *Plotter*. Para la salida en papel de cartas urbanas.
- Impresora láser. Para la impresión de alguna carta urbana o de algún estudio de un sondeo *scaneado*.
- *Scanner*. Para digitalizar los estudios estratigráficos relacionados con cada uno de los sondeos.

- Computadoras personales. Para la obtención de las cartas urbanas desde el disco de INEGI, así como para la base de datos.
- Unidad de *CD-ROM*. Para la instalación del *software* en la estación de trabajo que se utilizará para el *SIG*, así como en las *PC* para obtener información del disco de INEGI.
- Una unidad *data* (unidad de cinta) y una unidad *jazz*. Ambas para hacer respaldos de la información.

#### 4.3.1.1 Especificaciones técnicas

Para correr el sistema se necesitan los siguientes requerimientos:

- *Plataforma*: UNIX puede correr sobre cualquier estación de trabajo que tenga instalado *ARC/INFO* versión 7.1 como mínimo (ya que en esta versión el sistema tiene componentes que versiones anteriores no manejaban aún), además de tarjeta para gráficos para el despliegue de la imagen de satélite.
- *Memoria*: mínimo 256 MB en RAM para tener un despliegue rápido en las imágenes
- *Velocidad*: mínimo 195 MHZ.
- *Espacio en disco*: mínimo 5 GB para tener todas las cartas, la Base de Datos y el *software*, teniendo en cuenta que este número crecerá dependiendo del crecimiento de la Base de Datos y las cartas que se incorporen al sistema.
- *Base de Datos*: No es necesario tener un manejador de Base de Datos ya que ésta se encuentra dentro del manejador interno del sistema, pero en el caso de que se quisiera tener un manejador, entonces únicamente se tendría que crear la base de datos con los respectivos registros de la tabla de sondeos y después hacer el enlace entre el sistema y el manejador para la conexión.

#### 4.3.2 DATOS

Otra parte importante son los datos, estos son la información con la que se cuenta para la elaboración del *SIG*, lo cual es importante ya que dependiendo con qué cantidad de información se cuenta y cuál es la que haga falta, se podrá ver cómo manejarla y de qué manera obtener la faltante.

La información la podríamos dividir en tres:

- caracteres alfanuméricos (información del *SIG*, leyendas, etc.),
- información gráfica (cartas urbanas, sondeos escaneados), y
- bases de datos (atributos de cada uno de los sondeos) (ver fig.4.2).

Una vez recopilada la información necesaria para el *SIG* se debe tener cuidado en el proceso de la misma, ya que no se debe olvidar que los resultados obtenidos serán los que ayuden a tomar

decisiones con respecto al tipo de construcción que se llevará a cabo por el tipo de suelo que se tiene en determinada zona.

#### **4.3.3 PERSONAL**

Para este proyecto fue necesario contar con el siguiente tipo de personal: gente que tuviera los conocimientos necesarios para el correcto manejo de una estación de trabajo (manejo de la plataforma y configuración de los dispositivos necesarios), así como para manejar el *software* con el que se hizo el SIG-SG; también se contó con el apoyo de gente del área de ingeniería civil que fueron los encargados de la recopilación de los sondeos y su correcta interpretación así como de la elaboración de la cartografía urbana hecha en *Autocad 13*, la cual fue proporcionada por el INEGI.

Durante el desarrollo del programa participaron bastantes personas de diversas áreas tales como ingenieros geólogos, topógrafos, industriales y geógrafos, para el apoyo y ayuda en la creación del SIG-SG.

#### **4.4 ELABORACIÓN DEL SIG-SG UTILIZANDO EL SOFTWARE ARC/INFO**

La elaboración del SIG-SG se hizo con el *software Arc/Info*; con la ayuda de este poderoso *software* a través de sus comandos y de su lenguaje de programación *AML*, se pudo realizar este sistema, que en comparación con otros paquetes que sirven para hacer sistemas de información geográfica, éste es el más robusto y el que tiene mas comandos y funciones, evitando la creación de alguno en especial en caso de que las funciones que se necesiten no se encuentren; para usar este *software*, se debe tener un buen conocimiento del mismo para poder realizar un SIG correctamente.

##### **4.4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

La recolección de la información para la creación de este SIG-SG fue uno de los pasos importantes, además de que se necesitó de mucho tiempo, la obtención de toda la cartografía urbana se hizo a través del disco del INEGI 90, los sondeos (exploraciones del subsuelo) y su estratigrafía se obtuvieron a través de varias empresas dedicadas a la construcción y a la investigación, así como del Instituto de Ingeniería.

##### **4.4.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

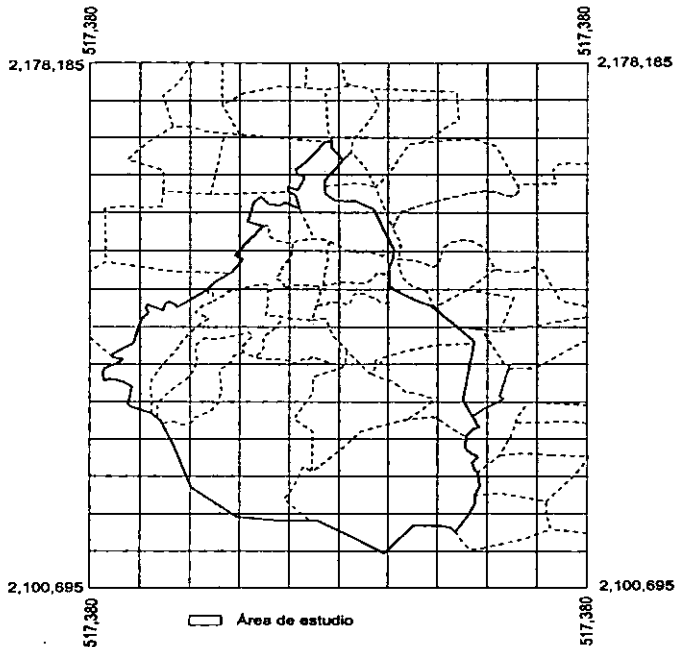
Una vez que se obtuvo la información necesaria se debe pasar a procesarla, ya que al momento de obtenerla se encuentra en estado "crudo", como comúnmente se le llama por estar almacenada en un formato que no se puede trabajar dentro del *software* elegido; además de que para este proyecto, había información con datos que no interesaban (dada la aplicación que se iba a realizar) o también se tenía que interpretar para poder entenderla mejor y vaciarla al sistema.

#### 4.4.2.1 Estructura de los datos en el SIG-SG

Es importante antes de comenzar a procesar la información ver el tipo de estructura que tendrán nuestros datos, ya que como se ha visto, un SIG puede contener únicamente datos de tipo *raster*, de tipo *vector* o de ambos, pero esto depende del tipo de aplicación que tendrá el SIG o del cómo se analizarán los datos, ya que si se llevaran a cabo análisis muy complejos con imágenes, es preferible que el SIG sea de tipo *raster* (ver cap. 3), pero como nuestro SIG será para consultas, el manejo de la información será en formato *vector*, ya que no se llevan a cabo análisis muy complejos o que requieran de mucho tiempo, además de que la visualización de la cartografía urbana se ve perfectamente bien en el formato *vector*.

#### 4.4.2.2 Procesamiento de la cartografía urbana

Para el procesamiento de la cartografía urbana se vio cuál es la zona que se estudiaría para así poner los límites correspondientes y escoger la cartografía a ocupar (ver fig. 4.3).



### ÍNDICE DE CARTAS

Figura 4.3 Límites del área de estudio

Una vez que se hizo el estudio, se comienza a unir las calles por el número de carta que se quiere obtener de acuerdo al sistema *UTM* (este se verá más adelante) utilizando *Autocad*; para después exportar en archivos con formato *dxf* (*data exchange files*) hacia la estación de trabajo, al

llegar a este paso, se ve qué tipo de capas se tienen en los archivo *dxg* con el comando *dxginfo*, se cambia este formato a coberturas, que son los directorios de trabajo en el que se manipula la información dentro de *Arc/Info*, una vez seleccionados los datos necesarios, que en nuestro caso fueron las capas de traza urbana (descripción gráfica en un mapa de la división de calles y manzanas), la malla de la traza, las vías de ferrocarril, los ríos, los lagos, las presas y los textos de las calles, se comienzan a procesar las capas de una en una con un comando llamado *dxgarc*, el cual separa cada capa del archivo que se encuentra en formato *dxg* a una cobertura (es el archivo de trabajo individual dentro de *ARC/INFO*); así se hizo en las 91 cartas necesarias para el estudio.

Una vez que se cambiaron de formato se les crea una topología específica, por ejemplo, para la traza urbana una topología de líneas, para los textos una topología de anotaciones y así para cada cobertura dependiendo el tipo de característica que tenga; para crear cada topología, se usó el comando *build* seguido de la característica geográfica. Cuando ya se le creó la topología específica, ahora se debe limpiar la carta urbana de lo que le sobre (ver fig. 4.4).



*Figura 4.4 Ejemplo de recorte de orilla de una carta urbana*

Una vez creada la topología y el recorte de la traza urbana, están las cartas listas para la visualización dentro del *SIG-SG*.

#### 4.4.2.2.1 Sistema escogido para la cartografía UTM

Hoy en día se sabe que la forma de la Tierra es esferoide, pero para hacer los cálculos matemáticos más fáciles se trata como una esfera; de cualquier forma como se trate la Tierra ya sea esfera o esferoide se deben transformar sus localizaciones en una superficie de tres dimensiones para poder crear un mapa, estas transformaciones se hacen a través de conversiones matemáticas, esto se conoce comúnmente como proyección de un mapa.

Se debe tener cuidado al momento de escoger el tipo de proyección con el que se trabajará, en nuestro caso se escogió *UTM (Universal Tranverse Mercator)* porque es más fácil trabajar con coordenadas en  $x, y, z$  que con latitudes o coordenadas geográficas.

Para este sistema Universal el globo terrestre esta dividido en 16 zonas, cada una tiene 6 grados de longitud y cada zona tiene su propio meridiano central.

Los limites para cada zona son de 84° norte y 80° sur, las regiones más allá de estos valores límites son acomodadas por la proyección *Universal Polar Stereographic (POLAR o UPS)*. Las coordenadas son dadas en metros, el origen de cada zona es el Ecuador y su meridiano Central. "Para eliminar coordenadas negativas, la proyección altera los de las coordenadas en el origen"<sup>4</sup> (ver fig. 4.5).

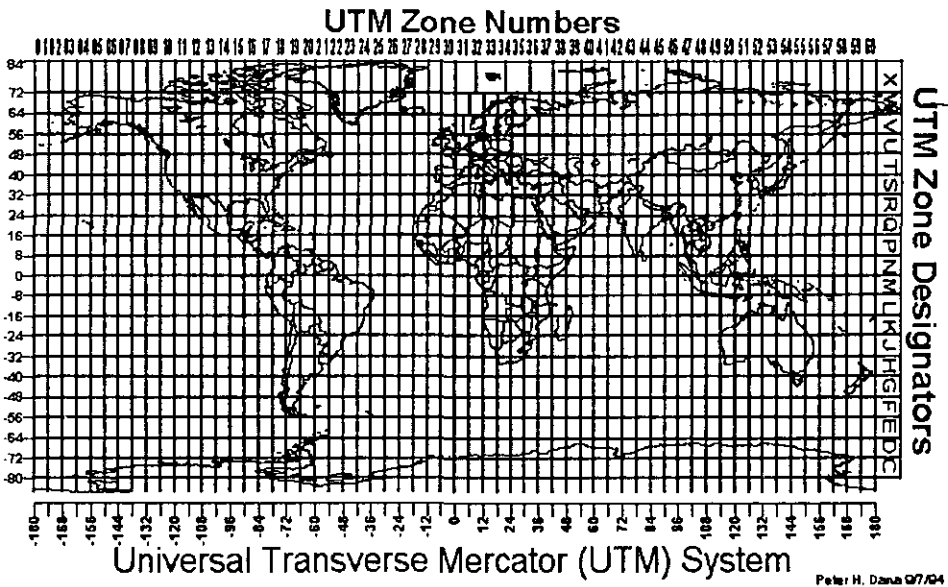


Figura 4.5 Proyección UTM

<sup>4</sup> Cell-based Modeling With GRID: analysis, display and management



#### 4.2.3 Procesamiento de los datos

Para el procesamiento de los datos los dividiremos en dos partes, una que es el procesamiento de las exploraciones del subsuelo (sondeos) y la otra que es la unión entre el sondeo físico (dentro del SIG) y sus datos (provenientes de la base de datos).

Los sondeos se revisan y se comienza por encontrar su localización (coordenadas  $x, y, z$ ) por obtener la profundidad de la exploración (en metros), el tipo de sondeo al que corresponde (el tipo depende de cómo se hizo la exploración), el porcentaje de agua encontrada, quién hizo el sondeo, cuándo lo hizo, la ubicación donde se llevó a cabo este sondeo y las observaciones necesarias.

Todos estos datos se guardaron en una base de datos que se hizo en el programa *Microsoft Excel* ya que en este programa se facilita la creación de los registros por parte de los encargados de crear la base de datos, en este caso, personal del área de Ingeniería Civil; finalmente se escanearon los estudios estratigráficos para que éstos también se pudieran visualizar en el caso que se contaran con ellos, todo esto se hizo para cada uno de los sondeos con los que se contaban, o sea más de 1200 sondeos hasta este momento, ya que el número crece conforme se siguen haciendo investigaciones y recopilación de los ya existentes. Después se creó una base de datos dentro del SIG-SG en un módulo interno del *software Arc/Info*, llamado *tables*, el cual se encarga de manipular los datos que se encuentren en las tablas; en nuestro caso no fue muy complicado porque la base de datos no es muy compleja, por lo que no fue necesario usar algún manejador de bases de datos externo, se exportó la base de datos con formato en *dbf* hacia la estación de trabajo para comenzar a hacer las manipulaciones correspondientes.

Para la creación de los sondeos que se ligarían físicamente con las cartas urbanas y la información vaciada en la base de datos, primero se tuvo que poner en un archivo de formato plano la información correspondiente a la clave general de cada sondeo y sus coordenadas de localización; posteriormente se creó una cobertura con características geográficas de puntos ubicados geográficamente (indica que los datos que contendrá este archivo serán puntos con sus respectivas localizaciones), una vez creada esta cobertura, se crea una liga entre el campo clave general de la base de datos y la clave del sondeo dentro de la tabla de atributos de la cobertura de puntos que se creó y se pueden visualizar estos sondeos dentro de las cartas urbanas.

#### 4.4.2.4 Escaneo de dibujos de sondeos

Aquí solamente se escanearon los estudios estratigráficos de los sondeos que los tenían, para poder visualizar mejor las exploraciones que se hicieron del subsuelo, aunque en casi todos los casos eran más de 4 gráficas en el estudio. (ver fig. 4.6)

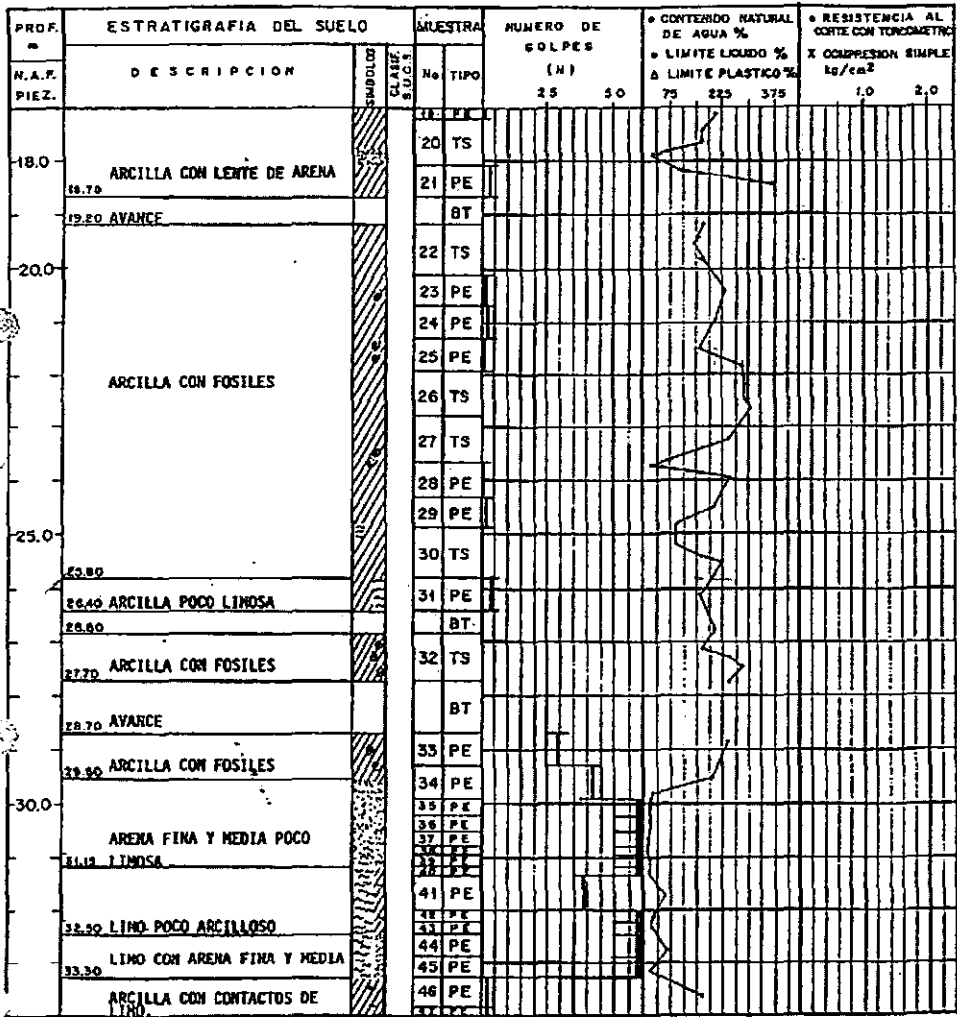
# S O N D E O      S M 8 - 3 6

LOCALIZACION : AV. REFORMA Y MÖCTEZUMA

Fecha de perforación: 17 de MAYO de 1991

T.S. Tubo Shelby                      F.R. Formación rocosa  
 B.D. Barril Dantean                A.I. Acero inoxidable  
 P.E. Penetración Estándar.

Banco de nivel: \_\_\_\_\_  
 Elevación del brocal del sondeo: \_\_\_\_\_  
 Peso del martillo 64 kg  
 Altura de caída 75 cm



- RELLEJO
- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA
- FOSILES
- $F =$  PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA POR LA MALLA No. 200
- MAS DE 60 GOLPES

COVITUR

---

METRO LINEA No. 8

---

PERFIL ESTRATIGRAFICO

---

ICATEC, S. A. de C. V.

Figura 4.6 Dibujo escaneado de un sondeo

### 4.3 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS DEL SIG-SG

Para llevar a cabo la creación de la base de datos, se visualizó primero cuál era el tipo de formación que se manejaba, ver cuáles eran los tipos de valores permitidos y revisar cuáles eran las relaciones entre los datos. En la fig. 4.2 se ve cómo se tenían en un principio los datos dentro de la base de datos *CATSON*.

Para pasar la base de datos a un modelo entidad-relación (E-R), nos basamos en el concepto que tiene de este modelo que “se basa en una percepción de un mundo real que consiste en una colección de objetos básicos llamados entidades y relaciones entre estos objetos. Una entidad es un objeto que es distinguible de otros objetos por medio de un conjunto específico de atributos”<sup>5</sup> y formalmente un atributo es una función que asigna un conjunto de entidades a un dominio”<sup>6</sup>, “la relación es una asociación entre varias entidades”<sup>7</sup>.

Se vaciaron los datos en una tabla y se llevó a cabo la normalización de la tabla hasta la tercera normalización, se encontraron las relaciones entre las tablas y se visualizaron entidades con sus respectivos atributos (ver fig. 4.7).

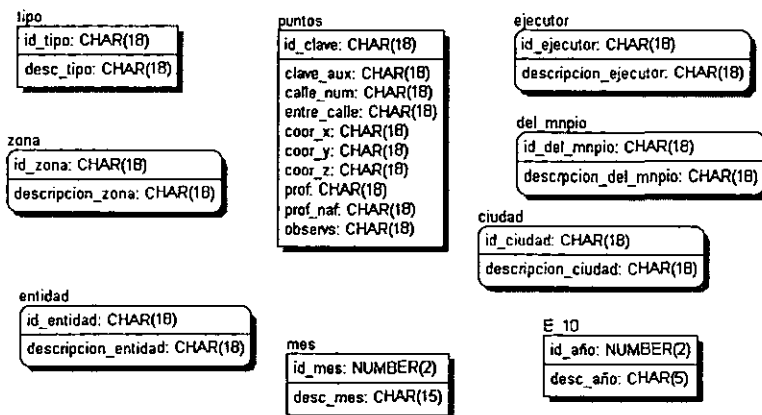


Figura 4.7 Entidades con sus atributos de la base de datos

Una entidad encontrada es sondeo con los siguientes atributos:

- clave general del sondeo,
- clave secundaria del sondeo,
- mes,
- año,

Henry F. Korth, Abraham Silberschatz *Fundamentos de Bases de Datos* pág. 7

Loc. cit

Ibid p. 27

- empresa o quién ejecutó el sondeo,
- coordenadas del sondeo (x, y, z),
- tipo de sondeo,
- profundidad del sondeo,
- nivel de agua encontrado,
- localización del sondeo (dirección),
- entre qué calles se encuentra y
- observaciones pertinentes acerca del sondeo.

También se revisó la cardinalidad para asignar qué entidad se asocia con cuál y mediante qué tipo de relación; para el manejo de la cardinalidad se tienen las siguientes asignaciones:

- una a una,
- una a muchas,
- muchas a una y
- muchas a muchas.

La cardinalidad adecuada para asignar un conjunto de relaciones determinado se basó en nuestro modelo de acuerdo a la obtención de los datos, de las asignaciones mostradas anteriormente se usaron las de “muchas a una” y “una a una”(ver fig. 4.8).

La base de datos del *SIG-SG* requiere de llaves para el manejo de los atributos a través de las tablas; para la obtención de las llaves es necesario ver cómo se puede identificar a través de un atributo una entidad en un conjunto de entidades, además de que se pueda acceder a todos los datos de esa tabla por esa llave única; también se vio la relación entre una entidad y otra a través de una llave que se llama llave foránea, ya que a través de ella podremos tener acceso a todos los datos de una entidad (ver fig. 4.8).

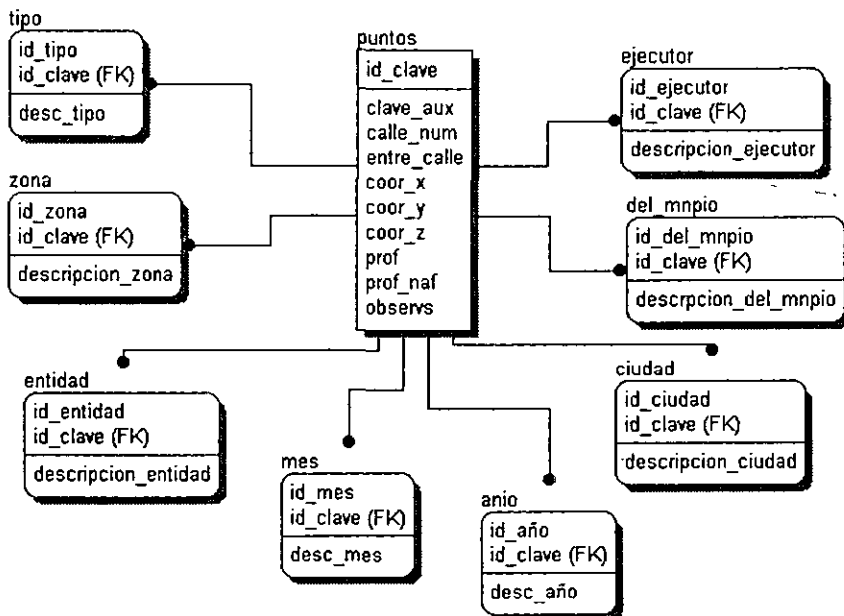


Figura 4.8 Base de Datos Propuesto para SIG-SG con sus respectivas llaves

Como podemos ver, se tienen varias tablas para consulta (catálogos), ya que son tablas que no cambiarán sus campos, éstos serán siempre los mismos, por ejemplo: mes (solo hay doce meses), tipo de sondeo (sólo se tienen cinco tipos diferentes), etc.; en cambio otros sí van a cambiar, como por ejemplo ejecutor (se pueden incrementar las empresas que donen o faciliten sondeos), la tabla de sondeos también cambia.

Se creó una base de datos a través del módulo de tablas dentro de *ARC*, se declaró el nombre de la tabla y sus respectivos campos con sus características (tipo, longitud); así se hizo para todas las tablas, al final se crearon las relaciones entre la tabla que contiene la información de los sondeos y la capa que contiene la ubicación geográfica a través de un comando llamado *relate* en el que se le dan los siguientes parámetros: el nombre de la relación, el nombre de la tabla a la que se hará la relación, el nombre del renglón de la otra tabla y los permisos de acceso de la relación (lectura, escritura).

Después se exportan los datos a la tabla (base de datos) y se crea un índice finalmente. Al terminar, el sistema ya es capaz de traer los datos que se le pidan para su consulta, además de que ahorrará tiempo en el vaciado de la información por parte de los especialistas en el área de Ingeniería Civil.

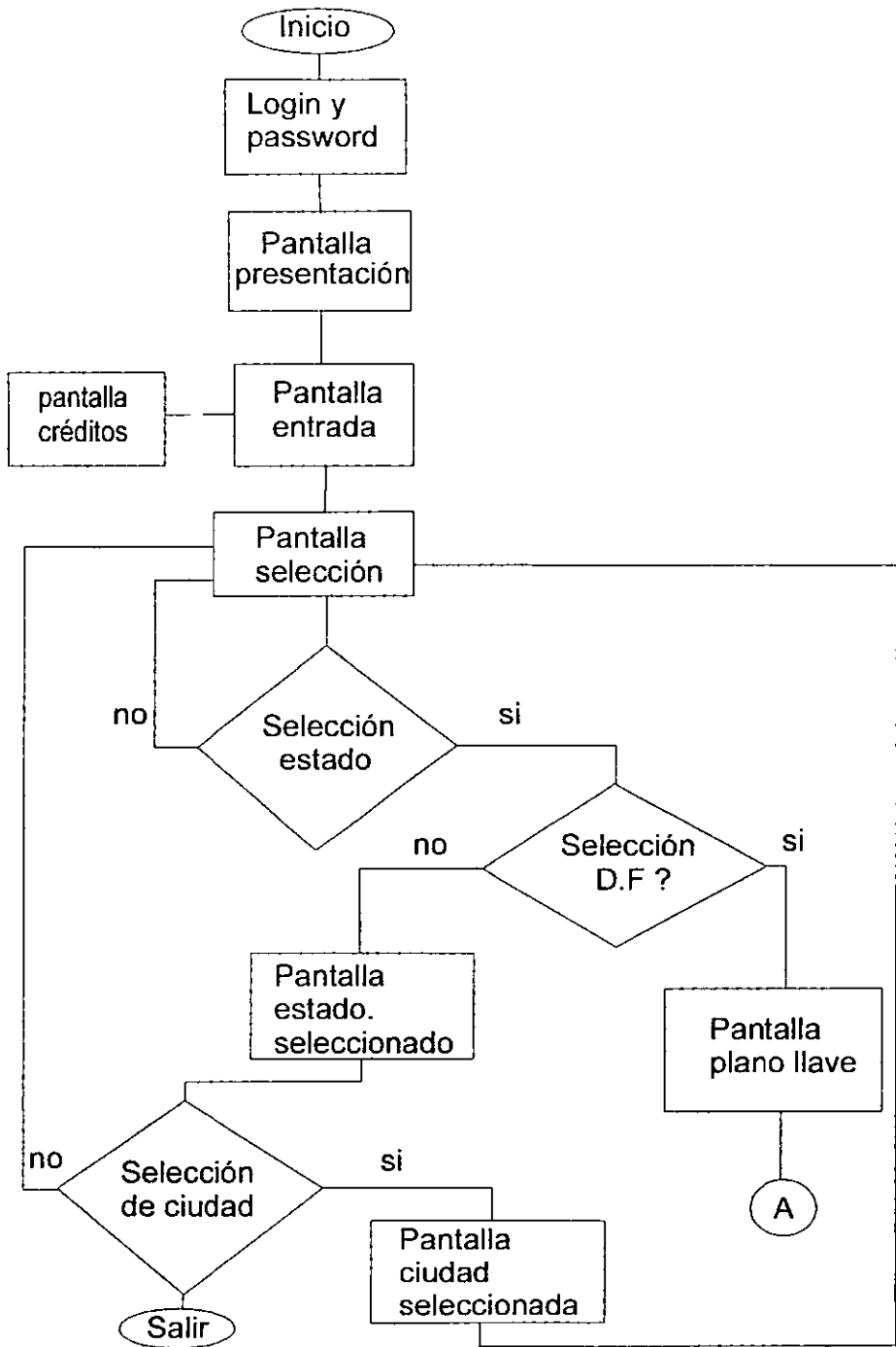
#### 4.4.4 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA

Para el manejo del sistema por parte del usuario final y para darle el mantenimiento necesario, se crearon rutinas con ayuda de los comandos con los que se cuenta en *ARC/INFO* en los módulos con los que se trabajaron, esto se hizo (como ya se ha dicho en el capítulo anterior) a través del lenguaje *AML*, propio del *software* utilizado.

Se visualizaron las necesidades de los usuarios finales así como el manejo rápido y eficiente para la consulta de la información, de tal forma que cualquier usuario sin experiencia previa en este tipo de sistemas pueda tener acceso fácil.

La programación es sencilla y se hizo a través de rutinas que se llaman unas a otras dependiendo la función a realizar, fue con programación estructurada no de objetos, aunque se podría enfocar la programación de esta manera, pero el lenguaje no está hecho para programación orientada a objetos; un punto importante era conocer muy bien la mayoría de los comandos con los que cuenta el sistema en cada uno de los módulos que maneja éste, así como sus diversas opciones, ya que de esta manera era más fácil programar una rutina.

A continuación se presenta un diagrama de flujo del sistema (ver fig.4.9):



continua...

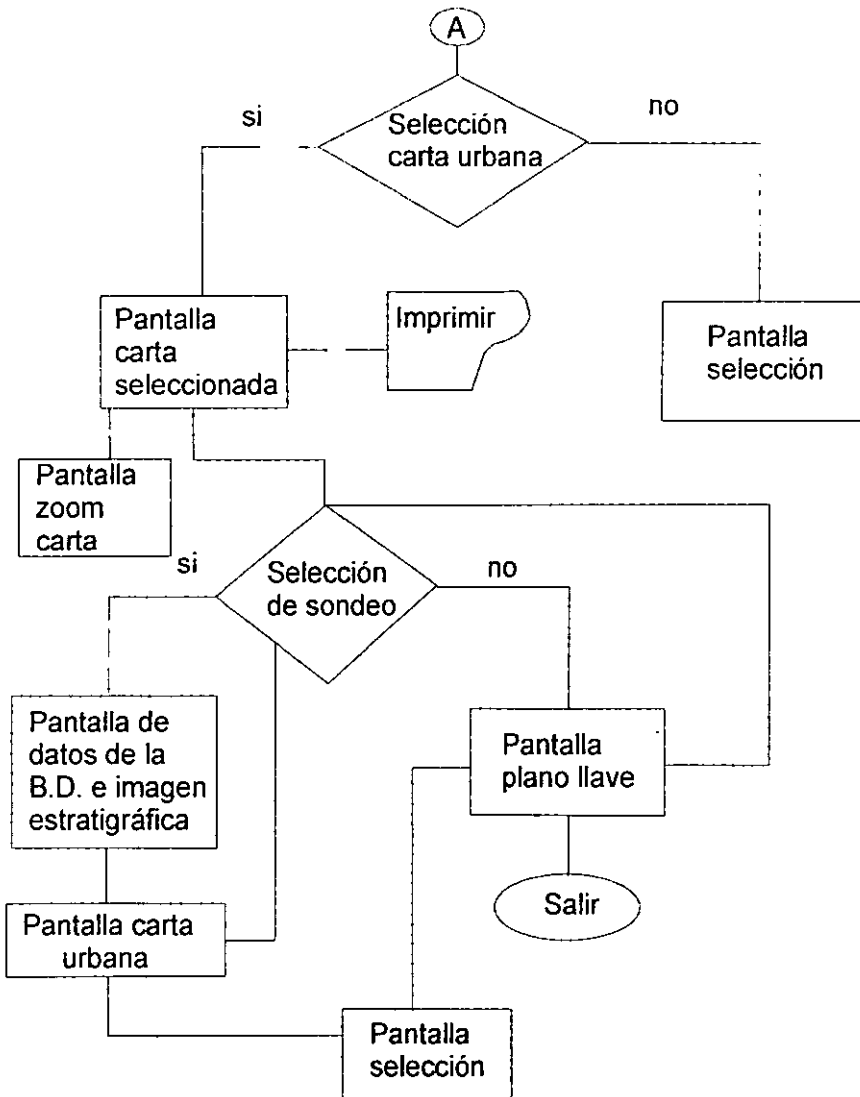


Figura 4.9 Diagrama de flujo del sistema

Las rutinas de programación que se hicieron fueron en AML, los archivos se dividen en dos grupos: archivos con extensión AML y los archivos con extensión menú; los primeros contienen las líneas de programación como por ejemplo: *for*, *if*, comandos de *ARC/INFO*, palabras reservadas de *ARC/INFO* y los archivos menú contienen las líneas que se encargan de la creación de las pantallas que contienen los botones (*choices*), etc. Ambos tipos de archivos se llaman entre sí ya sea a través de una rutina o un botón que al escogerlo lleve a otra rutina o muestre los datos de un sondeo, un archivo (ya sea AML) o un menú nos ayudan a automatizar el sistema (ver fig. 4.10).

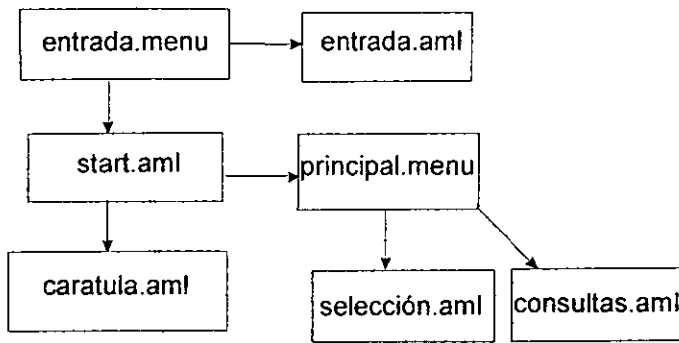


Figura 4.10 Diagrama de cómo se relaciona un archivo menú con un archivo AML

#### 4.5 PRESENTACIÓN DEL SIG-SG

El sistema en esta primer etapa se enfocó a la funcionalidad de consulta de sondeos ubicados en la Ciudad de México y algunos municipios del área conurbana, en este apartado se mostrará la secuencia de pantallas al momento de realizar una consulta al seleccionar un sondeo y despliegue de datos del mismo.

A continuación se presentará la secuencia de pantallas comenzando desde el ingreso al sistema:

En la primer pantalla se muestra una ventana para introducir *login* y *password* válidos para poder ingresar al sistema; esta ventana se despliega al momento de ejecutar el comando *sig* desde una ventana de sesión encargado de inicializar la aplicación (ver fig.4.11).

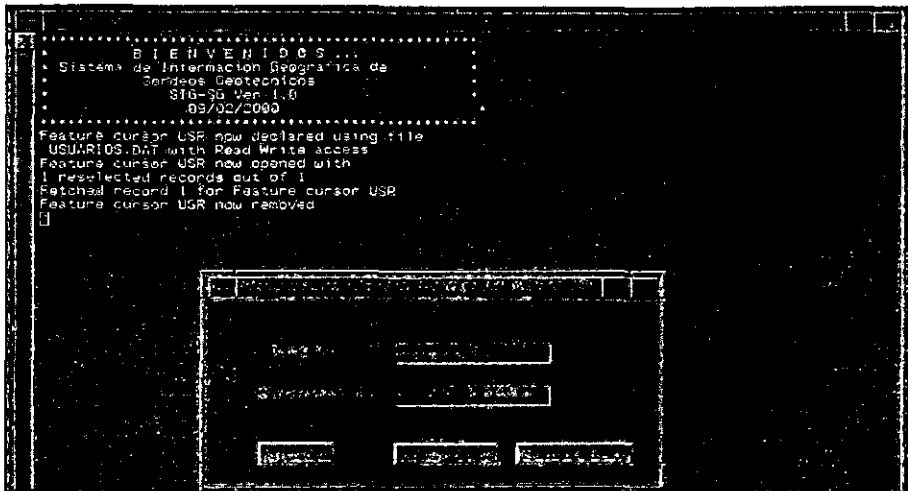
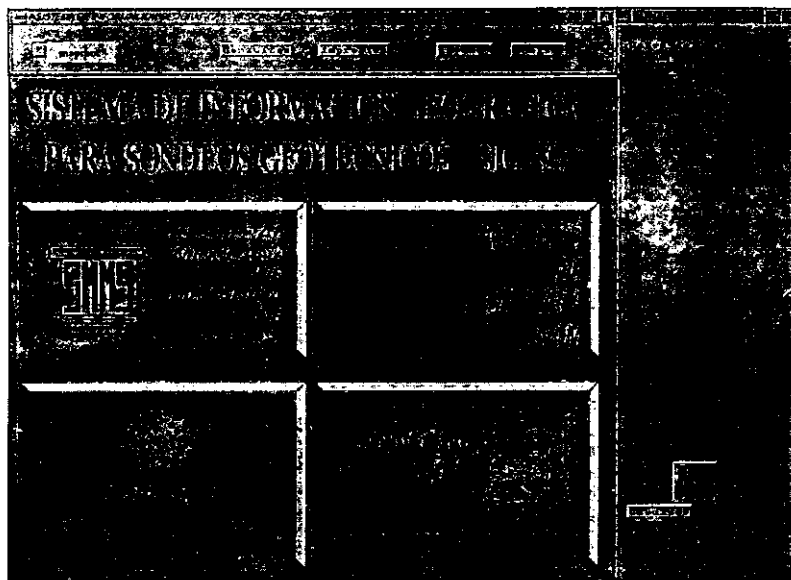


Figura 4.11 pantalla de ingreso de datos para entrar al sistema

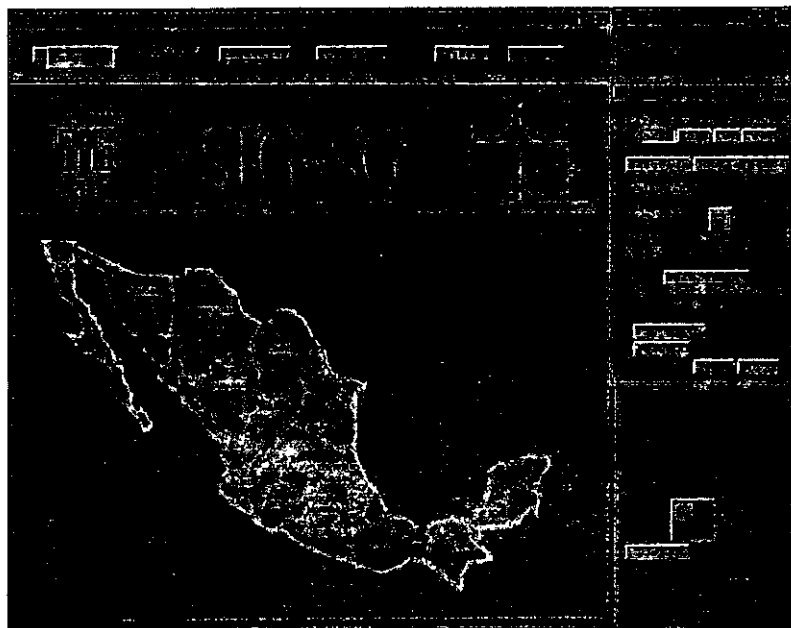
En esta pantalla de la fig. 4.12 ya se puede ver que muestra el nombre del sistema como se le conoce, el menú de entrada así como los patrocinadores de este proyecto.





*Figura 4.12 Pantalla principal del sistema*

En la pantalla de la fig. 4.13 se muestra el mapa de la república mexicana así como otro panel, con nombre *selección de información* con diversas opciones que es llamado al momento de escoger la opción de selección del menú principal.

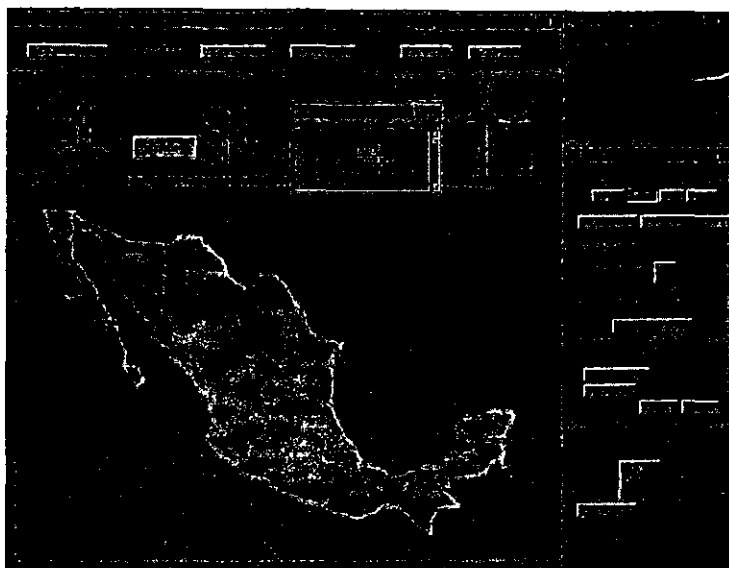


*Figura 4.13 Pantalla que muestra el mapa de la República Mexicana*

Dentro del panel “selección de información” se escoge la opción de Estado a visualizar el cual se puede escoger de dos maneras: una a través del ícono que dice *screen* el cual implica seleccionar con el puntero del *mouse* el estado deseado o, escogiendo el botón de búsqueda el cual desplegará un submenú que lista los nombres de todos y cada uno de los estados de la República Mexicana incluyendo el Distrito Federal (ver figs. 4.14 y 4.15).

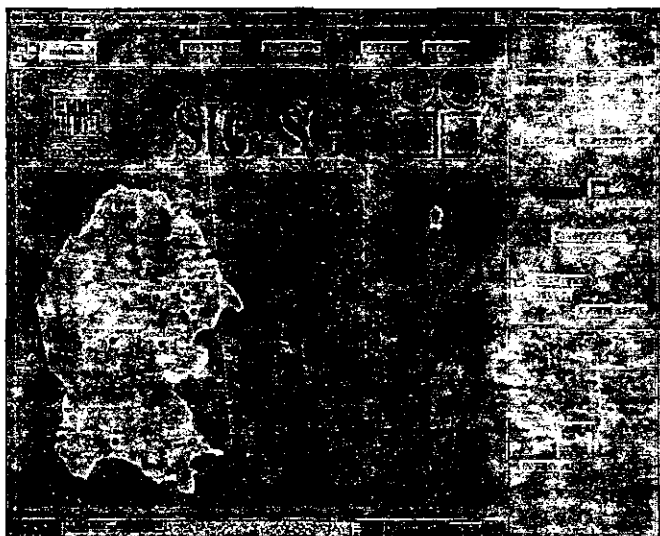


*Figura 4.14 Pantalla de selección de Estado a través del mouse*



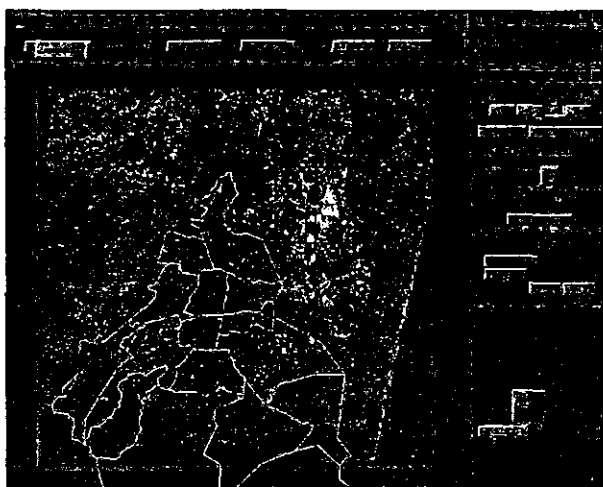
*Figura 4.15 Pantalla de selección de Estado a través del listado de los estados*

En caso de seleccionar un estado diferente al Distrito Federal, el sistema desplegará este estado con sus ciudades principales, si se escogiera una de estas ciudades se muestra un mensaje indicando que por el momento aún no se tienen datos de esa ciudad (ver figura 4.16).



*Figura 4.16 Pantalla de selección de cualquier estado mostrando sus ciudades*

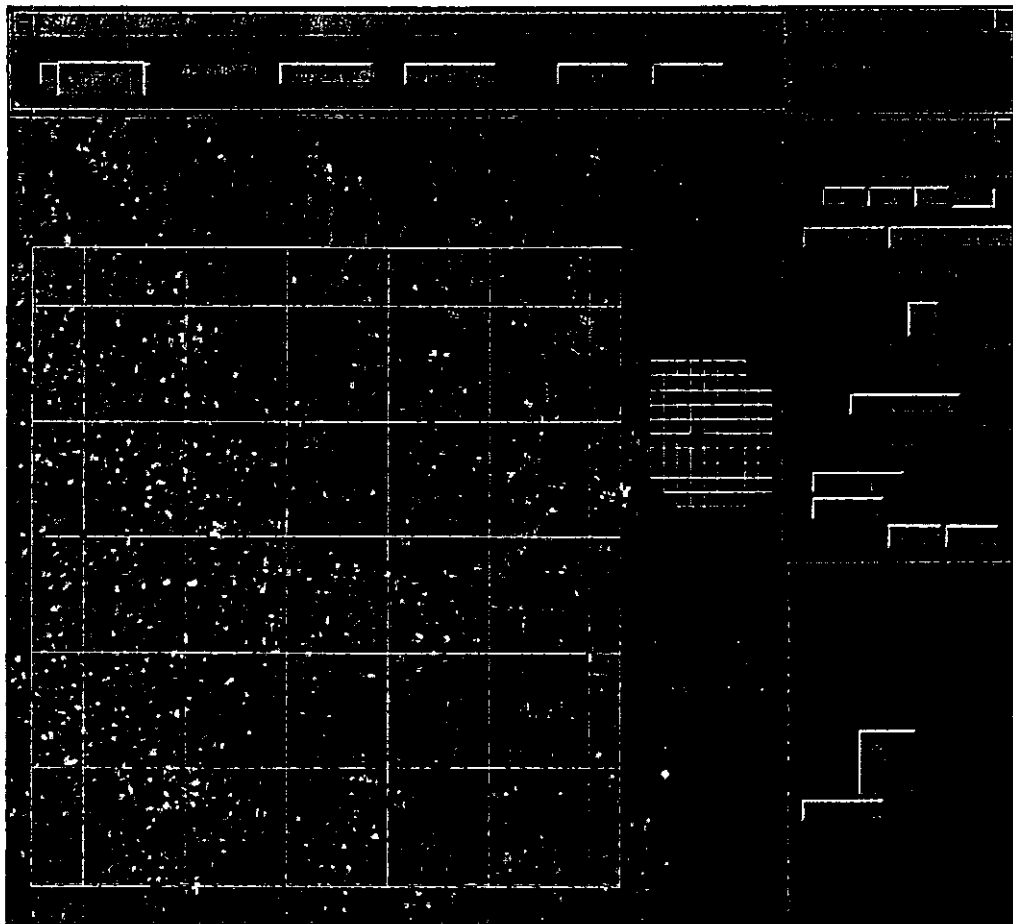
Al momento de seleccionar al Distrito Federal, se muestra la pantalla con una imagen de satélite del Distrito Federal y parte del Estado de México, un plano llave, el cual está formado por las diferentes cartas de estudio de sondeos, así como un polígono que limita el contorno de las diversas Delegaciones Políticas (ver fig. 4.17)



*Figura 4.17 Pantalla que muestra el área de estudio*

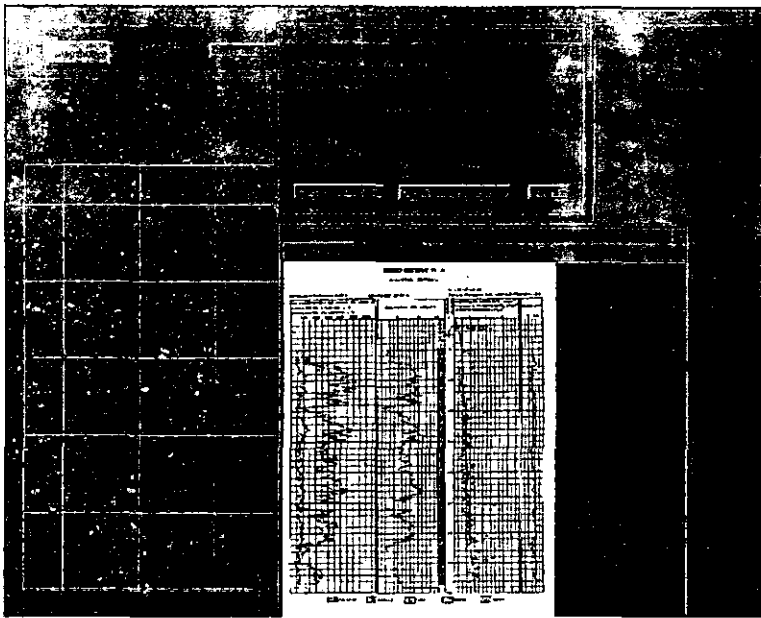
Una vez que se ha seleccionado una carta urbana del plano llave, ésta se desplegará delimitada por una malla que contiene la traza urbana, nombres de calles, sondeos resaltados con un pequeño símbolo en forma de rombo en diversos colores dependiendo del tipo de sondeo al cual corresponda, nombre de la carta, así como el plano llave y la ubicación de la carta seleccionada.

En la parte posterior derecha se muestran los colores de los tipos de sondeo y a cuál corresponde cada uno de ellos (ver fig. 4.18).



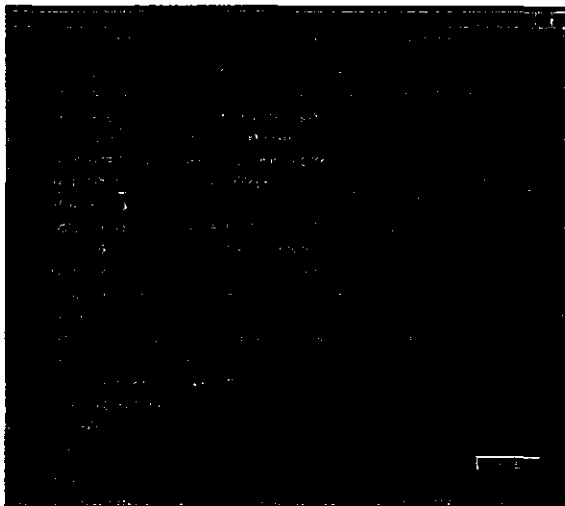
*Figura 4.18 Pantalla que muestra una carta urbana y sus sondeos*

Al momento de escoger del panel “selección de información”, la opción “identificar” habilitará el cursor del mouse para escoger el sondeo deseado y que éste despliegue un recuadro con la información que contiene la base de datos correspondiente al sondeo y en caso de tener imagen (correspondiente al estudio estratigráfico) del sondeo también será desplegada (ver fig. 4.19).



*Figura 4.19 Pantalla que muestra la información del sondeo seleccionado*

Finalmente se puede ver la pantalla de las empresas como agradecimiento a las aportaciones de los sondeos para la creación de la base de datos del sistema SIG-SG (ver fig. 4.20).



*Figura 4.20 Pantalla con nombres de empresas que han aportado sondeos al SIG-SG*

Con las pantallas de las figuras anteriores se pretende mostrar de manera rápida y sencilla cómo se visualiza el sistema para el despliegue de información de los sondeos, de tal forma que se pueda tener una idea del alcance que se tuvo en la creación del sistema.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto fue lento debido a que existe poca gente que conozca acerca de un Sistema de Información Geográfica, además de que existía poca información de este tipo de sistemas, pero al mismo tiempo del desarrollo de éste, se aprendió y comprendió cómo funcionan; también se pudo visualizar el gran potencial que dichos sistemas representan y todo lo que se puede obtener de ellos en otras áreas de estudio.

El sistema que se desarrolló en este trabajo, comprende la primer etapa del proyecto, ya que éste crecerá en una segunda etapa implementando más funciones al sistema complementado con modelos de elevación del terreno para hacer análisis hidrológicos (se creó un modelo de elevación del terreno [MET] de la cuenca de México, el cual comprendía un análisis hidrológico no incluido en este trabajo) y de suelos; también se implementará una parte para dar de alta, de baja y modificar los registros de la Base de Datos de los sondeos (automatizar), ya que actualmente se hace forma manual; se quiere llegar a tener un sistema totalmente de análisis y no únicamente de consultas como lo presentamos aquí.

Este sistema puede crecer hacia otras especialidades no nada mas en el área de mecánica de suelos, también en áreas como la geología y zonificación. Otro objetivo es recavar más sondeos y analizarlos para que la Base de Datos crezca y sea lo más completa posible, esto contribuye al mismo tiempo a que la información (sondeos) no se encuentre tan dispersa.

Esta etapa únicamente contempló el D.F. y zonas conurbanas, pero la meta principal es que crezca a todas y cada una de las ciudades del país para que llegue a ser un Sistema de Información Geográfico Nacional.

Finalmente con el desarrollo del mismo se espera poder consultar la información más rápido y eficiente para que los encargados en el área de la construcción puedan determinar con más exactitud la construcción a realizar en determinado tipo de suelo y así, evitar en la medida de lo posible desgracias humanas ante fenómenos naturales. El objetivo principal en proyectos como este es llegar a obtener resultados que ayuden a obtener soluciones para el bien de la población.

Programa AML

Programa fuente de un archivo aml

```
&args ac
```

```
searchtolerance 10
```

```
clearsel
```

```
&call %ac%
```

```
&return
```

```
&routine IDENTIFY
```

```
&select %s$inform%
```

```
&when Cuadrante
```

```
&do
```

```
relate restore $SIG98/data/env.rel
```

```
searchtolerance 50
```

```
reselect /externo/usuarios/sig-sg/basedatos/datos/sondeos point one *
```

```
&if [null [show select /externo/usuarios/sig-sg/basedatos/datos/sondeos points 1 item clave]]
```

```
&then
```

```
&do
```

```
&r msinform init 'No se selecciono sondeo'
```

```
&return
```

```
&end
```

```
&if [null [show cursors]] &then
```

```
cursor curgral declare /externo/usuarios/sig-sg/basedatos/datos/sondeos point rw
```

```
cursor curgral open
```

```
cursor curgral first
```

```
cursor curgral relate gral first
```

```
/*menu general
```

```
&sv clave [calc %:curgral.gral//clave% * 1]
```

```
&sv lista [listfile /externo/usuarios/sig-sg/imagen/clave%clave%* -file]
```

```

/*lv %clave%
    &do son &list %lista%
&if [exist /externo/usuarios/sig-sg/imagen/%son% -file] &then
    &do
        &sv son1 [before %son% .]
        imageview create %son1% size canvas 670 590 position ll
        imageview /externo/usuarios/sig-sg/imagen/%son% # # %son1%
    &end
&end
&menu datos_gral &stripe 'Consulta de SONDEOS' &position &ul &screen &ul
/*&menu completo &stripe 'Consulta de SONDEOS' &position &ul &screen &ul
&if [variable lista] &then
    &do
        &do son &list %lista%
        &sv son1 [before %son% .]
        imageview destroy %son1%
    &end
    &dv lista
&end
cursor curgral close
&r panzoom %.s$inform%
clearsel /externo/usuarios/sig-sg/basedatos/datos/sondeos point
&end
when Ciudad
&do
    &fullscreen &popup
    searchtolerance .05
    identify $$SIG98/data/cd points *
    &fullscreen &on
&end
when Estados
&do
    &fullscreen &popup

```



```
searchtolerance .05
identify $SIG98/data/mex polys *
&fullscreen &on
&end
&return

routine SELECT
&s acc [response 'Escriba la expresion: ']
reselect lib/%.carta%/sondeos point %acc%
&if [show select lib/%.carta%/sondeos point] > 0 &then
&do
markersymbol 233
markercolor red
points lib/%.cartas%/sondeos
&end
&return
```

**Programa menu**

Programa fuente de un archivo menu

datos\_gral.menu

%button1 BUTTON KEEP 'Localizacion' &menu localizacion.menu

%button2 BUTTON KEEP 'Caracteristicas' &menu caracteristicas.menu

Estado:%display5\_1

Ciudad: %display6

Carta:%display7

Datos Generales

Numero de sondeo:%display1

Mes: %display5

A&o: %display3

Ejecutor: %display4

%button1    %button2    %button3

%display5\_1 DISPLAY .edo 20 VALUE

%display6 DISPLAY .cd 20 VALUE

%display7 DISPLAY .carta 8 VALUE

%display1 DISPLAY :curgral.gral//clave 19 VALUE

%display5 DISPLAY :curgral.gral//mes 14 VALUE

%display3 DISPLAY :curgral.gral//anio 8 VALUE

%display4 DISPLAY :curgral.gral//ejecutor 18 VALUE

%button1 BUTTON KEEP 'Localizacion' ~

&thread &create LOCALIZACION &menu localizacion &pos &ul &size 513 315

%button2 BUTTON KEEP 'Caracteristicas' ~

&thread &create "CARACTERISTICAS" &menu caracteristicas &pos &ul &size 513 ~

315

%button3 BUTTON KEEP 'Salir' &return

## ANEXO C

Listado de la base de datos desde el módulo de tablas en Arc/Info :

CLAVE	= 5
CLAVE_AUX	= 5
MES	= NR
ANIO	= NR
TIPO	= 00
EJECUTOR	= V REUNION NACIONAL DE MECANICA DE SUELOS,1970
CALLE_NUM	= Paris # 27
ENTRE_CALLE	= Paseo de la Reforma y Madrid
COLONIA	= Buena Vista
DEL_MNPIO	= 06
CIUDAD	= Mexico
ENTIDAD	= DF
COOR_X	= 483500.000
COOR_Y	= 2148580.000
COOR_Z	= 0.000
PROF	= 41.000
OBSERVS	=
PROF_NAF	= 2.30
ZONA	= 0

6

CLAVE	= 6
CLAVE_AUX	= 6
MES	= NR
ANIO	= 1961
TIPO	= 00
EJECUTOR	= V REUNION NACIONAL DE MECANICA DE SUELOS,1970

CALLE_NUM	=	Reforma # 243
ENTRE_CALLE	=	Rhin y Amazonas
COLONIA	=	San Rafael
DEL_MNPIO	=	06
CIUDAD	=	Mexico
ENTIDAD	=	DF
COOR_X	=	482850.000
COOR_Y	=	2148170.000
COOR_Z	=	0.000
PROF	=	37.200
OBSERVS	=	
PROF_NAF	=	1.70
ZONA	=	0

## BIBLIOGRAFÍA

### ARC/INFO: concepts, data models, database design, and storage

USA: ESRI, 1994

### ARONOFF, Stanley

GIS. A management Perspective

WDL Publications: Canadá, 1989

294 pp.

### BRIBIESCA, Ernesto

La topografía del Valle de México Representada en forma digital

México: IIMAS, UNAM, 1993

31 pp.

### Cell-based Modeling with GRID: analysis, display, and management

USA: ESRI, 1991

### Data Modeling and Relational Database Design

Student Guide, ORACLE, 1996

Edition 1.0

### Geographical Information Systems . Volume 1

Longman Scientific & Technical: Gran Bretaña, 1992

### Geographical Information Systems . Volume 2

Longman Scientific & Technical: Gran Bretaña, 1992

649 pp.

### GUTIÉRREZ, Puebla Javier

SIG: Sistemas de Información Geográfica

Edit. Síntesis: España, 1994

251 pp.

### KORTH, F. Henry

Fundamentos de bases de datos

México: McGraw-Hill, 1991

739 pp.

**Map Display & query**

USA: ESRI

**STAR, Jeffrey STAR John**

Geographical Information Systems. An Introduction

Prentice-Hall: USA, 1990

303 pp.

**Understanding GIS. The ARC/INFO Method**

ESRI: USA, 1997

**WATKINS Christopher, SADUN Alberto, MARENKA Stephen**

Modern Image Processing: warping, morphing, and classical techniques

USA: Academic Press Professional

234 pp.

**WORBOYS, F. Michael**

GIS. A Computing Perspective

Taylor & Francis: USA, 1995

**CARTER, James R.**

“Digital Representations of Topographic Surfaces”. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, No. 11, november 1988, pp. 1577-1580

**CROSWELL Peter L.; CLARK Stephen R**

“Trends in Automated Mapping and Geographic Information System Hardware”. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, No. 11, november 1988, pp. 1571-1576

**DOMINGUE, O., JENSON, S.K.**

“Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis”. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, No. 11, november 1988, pp. 1593-1600

**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

Sistema del Banco de Datos CATSON, UNAM

**JOHNSTON, Carol A., DETENBECK, Naomi E., BONDE, John P. y NIEMI Gerald J**

“Geographic Information Systems for Cumulative Impact Assessment”. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, No. 11, november 1988, pp. 1609-1615

**LEDEZMA Arreola Mario, MONTAÑO Espinosa Carlos y URIBE Jesús**

Análisis Hidrológico a partir de datos topográficos vectoriales de la república mexicana

**PARKER, H. Dennison**

“The Unique Qualities of a Geographic Information System: A Commentary”. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, No. 11, november 1988, pp. 1547-1549

**BE Luna, Jesús**

“Modelo Digital de Elevación a partir de curvas de nivel de una carta topográfica y su uso en geología”. Boletín SELPER-MÉXICO, Capítulo México. No. 35, julio 1996, 30-39

**ERY, Lynn, ALTHEIDE, Phillis**

“Knowledge-Based GIS Techniques Applied to Geological Engineering”. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, No. 11, november 1988, pp. 1623-1628