



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DEL MARCO DE DRENAJES DE LA ZONA 10 DE LA CIUDAD DE
GUATEMALA, MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Juan Gabriel Estrada Arévalo

Asesorado por la Inga. Alicia del Carmen Monzón Sevilla

Guatemala, septiembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL MARCO DE DRENAJES DE LA ZONA 10 DE LA CIUDAD DE
GUATEMALA, MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN GABRIEL ESTRADA ARÉVALO

ASESORADO POR LA INGA. ALICIA DEL CARMEN MONZÓN SEVILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Luna Aroche
EXAMINADOR	Ing. Julio Alberto Lam Lan
EXAMINADOR	Ing. Calvin Enrique Estrada Barrera
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DEL MARCO DE DRENAJES DE LA ZONA 10 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2004.



Juan Gabriel Estrada Arévalo

Guatemala, 12 de octubre de 2010

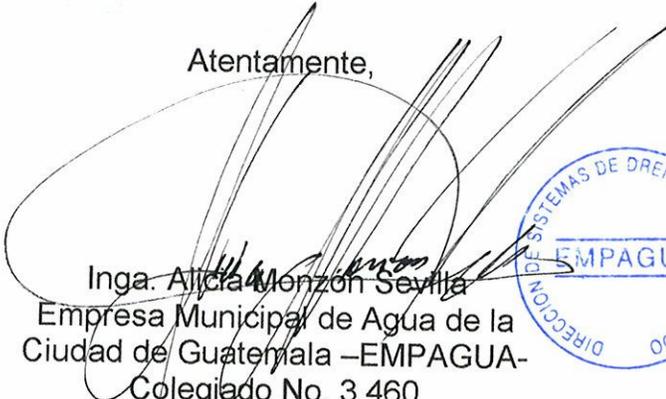
Licenciado
Manuel María Guillén Salazar
Coordinador del Área de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Licenciado Guillén:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que en calidad de asesora, he revisado el trabajo de graduación titulado "ANALISIS DEL MARCO DE DRENAJES DE LA ZONA 10 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA"; elaborado por el estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Civil, Juan Gabriel Estrada Arévalo con carnet No. 92-17970. Considero que el trabajo desarrollado satisface los requisitos exigidos y aporta resultados importantes para la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala –EMPAGUA-, por lo que recomiendo su aprobación.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted,

Atentamente,


Inga. Alicia Monzón Sevilla
Empresa Municipal de Agua de la
Ciudad de Guatemala –EMPAGUA-
Colegiado No. 3,460
Asesora de trabajo de graduación





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
21 de enero de 2011

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS DEL MARCO DE DRENAJES DE LA ZONA 10 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Juan Gabriel Estrada Arévalo, quien contó con la asesoría de la Ingeniera Alicia Monzón Sevilla.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA TODOS


Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento

Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA
Colegiado No. 4758



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE PLANEAMIENTO
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la a Inga. Alicia del Carmen Monzón Sevilla y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Juan Gabriel Estrada Arévalo, titulado ANÁLISIS DEL MARCO DE DRENAJES DE LA ZONA 10 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre de 2011.

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DEL MARCO DE DRENAJES DE LA ZONA 10 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA** presentado por el estudiante universitario **JUAN GABRIEL ESTRADA ARÉVALO**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, septiembre de 2011

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Mi padre celestial, hacedor de maravillas, único que merece toda la gloria, la honra y loor. Por tu infinito amor, muchas gracias.

**Ingeniera Alicia
Monzón Sevilla**

Por su valiosa y desinteresada colaboración en la asesoría y apoyo incondicional para la culminación del presente trabajo de graduación.

**La Municipalidad de
Guatemala**

Especialmente a la Dirección de Obras de EMPAGUA, Dirección de Catastro y Departamento de Cartografía, por brindarme el material e información necesaria para el desarrollo del presente trabajo.

**La Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Especialmente a la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Civil, por brindarme a través de los años de estudiante, los conocimientos para el desarrollo académico y personal.

**Marroquín,
Marroquín &
Asociados, S. C.**

Por su apoyo, que Dios los bendiga.

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Digno de alabanza, a Él sea la gloria.
- Mis padres** Carlos Romeo Estrada Marroquín, María Luz Arévalo Castellanos (q.e.p.d.). Por ser las personas que Dios utilizo para darme vida, por su incansable lucha teniendo como objetivo el sacar adelante a nuestra familia, por el esfuerzo realizado durante toda la vida para así contribuir de gran manera al éxito que hoy se ve reflejado en el presente trabajo de graduación; por el amor y comprensión, aspectos inconmutables que han manifestado durante toda mi vida, por sus consejos y sabiduría los cuales han sido parte importante de la guía en el camino de mi vida, los amo y siempre serán los mejores padres del mundo.
- Mi esposa** Esperanza Noemi Quijivix Marroquín de Estrada. Ayuda idónea a quien Dios ha puesto en mi camino como parte importante de la bendición del hogar que conformamos; estoy eternamente agradecido por su amor, comprensión, apoyo incondicional y sabiduría, poder llegar a este momento ha sido un sueño compartido, hecho realidad.
- Mis hijos** Pablo Gabriel, Lucia Victoria y Pedro Joaquín, los amo con todo mi corazón.

Mis hermanos	Carlos Rafael, Jose Miguel, Alba Damarys y Luis Fernando. Porque juntos hemos logrado el deseo de nuestra madre, la unidad, el amor, la confianza, el respeto y la solidaridad entre nosotros.
Mi tía	Joaquina Arévalo. Por estar siempre con nosotros.
La familia Quijivix	Víctor Manuel Quijivix, Consuelo de Quijivix, Carlos, Saúl y Edson Quijivix. Por su aprecio, confianza y apoyo incondicional mostrado durante todos estos años que hemos compartido.
En especial	Ángel Higueros, Claudia de Higueros, Eraclio Rodríguez, Gerson Díaz y Ninnette Monzón. Por su colaboración para el desarrollo del presente trabajo de graduación.
En general	Todos mis familiares con sincero cariño.
Mis compañeros	De la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Villa Nueva y del Departamento de Cartografía de la Municipalidad de Guatemala. Por alentarme a culminar este trabajo, muchas gracias.
Mis amigos	Por la amistad brindada y ayuda desinteresada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
GLOSARIO	V
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	1
1.1. Definición.....	1
1.2. El desarrollo histórico de los Sistemas de Información Geográfico	1
1.3. Elementos de un SIG	3
1.3.1. <i>Software</i> (soporte lógico).....	4
1.3.2. <i>Hardware</i> (soporte físico)	5
1.3.3. Datos	5
1.3.4. Personal	5
1.4. Funciones de un SIG.....	8
1.4.1. Entrada de datos	8
1.4.2. Introducción de la información espacial.....	8
1.4.3. Gestión de datos.....	8
1.4.4. Transformación y análisis de datos	9
1.4.5. Salida de datos	9
1.5. La representación digital de los datos geográficos.....	10
1.5.1. Geocodificación de los datos	10
1.6. Modelo de datos y/o tipos de SIG.....	12
1.6.1. Modelo de datos vectorial	12

1.6.2.	Estructuras de datos en modelos vectoriales	
	lista de vértices o Spaghetti.....	14
1.6.3.	Modelo de datos matricial.....	18
1.6.4.	Modelo orientado a objetos	21
1.7.	Comparación de los modelos raster y modelo vector	22
1.7.1.	Modelo <i>Raster</i>	22
1.7.2.	Modelo Vectorial.....	23
1.8.	Base de datos geográfica.....	24
1.9.	La construcción de bases de datos geográficas	26
1.10.	Aplicación de los SIG	28
1.10.1.	El futuro de los SIG	29
1.10.2.	Diferencias entre CAD y SIG.....	31
1.10.3.	Creación de un SIG	32
2.	DESARROLLO HISTÓRICO DEL ALCANTARILLADO.....	39
2.1.	Antecedentes históricos, situación de los sistemas de alcantarillado en la ciudad de Guatemala	40
2.2.	Los drenajes en Guatemala, breve historia de la zona 10 de la ciudad de Guatemala.	44
3.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ANÁLISIS.....	51
3.1.	Delimitación y localización	51
3.2.	Aspectos físicos de la zona.....	52
3.2.1.	Geología.....	52
3.2.1.1.	Historia geológica del valle de Guatemala.....	52
3.2.1.2.	Estructura geológica de la zona de análisis	53
3.2.2.	Topografía	54

3.2.3.	Clima e hidrología.....	55
3.2.4.	Uso del suelo.....	55
3.2.4.1.	Uso del suelo residencial.....	57
3.2.4.2.	Uso del suelo no residencial con actividades ordinarias	58
3.3.	Población.....	62
3.3.1.	Desarrollo urbanístico y demográfico	63
3.3.2.	Sistema vial	66
3.3.3.	Densidad de población	67
3.3.4.	Densidad de vivienda	67
3.4.	Ambiente económico-social.....	69
3.4.1.	Pobreza	69
3.4.2.	Empleo	70
4.	TOMA DE DATOS DE CAMPO.....	73
4.1.	Levantamiento de información de drenajes.....	73
4.2.	Investigación y recopilación de información en archivos de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) de la ciudad de Guatemala	74
4.3.	Integración de la información alfanumérica y creación de base de datos	79
5.	MANEJO DE INFORMACIÓN Y CREACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO.....	81
5.1.	Registro, programas y recurso humano	81
5.2.	Base cartográfica.....	82
5.3.	Definición del modelo del SIG	83
5.3.1.	Modelo conceptual.....	86

5.3.2.	Modelo conceptual del SIG para la red de alcantarillados existente en la zona 10.....	90
5.3.2.1.	Definición de entidades	90
5.3.2.2.	Relaciones y cardinalidad entre las entidades	92
5.3.2.3.	Definición de atributos.....	94
5.3.2.4.	Definición de identificadores únicos o llaves primarias	94
5.3.2.5.	Representación gráfica del modelo conceptual	98
5.3.2.6.	Normalización o clasificación de los elementos	100
5.3.3.	Modelo lógico	103
5.3.4.	Modelo lógico para la red de alcantarillados existente en la zona 10	104
5.3.5.	Catálogo de objetos	105
5.3.6.	Modelo físico	108
5.3.6.1.	<i>Software</i>	108
5.3.6.2.	Tipo de archivo.....	118
5.3.6.3.	<i>Hardware</i>	122
5.4.	Digitalización de las redes.....	122
5.4.1.	Numeración de los elementos de cada entidad....	126
5.5.	Creación de topología y estructura geoespacial	128
5.6.	Integración de datos alfanuméricos y geoespaciales	134
6.	ANÁLISIS Y USO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG)	139
6.1.	Consultas y búsquedas (<i>Queries</i>)	139
6.1.1.	Identificación	140

6.1.2.	Búsqueda.....	141
6.1.3.	Medición	142
6.1.4.	Herramientas para seleccionar datos	143
6.1.4.1.	Selección interactiva.....	144
6.1.4.2.	Selección por atributos	144
6.1.4.3.	Selección por localización (<i>Spatial query</i>)	146
6.1.5.	Consultas y búsquedas mediante condición geométrica.....	147
6.2.	Creación de mapas temáticos	148
6.3.	Actualización y mantenimiento del Sistema de Información Geográfico	152
6.3.1.	Cambios a la base alfanumérica.....	153
6.3.2.	Cambios a la base gráfica	153
6.3.3.	Impresión de la información.....	158
6.4.	Seguridad del sistema y la información	160
CONCLUSIONES		163
RECOMENDACIONES.....		165
BIBLIOGRAFÍA.....		167

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Elementos de un SIG	6
2.	Funciones de un SIG.....	9
3.	Estructuras de datos en modelos matriciales simples.....	20
4.	Modelo de datos matricial y vectorial	24
5.	Detalle de información recopilada para base de datos.....	27
6.	Representación de terreno en tres dimensiones	34
7.	<i>Búfer</i> de selección de casas por ampliación de vía.	36
8.	Base de atributos	37
9.	Resultado final aplicando un SIG	38
10.	Obelisco en la década de los 70's, inicio de la Avenida de la Reforma	45
11.	Obelisco en la actualidad	46
12.	Boulevard Los Próceres en la década de los 70's	46
13.	Boulevard Los Próceres en la actualidad, incremento en el área financiera.....	47
14.	Boulevard Los Próceres en la actualidad, incremento en el área de comercio.....	47
15.	Zona 10 en la década de los 70's	48
16.	Zona 10 en la actualidad.....	48
17.	Edificio del Hotel Camino Real.....	49
18.	Edificio del complejo empresarial Plaza Pradera.	49
19.	Visualización del mapa de la zona 10, a nivel de manzanas	51

20.	Uso del suelo en la zona 10, representación de áreas para construcción residencial y no residencial.....	61
21.	Servicios básicos con los que cuenta la zona 10.....	65
22.	Tipo de recubrimiento en las vías de la zona 10.....	66
23.	Distribución de la densidad poblacional de la zona 10	68
24.	Diferentes aspectos de la construcción del colector Tívoli.....	77
25.	Diferentes aspectos de la construcción del colector Tívoli.....	77
26.	Laguneta que se formaba antes de implementarse el colector Tívoli, 4 avenida del Barrio Tívoli.....	78
27.	Colector en el Cantón La Exposición y Tívoli, entre 3ra. y 7ma. Calle zona 9.....	78
28.	Fragmento de plano denominado sabana de un sector de la Zona 10 del municipio de Guatemala. Información de EMPAGUA.....	80
29.	El recurso humano dentro de un SIG.....	82
30.	Relación entre base gráfica y alfanumérica	90
31.	Ejemplo de la función de un identificador	96
32.	Modelo conceptual.....	99
33.	Esquema relacional	100
34.	Modelo de datos gráfico.....	102
35.	Catálogo de objetos	106
36.	Visualización del mapa de la zona 10, a nivel de manzanas	112
37.	Visualización del contenido de carpetas mediante <i>ArcCatalog</i>	114
38.	Visualización en <i>ArcCatalog</i> del modo geográfico	115
39.	Visualización en <i>ArcCatalog</i> del modo tabla.....	116
40.	Herramientas de <i>ArcToolbox</i>	117
41.	Creación de nuevos shapes mediante <i>ArcCatalog</i>	119
42.	Visualización mediante <i>ArcCatalog</i> de los shapes creados.....	120

43.	Creación de nuevos campos en los shapes, mediante el modo tabla de <i>ArcCatalog</i>	121
44.	Estandarización de simbología para la representación de los <i>shapes</i> o entidades	122
45.	Segmento de la cartografía (sabanas) utilizada como información fuente	123
46.	Inicio o creación de sesión de edición, mediante la barra de herramientas <i>EDITOR</i>	124
47.	Creación de nuevos elementos en una entidad	125
48.	Ejemplo de numeración de los registros en la zona 10.	126
49.	Sentido para la numeración de candelas domiciliarias en cada manzana	127
50.	Cadena abierta y cadena cerrada	129
51.	Topología para tres polígonos.....	130
52.	Relación de conectividad	131
53.	Acceso a las herramientas de construcción de topologías en la plataforma <i>ArcInfo</i> 8.3	132
54.	Definición de tolerancias de intersección de polígonos y construcción de topologías para la cobertura de redes.....	133
55.	Herramienta <i>JOIN</i> que permite ligar tablas externas en formatos de base de datos DBF a las capas de la cartografía digital, con el fin de integrar la base gráfica y la alfanumérica	135
56.	Consulta de información de los registros, a los cuales se le ha cruzado la base de datos externa del mantenimiento de los mismos.....	136
57.	Uso de la herramienta de identificación (<i>Identify</i>) en <i>ArcMap</i>	141
58.	Uso de la herramienta de búsqueda (<i>Find</i>) en <i>ArcMap</i>	142
59.	Procedimiento para realizar mediciones en <i>ArcMap</i> y la visualización de los resultados.....	143

60.	Herramienta para seleccionar elementos de las diferentes entidades en <i>ArcMap</i>	144
61.	Procedimiento para realizar búsquedas por atributos de las entidades.	145
62.	Procedimiento para realizar búsquedas según la localización espacial de los elementos.....	147
63.	Ejemplo de la aplicación de un búfer generado mediante geoprosesos, en el que se observan los predios que serían afectados por una circunstancia “X” en un radio de 50,00 y 200 metros alrededor de un tramo de colector	148
64.	Ejemplo de mapa temático, en el que se simbolizan los tramos de colector y red que son iniciales y los que no los son.	151
65.	Tareas disponibles en <i>ArcMap</i> para la edición o cambio geométrico de elementos.....	156
66.	Inicio de sesión de edición y proceso para edición de atributos de una entidad.	157
67.	Ejemplo de impresión de mapa con sus elementos básicos.....	159

TABLAS

I.	Estructura cartográfica en modelos vectoriales	14
II.	Diccionario de vértices.....	15
III.	Tipología de los polígonos y de los arcos	16
IV.	Entidades y su geometría	91
V.	Relaciones y cardinalidad.....	93
VI.	Entidades y sus atributos.....	95
VII.	Identificadores para las entidades	97

GLOSARIO

Área metropolitana	Región urbana que engloba una ciudad central que da nombre al área y una serie de ciudades satélites que pueden funcionar como ciudades dormitorio, industriales, comerciales y servicios, todo ello organizado de una manera centralizada.
Atributo	Información descriptiva asociada a un rasgo geográfico.
Base cartográfica	Cartografía que tomada como base o parámetro, ubica espacialmente los objetos o entidades de la red de drenajes, esta debe tener ciertos estándares de calidad, estar ajustada a una red geodésica es un sistema de proyección establecido y claramente esta deber ser digital para poder formar el SIG.
Base de datos	Conjunto de datos estructurado para permitir su almacenamiento, consulta y actualización en un sistema informático.
CAD	Sistema de diseño asistido por ordenador o por sus siglas en inglés <i>Computer aided design</i> .

Capa	Función del sistema de cómputo gráfico que permite representar distintas clases de atributos, el cual se puede sobreponer o remover cada clase como si se dibujara en hojas transparentes.
Cartografía	Ciencia y arte de hacer mapas y cartas.
Categoría	Conjunto de mapas relacionados.
Coordenadas	Cantidad usada para definir una posición en un sistema de referencia.
Datum	Elipsoide de referencia y su posición respecto a la Tierra.
Digitalizar	Convertir a formato digital la información analógica de un mapa, fotografía o dibujo, ya sea automáticamente, mediante un scanner o manualmente usando una digitalizadora.
Elevación	Distancia vertical medida desde una superficie de referencia, nivel medio del mar. Cota vertical.
Elipsoide	Superficie generada al hacer girar una elipse sobre uno de sus ejes. Ya que, la forma de la Tierra es distinta de un área geográfica a otra, para obtener el mejor ajuste, se usan distintos elipsoides para describir áreas.

Escala	Razón entre la distancia medida en un mapa, fotografía o imagen y la distancia correspondiente en el terreno.
Gabarito	Escalonamiento que se da a los edificios en su altura debido al retiro exigido por las normas municipales.
Geografía	Ciencia que trata de la descripción de la tierra.
Geoide	La superficie equipotencial gravitacional de la Tierra que mejor se ajusta al nivel medio del mar.
Geoprocesamiento	Manipulación y análisis de la información con referencia geográfica.
Georeferencia	Asignar coordenadas geográficas a un objeto o estructura.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global o por sus siglas en inglés <i>Global Positioning System</i> .
Grupo	Agrupaciones de objetos geográficos que pertenecen a un mismo tema.
Información Geográfica	Información que es medible y tiene localización.

Latitud	Posición norte-sur medida como el ángulo entre la línea normal del punto y el plano del ecuador.
Llave primaria	Atributo de un objeto mediante el cual identifica cada uno de sus elementos, este es único e identifica una fila o registro en una tabla.
Longitud	Posición este-oeste. Se define como el ángulo entre el plano del meridiano local y el plano del meridiano de referencia.
Mapa	Modelo gráfico de la superficie terrestre donde se representan objetos espaciales y sus propiedades métricas, topológicas y atributivas.
Mapa temático	Mapa que ilustra las características de clase de una variable espacial en particular.
Objeto o entidad	Es la representación de elementos geográficos en un sistema y que pertenecen a un grupo determinado.
Planimetría	La representación de la posición horizontal.
Proyección	Conjunto de transformaciones métricas definidas para representar la superficie de la Tierra sobre un plano.

Raster	Imagen formada por los colores o tonos de gris de una cuadrícula, en particular los píxeles del monitor.
Relaciones	Conexión o asociación existente entre las entidades.
Relicto	Estructuras de minerales de un material rocoso parental que no ha metamorfoseado cuando las rocas vecinas si lo hacían, o son las rocas que sobreviven a un proceso geológico destructivo
SIG	Sistema de Información Geográfica o por sus siglas en inglés <i>Geographic Information System</i> (GIS).
Sistema de alcantarillado	Conjunto de conductos cerrados y sus obras accesorias que se diseñan a sección parcial y tienen como fin transportar las aguas de lluvia y/o aguas cloacales o negras, pasando por diversas obras hidráulicas hasta su disposición final.
Subsidencia	En geología e ingeniería describe el movimiento de una superficie en la que la componente vertical del desplazamiento es claramente predominante sobre la horizontal.

Tabla	Objeto constituido por registros en una base de datos relacional.
Tabujía	Colector de ladrillo tayuyo ya sea en piso y clave o solo el piso y la clave de concreto armado.
Tema	Conjunto de categorías de información geográfica.
Topología	En los SIG, la topología hace referencia a las propiedades de vecindad o adyacencia, inclusión, conectividad y orden, es decir, propiedades no métricas y que permanecen invariables ante cambios morfológicos, de escala o de proyección y que determina las relaciones entre entidades.
UTM	Universal Transversa de Mercator, proyección que se emplea en mapas topográficos y en imágenes de satélite.
Vector	Entidad geométrica definida por una magnitud y un sentido.

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha convertido en una herramienta importante para resolver problemas de planificación, gestión y ordenamiento territorial. El presente trabajo, describe en 6 capítulos, conceptos, historia, procedimientos y la creación de un Sistema de Información Geográfica que describe la situación actual del marco de drenajes de la zona 10, como área de estudio.

Con la creación de este Sistema de Información Geográfica, se tendrá la base cartográfica y alfanumérica, que se convierten en la plataforma para la implementación, programas de mantenimiento y ampliación del marco de drenajes, según sean las necesidades de la zona 10 de la ciudad de Guatemala.

El presente trabajo inicia con la descripción de conceptos relacionados a los Sistemas de Información Geográfico, los cuales son la integración de elementos conocidos como *software*, *hardware*, una base de datos y el personal calificado. Así mismo se describen las funciones generales, la representación digital de los datos gráficos, los modelos de datos y tipos de Sistemas de Información Geográfico, la comparación de los modelos *raster* y modelo vector para continuar con la descripción y construcción de la base de datos geográfica.

El marco de drenajes de la zona 10 de la ciudad de Guatemala, es manejado hasta ahora en planos análogos, croquis y dibujos denominados sabanas, esta información detallada se ha digitalizado con el propósito de incorporarla y que sea la base de datos del Sistema de Información Geográfico.

El manejo de la información y la creación del Sistema de Información Geográfico, consiste en llevar a cabo tres etapas para pasar de la realidad del terreno al nivel de abstracción que se representa en el computador, estas tres etapas son la creación del modelo conceptual, modelo lógico y modelo físico, con sus respectivos análisis y procedimientos.

Al final contamos con un Sistema de Información Geográfico que permite realizar análisis, consulta y búsqueda de información así como la herramienta para la creación de mapas temáticos, para estudios específicos. Es importante mencionar que la actualización y mantenimiento del Sistema de Información Geográfico es vital e indispensable, con ello se obtiene constantemente una herramienta eficaz y eficiente en la planificación del área de estudio.

OBJETIVOS

General

Presentar la información en cuanto al análisis del marco de drenajes existente en la zona 10 de la ciudad de Guatemala, a través de la creación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), que detalle todos los elementos que lo conforman y a la vez, cada elemento detalle sus atributos para una fácil, práctica y objetiva consulta, siendo herramienta importante para establecer mecanismos de mantenimiento, ampliación de redes, implementación de elementos, análisis y toma de decisiones para su mejor funcionamiento.

Específicos

1. Definir en qué consisten los Sistemas de Información Geográficos (SIG), sus componentes y las diversas aplicaciones.
2. Describir la historia de los sistemas de drenaje y los cambios que ha sufrido la zona 10 de la Ciudad de Guatemala, al paso del tiempo.
3. Describir la zona de estudio, su entorno, características urbanísticas y desarrollo.
4. Crear un sistema de información geográfica de fácil manejo, para consultar aspectos específicos del área y del sistema de drenajes, en estudio.

5. Actualizar y digitalizar la información del marco de drenajes de la zona 10 de la Ciudad de Guatemala.
6. Enlazar la información alfanumérica (datos), con la información gráfica (cartografía) dentro del Sistema de Información Geográfico, aplicado a los drenajes de la zona 10 de la Ciudad de Guatemala.
7. Proporcionar la información actualizada, del marco de drenajes de la zona 10 de la Ciudad de Guatemala de forma clara y concreta, por medio de la metodología que establece un Sistema de Información Geográfico (SIG).

INTRODUCCIÓN

El análisis del marco de drenajes mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) no es más que la actualización de datos tomados en campo, digitalización de los diversos elementos existentes sobre un mapa o croquis o levantamiento de información del sector, establecer las obras hidráulicas de la red de aguas pluviales y sanitarias, implementar mecanismos para mejorar las futuras conexiones, establecer caudales, tiempos de vida útil, etc.

Este trabajo inicia con una investigación de campo, la cual ha permitido obtener una base de datos, la que enlazándola con la existente en EMPAGUA, forma el conjunto de datos necesario para la creación del Sistema de Información Geográfica (SIG).

Se han venido desarrollando programas que pueden simplificar el manejo y consulta de la información análoga y convertirla en información digital, estos programas complementados con procedimientos, equipo tecnológico adecuado y el personal humano calificado da como resultado a los llamados Sistemas de Información Geográfica. Su creación requiere de un amplio conocimiento de los programas, de la metodología del marco de drenajes, el tipo de información disponible, los levantamientos de campo, usos del suelo y las investigaciones legales requeridas, para que este conjunto de elementos puedan ser empleados correctamente para que el resultado sea el más eficiente y moderno.

Por lo anterior es de suma importancia incluir dentro de este trabajo, los aspectos importantes no solamente aquellos que describen lo que es un Sistema de Información Geográfico, sino la parte medular que es en sí, mostrar

la información obtenida en los planos, registros, documentos y croquis de EMPAGUA, a través del mismo Sistema de Información Geográfico, así como una descripción del proceso y fases para dejar plasmado los elementos utilizados para tener el mejor conocimiento y manejo del resultado.

Se tiene inicialmente la fase de levantamiento, que incluye el trabajo de campo, la investigación general del marco de drenajes en EMPAGUA; una amplia información de que son los drenajes y un estudio de esa red en la zona 10 del Municipio de Guatemala, que comprende el área superficial del trabajo; luego se ha realizado la integración y creación del Sistema de Información Geográfica propiamente dicho; para seguir con los procedimientos de análisis y manejo de la información dentro del sistema.

Finalmente la actualización y el mantenimiento de la información gráfica como alfanumérica que permite que nuestra herramienta no quede obsoleta sino lo contrario, se constituya en herramienta útil, dinámica eficaz y eficiente al momento de generar y consultar la información.

1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

1.1. Definición

El término SIG procede del acrónimo de Sistema de Información Geográfica (en inglés *GIS, Geographic Information System*).

Se puede definir un SIG como una tecnología de manejo de información geográfica formada por equipos electrónicos (*hardware*) programados adecuadamente (*software*), que permiten manejar una serie de datos espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos con éstos siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (personal).

1.2. El desarrollo histórico de los Sistemas de Información Geográfico

Es, sin duda, una disciplina relativamente reciente. No se puede hablar de Sistemas de Información Geográfico, (SIG) propiamente dichos, hasta los años sesenta, aunque en los cincuenta había una serie de antecedentes interesantes. Al estudiar la evolución de los SIG, es referencia obligada el mundo anglosajón y los Estados Unidos de América.

En la década de los sesenta se inicia la carrera tecnológica de los SIG. En Canadá se desarrolla por primera vez un sistema informático que trabajaba con datos geográficos. El Departamento de Agricultura de ese país encargó a *Roger Tomlinson* la creación del CGIS (*Canadian Geographic Information System*). Es éste, sin duda, el primer Sistema de Información Geográfica del mundo.

Paralelamente en esta década se desarrollaron otros proyectos parecidos en Estados Unidos, como fueron: LUNR (*Land Use and Resource Information System*), MLMIS (*Minnesota Land Management Information System*), PIOS (*Polygon Information Overlay System*) y otros. Estas iniciativas contribuyeron a despertar un mayor interés en el tratamiento de los datos geográficos. Lógicamente esta preocupación se advierte con mayor énfasis en sociedades donde las condiciones económicas favorecían el desarrollo de estas tecnologías.

A pesar de las primeras tentativas canadienses, es Estados Unidos la nación donde los SIG van a tener el campo de experimentación adecuado, tanto en instituciones públicas como privadas, y va a ser el país donde se desarrollen las aplicaciones de mayor envergadura e importancia.

En los años setenta se celebra la primera conferencia sobre Sistemas de Información Geográfica (SIG) organizada por la IGU (*International Geographical Union*) que reúne a 40 participantes de diversos países.

Durante la misma década, en EE.UU. destacan cuatro organismos: uno del ámbito universitario, *Harvard University*; dos dentro del grupo de instituciones públicas, *United States Census Bureau (USCB)* y *United States Geological Survey (USGS)*; y uno de la empresa privada, *Environmental System Research Institute (ESRI)*. Participaron de una u otra forma en la consolidación de los Sistemas de Información Geográfica en este período.

A partir de 1990 surge la disponibilidad de información SIG y de productos *Desktop Mapping* para entornos *Windows* y ha propiciado su aplicación en empresas privadas, que lo utilizan como usuarios finales más que como productores de información.

Hay que señalar como último hito la creación del Centro Nacional para la Investigación Geográfica y Análisis (NCGIA) por la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos de América en 1988, cuya finalidad era “desarrollar investigación básica sobre el análisis geográfico utilizando los Sistemas de Información Geográfica”. A partir de ese momento va a ser la institución que asumirá el protagonismo en las investigaciones de la nueva disciplina.

Quizás los años ochenta han sido los del despegue definitivo y mayor apogeo de la nueva tecnología. Las empresas privadas tomaron el relevo a las instituciones públicas y cada vez son más los programas comerciales ofertados. En las décadas anteriores, el *software* estaba orientado principalmente a cubrir las necesidades de las instituciones que los desarrollaban. A partir de dicha década y hasta la actualidad se trabaja en SIG ‘genéricos’ que puedan servir a diferentes usuarios y, en todo caso, es con posterioridad a la adquisición cuando se individualiza su uso en función de las necesidades del cliente.

1.3. Elementos de un SIG

Para que un SIG computarizado tenga vida, es necesario contar con cuatro elementos fundamentales: *software*, *hardware*, datos y personal calificado.

El *software* necesita de los datos ya que nos encontramos ante un sistema de información. Un SIG no puede funcionar sin el *hardware* adecuado y personal especializado, debe existir cierto equilibrio entre ambos.

1.3.1. Software (soporte lógico)

Existe un gran número de ellos y son sistemas operativos como MS2, *Windows NT worksatiton 4.0 Proffesional*, *Unix*, *Linux*, etc.

Programas de aplicación:

- Comerciales: *ARC/INFO*, *MICROSTATION*, *SICAD*, *SPANS*, *ERDAS*, *SMALLWORLD*, *GENAMAP*, *ATLAS-GIS*, *TERRASOFT*, etc.
- Dominio público (*freeware*): *GRASS*, *MOSS*, *ODYSSEY*, etc.
- Educativos: *IDRISI*, *OSU-MAP*, *aMAP*, etc.

Los programas de aplicación, por otro lado, pueden ser agrupados en dos grandes familias:

Sistemas vectoriales: están basados en la representación vectorial de componente espacial de los datos geográficos, representando los objetos mediante las coordenadas de los puntos o vértices que los limitan. Se consideran, en general, tres tipos de dimensiones topológicas: la puntual, en la que cada punto define por un par de coordenadas x, y a las que se le puede asociar una cota como atributo; la lineal, en donde cada línea viene definida por las coordenadas de un punto de origen y un punto final; los polígonos, que quedan definidos por líneas que se juntan en vértices.

Sistemas raster: están basados por los elementos gráficos capturados y almacenados desde un mapa analógico a través de la superposición sobre ellos de una rejilla de unidades regulares, de igual forma y tamaño, y donde cada unidad de la rejilla registra el valor que el mapa analógico adopta.

1.3.2. Hardware (soporte físico)

Los ordenadores personales son actualmente la plataforma más utilizada para el proceso de elaboración, mantenimiento y manejo de los SIG. También estaciones de trabajo, bajo el sistema operativo *UNIX* van ganando terreno debido a su mayor potencia de cálculo y a la fidelidad de las comunicaciones por red.

Unidad central de proceso de datos (CPU).

- Periféricos de entrada (teclado, ratón, tabletas digitalizadoras y barreadores ópticos); de almacenamiento (discos, *CD-ROM*, etc.) y de salida (pantalla, impresora y trazadores).

1.3.3. Datos

- Representación simplificada del mundo real
- Mapas digitales
- Adquisición de la información (personal o en el mercado).

1.3.4. Personal

- Especializado.

Figura 1. Elementos de un SIG



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos/gis>

Aunque todos han de cumplir con su cometido para que el sistema sea funcional, existen diferencias en cuanto a su importancia relativa. A lo largo de un tiempo, el peso de cada uno de los elementos dentro de un proyecto SIG ha ido cambiando mostrando una clara tendencia a lograr mejores aplicaciones de los SIG; mientras los equipos informáticos condicionan cada vez menos los proyectos SIG por el abaratamiento de la tecnología, los datos geográficos se hacen cada vez necesarios y son los que consumen la mayor parte de las inversiones en términos económicos y de tiempo.

La mayoría de las veces cuando alguien se refiere a un SIG esta pensando en un programa de ordenador, en un *software*. En este sentido un SIG es igual que una hoja de cálculo o un procesador de textos.

¿Qué hace este *software*? es cartografía con bases de datos asociadas, con la misión principal de resolver problemas espaciales o territoriales, es decir, un programa que permita manejar conjuntamente la cartografía y las bases de datos alfanuméricas asociadas.

Dicho así se podría pensar en un CAD como *Autocad*, *Microstation* u otros que permiten asociar bases de datos a los elementos del dibujo. Pero la diferencia fundamental estriba que con un SIG se puede hacer análisis y generar nueva cartografía en función de los resultados conseguidos, además de hacer consultas más completas al poder combinar criterios alfanuméricos y espaciales.

Otras definiciones, hacen hincapié en el SIG como disciplina o ciencia aplicada, incluyen en su formulación el *software* y *hardware*, equipo técnico y filosofía de trabajo, integrándolo todo de una forma global. Una de las más citadas y que se encuentran en la mayoría de libros relacionados es la del *National Center for Geographic Information and Analysis*, N.C.G.I.A.: "un sistema de *hardware*, *software* y procedimientos diseñados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión".

Otra definición: un sistema de ordenadores para obtener, almacenar, integrar, manipular, analizar y representar datos relativos a la superficie terrestre, definición presentada en el *diccionario de la Association for Geographic Information* (AGI) y el Departamento de Geografía de la Universidad de Edimburgo.

1.4. Funciones de un SIG

Los sistemas de información geográfica poseen diversas funciones, están clasificadas de la siguiente forma:

1.4.1. Entrada de datos

- Mapas analógicos
- Imágenes de sensores espaciales
- Fotografías aéreas

Esta información debe ser homogeneizada y corregida.

1.4.2. Introducción de la información espacial

- Barrido óptico (*scanners*). *Raster*
- Programas de vectorialización. Mapas en formato vectorial
- Digitalización manual: costoso y lento
- Integración de la Teledetección (fotografía aérea y satélites): capas temáticas
- *GPS*: integración de datos con precisión de centímetros

1.4.3. Gestión de datos

- Operaciones de almacenamiento y recuperación de bases de datos.
- Cómo se organizan los datos espaciales y temáticos con la base de datos.

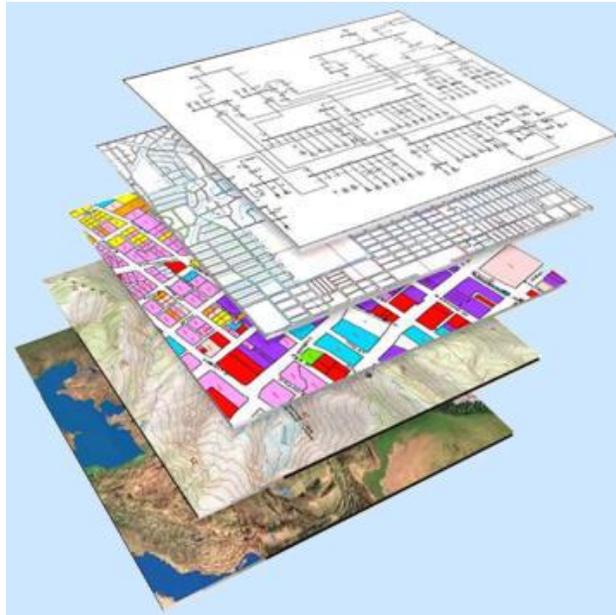
1.4.4. Transformación y análisis de datos

- Resolución de problemas espaciales concretos, función más importante: combinación, reclasificación, superposición, etc
- Simulaciones: escenarios virtuales para evaluar la implementación de políticas o medidas de planificación y áreas óptimas para diversos aspectos: localizaciones de instalaciones urbanas, vertederos, etc.

1.4.5. Salida de datos

- Mapas analógicos, tablas de valores, gráficos, representaciones tridimensionales, simulaciones de vuelo sobre ciertas zonas, etc
- Mediante impresoras o conversores fotográficos o en monitor gráfico.

Figura 2. Funciones de un SIG



Fuente: http://www.software-gg.com/informacion_geografica_gis.htm

1.5. La representación digital de los datos geográficos

El mapa tradicional es una representación analógica o continua de la realidad, por lo que es necesaria su transformación a formato digital para poder introducirlo en un SIG.

1.5.1. Geocodificación de los datos

El proceso de geocodificación determina la localización espacial de cada objeto geográfico:

- De manera directa, mediante un sistema de ejes de coordenadas respecto a los que se determina la posición absoluta de cada lugar
- De modo indirecto, otorgando a cada objeto una referencia espacial que lo diferencia de los restantes y permite establecer su posición respecto a los demás.

1.5.2. Descripción en términos digitales de las características espaciales

- Descripción de la posición geométrica de cada objeto y de las relaciones espaciales. La topología que mantiene con los restantes objetos geográficos existentes en la realidad.
- Para ello se utiliza un modelo de datos que es una abstracción y simplificación de la realidad.

Existen dos maneras de representar la información espacial o modelos de datos. Son maneras simplificadas de concebir el espacio. Esta diferencia entre ambas atiende al tipo de captura de datos o información.

a) Modelo vectorial (Vector)

- El espacio territorial tiene un carácter continuo.
- Representación de los límites exteriores de los elementos geográficos.
- Para ello se emplean objetos como puntos, líneas y polígonos.
 - ✓ Un polígono es la superficie que queda delimitada por un conjunto de líneas.
 - ✓ Las líneas quedan representadas por un conjunto de vértices.
 - ✓ Los puntos quedan representados por un par de coordenadas XY.
- Técnica de captura de datos en forma vectorial: digitalización en mesas digitalizadoras.

b) Modelo matricial (Raster)

- Representación del contenido de los propios elementos geográficos.
- El espacio se divide en una retícula formada por celdillas o teselas de forma regular, exclusivas e indivisibles.
- Su localización se realiza mediante su posición en una matriz de filas-columnas.
 - ✓ Cada celda tiene un valor o código asignado de acuerdo con su información temática.
 - ✓ Es una colección ordenada de *pixels* cuyo valor es la media ponderada de la intensidad de un fenómeno sobre las correspondientes áreas del espacio real.
- Técnica para realizar esta representación:
 - ✓ Se superpone al mapa analógico una rejilla de unidades regulares u en cada celda se registra el valor que el mapa

convencional analógico adopta en la zona que recoge la celda correspondiente.

- Técnica de captura de datos: teledetección, fotogrametría y *scáner*.

No existe un modelo de datos que sea superior a otro, sino que cada uno tiene una utilidad específica.

1.6. Modelo de datos y/o tipos de SIG

En función del modelo de datos implementado en cada sistema, se puede distinguir tres grandes grupos de Sistemas de Información Geográfica: SIG Vectoriales, SIG *Raster* y SIG con modelo de datos orientados a objetos.

En realidad, la mayor parte de los sistemas existentes en la actualidad pertenecen a los dos primeros grupos (vectoriales y *raster*).

Los SIG vectoriales utilizan vectores (básicamente líneas), para delimitar los objetos geográficos, mientras que los SIG raster utilizan una retícula regular para documentar los elementos geográficos que tienen lugar en el espacio.

1.6.1. Modelo de datos vectorial

El modelo vectorial centra su interés en el posicionamiento espacial de las entidades, lo que permite representarlas con una mayor nitidez. Las formas de representación en un modelo vectorial son tres tipos de objetos:

Punto (adimensional): objetos espaciales en la base de datos en la que se almacena información sobre sus atributos. Hay varios tipos de punto:

- Puntos entidad: representan entidades puntuales (pozo).
- Puntos maestras: lugares donde se han tomado muestras para recoger información sobre determinadas variables.

Sus características principales son:

- Descrito por un par de coordenadas XY.
- Se puede representar cualquier elemento cuyas dimensiones largo-ancho sean despreciables a esa escala de trabajo: manantiales, pozos, semáforos, vértices geodésicos, etc.

Línea (unidimensional): están comprendidas entre dos vértices. Suelen ser rectas y reciben el nombre de segmento. El conjunto de segmentos recibe el nombre de arco o poli-línea. Sus características principales son:

- Descrita por dos o más pares de coordenadas representando los puntos que delimitan los segmentos rectos que forman la línea.
- Se suelen representar elementos lineales que forman redes: ríos, carreteras, tendidos eléctricos, etc.

Polígono (bidimensional): superficies cerradas por arcos. Objeto que almacena información mediante un punto situado en el interior llamado etiqueta de polígono. Sus características principales son:

- Descrito por cuatro o más pares de coordenadas que delimitan los segmentos rectos que sirven de límite externo al polígono (a modo de anillo).

- El primero y último par de coordenadas deben coincidir para cerrar el polígono. Se les asigna un nombre.
- Se suelen representar elementos reales cerrados: parcelas catastrales, formaciones vegetales, conjuntos litológicos, etc.

La escala del mapa es esencial para elegir la forma de representar la entidad:

Entidad		Escala
Una ciudad	un punto	1:1000
	un polígono	1:200
	varios polígonos	1:25

1.6.2. Estructuras de datos en modelos vectoriales lista de vértices o *Spaghetti*

Estructura cartográfica en la que cada elemento se registra con un identificador, el número de vértices que definen su frontera y un listado con las coordenadas de cada vértice. En el caso de los polígonos se repite el primer vértice para indicar que es una figura cerrada.

Tabla I. Estructura cartográfica en modelos vectoriales

Tipo de objeto	Identificador	Número de vértices	Coordenadas X Y

Fuente: elaboración propia.

Desventajas:

- No representa la topología, solo la geometría y la localización.
- Datos duplicados (vértices).
- Posibilidad de errores en la digitalización y en la creación de los polígonos.

Diccionario de vértices

- Estructura topológica de vértices con dos elementos:
- Una relación de vértices con sus pares de coordenadas.
- Una tabla que indica cómo se construye cada objeto con los vértices que lo integran.

Tabla II. Diccionario de vértices

Coordenadas de los vértices		
Vértice	Coordenada X	Coordenada Y

Vértices de los objetos		
Tipo de objeto	Identificador	Vértices

Fuente: elaboración propia.

Ventajas:

- Las coordenadas de los puntos sólo aparecen reseñadas una vez.
- Desde el punto de vista topológico es pobre, ya que resulta simple para determinados análisis.

Arco-Nodo

- Arco: sucesión de líneas o segmentos limitados por nodos.
- Nodo: principio y final de un arco o punto de intersección de líneas.
- En los nodos se encuentran por tanto tres o más arcos, excepto cuando son nodos de terminación de arcos.
- Pseudonodo o vértice: punto donde sólo llega una línea.

Tabla III. **Tipología de los polígonos y de los arcos**

Topología de los Polígonos	
Polígonos	Arcos

Topología de los Nodos	
Nodos	Arcos

Topología de los Arcos				
Arco	Nodo origen	Nodo final	Políg. Drcha.	Políg. Izqda

Coordenadas de los Arcos			
Arcos	Nodo origen	Vértice intermedio	Nodo final

Fuente: elaboración propia.

Características:

- Los polígonos se codifican indicando los arcos que le rodean.
- A su vez, los arcos se registran indicando el nodo inicial, el final, el polígono situado a su derecha y a su izquierda.

- Finalmente se recogen en una tabla las coordenadas de los vértices y de los nodos.
- Si existe un polígono incluido en otro, se registra en la definición del polígono envolvente el identificador del arco/s que compone el polígono incluido con signo negativo.
- Esta estructura almacena relaciones de contigüidad, continuidad e inclusión. Por ello las operaciones de análisis de redes son muy rápidas al no tener que recurrir a la geometría.

a) Contigüidad

- Se conoce directamente gracias a la tabla de Topología de arcos.
- Registra en la misma línea cual es el polígono que queda a la izquierda y derecha de cada arco y por tanto, son colindantes.

b) Conectividad de arcos

- En la misma tabla constan conexiones entre arcos y nodos.
- Buscando en la tabla los arcos en los que aparece un determinado nodo como origen o final se puede saber qué arco está conectado a través de ese nodo.
- En base al conocimiento de los arcos que están conectados entre sí se pueden deducir conexiones indirectas por medio del análisis de redes.

c) Inclusión

- En la tabla de Topología de polígonos, mediante signo negativo situado antes del arco que conforma una isla dentro de un

determinado polígono. Por lo que se pueden realizar operaciones de análisis espacial sin recurrir a la geometría.

1.6.3. Modelo de datos matricial

- Centra su interés en las propiedades del espacio más que en la representación precisa.
- Compartimenta el espacio en una retícula regular compuesta por celdas.
- Cada celda se identifica por su número de fila y columna.
- La información temática de la celda: a cada celda le corresponde un único valor de la variable que se está representando.
- Un elemento puntual del mundo real se representa por una celda.
- Una línea del mundo real se representa por una secuencia de celdas alineadas.
- Un elemento poligonal del mundo real se representa mediante una agrupación de celdas continuas.

Desventajas

- La falta de exactitud al representar elementos:
 - ✓ Un elemento puntual está localizado en alguna parte de la celda pero no sabemos dónde.
 - ✓ Un elemento lineal atraviesa una celda por algún lugar, pero no conocemos exactamente dónde.
 - ✓ Tampoco sabemos la forma y tamaño exacto de los elementos poligonales.
- Para aumentar la exactitud debe incrementarse el nivel de resolución.

Principales conceptos de un SIG *RASTER*

- Resolución: dimensión lineal mínima de la unidad más pequeña del espacio para la que se recogen datos.
 - ✓ Normalmente expresada por el tamaño de la celdilla.
 - ✓ Al disminuir el tamaño de la celdilla aumenta la resolución.
- Orientación: ángulo formado por el norte geográfico y la dirección definida por las columnas de la retícula.
 - ✓ Normalmente las retículas se confeccionan para que sea 0.
- Zona: conjunto de celdas contiguas que representan el mismo valor.
- Clase: conjunto formado por la zona o zonas con el mismo valor en una retícula.
- Valor: item de información almacenado en cada celda de una capa.
- Localización: posición de una celda, bien respecto a las demás (relativa) con las relaciones topológicas implícitas en la retícula (contigüidad, proximidad y orientación relativa), o bien respecto al sistema de coordenadas (absoluta).

Estructuras de datos en modelos matriciales simples

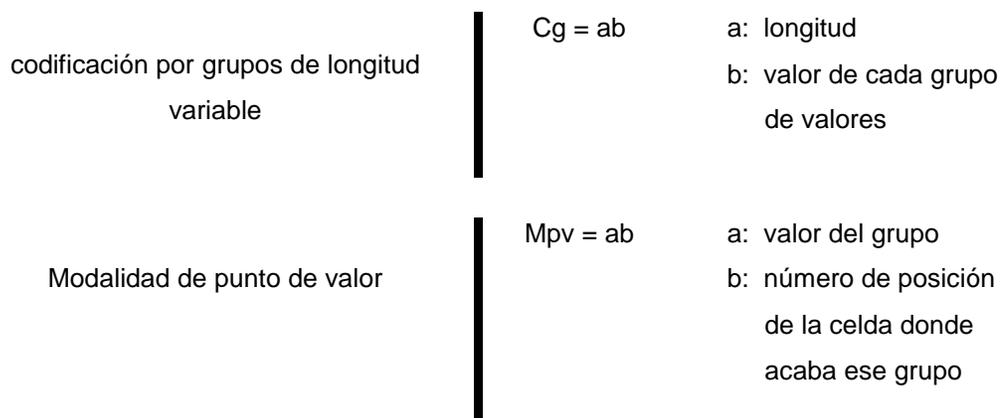
a. Enumeración exhaustiva

Almacena uno por uno los valores de cada una de las celdas, empezando por la esquina superior izquierda y en una secuencia fila a fila. Este orden convencional de almacenamiento puede sustituirse por el orden de greca (alternante izquierda-derecha y derecha-izquierda).

b. Codificación por grupos de longitud variable

Almacena grupos de valores iguales unos a continuación de otros formando tuplas, bien convencionalmente (pares de números de celdillas, valor) o con la modalidad de punto de valor (valor, posición del extremo del grupo); es muy útil cuando existe alta correlación espacial.

Figura 3. **Estructuras de datos en modelos matriciales simples**



Fuente: elaboración propia.

Estructuras de datos en modelos matriciales jerárquicas

a. Árboles cuaternarios o *Quadtrees*

El almacenamiento opera en una misma capa con grupos de celdas de diferentes tamaños, o sea, de resolución variable. El resultado es una estructura arborescente en la que cada rama puede subdividirse sucesivamente en otras cuatro, de ahí su nombre; alcanza su mejor resolución cuando la variación espacial es reducida, es decir, cuando aparecen áreas extensas de una misma

clase. Presenta como ventajas: una mayor velocidad de acceso a los valores temáticos de las celdas, un menor tamaño de almacenamiento, estructuras más sencillas y conocimiento inmediato de la resolución del mapa.

1.6.4. Modelo orientado a objetos

No existe una definición clara ni un acuerdo general, en la comunidad de usuarios, acerca de la entidad de los modelos orientados a objetos, pero sí existe unanimidad en cuanto a las características que debe tener un SIG de este tipo.

En primer lugar, los SIG orientados a objetos plantean un cambio en la concepción de la estructura de las bases de datos geográficas; mientras los modelos de datos *vectorial* y *raster* estructuran su información mediante capas como hemos dicho los sistemas orientados a objetos, intentan organizar la información geográfica, a partir del propio objeto geográfico y sus relaciones con otros. De este modo, los objetos geográficos están sometidos a una serie de procesos y se agrupan en clases entre las cuales se da la herencia.

En segundo lugar, los SIG orientados a objetos introducen un carácter dinámico a la información incluida en el sistema, frente a los modelos de datos vectoriales y raster que tienen un carácter estático. Por ello, el modelo orientado a objetos es más aconsejable para situaciones en las que la naturaleza de los objetos que tratamos de modelar es cambiante en el tiempo y/o en el espacio.

Para poner un ejemplo de organización de la información con este modelo de datos, pensemos en un sub-compartimento forestal, dentro del cual se dan muchos árboles, cada uno de ellos sometido a unos procesos (por ejemplo el crecimiento); este crecimiento es heredado por el sub-compartimento y da como

resultado que la altura del mismo sea cambiante con el tiempo. Por lo tanto, en este caso los atributos temáticos de cada objeto geográfico son el resultado de aplicar unas determinadas funciones que varían según las relaciones del objeto de referencia con su entorno.

Sin duda alguna, este modelo es más aconsejable que cualquier otro para trabajar con datos geográficos, pero se encuentra con dificultades de implementación en los actuales Sistemas de Gestión de Bases de Datos (SGBD), y con dificultades de implementación en los SIG, ya comienzan a ver implementaciones de este tipo de organización de datos en algunos GIS comerciales, si bien son a nuestro entender aproximaciones en cierto modo incompletas, su funcionalidad tiene que ser mejorada en los siguientes años.

La ventaja fundamental que permite esta estructura de datos frente a las otras es su dinámica. Es decir, a partir de una serie de parámetros establecidos en el comportamiento de los objetos geográficos, podemos simular su evolución futura, lo que constituye un gran avance si se trabaja en entornos en los que se requiere simulación de situaciones potenciales.

1.7. Comparación de los modelos *raster* y modelo vector

1.7.1. Modelo *Raster*

Ventajas:

- Estructura de datos simple.
- Operaciones de superposición de mapas rápida y eficiente.
- Eficiencia de representación para variación espacial de los datos.

- Eficiente tratamiento y realce de imágenes digitales.

Desventajas:

- Estructura poco compacta, por lo que genera ficheros muy grandes.
- Dificultad de establecer relaciones topológicas.
- Salida de gráfico poco estética al tener aspecto de bloques si la resolución no es muy alta.

1.7.2. Modelo vectorial

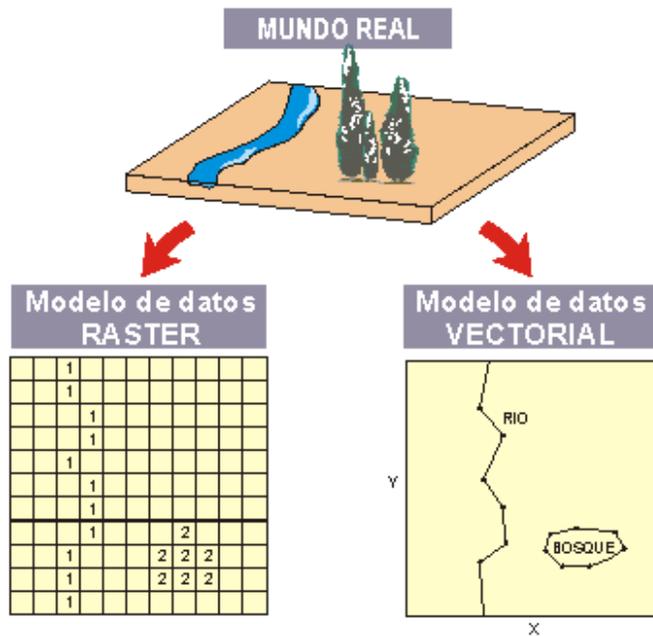
Ventajas:

- Estructura de datos más compacta.
- Codificación eficiente de la topología, lo que permite el análisis de redes.
- Salidas gráficas más ajustadas a la realidad.

Desventajas:

- Estructura muy compleja.
- Labores de edición más complicadas.
- Operaciones de superposición de mapas difíciles de interpretar.
- Poco eficiente para una variación espacial de datos elevada.
- No diseñada para el tratamiento de imágenes.

Figura 4. **Modelo de datos matricial y vectorial**



Fuente: <http://www.gabrielortiz.com>

1.8. Base de datos geográfica

La esencia de un SIG está constituida por una base de datos geográfica. Esta es, una colección de datos acerca de objetos localizados en una determinada área de interés en la superficie de la tierra, organizados en forma tal que, puede servir eficientemente a una o varias aplicaciones. Una base de datos geográfica requiere de un conjunto de procedimientos, que permitan hacer un mantenimiento de ella, tanto desde el punto de vista de su documentación como de su administración. La eficiencia está determinada por los diferentes tipos de datos almacenados en diferentes estructuras.

El vínculo entre las diferentes estructuras se obtiene mediante el campo clave que contiene el número identificador de los elementos. Tal número identificador aparece tanto en los atributos gráficos como en los no gráficos. Los atributos no gráficos son guardados en tablas y manipulados por medio de un sistema manejador de bases de datos.

Los atributos gráficos son guardados en archivos y manejados por el *software* de un sistema SIG. Los objetos geográficos son organizados por temas de información, o capas de información, llamadas también niveles. Aunque los puntos, líneas y polígonos pueden ser almacenados en niveles separados, lo que permite la agrupación de la información en temas son los atributos no gráficos. Los elementos simplemente son agrupados por lo que ellos representan. Así por ejemplo, en una categoría dada, ríos y carreteras aun siendo ambos objetos línea, están almacenados en distintos niveles por cuanto sus atributos son diferentes.

Los formatos estándar para un archivo de diseño son el formato celular o *RASTER* y el formato tipo *VECTOR*, en el primero de ellos se define una grilla o una malla de rectángulos o cuadrados a los que se les denomina células o retículas, cada retícula posee información alfanumérica asociada que representa las características de la zona o superficie geográfica que cubre, como ejemplos de este formato se pueden citar la salida de un proceso de fotografía satelital, la fotografía aérea es otro buen ejemplo.

De otro lado, el formato vectorial representa la información por medio de pares ordenados de coordenadas, este ordenamiento da lugar a las entidades universales con las que se representan los objetos gráficos, así: un punto se representa mediante un par de coordenadas, una línea con dos pares de coordenadas, un polígono como una serie de líneas y una área como un

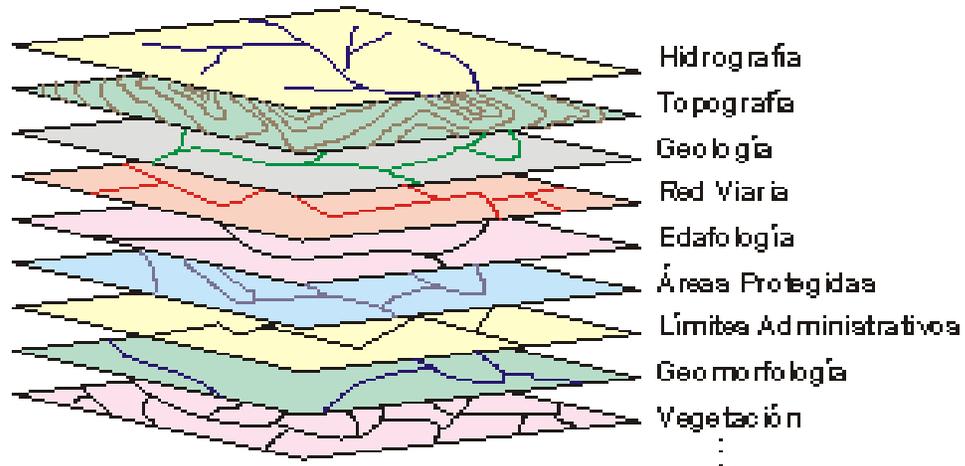
polígono cerrado. A las diversas entidades universales, se les puede asignar atributos y almacenar éstos en una base de datos descriptiva o alfanumérica para tales propósitos.

1.9. La construcción de bases de datos geográficas

La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada asequible para el lenguaje de los ordenadores actuales. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles (como iremos viendo) y normalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en capas; en esta fase, y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a compilar, se seleccionan las capas temáticas a incluir.

La estructuración de la información espacial procedente del mundo real en capas conlleva cierto nivel de dificultad. En primer lugar, la necesidad de abstracción que requieren las máquinas implica trabajar con primitivas básicas de dibujo, de tal forma que toda la complejidad de la realidad ha de ser reducida a puntos, líneas o polígonos.

Figura 5. **Detalle de información recopilada para base de datos**



Fuente: <http://www.gabrielortiz.com>

En segundo lugar, existen relaciones espaciales entre los objetos geográficos que el sistema no puede obviar; es lo que se denomina topología, que en realidad es el método matemático-lógico usado para definir las relaciones espaciales entre los objetos geográficos.

Aunque a nivel geográfico las relaciones entre los objetos son muy complejas, siendo muchos los elementos que interactúan sobre cada aspecto de la realidad, la topología de un SIG reduce sus funciones a cuestiones más sencillas, como por ejemplo conocer el polígono (o polígonos) a que pertenece una determinada línea, o bien saber qué agrupación de líneas forman una determinada carretera.

1.10. Aplicación de los SIG

Si se puede definir la información geográfica, como la que tiene una localización en el territorio, es fácil deducir que gran parte de la información que manejamos tiene estas características.

Con esta cantidad de información geográfica andando por alrededor nuestro no es de extrañar que la herramienta, hablando de los sistemas de información geográfica, se utilice cada vez en un mayor número de ocasiones. Las aplicaciones más típicas son las relacionadas con el medio ambiente y la planificación territorial. Este era el ámbito que se estudiaba en las primeras aplicaciones SIG, en los años 60.

Según se van resolviendo los problemas inherentes de toda tecnología primeriza y mejora la potencia del *hardware* y *software* se va ampliando a otros campos: urbanismo, catastro, gestión de emergencias, geomarketing, etc., dentro de la urbanización se encuentran los sistemas de drenajes. Un SIG permite resolver una variedad de problemas del mundo real. El SIG puede manipularse para resolver los problemas usando varias técnicas de entrada de datos, análisis y resultados.

Entrada de datos:

- Digitalizar o escanear
- Convertir datos digitales de otros formatos
- Adquirir otros datos disponibles.

Manipulación y análisis:

- Respuestas a preguntas particulares
- Soluciones a problemas particulares.

Salida de datos:

- Despliegue en pantalla de los datos
- Copias duras (planos y mapas) usando una impresora
- Listados
- Reportes.

Se pueden nombrar otras aplicaciones de tipo general dentro de las muchas posibilidades que suministra un SIG.

1.10.1. El futuro de los SIG

La creciente importancia que se está dando a la información geográfica en la administración (desde la ONU a los Ayuntamientos o gobiernos locales y gobiernos del tercer mundo), considerándola vital para la resolución de problemas en multitud de campos, está aumentando el número y la calidad de la información geográfica.

En la actualidad la tendencia a tratar la información geográfica como una información más, sin diferenciarla de otros datos, está favoreciendo la integración con otras aplicaciones y sistemas lo que ayuda a su expansión en campos donde hasta hace poco no era habitual.

Hoy el condicionante principal a la hora de afrontar cualquier proyecto basado en SIG, lo constituye la disponibilidad de datos geográficos del territorio a estudiar, mientras que hace diez años lo era la disponibilidad de ordenadores potentes que permitieran afrontar los procesos de cálculo involucrados en el análisis de datos territoriales.

Aún con sus limitaciones, la información geográfica es a su vez el elemento diferenciador de un Sistema de Información Geográfica frente a otro tipo de Sistemas de Información; así, la particular naturaleza de este tipo de información contiene dos vertientes diferentes: por un lado, está la vertiente espacial y por otro la vertiente temática de los datos.

Otros Sistemas de Información (como por ejemplo puede ser el de un banco) contienen sólo datos alfanuméricos (nombres, direcciones, números de cuenta, etc.), las bases de datos de un SIG han de contener además la delimitación espacial de cada uno de los objetos geográficos.

Por ejemplo, un lago que tiene su correspondiente forma geométrica plasmada en un plano, tiene también otros datos asociados como niveles de contaminación. Pongamos otro ejemplo: supongamos que tenemos un suelo definido en los planos de clasificación de un planeamiento urbanístico como "urbanizable". Este suelo urbanizable tiene una serie de atributos, tales como su uso, sistema de gestión, etc. Pero es que además, el urbanizable tiene una delimitación espacial concreta correspondiente con su propia geometría definida en el plano.

Por tanto, el SIG tiene que trabajar a la vez con ambas partes de información: su forma perfectamente definida en plano y sus atributos temáticos asociados. Es decir, tiene que trabajar con cartografía, curvas de nivel y con bases de datos a la vez, uniendo ambas partes y constituyendo con todo ello una sola base de datos geográfica.

Esta capacidad de asociación de bases de datos temáticas junto con la descripción espacial precisa de objetos geográficos y las relaciones entre los mismos (topología) es lo que diferencia a un SIG de otros sistemas informáticos de gestión de información.

La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada accesible para el lenguaje de los ordenadores actuales. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles y normalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en capas; en esta fase, y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a compilar, se seleccionan las capas temáticas a incluir.

La estructuración de la información espacial procedente del mundo real en capas conlleva cierto nivel de dificultad. En primer lugar, la necesidad de abstracción que requieren las máquinas implica trabajar con primitivas básicas de dibujo, de tal forma que toda la complejidad de la realidad ha de ser reducida a puntos, líneas o polígonos.

En segundo lugar, existen relaciones espaciales entre los objetos geográficos que el sistema no puede obviar; es lo que se denomina topología, que en realidad es el método matemático-lógico usado para definir las relaciones espaciales entre los objetos geográficos. Aunque a nivel geográfico las relaciones entre los objetos son muy complejas, siendo muchos los elementos que interactúan sobre cada aspecto de la realidad, la topología de un SIG reduce sus funciones a cuestiones más sencillas, como por ejemplo conocer el polígono (o polígonos) a que pertenece una determinada línea, o bien saber qué agrupación de líneas forman una determinada carretera.

1.10.2. Diferencias entre CAD y SIG

Los sistemas de diseño asistido por ordenador, *CAD* por sus siglas en inglés, se basan en la computación gráfica, que se concentra en la representación y el manejo de información visual (líneas y puntos). Los SIG

requieren de un buen nivel de computación gráfica, pero un paquete exclusivo para manejo gráfico no es suficiente para ejecutar las tareas que requiere un SIG y no necesariamente un paquete gráfico constituye una buena base para desarrollarlo.

El manejo de la información espacial requiere una estructura diferente de la base de datos, mayor volumen de almacenamiento y tecnología de soporte lógico (*software*) que supere las capacidades funcionales gráficas ofrecidas por las soluciones *CAD*.

Los SIG y los *CAD* tienen mucho en común, dado que ambos manejan los contextos de referencia espacial y topología. Las diferencias consisten en el volumen y la diversidad de información, y la naturaleza especializada de los métodos de análisis presentes en un SIG. Estas diferencias pueden ser tan grandes, que un sistema eficiente para *CAD* puede no ser el apropiado para un SIG y viceversa.

1.10.3. Creación de un SIG

Para la creación de un sistema de información geográfica es necesario, llevar a cabo los pasos siguientes:

- Ingreso de información

Antes de que los datos geográficos puedan utilizarse en un SIG, deben ser convertidos a un formato digital adecuado. El proceso de convertir datos de mapas analógicos en papel a archivos de computación se llama digitalización. Tecnologías modernas de SIG tienen la capacidad de automatizar este proceso completamente para grandes proyectos; proyectos menos importantes pueden

requerir alguna digitalización manual. Hoy en día, muchos tipos de datos geográficos existen en formatos compatibles con un SIG. Estos datos pueden obtenerse de proveedores y ser cargados en un SIG.

- Manipulación

Es probable que los tipos de datos requeridos para un proyecto particular de un SIG necesitarán ser transformados de alguna forma para hacerlos compatibles al sistema. Por ejemplo, la información geográfica está disponible en diferentes escalas (archivos de ejes de calles pueden estar disponibles a una escala de 1:100.000; códigos postales a 1:10.000, y límites de áreas censales a 1:50.000). Previo a que estos puedan superponerse e integrarse, deben ser transformados a la misma escala.

Esto puede ser una transformación temporaria con objetivos de visualización o una permanente requerida para análisis. Hay otros ejemplos de manipulación de datos que se efectúan rutinariamente en un SIG. Estos incluyen cambios de proyección, agregación de datos y generalización (limpiar de datos innecesarios).

- Manejo/Administración

Para proyectos menores de un SIG, puede ser suficiente almacenar información geográfica como archivos de computación. Se llega a un punto, sin embargo, cuando los volúmenes de datos son grandes y el número de usuarios de los datos se convierte en más que unos pocos, es mejor usar un Sistema de Manejo de Bases de Datos (SMBD), para ayudar a almacenar, organizar y manejar datos. Un SMBD no es más que un *software* para manejar una base de datos (una colección integrada de datos).

Figura 6. **Representación de terreno en tres dimensiones**



Fuente: <http://www.ap.saiko.com.mx>

Hay muchos diseños distintos de SMBD, pero en un SIG el diseño relacional ha resultado más favorable. En el diseño relacional, los datos se almacenan conceptualmente como un conjunto de tablas. Campos comunes a diferentes tablas se utilizan para conectarlas. Este diseño tan sencillo ha sido tan ampliamente utilizado, principalmente por su flexibilidad y muy amplio desarrollo en aplicaciones tanto dentro como fuera de los SIG.

- Consulta

Una vez que se tiene un SIG en funcionamiento, conteniendo la información geográfica, puede comenzar a realizarse preguntas tales como:

- ¿Dónde se encuentran todos los sitios adecuados para construcción de nuevas casas?
- ¿Cuál es tipo de suelo dominante para un bosque de determinado tipo?
- Si se construye una nueva autopista en un determinado lugar, ¿cómo afectará al tránsito?

Ambas consultas simples y sofisticadas, utilizando más de un nivel de datos, pueden proveer información necesaria a analistas y administradores por igual.

- Análisis

Los SIG funcionan realmente en su terreno cuando se utilizan para analizar datos geográficos. Los procesos de análisis geográfico (frecuentemente llamado análisis espacial o geoprocésamiento) utiliza propiedades geográficas de características para buscar patrones y tendencias, y para elaborar escenarios potenciales. Los SIG modernos tienen muchas herramientas analíticas poderosas, pero dos de ellas son especialmente importantes.

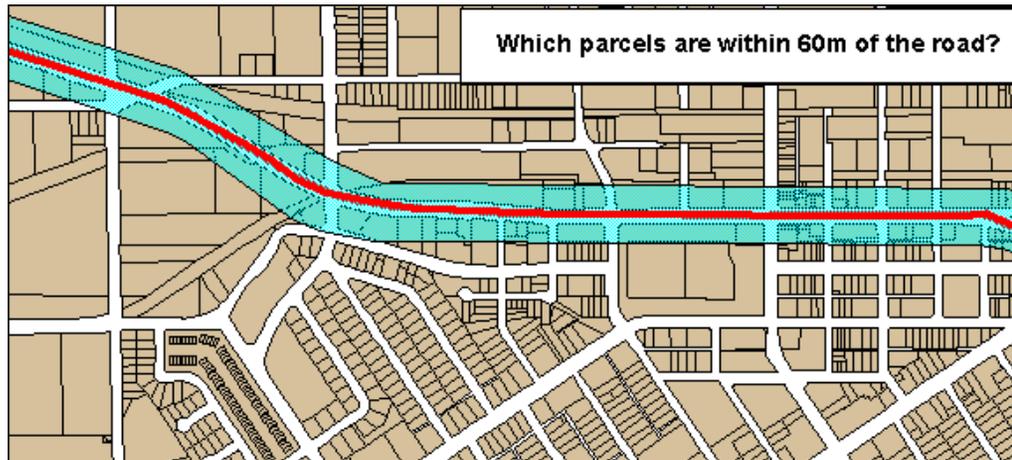
- Análisis de proximidad

Los SIG se utilizan frecuentemente para contestar preguntas tales como:

- ¿Cuántas casas se encuentran dentro de los 100 m de esta fuente de agua?
- ¿Cuál es el número total de clientes en un radio de 10 km de este negocio?
- ¿Qué proporción del cultivo de alfalfa está en un radio de 500 m del pozo?

Para contestar tales preguntas, la tecnología de SIG usa un proceso llamado *buffering* para determinar la relación de proximidad entre características.

Figura 7. **Búfer de selección de casas por ampliación de vía**

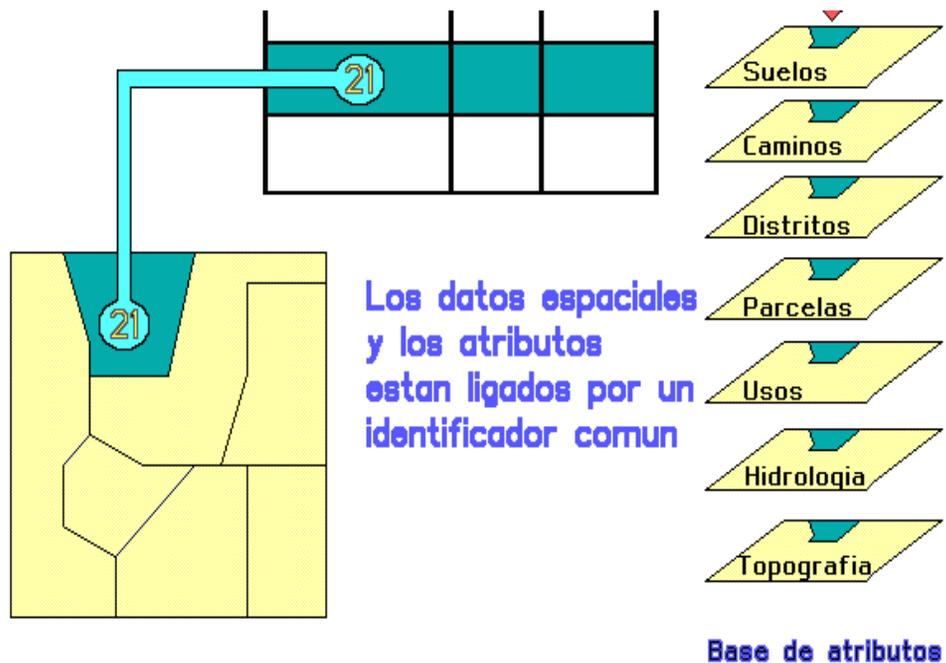


Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos/gis>

- **Análisis de superposición**

La integración de diferentes niveles de datos implica un proceso de superposición. En su forma más simple, esto podría ser una operación visual, pero operaciones analíticas requieren uno o más niveles de datos para ser unidos físicamente. Esta superposición, o unión espacial, puede integrar datos sobre suelos, pendiente, y vegetación, o posesión de tierras con análisis de impuestos.

Figura 8. Base de atributos



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos/gis>

- Visualización

Para muchos tipos de operaciones geográficas, el resultado final se visualiza mejor como un mapa o gráfico. Los mapas son muy eficientes para almacenar y comunicar información geográfica. Mientras que los cartógrafos han creado mapas por milenios, los SIG proveen herramientas nuevas y emocionantes para extender el arte y la ciencia de la cartografía.

2. DESARROLLO HISTÓRICO DEL ALCANTARILLADO

Se denomina alcantarillado a un sistema adecuado de conductos subterráneos, que sirven para el transporte de aguas de lluvia o aguas mezcladas con desechos, productos de la actividad de una comunidad. Las primeras obras de alcantarillado de que se tiene noticia son las de Babilonia, en donde se alejaban en tuberías las aguas usadas arrastrando la materia fecal.

Los judíos conducían las aguas residuales del templo y de la ciudad, hacia los estanques en los que el agua pasaba por un proceso de depuración, siendo utilizados los líquidos efluentes para riego.

En Atenas el uso de letrinas estaba ampliamente difundido, en caso que se careciese de éstas, se servían de otros recipientes adecuados. Los romanos conocían también las reglas higiénicas que deben aplicarse en núcleos poblados, y esto se manifiesta con el uso obligado de letrinas reglamentado por las autoridades. Hubo ocasiones específicas en que se hicieron conexiones directas a las casas o palacios, pero fueron excepcionales, pues la mayoría de las casas carecían de ellas. En 1815 se permite la descarga de materias fecales, por primera vez en las alcantarillas de Londres.

En 1842 después de que un fuego hubo destruido la sección “antigua” de la ciudad de Hamburgo, Alemania, se decidió reconstruirla de acuerdo a los modelos impuestos por las ideas modernas. El trabajo fue confiado a un ingeniero inglés W. Lindley, el diseñó un sistema de recolección de agua que incluía muchas de las ideas que se usan en el diseño de obras actualmente.

Desafortunadamente las ideas de Lindley acerca de la salud pública no fueron reconocidas en su tiempo.

La ciudad de Guatemala fundada en 1776 en el valle de la ermita, necesitó disponer los caudales de aguas usadas y de lluvias, en lugares donde ocasionará menores molestias a sus habitantes, optándose por canalizarlas para desfogarlas, en los barrancos que circundan el valle, ya que el antiguo gabarito de las calles, permitía que las aguas pluviales corrieran superficialmente al centro de la ciudad. El drenaje de residencias y parte del agua de lluvias era conducido por una serie de conductos rectangulares llamados tabugias construidos de ladrillo con mortero de cal y arena, al centro de las calles y avenidas.

Cuando se comenzó a pavimentar la ciudad cambió el gabarito, se introdujo la tubería circular de concreto y se optó por el uso del sistema combinado para la conducción de las aguas servidas y pluviales.

2.1. Antecedentes históricos, situación de los sistemas de alcantarillado en la ciudad de Guatemala

El continuo crecimiento de la ciudad, conlleva un crecimiento constante de la red de alcantarillado. En un lapso de 23 años ha crecido de 167 a 977 kilómetros de tubería colocada. El sistema norte que comprendía el 97% de la longitud total en 1950 se ha modificado en forma radical, puesto que en la actualidad la zona norte cuenta con el 57% de la longitud total de la red, y la zona sur en el período comprendido entre los años 1950 a 1973 se ha incrementado con 418 kilómetros de tubería colocada de los 977 kilómetros existentes, lo cual representa el 43% del total.

En lo que se refiere a la extensión superficial atendida por la red de alcantarillado, el área neta usada por la ciudad para comercio, vivienda, industria, actividad institucional y área verde asciende a 3 306 hectáreas, de las cuales 2 500 hectáreas, (76%) se encuentran ubicadas en la zona norte y el resto, o sea 806 Hectáreas, (24%) en la zona sur del pacífico.

Relacionando los datos con las longitudes de alcantarillados, la zona norte aparece disponiendo de 223 metros de alcantarillado por Ha. Mientras que la zona del pacífico exhibe una relación que es aproximadamente dos y medio veces mayor de 519 metros/hectárea.

Las zonas altas ubicadas entre las curvas de nivel 1500 metros y la carretera CA-1 (Roosevelt) forman parte del área que perteneciendo a la cuenca del sur, drena hacia el norte por medio del sistema de colectores profundos denominados R.M.R. (Reformita-Mariscal-Roosevelt), que sirve en las zonas 11 y 12 de la ciudad, y por medio del sistema 10-13-14 que drena las zonas correspondientes con sistema combinados y en contrapendientes.

La captación y traslado de aguas, de una cuenca a la otra, a través de la divisoria continental, forma parte de una política a seguir para evitar hasta donde sea posible, la contaminación de la cuenca del pacífico y del lago de Amatitlán.

El alcantarillado pluvial en la zona del pacífico está formado por redes superficiales de las áreas con desarrollo urbano y por colectores interceptores de las escorrentías superficiales, que con anterioridad producían inundaciones o problemas similares en determinadas zonas.

El funcionamiento de los sistemas de drenaje descritos está condicionado por factores ligados con la construcción y el mantenimiento de las propias redes, tanto superficiales como servidas mediante túneles profundos; a esto habrá que agregar que mientras se lleva a cabo la construcción de los interceptores principales, las redes tendrán que funcionar en condiciones poco adecuadas, descargando en caída libre sin obras de protección y disipación, transportando caudales mayores a los de diseño, mientras se construyen redes auxiliares.

En la cuenca norte la mayoría de los barrios cuentan con redes superficiales del tipo combinado, que recolectan las descargas domiciliarias y de tormenta y las conduce para descargar en algunos de los barrancos cercanos; tomando como referencia el área central de la ciudad de Guatemala.

La Municipalidad de la ciudad de Guatemala, con asistencia financiera del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha construido un extenso sistema de colectores, que descarga, en la zona 06 de la ciudad de capital.

A lo largo de 57 años, 1950-2007, el área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala ha visto crecer en términos demográficos a los municipios vecinos de Amatitlán, Mixco y Villa Nueva a un ritmo acelerado. Sin embargo, en el período de 1950 a 1981 no solamente esos municipios crecieron poblacionalmente. Se aunaron a ese crecimiento acelerado de su población los municipios de Chinautla, Santa Catarina Pinula y Villa Canales.

Se calcula que el área Metropolitana de la Ciudad de Guatemala se aproxima a los 3 millones 132 mil 465 habitantes en este año. En este cálculo se supone que el municipio de Guatemala creció entre 2002 y 2007 a una tasa

de 1,7 por ciento al año. Y que los municipios vecinos lo hicieron, en el mismo período, a una tasa de 13,5 por ciento al año.

Los municipios al sur de la capital de Guatemala han sido absorbidos por el área metropolitana, y se han convertido en ciudades dormitorio. La migración desde el interior del país ha provocado escasez de servicios básicos, aumento de la inseguridad y un considerable cambio en el ritmo de vida.

Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Amatitlán han experimentado un aumento brusco en su población, con lo cual comparten la mayor parte de los problemas de la capital, pero sin los recursos suficientes para afrontarlos.

En el caso de Mixco, ya no tiene para dónde crecer; Villa Nueva posee colonias sobre las que no ejerce control; San Miguel Petapa está recibiendo un gran número de habitantes de clase media en unidades residenciales, en tanto que Amatitlán también se llena de ese tipo de colonias. Los cuatro municipios tienen algo en común: la gran mayoría de sus vecinos abandona la jurisdicción por la mañana y vuelve sólo para dormir.

El problema de la falta de servicios es crítico. Los centros de salud, las escuelas, el servicio de agua y de recolección de basura son insuficientes, por la continua creación de colonias, a las cuales hay que abastecer, pero cuyos habitantes ni siquiera están vecindados. En Villa Nueva, el 80 por ciento de su población no está vecindada.

La ciudad de Guatemala cuenta al sur con varias arterias principales de desfogue siendo estas: la calzada Aguilar Batres, la avenida Petapa, la avenida Hincapié y el boulevard de San Cristóbal, sin embargo existe el problema del tránsito vehicular, ya que al desplazarse una gran masa de trabajadores de los

municipios a la capital, las entradas y salidas se congestionan durante las horas pico.

2.2. Los drenajes en Guatemala, breve historia de la zona 10 de la ciudad de Guatemala

Durante los últimos 25 años, la zona 10 se constituyó como el corazón empresarial, turístico y financiero del departamento de Guatemala, donde se genera el 47,3 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) del país, según una estimación realizada por la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN).

Sus 582 hectáreas, 55 áreas y 8,3078 centiárea de extensión dan cabida a unas 3 mil 375 viviendas y 20 mil 654 empresas, según estadísticas de la municipalidad de Guatemala y el Registro Mercantil (RM).

El surgimiento de la zona 10 data de la gestión del general José María Reyna Barrios (1892-1898), quien impulsado por la bonanza económica generada por el café, transformó la ciudad en un pequeño París.

Reyna Barrios inauguró en 1895 el bulevar 30 de junio hoy avenida la reforma, arteria principal que es límite entre las zonas 09 y 10 de la ciudad de Guatemala, presentarlo como muestra del progreso de Guatemala durante la gran exposición centroamericana de 1897.

La zona se convirtió en un área de casas de descanso para las familias acomodadas de la ciudad, y no fue sino hasta finales de la década de los 70 que debido a la saturación y decaimiento de otros sectores, empezaron a llegar

los comercios, oficinas y restaurantes. La tierra se cotizaba en Q22 la vara cuadrada, un precio récord en aquella época.

Entonces fue cuando los vecinos empezaron a vender sus residencias de principio de siglo, las casas victorianas y las residencias con estilo art déco de los años 30 a los años 50, la zona se convirtió en el centro de negocios en la ciudad, asentándose oficinas públicas y privadas.

El auge se consolidó dos décadas más tarde, en los 90, cuando los bancos trasladaron sus oficinas y surgieron hoteles de cinco estrellas. El área de la Zona Viva se convirtió en un sector de mucho movimiento económico.

Actualmente, el valor de la tierra se cotiza en dólares, se establece que el precio de la vara cuadrada asciende entre US\$200 a US\$250 si se trata de vivienda, y entre US\$300 a US\$500 en el sector comercial (Ing. Manuel Salguero, Revista Plusvalía).

Figura 10. **Obelisco en la década de los 70's, inicio de la Avenida de la Reforma**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Figura 11. **Obelisco en la actualidad**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Figura 12. **Boulevard Los Próceres en la década de los 70's**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Figura 13. **Boulevard Los Próceres en la actualidad, incremento en el área financiera**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Figura 14. **Boulevard Los Próceres en la actualidad, incremento en el área de comercio**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Figura 15. **Zona 10 en la década de los 70's**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Figura 16. **Zona 10 en la actualidad**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Figura 17. **Edificio del Hotel Camino Real**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Figura 18. **Edificio del complejo empresarial Plaza Pradera**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

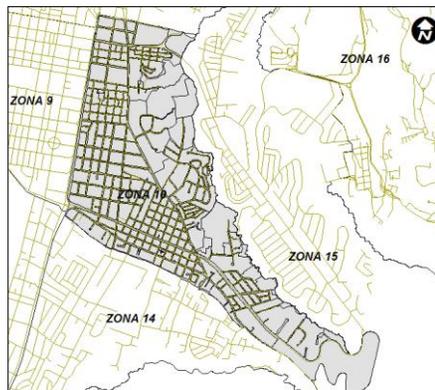
3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ANÁLISIS

3.1. Delimitación y localización

La zona 10 de la ciudad de Guatemala se encuentra ubicada mediante las coordenadas geográficas longitud $90^{\circ} 31' 36''$ al oeste de Greenwich y latitud $14^{\circ} 37' 15''$ al norte del ecuador, comprende un área superficie de 582 hectáreas, 55 áreas y 8,3078 centiárea. En relación al municipio de Guatemala, la zona 10 se ubica al sur-oeste del mismo, sus colindancias son las siguientes:

Norte	Zona 05 con 34 calle instalaciones del campo Marte.
Sur	Zona 14 calle del montículo de la serpiente.
Oriente	Zona 15 con zanjón del Río Negro.
Poniente	Zona 04 y Zona 09 con avenida La Reforma.

Figura 19. **Visualización del mapa de la zona 10, a nivel de manzanas**



Fuente: Municipalidad de Guatemala

3.2. Aspectos físicos de la zona

3.2.1. Geología

La geología comprende el estudio de la composición, estructura, propiedades, y la historia de la materia física de la zona 10 de la ciudad de Guatemala.

3.2.1.1. Historia geológica del valle de Guatemala

El proceso de formación del valle de la ciudad de Guatemala, está relacionado con las fallas transcurrentes de Motagua y Jalpatagua y zona de distensión que se forma en intersección de éstas. El incremento en la actividad de las fallas Motagua y Pínula, creó una zona de debilidad que fue aprovechada para el ascenso de magma que formó las estructuras volcánicas de los cerros Pínula y El Naranjo.

En un principio esta zona de distensión sirvió como conducto para el ascenso del magma, sin embargo, al continuar los movimientos de estas fallas en la zona de distensión, se originó la falla de Mixco cuya forma sigue el contorno de la estructura del relicto del cerro Pínula y que el movimiento de las superficie del valle y de las estructuras volcánicas, mediante desplazamientos verticales continuos.

El límite entre la depresión y la estructura volcánica está formado por la falla de el trébol, dentro del valle de la ciudad de Guatemala. El cerro el naranjo es otra estructura que se encuentra dentro del valle, se considera una estructura secundaria, formada posteriormente al cerro pínula y que surge de una pequeña cámara magmática, la cual aprovecha la zona de debilidad que

coincide con el plano de la falla de Mixco. La actividad volcánica en esta área termina al migrar el vulcanismo hacia la zona de subducción.

3.2.1.2. Estructura geológica de la zona de análisis

De acuerdo a estas evidencias, se concluye que bajo el valle de la ciudad de Guatemala, ha sido formado una estructura de tipo cuencas separadas, delimitado al norte por la falla del Motagua; al sur por la falla de Jalpatagua y en el centro se ha generado una zona de distensión que formó la depresión, en la que se encuentra la ciudad. La zona de distensión primero fue aprovechada por la actividad volcánica representada por los cerros pínula y el naranjo. Al continuar los movimientos tectónicos colapsaron las estructuras volcánicas formando el sistema de fallas de Mixco, cuyas trazas se evidenciaron en superficie durante el terremoto de 1976.

Las estructuras han sido cubiertas por un potente espesor de materiales piroclásticos que han encubierto y ocultado su origen. De acuerdo a la presente interpretación, el patrón de fractura del valle de Guatemala provocado por el terremoto de 1976 ha evidenciado que la zona de falla coincide únicamente con la de Mixco, la cual es un sistema de fallas normales, escalonadas, cuya forma está gobernada por las estructuras volcánicas subyacentes. Lo que hasta ahora se conoce como falla pínula, representa las faldas del relicto de la estructura volcánica.

La estructura del relicto volcánico se adentra en el valle de Guatemala hasta el sector de el trébol, siendo el contorno exterior, el formado por los altos estructurales que se encuentran dentro del valle de Guatemala. Hacia el oeste de este contorno, se inicia la zona de falla activo.

3.2.2. Topografía

La topografía que se manifiesta en zona 10 es variable, tomando en cuenta que la ciudad de Guatemala se ubica asentada sobre el valle de la Ermita y por consiguiente rodeada de una serie de montañas, la topografía de la zona 10 varía a medida que se avanza hacia el este de la ciudad de Guatemala, en la zona 10 se encuentran predominando en un 70% las áreas planas que van desde 0° a 5° y estas áreas se constituyen como las mayor desarrollo urbanístico dentro de la zona.

La cartografía catastral que obra en la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Guatemala y las hojas cartográficas a escala 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), la elevación mínima alcanza los 1 435 metros sobre el nivel del mar, la cual se ubica en la quebrada del río Negro, colindante con la zona 15 de la ciudad de Guatemala, el río Negro, mantiene una longitud sobre la zona 10 de 5 000 metros aproximadamente, el mismo continúa su trayecto hacia la zona 15 y la zona 05; de igual manera se presenta una altitud máxima de 1 585 metros sobre el nivel del mar al oriente del mismo sobre la carretera Internacional CA-1 hacia El Salvador.

En cuanto al área total, se observó que la altitud promedio se mantiene entre los 1 500 a 1 510 metros sobre el nivel del mar, ocupando un 90% del total de la superficie de la zona 10 aproximadamente. El datum vertical de referencia es el de San José de 1950.

3.2.3. Clima e hidrología

El clima en el valle de Guatemala es generalmente templado, con estación seca definida durante los meses de abril a noviembre. La temperatura media varía entre 17° a 23° en condiciones normales.

La ciudad de Guatemala es la capital más fría y más alta de toda centroamérica, para los meses fríos entre noviembre y febrero las temperaturas mínimas pueden llegar hasta los 3°C y las máximas no sobrepasar los 14°C. Su precipitación pluvial anual promedio es de 1 265 mm. Debido a su posición en la zona de convergencia intertropical, las estaciones que se marcan en la ciudad de Guatemala por el régimen pluvial, está definido por dos grandes períodos; la época seca de noviembre a abril y la temporada de lluvia se extiende de mayo a octubre, las más intensas ocurren de mayo a junio y septiembre a octubre.

Se estima un total de 119 días de lluvia al año, con una humedad relativa del 79% en los meses de julio a octubre.

3.2.4. Uso del suelo

Se establece la caracterización territorial del municipio según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) a través de seis zonas generales conocidas bajo la denominación de zonas G (G0, G1, G2, G3, G4 y G5). Esta clasificación depende de las características naturales que tenga cada área en cuanto a topografía y orografía, así como de las características urbanas determinadas por la relación de cada área o predio con vías del sistema vial primario, las cuales inciden directamente sobre la intensidad de construcción que pueden adecuadamente soportar.

Se establecen las siguientes zonas generales:

- Zona General G0 [Natural]: áreas que por su topografía y orografía se consideran de vocación para la conservación del ambiente y los recursos naturales y que, por sus condiciones para la potencial ocurrencia de deslizamientos o derrumbes, se consideran de riesgo de desastres y no aptas para la ocupación humana. En estas áreas queda prohibida la existencia de usos del suelo que impliquen ocupación humana.
- Zona General G1 [Rural]: áreas que por su topografía se consideran predominantemente de vocación para la conservación del ambiente y los recursos naturales, con aptitud para la ocupación humana compatible con el ambiente, correspondiente a una baja intensidad de construcción, según los índices de edificabilidad establecidos para el efecto.
- Zona General G2 [Semiurbana]: áreas que por su distancia al sistema vial primario, se consideran aptas para edificaciones de baja intensidad de construcción, según los índices de edificabilidad establecidos para el efecto. Predomina la vivienda unifamiliar y las áreas verdes, complementadas por usos del suelo no residenciales de soporte para la vivienda.
- Zona General G3 [Urbana]: áreas que por su distancia al sistema vial primario, se consideran aptas para edificaciones de mediana intensidad de construcción, según los índices de edificabilidad establecidos para el efecto. Predomina la vivienda, tanto unifamiliar como multifamiliar, complementadas por usos del suelo no residenciales de soporte para la vivienda.

- Zona General G4 [Central]: áreas que por su distancia al sistema vial primario, se consideran aptas para edificaciones de alta intensidad de construcción, según los índices de edificabilidad establecidos para el efecto, con vivienda multifamiliar y usos del suelo no residenciales compatibles con vivienda.
- Zona General G5 [Núcleo]: áreas que por su distancia al sistema vial primario, se consideran aptas para edificaciones de muy alta intensidad de construcción, según los índices de edificabilidad establecidos para el efecto, específicamente en lo relativo a aquellos usos del suelo no residenciales, incluyendo vivienda multifamiliar.

3.2.4.1. Uso del suelo residencial

Superficie edificada destinada al uso del suelo primario residencial que se permite disponer en un inmueble, medida en metros cuadrados. Para el efecto se tomarán en cuenta únicamente las superficies destinadas al uso del suelo primario correspondiente, dicho en otras palabras, es la superficies dedicadas exclusivamente a vivienda.

Todas aquellas superficies dedicadas a la morada usual y regular de las mismas personas, incluyendo este concepto las viviendas unifamiliares y multifamiliares que contengan como parte integrante de la unidad habitacional las áreas de aseo, de cocina, de consumo de alimentos, de dormir y de estar.

Se excluyen de este concepto la morada transitoria o institucional de pobladores, como el caso de las habitaciones de hotel, de hospital o de residencias estudiantiles.

3.2.4.2. Uso del suelo no residencial con actividades ordinarias

Por las características específicas de la Zona 10 del Municipio de Guatemala, se describen dentro de todos los tipos de superficie para uso del suelo no residencial, algunas de mayor relevancia, siendo éstas las siguientes:

- Superficies dedicadas a la venta de productos o a la prestación de servicios: todas aquellas superficies dedicadas usual y regularmente al comercio de bienes y a la prestación de servicios en lugares a los que el público en general tiene acceso, independientemente que existan cobros, horarios o controles para el ingreso al inmueble.

En esta categoría se incluyen todas las áreas de los comercios donde se atiende al público, usualmente de pie, como almacenes comerciales, tiendas, abarroterías, mercados y supermercados; y todas las áreas donde se prestan servicios al público directamente en el lugar, como las peluquerías, salones de belleza, clínicas médicas, ópticas, áreas de servicio al cliente, mostradores de atención al público y agencias de viajes.

Son parte integrante de estas superficies todas las áreas de espera, de reunión u otras donde se atiende al público sentado si están directamente asociadas a la actividad de venta de productos o de la prestación de servicios. Se excluye de esta categoría a todos los servicios asociados a labores de oficina o a actividades corporativas donde el público usualmente no tiene acceso, y todas las otras superficies que pudieran ser clasificadas dentro de otra categoría.

- Superficies dedicadas al consumo de comidas y bebidas: todas aquellas superficies dedicadas usual y regularmente al consumo inmediato de comidas y bebidas al público y que es expendida por el mismo establecimiento. En esta categoría se incluyen las áreas de mesas y barras de comedores, restaurantes, cafeterías, pastelerías, etcétera. Son parte integrante de estas superficies todas las áreas de circulación entre las mesas mismas. Se excluyen aquellas áreas de consumo de comidas y bebidas que no estén abiertas al público, como por ejemplo, comedores para empleados.
- Superficies dedicadas a labores de oficina: todas aquellas superficies dedicadas usual y regularmente a actividades corporativas, administrativas, directivas y de reunión comúnmente asociadas a actividades de oficina y para personal que usualmente se encuentra sentado. Esta categoría incluye el área de escritorios, de cubículos, de salas de junta, de áreas secretariales y de oficinas cerradas. Son parte integrante de estas superficies todas las áreas de espera, de reunión u otras donde convergen empleados si están directamente asociadas a la actividad de oficina.

Se excluyen de este concepto todas aquellas áreas donde prevalezca la atención al público o ésta sea de alta rotación, en cuyo caso les corresponde la clasificación como superficies dedicadas a la venta de productos o a la prestación de servicios. Sin embargo, las oficinas dedicadas a servicios corporativos o profesionales donde la atención al público sucede, pero es secundaria, como servicios jurídicos, financieros, contables, de publicidad, de arquitectura, etcétera, sí pertenecen a esta categoría.

- Superficies dedicadas a enseñanza: todas aquellas superficies dedicadas usual y regularmente a la instrucción, el estudio, la cultura y el saber, generalmente en espacios donde los estudiantes se encuentran sentados en salones de clases o de entrenamiento vocacional. Esta categoría incluye los espacios dedicados a aulas, laboratorios, talleres, salones de música, bibliotecas, salones de seminarios y auditorios, siempre que los usuarios regulares sean los estudiantes mismos y no el público en general.

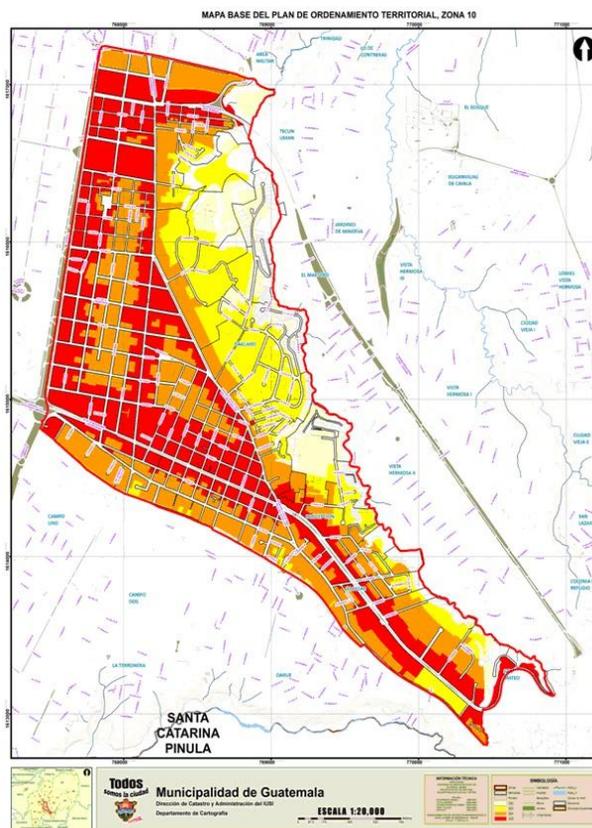
También se incluyen aquellas áreas al aire libre que estén dedicadas para el mismo fin. Se excluyen de este concepto las áreas administrativas y de práctica de deportes, que deberán ser clasificadas correspondientemente.

- Superficies dedicadas al alojamiento o al encamamiento: todas aquellas superficies dedicadas usual y regularmente a la morada transitoria o institucional de pobladores, donde se incluyen necesariamente las áreas para dormir, sin la necesidad que éstas cuenten con áreas de aseo, de cocina, de consumo de alimentos y de estar.

Esta categoría incluye las habitaciones de hoteles, pensiones, albergues, residencias estudiantiles, residencias de ancianos, casas de huéspedes, sanatorios y hospitales. Se excluyen de este concepto todas las áreas complementarias a las habitaciones, como restaurantes, bares, salones de clases, clínicas, salones de convenciones y áreas administrativas, independientemente que éstas sean accesibles únicamente por los moradores o abiertas al público general, las cuales deberán ser clasificadas correspondientemente.

- Superficies dedicadas a actividades de ocio estanciales: todas aquellas superficies dedicadas usual y regularmente para actividades pasivas de ocio que tengan fin de diversión, entretenimiento, pasatiempo o cultura, y donde generalmente se combinan personas de pie y sentadas. Esta categoría incluye los espacios dedicados a galerías, museos, bibliotecas, salas de exposición y salas de juegos de mesa. Adicionalmente incluye todas aquellas superficies dedicadas al uso del suelo, accesorio de circulación peatonal que supere el límite establecido.

Figura 20. **Uso del suelo en la zona 10, representación de áreas para construcción residencial y no residencial**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

3.3. Población

El departamento de Guatemala cuenta con una población total de 2 541 581 habitantes, lo cual representa el 22,5% de la población total del país, para el año 2010 se estima, según la ecuación de crecimiento poblacional un total de 2 716 950 habitantes. Asimismo contiene un 41,8% de la población urbana y el 4,1% de la población rural del país, según la distribución porcentual de hogares de la República de Guatemala. De la población total del departamento, se puede describir que 1 221 379 habitantes son hombres y 1 320 202 habitantes corresponde a mujeres, por otro lado 2 186 669 habitantes se ubican en el área urbana y 334 912 se ubican en área rural.

En el Municipio de Guatemala se ubican 942 348 habitantes, siendo la distribución de 444 429 hombres y 497 919 mujeres; el total de la población del municipio se ubica en área urbana y no se cuenta con registro de habitantes en área rural, pero si se distribuye en 68 824 habitantes indígenas y 873 524 habitantes no indígenas, además se establece en área urbana 4,29 habitantes por hogar.

En relación a la habitación del municipio, existe un total de 221,964 hogares de los cuales se diversifica el tipo de servicio de agua potable y servicio sanitario, por ejemplo en relación al servicio de agua potable existe 180 800 hogares con chorro exclusivo, 17 340 hogares con chorro compartido por varios hogares, 6 213 hogares con chorro público, 3 304 hogares con pozo, 6 110 hogares con servicio de agua, a través de camión o tonel, 443 hogares que se abastecen por medio de lago, río o manantial y 7 753 hogares con otro tipo de abastecimiento del servicio, datos importantes que derivan en el uso del sistema de alcantarillado del municipio.

En relación al servicio sanitario, la diversidad es un poco mayor, de los 221 964 hogares del Municipio de Guatemala, 214 532 hogares cuentan con servicio sanitario, 196 645 utilizan exclusivamente el servicio para un hogar y 17 987 hogares utilizan el servicio sanitario compartido con uno o más hogares.

La población de la zona 10 del municipio de Guatemala, según la misma fuente, asciende a 12 090 habitantes, de los cuales 5 533 habitantes son hombres y 6 557 habitantes son mujeres, esto representa que el sexo femenino supera en 1 024 al masculino.

3.3.1. Desarrollo urbanístico y demográfico

La capital de Guatemala es la mayor urbe del país y de Centroamérica. Se sitúa en una meseta de 1 500 m. de altura, a unos 80 km del Océano Pacífico, rodeada de valles y barrancos, y goza de un clima agradable, a veces muy cálido. Fundada como la tercera capital de Guatemala, en 1776, tras la destrucción de las anteriores, Antigua y Ciudad Vieja, por dos terremotos, llama la atención su trazado urbanístico en damero, siguiendo la tradición de todas las ciudades del país: avenidas de Norte a Sur, calles de Este a Oeste.

A principios del siglo XX (1917-1918), la ciudad de Guatemala estuvo a punto de desaparecer a causa de una serie de sismos consecutivos, pero afortunadamente sobrevivió y en la actualidad alberga a casi dos millones de habitantes.

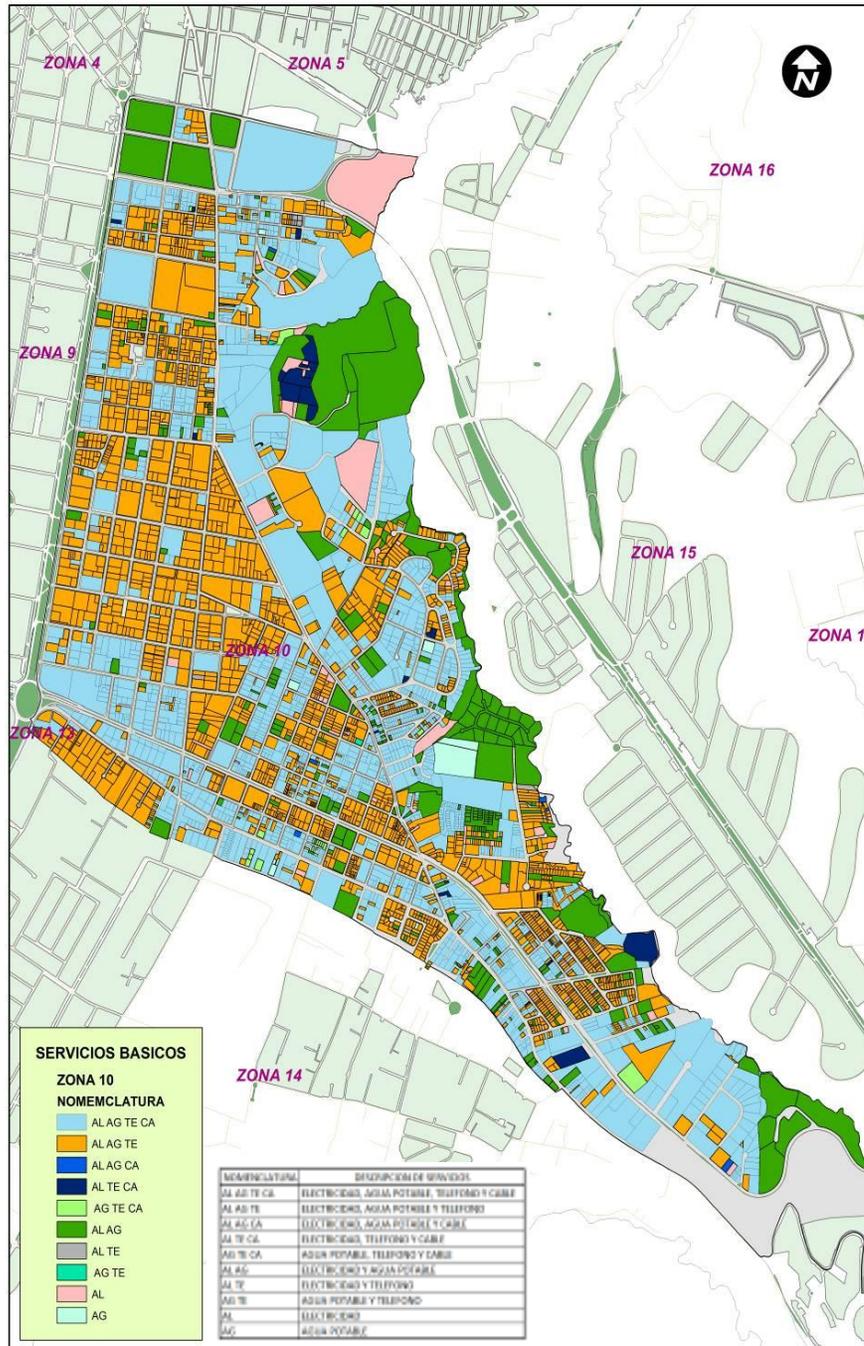
La municipalidad de Guatemala, a través de un Acuerdo del Honorable Concejo Municipal, subdivide el Municipio en veintitrés zonas numeradas de la 1 a la 21, 24 y 25, cada una de las cuales a su vez tiene su propia organización en cuadrícula perfecta. Aunque casi no quedan edificios de estilo colonial, sí se conserva la Plaza Mayor en la zona 01, un ejemplo paradigmático de la típica

ciudad colonial española convertida en centro comercial y representativo de la capital. Junto a la plaza están el palacio nacional de la cultura y la catedral metropolitana.

En referencia a la zona 10 del Municipio de Guatemala, se puede establecer que en el área se encuentran la mayoría de los hoteles importantes de la ciudad, cuenta además con un número importante de restaurantes elegantes y la vida nocturna se concentra en la llamada zona viva, la zona 10 reúne los principales museos de la ciudad, como el museo Popol Vuh (con una colección privada de arte maya y arte colonial español) y el museo Ixchel (dedicado a las obras artísticas de los pueblos indígenas de las tierras altas de Guatemala).

En la figura 20, se observa los servicios básicos con los que cuenta la zona 10. Los servicios básicos que se tomaron en cuenta son el de electricidad, agua potable, teléfono y cable; en el sector de estudio, se tiene que un 70% de los inmuebles poseen todos los servicios indicados anteriormente, mientras que el resto de los inmuebles, varía los servicios instalados, pero se tiene que en la totalidad de los inmuebles del sector, existe servicio de electricidad y agua potable, considerados indispensables.

Figura 21. Servicios básicos con los que cuenta la zona 10



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

3.3.2. Sistema vial

Aunque en el municipio no se tiene categorización definida para el sistema vial, dentro de la zona 10, existen tres arterias principales que son la avenida de la reforma, que limita la zona 9 y la zona 10, el boulevard los próceres que se constituye como una de las salidas y entradas más importantes de toda la ciudad capital y la diagonal 06, que atraviesa toda la zona 10 y una las dos primeras.

Sobre las tres arterias descritas, transita una fuerte cantidad de vehículos ya que dichas arterias se constituyen como de las más importantes de la ciudad capital; el resto de calles y avenidas que están dentro de la zona, son consideradas como de segunda categoría, debido a sus características físicas y al menor tráfico vehicular que se da en estas.

En cuanto al tipo de recubrimiento que posee el sistema vial del sector, se tiene tal como se observa en la figura siguiente, que predominan las vías con recubrimiento asfáltico o flexible y las de concreto o recubrimiento rígido.

Figura 22. **Tipo de recubrimiento en las vías de la zona 10.**



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

3.3.3. Densidad de población

La zona 10 de Guatemala muestra un promedio de 1 717 habitantes por hectárea. La tasa de crecimiento está reflejada en un 2,48% teniendo una tasa de natalidad de 33,96 nacimientos por cada 1 000 personas y una tasa de mortalidad es de 7,15 fallecimientos por cada 1 000 personas.

3.3.4. Densidad de vivienda

Los problemas relacionados con la situación de la vivienda en la ciudad de Guatemala presentan dos situaciones: el déficit habitacional y la calidad de las mismas. En 1995 se llegó a estimar que el déficit en el área metropolitana era de 195 000 unidades, mientras que el crecimiento anual de nuevas viviendas estaba en 8 000. El segundo problema se refiere a la mala calidad de las viviendas, que alcanza condiciones extremas en los suburbios urbanos. Se estima que en Guatemala el 78% de estas se sitúan en zonas marginadas y están construidas en áreas de alto riesgo.

El 62% de ese total están ubicados cerca de desagües, con todas las implicaciones de riesgo que tiene. El 89% de las viviendas en áreas marginales están construidas con materiales de desecho o basura como cartones y latas de acuerdo a la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), Gobierno de Guatemala, 1996.

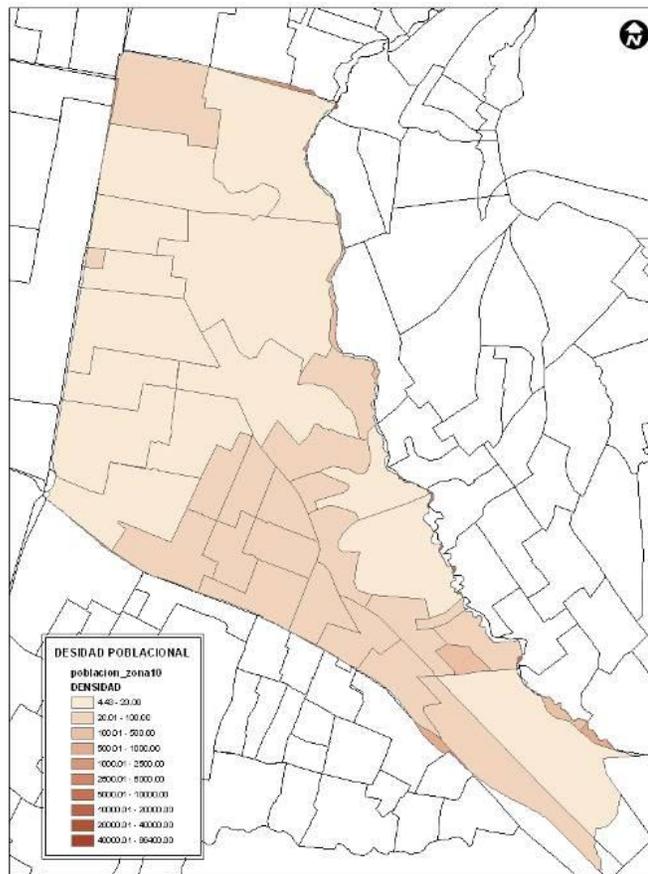
El Fondo Guatemalteco para la vivienda (FOGUAVI) establece que el déficit habitacional en Guatemala para el 2008 era de 1 220 207 unidades. Basado a la proyección de habitantes para el año 2011, se estima que el déficit habitacional aumente a 1 325 000 unidades habitacionales. El déficit cualitativo

(calidad habitacional) era de 754,504 unidades, que representaban el 61 por ciento del total.

A su vez, el déficit cuantitativo (cantidad habitacional) era de 475 703 unidades que representaban el 39 por ciento del total.

Si se considera que por cada unidad habitacional habitan 5 personas, como tamaño medio de las familias guatemaltecas de nuestro tiempo, tendremos que se encuentran en esta situación de vivienda en malas condiciones o de falta de la misma unos 6,1 millones de habitantes.

Figura 23. **Distribución de la densidad poblacional de la Zona 10**



Fuente: INE y Municipalidad de Guatemala.

3.4. Ambiente económico-social

3.4.1. Pobreza

Guatemala sigue siendo un país de población joven y con altos porcentajes de pobreza extrema (57%). Un 21,5% de la población se encuentra en pobreza extrema, ya que no alcanza a cubrir el costo del consumo mínimo de alimentos. Un 35,5% corresponde a pobreza no extrema, que sí alcanza a cubrir el consumo mínimo de alimentos.

Según los datos anteriores la pobreza está presente predominantemente en la población rural, indígena, mujeres y en los menores de 18 años. Guatemala concentra más del 36% de la población de Centroamérica, así mismo concentra el 39% de la población desnutrida de Centroamérica, y muchos niños mueren por problemas relacionados con la desnutrición.

Los indicadores clasifican a Guatemala como uno de los países más vulnerables y de mayores índices de inseguridad alimentaria en Latinoamérica, como consecuencia de bajos ingresos, baja capacidad para producir alimentos, altos niveles de desnutrición, y alta vulnerabilidad a fenómenos climáticos.

Desde la firma de los acuerdos de Paz, la situación alimenticia en Guatemala se ha deteriorado a un nivel preocupante y el poder de compra de una parte mayoritaria de la población rural, no es suficiente para cubrir sus necesidades nutricionales, principalmente en el corredor seco, conformado por los departamentos de Chiquimula, Zacapa, Jutiapa, Jalapa. Aunque en los últimos años la niñez, se ha beneficiado de grandes progresos en las esferas de salud y educación, la inversión social en Guatemala sigue siendo una de las

más bajas de América Latina, lo que dificulta que el país desarrolle programas sociales significativos.

Las niñas, los niños y adolescentes conforman más del 50% de la población guatemalteca. El 50% de la población menor de 18 años (alrededor de 3,7 millones de los niños, niñas y adolescentes) vive en la pobreza. La situación es radicalmente peor en las zonas rurales e indígenas, donde el 76% y el 80%, respectivamente, vive en la miseria.

A pesar de la gratuidad de la educación decretada por el gobierno, la retención, deserción y repitencia escolar siguen siendo problemas graves en el ámbito educativo, a lo que hay que agregar la débil infraestructura escolar con la que debe atenderse a los niños y niñas; como señala el Informe Nacional de Desarrollo Humano, Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Sistema de las Naciones Unidas.

3.4.2. Empleo

Los datos disponibles de empleo y subempleo provienen de encuestas en áreas marginadas. La información revela la existencia de un gran sector informal de la economía. Del total de los adultos que viven en suburbios urbanos y que tienen empleo, sólo un 2,3% trabajan en labores de oficina y un 3,7% son profesionales/técnicos, según SEGEPLAN. En 2009 los salarios mínimos se incrementaron un 10,6% para los trabajadores del área agrícola y un 7,2% para el resto de las actividades económicas, excepto la maquila. Dada la inflación negativa, por primera vez en cuatro años aumentó el salario real (en promedio un 6,2%).

Desde marzo de 2008, no ha habido información oficial sobre el desempleo. Para 2010 diversos analistas estiman que la tasa de desempleo

será de un 5% en comparación con el 7% estimado para 2009, debido al repunte de la actividad económica. En enero de 2010 entró en vigencia un ajuste al salario mínimo. En este contexto, se igualó el salario mínimo correspondiente a las actividades agrícolas y no agrícolas en 56 quetzales diarios, lo que significó un incremento nominal del 7,7%.

Por su parte, la maquila registró un ajuste de 47,8 a 51,8 quetzales diarios, lo que representa un incremento del 8,5% de su salario nominal, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

4. TOMA DE DATOS DE CAMPO

4.1. Levantamiento de información de drenajes

El servicio de recolección de las aguas residuales en la ciudad de Guatemala, se efectúa a través de una serie de colectores sanitarios, pluviales y combinados que cubren gran parte de la zona. En general, estos colectores descargan hacia el norte hasta llegar al mar caribe o bien fluyen hacia el sur y descargan en el lago de Amatitlán.

Para evitar que las descargas de la ciudad se viertan al lago de Amatitlán, se construyeron túneles y una serie de colectores profundos que interceptan las descargas al sur y las conducen a la cuenca norte. Además, antes de los años 80's se construyeron colectores de gran diámetro para interceptar las múltiples salidas laterales en la cuenca norte, con la idea de unificar puntos donde, en un futuro, puedan ser sometidas a tratamiento. Actualmente, la descarga es directa a las corrientes al norte de la ciudad, que fluyen hacia el río Motagua y, posteriormente, finalizan en el mar Caribe.

La cuenca al sur de la ciudad de Guatemala desemboca en el lago de Amatitlán y recibe las descargas del resto del área metropolitana, en su mayoría sin tratamiento, originadas en jurisdicciones de varios municipios vecinos que conforman el Área Metropolitana de la ciudad de Guatemala (AMG).

En estas poblaciones, es la municipalidad correspondiente la responsable de proveer y operar los sistemas de evacuación de las aguas servidas, aunque

en fechas recientes parte de sus sistemas ha pasado a ser atendidos por la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA).

Los sistemas de alcantarillado son en su mayoría de tipo sanitario, sólo para cloacas; hay muchas poblaciones con sistema combinado. La mayoría de los sistemas han sido construidos con tubería de concreto, sin refuerzo para los diámetros de hasta 50 cm (20") y de concreto reforzados para diámetros mayores. Los colectores de más de 90 cm (36") han sido construidos en sitio, de concreto reforzado. En pocos casos se han construido sistemas con tuberías de PVC.

Para los años 70's la población servida con sistemas de saneamiento en el Área Metropolitana de la ciudad de Guatemala se registraban 97 000 conexiones domiciliarias de alcantarillado que determinan una población servida de 68 000 habitantes, según estimación realizada por SEGEPLAN.

4.2. Investigación y recopilación de información en archivos de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) de la ciudad de Guatemala

Debido a que no existen documentos que abarquen el tema en cuestión, se realizaron entrevistas a profesionales de EMPAGUA, debido a la experiencia que tienen en el tema, se plantearon las siguientes interrogantes:

Pregunta 1

- ¿En qué año se empezó a introducir la red de drenajes en la zona 10, o en su defecto en el sector que comprende las zonas 04, 09 y 10?

La construcción del sistema de drenajes de la zona 09, dio inicio aproximadamente en el año de 1945.

Pregunta 2

- ¿Qué materiales, métodos y normas se implementaron?

Básicamente los materiales utilizados fueron el ladrillo tayuyo con revestimiento de mortero de cemento, tanto para la red como los registros; estos elementos y procedimientos proceden del tiempo de la colonia en Guatemala y no existían normas o reglamento alguno en la Municipalidad de Guatemala ya que el reglamento surgió en el año de 1962, fecha en donde ya se contaba con una gran extensión de elementos de la red de drenajes.

Pregunta 3

- ¿Cuál era la capacidad o proyección del diseño inicial?

Como todo proyecto de este tipo, el período de diseño fue para 20 años sin embargo se han realizado implementaciones y ampliaciones a la red, lo cual ha permitido que el mismo sistema sea un proyecto útil.

Pregunta 4

- ¿Cuál o cuáles fueron las entidades encargadas de la planificación y ejecución del proyecto?

La sección de estudios de agua del departamento de Ingeniería Municipal, hoy equivalente a la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala, (EMPAGUA), creada en el año de 1984. Dentro de la misma, se encuentra la dirección de obras, sección que fue la encargada de realizar los trabajos de construcción de la red de drenajes.

Pregunta 5

- ¿A qué modificaciones fue sometida la red original a lo largo de su período de vida útil y en qué forma se fueron dando estas?

En el diseño original se planificó con el sistema de red superficial y los colectores secundarios, la ampliación que se ha dado en el sistema fue mediante la construcción del colector 9-8-3, esta ampliación se llevó a cabo por el aumento de requerimiento de conexiones hacia la red de drenajes, lo que por ende aumentó el caudal que se tenía estimado inicialmente.

El colector 9-8-3 fue ejecutado en el año de 1957, tiene una longitud de 3 083,81 metros, con un diámetro máximo de 2,75 metros y drena un área de 4,46 kilómetros cuadrados, obra realizada a un costo de Q. 248 000,00. Además se cuenta con la implementación de otros colectores en el área, tales como el colector plazuela España, colector reforma y colector 14 calle, entre otros.

A continuación se presentan imágenes relacionadas a la construcción de los drenajes en el cantón Tívoli zona 04, zona 09 y zona 10 de la ciudad de Guatemala.

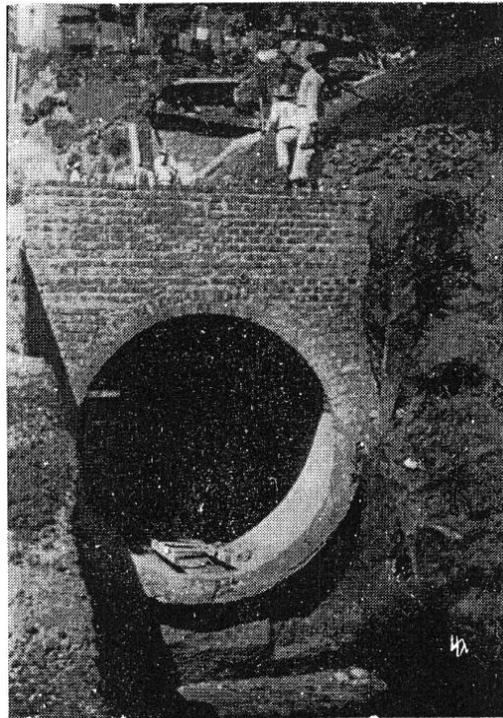
Figura 24. **Diferentes aspectos de la construcción del colector Tívoli**



Aspecto del colector de Tívoli, hoy terminado y con lo cual se evitará en lo sucesivo la formación de la laguneta que se hacía durante el invierno. Cuadrilla de trabajadores en plena labor.

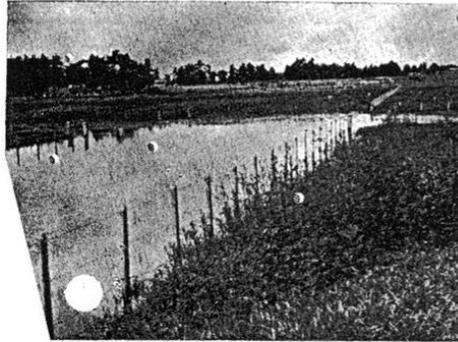
Fuente: Memoria de labores Municipalidad de Guatemala (1959-1963).

Figura 25. **Diferentes aspectos de la construcción del colector Tívoli**



Fuente: Memoria de labores Municipalidad de Guatemala (1959-1963).

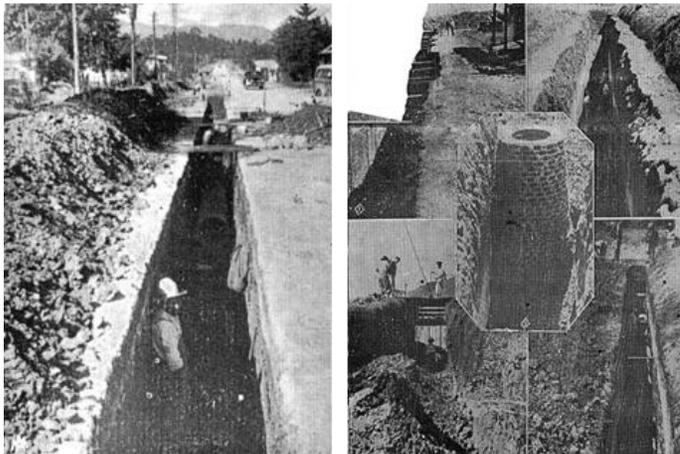
Figura 26. **Laguneta que se formaba antes de implementarse el colector**
Tívoli, 4 avenida del Barrio Tívoli



*La gráfica presenta la gran laguneta que
fue secada por medio del colector de Tí-
voli en la 4a. Avenida de ese barrio. Mide
'000 ms. de largo por 1.75 de diámetro.*

Fuente: Memoria de labores Municipalidad de Guatemala (1959-1963)

Figura 27. **Colector en el Cantón La Exposición y Tívoli, entre 3ra. y 7ma.**
Calle zona 9



Fuente: Memoria de labores Municipalidad de Guatemala (1959-1963).

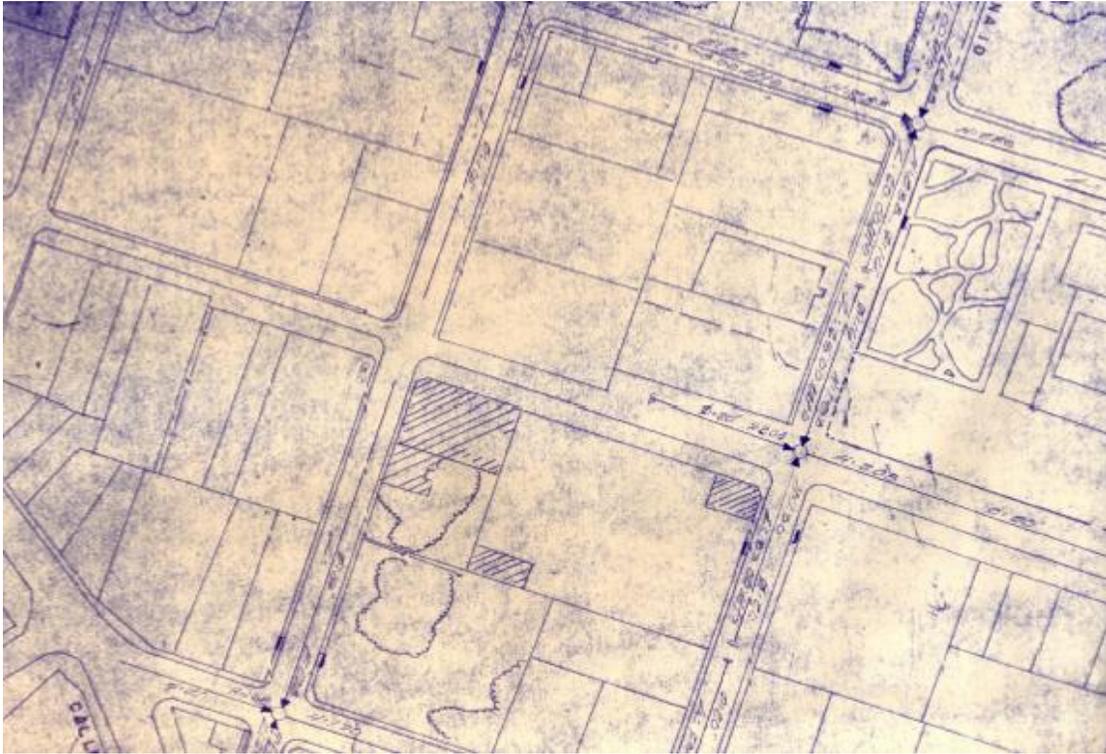
En el lado derecho de la figura anterior muestra el desagüe en la 2ª. Avenida y 22 calle del barrio de Tívoli, se observa la composición correspondiente al pozo de visita que se construyó en la 1a. calle de Tívoli y donde desembocaban todos los ramales del sistema.

4.3. Integración de la información alfanumérica y creación de base de datos

Dentro de la información con la que cuenta EMPAGUA, se encuentran una variedad de planos realizados conformes los levantamientos de campo y recopilación de archivos históricos de la misma entidad. Entre los archivos podemos mencionar las denominadas sabanas, son planos en formato no usual en los cuales se representa un levantamiento de la red superficial, tragantes y registros entre otros. Este levantamiento se desarrolló en planos detallados donde figuran además de la información de la red de drenajes, datos como calles, avenidas y una delimitación de manzanas de la zona.

Esta información digitalizada y tabulada de forma correcta, mediante los atributos de cada elemento, forma la base de datos del SIG. Cada uno de los elementos posee como mínimo 4 atributos que son ordenados en tablas, cada campo representa a un atributo del elemento.

Figura 28. Fragmento de plano denominado sabana de un sector de la zona 10 del municipio de Guatemala. Información de EMPAGUA



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

5. MANEJO DE INFORMACIÓN Y CREACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

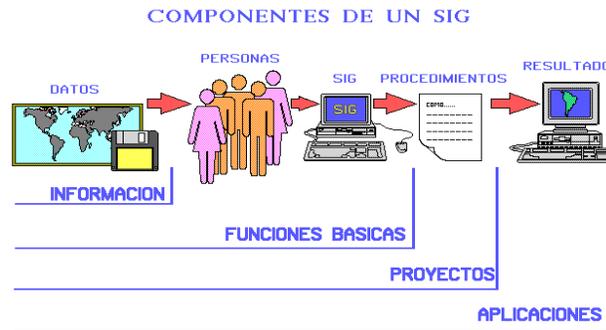
5.1. Registro, programas y recurso humano

La tecnología de los SIG está limitada en la aplicación del catastro de redes de drenaje, si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema; y que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real, mediante actividades tales como almacenar, validar, actualizar, manipular, integrar, analizar, extraer y desplegar información, tanto gráfica como descriptiva de los elementos considerados, con el fin de satisfacer múltiples propósitos; por ello, es necesario que el personal maneje herramientas de SIG y que también maneje conceptos básicos de las ciencias que generan información, tales como la topografía, cartografía, geodesia y herramientas CAD.

El SIG frecuentemente es subestimado, sin personal que lo opere, ya que los datos de las redes de drenajes o alcantarillados se desactualizan y se manejan equivocadamente; el hardware no se utiliza en todo su potencial y el *software* se mantiene misterioso. Los usuarios de SIG varían desde especialistas técnicos, que diseñan y mantienen el sistema, hasta aquellos que lo utilizan para ayudar a realizar sus tareas diarias.

La siguiente imagen muestra la secuencia esquemática de la relación entre los diferentes elementos que componen un SIG y en la misma se observa la importancia del recurso humano dentro del mismo.

Figura 29. El recurso humano dentro de un SIG



Fuente: http://html.rincondelvago.com/sig_1.html.

5.2. Base cartográfica

La base cartográfica se refiere a la cartografía en sistemas de infraestructura que se hace necesaria para que tomándola como parámetro se permita ubicar o plasmar espacialmente los objetos o entidades que intervienen en la red de drenajes. Es por ello que la cartografía que se utilice debe cumplir con estándares de calidad; por lo que la misma deberá estar ajustada a la red geodésica y desarrollarse con un sistema de proyección establecido y claramente la cartografía deberá ser digital para poder realizar el SIG.

Los niveles de información cartográfica que se hacen necesarios para realizar con éxito el SIG de la red de alcantarillado de la zona 10 son el de manzana, predios, red vial, nomenclatura vial, límite de zonas, muros, puentes, arriates, banquetas y curvas de nivel, todos los anteriores en formato *shapefile*. A la fecha, la Municipalidad de Guatemala ya cuenta con la cartografía digital

anterior, disponiendo de todo el Municipio de Guatemala con excepción de las zonas 24 y 25.

La cartografía fue elaborada mediante la toma de fotografías aéreas, a color a, escala aproximada de 1:4 000 (para catastro urbano) ajustándose la misma a la red geodésica nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN), las fotografías pasan por el proceso de triangulación aérea para luego aplicarles el proceso de restitución fotogramétrica digital, obteniendo así la cartografía digital en formato *dwg*, la cual al ser agrupada y analizada se pasa a formato de cobertura, la misma se transforma a formato *shapefile* para que pueda ser trabajada, editada y actualizada mediante su visualización en ArcMap o ArcView.

La proyección utilizada para la cartografía del Municipio de Guatemala es la cilíndrica, el sistema de coordenadas es el *Universal Transversal de Mercator* (UTM), el *Datum* Horizontal de referencia actual es el WGS 84 (*World Geodetic System* de 1984) y el *Datum* Vertical es el de San José de 1950.

5.3. Definición del modelo del SIG

Las últimas dos décadas se han caracterizado por un fuerte crecimiento en el número e importancia de las aplicaciones de bases de datos de redes de drenaje. Las bases de datos son componentes esenciales de los sistemas de información, usadas rutinariamente en todos los computadores; el diseño de bases de datos se ha convertido en una actividad popular, desarrollada no sólo por profesionales sino también por no especialistas, los métodos y modelos de diseño de bases de datos han evolucionado paralelamente con el progreso de la tecnología en los sistemas de bases de datos.

Se ha entrado en la era de los sistemas relacionales de bases de datos de redes de drenaje, que ofrecen poderosos lenguajes de consulta, herramientas para el desarrollo de aplicaciones e interfaces amables con los usuarios; la tecnología de bases de datos cuenta ya con un marco teórico, que incluye la teoría relacional de datos, procesamiento y optimización de consultas, control de concurrencia, gestión de transacciones y recuperación, etc.

El diseño de una base de datos de redes de drenaje es un proceso complejo que abarca decisiones a muy distintos niveles, la complejidad se controla mejor si se descompone el problema en subproblemas y se resuelve cada uno de estos subproblemas independientemente, utilizando técnicas específicas. Así, el diseño de una base de datos se descompone en diseño conceptual, diseño lógico y diseño físico.

Al iniciar el estudio para diseñar un SIG de redes de drenaje, debe pensarse que se van a manejar objetos que existen en la realidad, tienen características que los diferencien y guardan ciertas relaciones espaciales que se deben conservar; por lo tanto, no se puede olvidar en ningún caso que se va a desarrollar en el computador un modelo de objetos y relaciones que se encuentran en el mundo real. Para garantizar que el esquema anterior se pueda obtener, se construye una serie de modelos que permitan manipular los objetos tal cual como aparecen en la realidad, con esto, se convertirán imágenes de fenómenos reales en señales que se manejan en el computador como datos que harán posible analizar los objetos que ellas representan y extraerles información.

Como se mencionó anteriormente, normalmente se llevan a cabo tres etapas para pasar de la realidad del terreno al nivel de abstracción que se representa en el computador y se maneja en los SIG y que definen la estructura

de los datos, de la cual dependerán los procesos y consultas que se efectuarán en la etapa de producción:



El diseño conceptual parte de las especificaciones de requisitos de usuario y su resultado es el esquema conceptual de la base de datos, este es una descripción de alto nivel de la estructura de la base de datos, independientemente del Sistema Gestor de Bases de Datos (SGBD) que se vaya a utilizar para manipularla; un modelo conceptual es un lenguaje que se utiliza para describir esquemas de conceptos, el objetivo de este diseño es describir el contenido de información de la base de datos y no las estructuras de almacenamiento que se necesitarán para manejar esta información.

El diseño lógico parte del esquema conceptual y da como resultado un esquema lógico de la aplicación a las redes de drenaje. Este esquema es una descripción de la estructura de la base de datos de la red de drenaje, en términos de las estructuras de datos que puede procesar un tipo de SGBD. El presente modelo es un lenguaje usado para especificar esquemas lógicos (modelo relacional, modelo de red, etc.), el mismo depende del tipo de SGBD que se vaya a utilizar, no depende del producto concreto.

El diseño físico parte del esquema lógico y da como resultado un esquema físico. Este esquema es una descripción de la implementación de una base de datos en memoria secundaria, las estructuras de almacenamiento y los métodos utilizados para tener un acceso eficiente a los datos; por ello, el diseño

depende del SGBD concreto y el esquema se expresa mediante su lenguaje de definición de datos.

5.3.1. Modelo conceptual

Es la conceptualización de la realidad por medio de la definición de objetos de la superficie de la tierra (entidades) con sus relaciones espaciales y características (atributos) que se representan en un esquema describiendo esos fenómenos del mundo real. Para obtener el modelo conceptual, el primer paso es el análisis de la información y los datos que se usan y producen en la empresa que desarrolla el SIG; el siguiente paso es la determinación de las entidades y los atributos con las relaciones que aquellas guardan, de acuerdo con el flujo de información en los diferentes procesos que se llevan a cabo en la empresa.

Existen diversos métodos para desarrollar tanto el modelo conceptual como los demás modelos, por cuanto este es la base para obtenerlos; entre ellos tenemos:

- Entidad Asociación (EA)
- Modelo Entidad Relación (MER).

En los SIG, sobre todo si tienen algo de complejidad, se debe pensar siempre en el MER que garantiza la organización de todas las entidades con sus relaciones en un solo esquema de representación de las cosas como son en la realidad. Con este modelo se obtiene un medio efectivo para mostrar los requerimientos de información, organización y documentación necesarios para desarrollar el SIG y las clases de datos que se estarán manipulando.

El modelo entidad-relación es el modelo conceptual más utilizado para el diseño conceptual de bases de datos, fue introducido por Peter Chen en 1976. El modelo entidad-relación está formado por un conjunto de conceptos que permiten describir la realidad, mediante un conjunto de representaciones gráficas y lingüísticas.

En el desarrollo del modelo conceptual se diseña lo que se llama el Modelo Entidad-Relación (MER) el cual describe en una forma semántica y gráfica las nociones de:

Objeto o entidad: representa un elemento del mundo real que tiene una existencia independiente. Es cualquier tipo de objeto o concepto sobre el que se recoge información: cosa, persona, concepto abstracto o suceso. Por ejemplo: carros, casas, empleados, clientes, empresas, oficios, diseños de productos, conciertos, etc.

Relación: es la descripción de las asociaciones entre diferentes entidades. Es una correspondencia o asociación entre dos o más entidades, cada relación tiene un nombre que describe su función. Las entidades que están involucradas en una determinada relación se denominan entidades participantes, el número de participantes en una relación es lo que se denomina grado de la relación; por lo tanto, una relación en la que participan dos entidades es una relación binaria, si son tres las entidades participantes, la relación es ternaria, etc.

La cardinalidad con la que una entidad participa en una relación, especifica el número mínimo y el número máximo de correspondencias en las que puede tomar parte cada ocurrencia de dicha entidad. La participación de una entidad en una relación es obligatoria (total) si la existencia de cada una de

sus ocurrencias requiere la existencia de al menos, una ocurrencia de la otra entidad participante. Si no, la participación es opcional (parcial).

Atributos: son las propiedades y características que describen a una entidad. Es una característica de interés o un hecho sobre una entidad o sobre una relación, los atributos representan las propiedades básicas de las entidades y de las relaciones. Toda la información extensiva es portada por los atributos, cada atributo tiene un conjunto de valores asociados denominado dominio, el cual define todos los valores posibles que puede tomar un atributo.

Los atributos pueden ser simples o compuestos, un atributo simple es un atributo que tiene un solo componente, que no se puede dividir en partes más pequeñas que tengan un significado propio; un atributo compuesto es un atributo con varios componentes, cada uno con un significado por sí mismo. Un grupo de atributos se representa mediante un atributo compuesto cuando tienen afinidad en cuanto a su significado, o en cuanto a su uso.

Los atributos también pueden clasificarse en monovalentes o polivalentes, un atributo monovalente es aquel que tiene un solo valor para cada ocurrencia de la entidad o relación a la que pertenece, un atributo polivalente es aquel que tiene varios valores para cada ocurrencia de la entidad o relación a la que pertenece, a estos atributos también se les denomina multivaluados, y pueden tener un número máximo y un número mínimo de valores; la cardinalidad de un atributo indica el número mínimo y el número máximo de valores que puede tomar para cada ocurrencia de la entidad o relación a la que pertenece.

Por último, los atributos pueden ser derivados, un atributo derivado es aquel que representa un valor que se puede obtener a partir del valor de uno o

varios atributos, que no necesariamente deben pertenecer a la misma entidad o relación.

Para el diseño del modelo MER se establecen las siguientes etapas:

- Definición e identificación de las entidades
- Definición de las relaciones entre entidades
- Definición de atributos
- Definición de los identificadores únicos por cada entidad (llave primaria)
- Representación del modelo en un diagrama
- Normalización del modelo

Normalización: al iniciar el diseño de la base de datos, es necesario considerar que el objetivo central del sistema consistirá en permitirle a los usuarios obtener respuestas a sus necesidades, sin que éstos conozcan, necesariamente, la estructura ni la forma como están los datos almacenados. Por esta razón la Base de Datos debe contener la información que se requiera, organizada de una forma tal que resulte fácil de manipular, que esté libre de datos redundantes y que sea lo más funcional posible.

Como se mencionó en el primer capítulo, un SIG particulariza un conjunto de procedimientos, para que un objeto de alguna forma se le ligue a la base de datos descriptiva o alfanumérica y con ello lograr realizar las aplicaciones para las que fue diseñado el SIG. Por ejemplo, para un sistema de alcantarillado, los objetos gráficos o entidades tales como los pozos de visita, colectores, etc., se le relacionan los atributos específicos, tal como el diámetro, el material, la profundidad, etc.

En fin toda la información que se tenga en una base de datos alfanumérica y se quiera ligar a cualquier objeto mediante los atributos de enlace (identificadores únicos) que tienen que ser idénticos entre el objeto y la información alfanumérica.

Figura 30. **Relación entre base gráfica y alfanumérica**



Fuente: http://www.ccidep.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=15:can-joomla-15-operate-with-php-safe-mode-on&catid=31:general&Itemid=46

5.3.2. Modelo conceptual del SIG para la red de alcantarillados existente en la zona 10

5.3.2.1. Definición de entidades

Las entidades son las que gráficamente representan un objeto de la realidad, los tipos de entidades que se manejan en un GIS, dependen de su definición geométrica, por lo que pueden ser de tipo punto, de línea o arco y de polígono.

Las entidades u objetos, así como sus atributos, llaves primarias y sus enlaces, es decir las relaciones que se aplicaran en el SIG de la red de alcantarillados no solo se podrán aplicar para la zona 10, sino que el modelo se

ha elaborado de tal forma que se pueda aplicar para cualquier zona del municipio de Guatemala.

Esto se ha hecho con el fin de implementar el SIG de la red de alcantarillados de todo el municipio de Guatemala, para que haya no solo estandarización, concordancia entre datos, sino que la estructura del modelo, permita realizar todos los procesos geográficos de las áreas a estudiar; ya que ninguna llave primaria, ni atributo de enlace entre tablas estará repetido en ninguna zona, es decir se consideran datos normalizados, quedando claramente definido a qué zona pertenece cada elemento.

Las entidades u objetos que intervendrán en el SIG para la red de alcantarillados existente en la zona 10, se muestran en el cuadro siguiente, así como también se especifica la definición geométrica para cada uno:

Tabla IV. **Entidades y su geometría**

DEFINICIÓN DE ENTIDADES Y SU GEOMETRÍA		
No.	ENTIDAD	GEOMETRIA
1	Red	línea o arco
2	Registro (Pozo de visita)	punto
3	Tragante	punto
4	Rejilla	línea o arco
5	Conexión múltiple	línea o arco
6	Candela domiciliar	punto
7	Acometida	línea o arco
8	Colector	línea o arco
9	Caja	punto
10	Incompleto	punto

Fuente: elaboración propia.

La red es toda la tubería superficial que se encarga de conducir todas las aguas, ya sean estas negras o pluviales, los registros o pozos de visita y las cajas, son las obras mediante las cuales se logra observar y mantener el buen funcionamiento de todo el sistema.

Los tragantes y rejillas se encargan de coleccionar las aguas de escorrentía superficial debidas a las lluvias; mediante la conexión múltiple, la candela domiciliar y la acometida, se lleva a la red las aguas servidas; todas las aguas que existen en el sistema hasta este punto, son conducidas a las plantas de tratamiento o desfuegos, mediante los colectores principales, que son las tuberías de mayor diámetro y que por el diseño van más profundas que la superficial; por último la entidad incompleto no existe en la realidad, su implementación es únicamente con fines de codificar tramos de red o de colector que están incompletos en su geometría espacial.

5.3.2.2. Relaciones y cardinalidad entre las entidades

Para el presente modelo se trabajará con estructuras relacionales; las relaciones que hay o existen entre cada entidad es algo muy importante, ya que mediante la definición de éstas, se tendrá muy claro cómo interactúan los elementos entre sí, con lo que se logra relacionar o cruzar los elementos en la base de datos, mediante atributos comunes entre cada entidad, atributos que son llamados de enlace.

La cardinalidad al mismo tiempo indica la cantidad de las relaciones que se produce entre los elementos; las cardinalidades son cuántas entidades llegan o se relacionan con otra entidad cualquiera, las cardinalidades que se manejan son:

- Uno a uno (1-1), quiere decir que solo un elemento de una entidad “x” se relaciona con un solo elemento de otra entidad “y”.
- Uno a muchos (1-M), indica que un elemento de una entidad “x” se relaciona con uno o más elementos de otra entidad “y”.
- Muchos a muchos (M-M), indica que uno o más elementos de una entidad “x” se relacionan con uno o más elementos de otra entidad “y”.

Mediante la siguiente tabla, se indican las relaciones y cardinalidad que existen entre cada entidad para la red de alcantarillado.

Tabla V, **Relaciones y cardinalidad**

RELACIÓN Y CARDINALIDAD ENTRE ENTIDADES		
ENTIDADES	RELACIÓN	CARDINALIDAD
Tragante y rejilla	nulo	nulo
Registro y tragante	nulo	nulo
Registro y rejilla	nulo	nulo
Registro y acometida	nulo	nulo
Red y acometida	introduce	1-M
Red y tragante	conduce	1-M
Red y rejilla	atrapa	1-M
Registro y red	inspección	1-M
Caja y red	observación	1-M
Candela domiciliar y conexión múltiple	lleva	1-M
Acometida y candela domiciliar	conexión	1-1
Red y candela domiciliar	domicilio	1-M
Red y conexión múltiple	múltiple	1-M
Registro y colector	registra	1-M
Colector y red	colecta	1-M

Fuente: elaboración propia.

5.3.2.3. Definición de atributos

Los atributos como se ha mencionado, son las características propias de cada entidad u objeto de la realidad que deseamos representar gráficamente; los atributos son entonces todas las características que nos interesen o necesitemos identificar y resaltar que posee cada entidad, por ejemplo, si nuestra entidad es una vivienda, sus atributos o características serían el material con el cual está construida, el número de niveles, el área de construcción, el color, etc., en si se deben identificar todas las características que tenga esa construcción. Para alcanzar los objetivos del SIG aplicado al sistema de alcantarillado del municipio de Guatemala, los atributos que intervendrán para cada entidad se indican en la siguiente tabla de entidades y sus atributos.

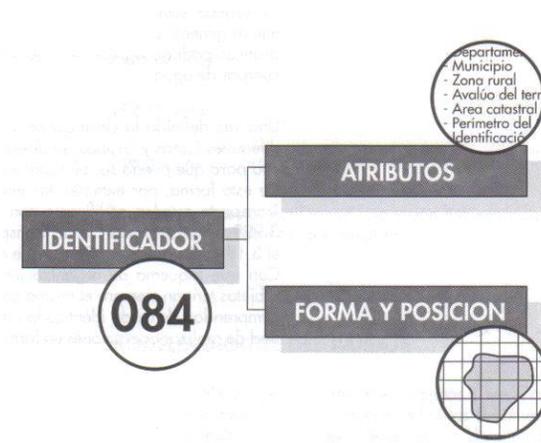
5.3.2.4. Definición de identificadores únicos o llaves primarias

La forma y la posición de un objeto o entidad específico se relacionan con los demás atributos por medio de un identificador, este es único e identifica una fila en la tabla, se denomina llave primaria y no necesita ser individual, sino que puede ser combinación de varios atributos que, unidos, conforman la identificación única de la entidad.

Por ejemplo, un predio tiene forma y localización única y está identificado con el número 084 (figura 30), se relaciona, a través de dicho número, con los demás atributos: nombre del propietario, área y otros más.

La función primaria de los códigos de enlace o llaves, determinan las relaciones lógicas entre las entidades componentes del SIG.

Figura 31. **Ejemplo de la función de un identificador**



Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. Análisis del sistema de Drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un Sistema de Información Geográfica. p. 19.

Un identificador de una entidad es un atributo o conjunto de atributos que determina de modo único cada ocurrencia de esa entidad, un identificador de una entidad debe cumplir dos condiciones:

- No pueden existir dos ocurrencias de la entidad con el mismo valor del identificador.
- Si se omite cualquier atributo del identificador, la condición anterior deja de cumplirse.

Toda entidad tiene al menos un identificador y puede tener varios identificadores alternativos. Tal como se sobreentiende, los identificadores son únicos e irrepetibles y se utilizan para enlazar por medio de éste toda la información de la base gráfica con la de la base alfanumérica relacionada a un objeto y poder realizar cualquier tipo de análisis geoespacial o de otro tipo entre entidades, este enlace es la herramienta que sintetiza la definición y aplicación de los SIG.

Para que este y todos los modelos se puedan aplicar en forma general y unificada a todas las zonas del municipio de Guatemala y no sólo a una zona en específico, a continuación se presenta la estructuración de los identificadores únicos de todas las entidades u objetos que intervienen en el sistema de alcantarillado del municipio de Guatemala:

Tabla VII. **Identificadores para las entidades**

DEFINICIÓN DE LOS IDENTIFICADORES ÚNICOS PARA CADA ENTIDAD U OBJETO																	
No.	Entidad	Nombre del Identificador	Sistema Combinado (S.C.)				Sistema Sanitario (S.S.)				Sistema Pluvial (S.P.)						
			zona	S.C.	de	a	zona	S.S.	de	a	zona	S.P.	de	a			
Terminos que intervienen en el codigo →			zona	S.C.	de	a	zona	S.S.	de	a	zona	S.P.	de	a			
1	red	red	00	01	R0000	R0000	00	10	R0000	R0000	00	17	R0000	R0000			
Terminos que intervienen en el codigo →			zona	S.C.	No. registro		zona	S.S.	No. registro		zona	S.P.	No. registro				
2	registro	registro	00	02	0000		00	11	0000		00	18	0000				
Terminos que intervienen en el codigo →			zona	S.C.	No. tragante		zona	S.S.	No. tragante		zona	S.P.	No. tragante				
3	tragante	tragante	00	03	0000		NULO				00	19	0000				
Terminos que intervienen en el codigo →			zona	S.C.	No. rejilla		zona	S.S.	No. rejilla		zona	S.P.	No. rejilla				
4	rejilla	rejilla	00	04	0000		NULO				00	20	0000				
Terminos que intervienen en el codigo →			zona	S.C.	manzana	predio	No. por predio	zona	S.S.	manzana	predio	No. por predio	zona	S.P.	manzana	predio	No. por predio
5	conexión múltiple	CM	00	05	0000	000	00	00	12	0000	000	00	00	21	0000	000	00
Terminos que intervienen en el codigo →			zona	S.C.	manzana	No. candela	zona	S.S.	manzana	No. candela	zona	S.P.	manzana	No. candela			
6	candela	candela	00	06	0000	000	00	00	13	0000	000	00	00	22	0000	000	
Terminos que intervienen en el codigo →			zona	S.C.	manzana	No. candela	zona	S.S.	manzana	No. candela	zona	S.P.	manzana	No. candela			
7	acometida	acometida	00	07	0000	000	00	00	14	0000	000	00	00	23	0000	000	
Terminos que intervienen en el codigo →			zona	S.C.	de	a	zona	S.S.	de	a	zona	S.P.	de	a			
8	colector	colector	00	08	R0000	R0000	00	15	R0000	R0000	00	24	R0000	R0000			
Terminos que intervienen en el codigo →			zona	S.C.	No. caja		zona	S.S.	No. caja		zona	S.P.	No. caja				
9	caja	caja	00	09	0000		00	16	0000		00	25	0000				

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, al identificador de todas las entidades, se le conoce no solo a qué zona pertenece, sino que también el tipo de sistema de alcantarillado del cual es parte; esto con el fin darle la universalidad y pueda identificarse cada uno de los elementos, logrando con ello evitar la saturación de datos y lograr los objetivos planteados integrando las entidades del dominio espacial.

Mediante la correcta aplicación de los identificadores en el modelo relacional, se podrá enlazar y realizar análisis en la base de datos espacial, aspecto fundamental en la implementación del modelo de datos; con lo que se logrará la creación de diversidad de mapas temáticos, consultas genéricas, específicas y resultados de procesos espaciales.

5.3.2.5. Representación gráfica del modelo conceptual

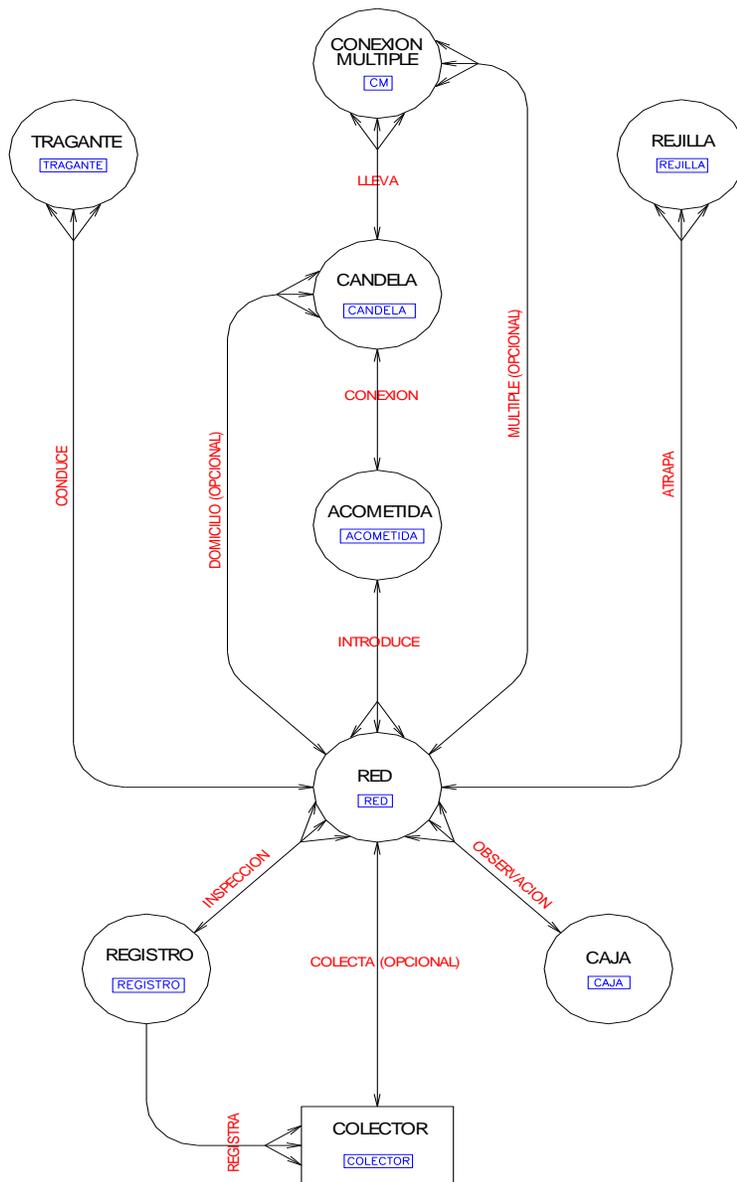
Como en todo, mediante un gráfico se logra dar a conocer o entender con más claridad las situaciones, por lo que mediante el esquema siguiente, se indica la realidad integrada en el modelo conceptual del GIS para el sistema de alcantarillado.

Aunque realmente el gráfico posee gran sencillez, mediante el mismo podemos observar todos los elementos, las relaciones y procesos que se dan entre todos los elementos, esto nos ayudará a definir lo que es el modelo relacional y posteriormente el modelo lógico; es decir definir con más detalle todos los elementos, atributos y enlaces entre todas las tablas de los elementos.

Ya definido los elementos, sus características, la forma en que interrelacionan y logrando representar todo en un esquema gráfico, ahora se debe proceder a la realización del esquema relacional, en el cual se indican con

más detalle todos los atributos de las entidades, así como su respectiva llave primaria o identificador y la cardinalidad existente entre los elementos.

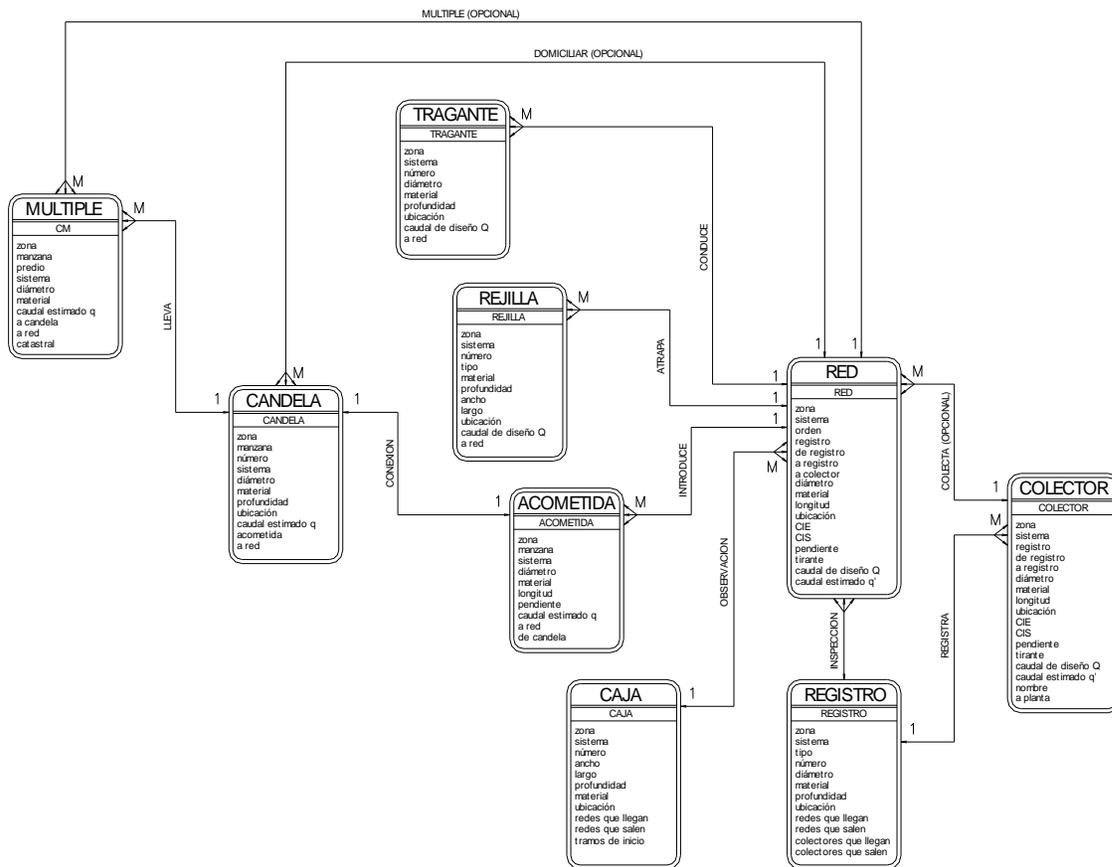
Figura 32. **Modelo conceptual**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 32, se indica la estructura relacional, que se da entre los elementos que componen el GIS para la red de alcantarillado.

Figura 33. Esquema relacional



Fuente: elaboración propia.

5.3.2.6. Normalización o clasificación de los elementos

Como se ha indicado, al iniciar el diseño de la base de datos, es necesario considerar que el objetivo central del sistema consistirá en permitirle a los usuarios obtener respuestas a sus necesidades, sin que estos conozcan,

necesariamente, la estructura ni la forma como están almacenados los datos. Por esta razón, la base de datos debe contener la información que se requiera, organizada de una forma tal, que resulte fácil de manipular, que este libre de datos redundantes y que sea lo más funcional posible.

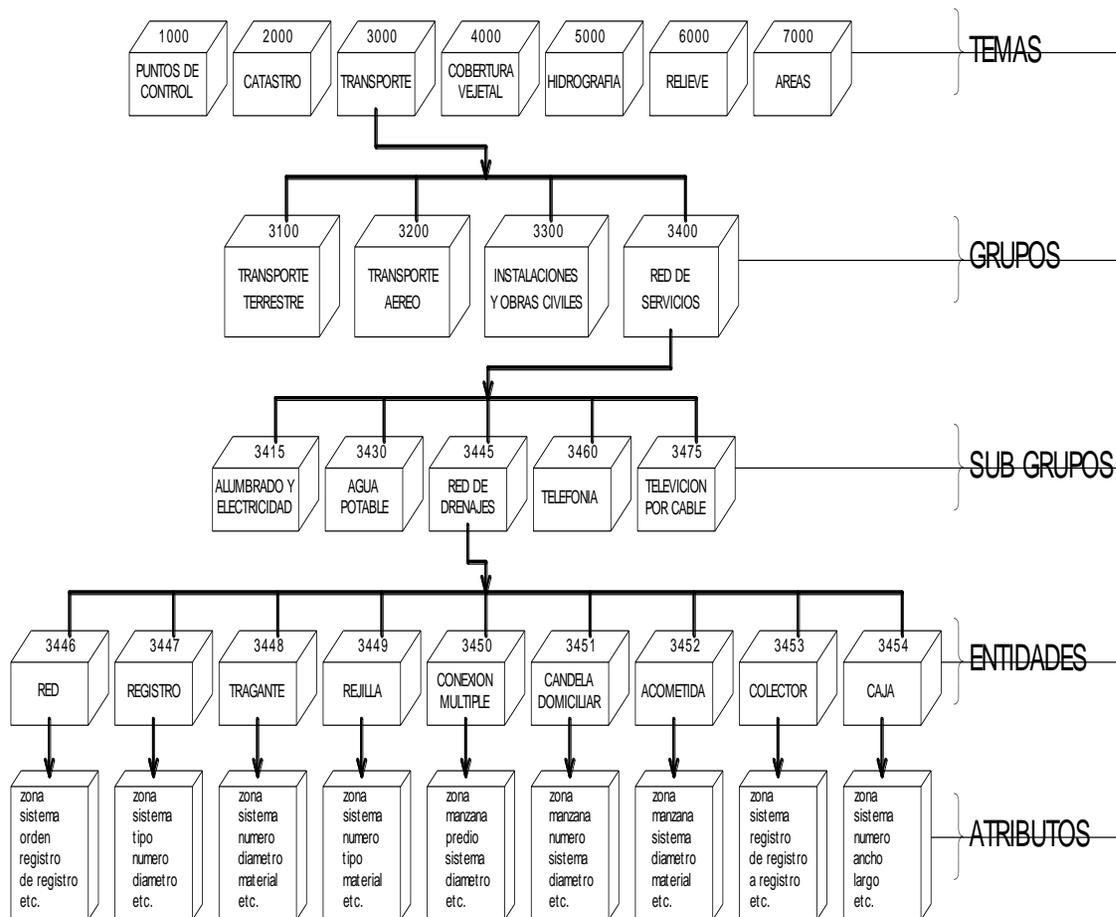
Un modelo de datos gráfico permite clasificar los elementos del paisaje, de tal manera que representen diferentes grados de detalle, por ejemplo, en orden jerárquico, temas, grupos y objetos, con lo cual los usuarios del SIG, pueden consultar y manejar la información en el nivel deseado. Una vez definida la clasificación y agrupados los objetos en los diferentes temas y grupos, se designa con un código a cada objeto para que pueda ser almacenado y manipulado en el sistema.

De esta forma, por ejemplo, las entidades agrupadas en el tema transporte pueden codificarse con números entre el 3 000 y el 3 999; los objetos del grupo transporte terrestre entre el 3 100 y el 3 199 y los del grupo transporte aéreo entre el 3 200 y el 3 299. Con este esquema de organización es posible asegurar que los objetos tengan siempre el mismo código y que diferentes usuarios comprendan de modo idéntico la información y tengan la posibilidad de realizar operaciones en forma sencilla.

El modelo de datos gráfico o clasificación de elementos que se ha venido manejando para lo que en un futuro será el SIG municipal, se ajusta precisamente a lo estipulado por las entidades internacionales que han estandarizado lo que respecta a clasificación de elementos; por lo que para estar dentro de lo que será el SIG municipal, a continuación se presenta la clasificación aplicada a la red del sistema de drenajes o alcantarillado del municipio de Guatemala, en el mismo se indican los temas, grupos, subgrupos,

objetos o entidades y los respectivos atributos pertenecientes al modelo de datos gráfico.

Figura 34. Modelo de datos gráfico



Fuente: elaboración propia.

5.3.3. Modelo lógico

Se puede definir cómo el diseño detallado de las bases de datos y sus relaciones que contendrán la información alfanumérica y los niveles de información gráfica que se capturarán, con los atributos que describen cada entidad, identificadores, conectores, tipo de dato (numérico o carácter) y su longitud; además, se define la geometría (punto, línea o área) de cada una de ellas. Como se trata de manipular en el sistema, los elementos del paisaje se tienen que codificar para poder almacenarlos en el computador y luego manipularlos en forma digital y además, darles un símbolo para su representación gráfica en la pantalla o en el papel.

Es en esta etapa que se elaboran las estructuras en que se almacenarán todos los datos, tomando como base el modelo conceptual desarrollado anteriormente.

En esta parte de diseño del SIG, se definen los diferentes tipos de análisis que se estarán llevando a cabo más adelante y las consultas que se vayan a realizar comúnmente, esto por cuanto de la estructura de las bases de datos (gráficas y alfanuméricas) dependen los resultados obtenidos al final; es por lo anterior, que en esta etapa, se hace un diseño detallado de lo que contendrá el SIG y de la presentación que tendrán los productos normalmente, definiendo los tipos de mapas con sus leyendas, contenido temático y demás, reportes o tablas que se espera satisfagan los principales requerimientos de los usuarios y clientes; con estos se agilizarán los procesos que envuelvan directamente a los usuarios, ya que la mayoría de sus consultas podrán ser respondidas inmediatamente mientras las no convencionales tomarán un poco más de tiempo.

No todas las posibles consultas estarán resueltas desde este momento, por cuanto muchos clientes tienen requerimientos específicos o particulares que no permiten que todas las preguntas sean "montadas de antemano", sobre todo, en casos como el de catastro, debido a la gran variedad de información y de usuarios y clientes, los requerimientos diarios son muy diversos. No se trata de desarrollar un SIG cerrado que amarre al usuario gente a determinadas consultas, de lo que se trata es de ganar en eficiencia para satisfacer mejor y más rápido a los clientes.

5.3.4. Modelo lógico para la red de alcantarillados existente en la zona 10

Como se mencionó anteriormente, en este punto se debe realizar el diseño detallado de las tablas que contienen los atributos de las entidades. Se debe indicar claramente cuáles son las llaves primarias (1k) y secundarias o foráneas (FK) de cada tabla de las diferentes entidades, indicando al mismo tiempo la forma o mediante qué campo se enlazan las tablas de cada entidad según las relaciones que se indicaron en el esquema relacional.

En este punto ya se tiene definida la información gráfica (entidades) que se implementará en el SIG; mientras que lo concerniente a la base de datos alfanumérica se le estará integrando la información necesaria para las consultas y análisis que hasta la fecha se realizan o se requieren, quedando claro que en cualquier momento se podrá ampliar o integrar nueva información en el contenido de la base alfanumérica, debida a cambios de uso o se implementen nuevas actividades en la red de alcantarillado o si se desea realizar cualquier tipo de consulta o análisis que a la fecha aún no se tienen estipulados.

Para alcanzar los fines deseados en el desarrollo del presente SIG, en el modelo anterior, se presenta la estructura de las tablas de cada entidad, indicando todos sus atributos o características ordenadas en una forma lógica,

definiendo las llaves primarias (1k) y secundarias o foráneas (FK) y lo más importante, se indica la forma en que se relacionan las tablas que integran la base de datos, logrando con ello integrar y relacionar toda la información de acuerdo al modelo de datos diseñado.

5.3.5. Catálogo de objetos

La creación de un documento o catálogo de la red de drenaje en el que se describan las características estructurales tanto de las entidades (objetos) como de sus atributos, es indispensable; ya que mediante el mismo, el usuario que consulte, edite, brinde mantenimiento o cree actualizaciones a la base de datos gráfica, tendrá clara la estructura, forma en que se almacenan y símbolos utilizados en todos los datos, por lo que se le facilitará llevar a cabo la tarea deseada.

En el catálogo de objetos de la red de drenaje, se debe indicar el código de clasificación, la geometría de la entidad, la definición de la entidad, los atributos que tiene cada entidad, la estructuración de cada atributo y por último, se debe indicar o estandarizar la simbología que cada entidad tendrá en la representación gráfica; es importante aclarar que la simbología que se aplique, variará de parámetros según la escala a la que se desee obtener el material de salida impreso.

Para cuestiones de ejemplo en el cuadro que a continuación se presenta, se indican los parámetros de estructuración y estandarización de la simbología para escala 1:1 000 que es la que más se adecua al tipo de información que se estará manejando; además es una escala que fácilmente se puede tomar como parámetro para ajustar la estructuración a otras escalas.

Figura 35. Catálogo de objetos

CATALOGO DE OBJETOS									
ESCALA 1:1,000.									
Código	Entidad	Atributos	Tipo de dato	Tipo de campo	Precisión	Escala			
DRE_3446	RED	zona	número de zona	numérico	8	0			
		sistema	combinado (01)	numérico	8	0			
	Geometría	Línea	orden	características	numérico	8	0		
			registro	llave foránea	numérico	20	0		
	Símbolo		de	de que elemento parte	numérico	8	0		
			a	hacia que elemento va	numérico	8	0		
	Grosor	1.50 unidades	colector	llave foránea	numérico	20	0		
			diámetro	pulgadas	doble	10	4		
			material	material de fabricación	texto	50	0		
			longitud	metros	doble	10	4		
			ubicación	ubicación entre-entre (12A_02C-03C)	texto	50	0		
			CIE (cota invert de entrada)	metros	doble	10	4		
			CIS (cota invert de salida)	metros	doble	10	4		
			pendiente	en %	doble	10	4		
			tirante	en %	doble	10	4		
			caudal de diseño Q	litros/segundo	doble	10	4		
	caudal actual estimado q _{red}	litros/segundo	doble	10	4				
red (identificador)	llave primaria	numérico	20	0					
DRE_3453	COLECTOR	zona	número de zona	numérico	8	0			
		sistema	combinado (08)	numérico	8	0			
	Geometría	Línea	registro	llave foránea	numérico	20	0		
			de	de que elemento parte	numérico	8	0		
	Símbolo		a	hacia que elemento va	numérico	8	0		
			diámetro	metros	doble	10	4		
	Grosor	2.50 unidades	material	material de fabricación	texto	50	0		
			longitud	metros	doble	10	4		
			ubicación	ubicación entre-entre (12A_02C-03C)	texto	50	0		
			CIE (cota invert de entrada)	metros	doble	10	4		
			CIS (cota invert de salida)	metros	doble	10	4		
			pendiente	en %	doble	10	4		
			tirante	en %	doble	10	4		
			caudal de diseño Q	litros/segundo	doble	10	4		
			caudal estimado q _{red}	litros/segundo	doble	10	4		
			nombre (sistema anterior)	nombre anterior	texto	50	0		
	a planta	nombre planta	texto	50	0				
colector (identificador)	llave primaria	numérico	20	0					
DRE_3447	REGISTRO	zona	número de zona	numérico	8	0			
		sistema	combinado (02)	numérico	8	0			
	Geometría	Punto	tipo	superficial, profundo o combinado	texto	50	0		
			número	número de registro de la zona	numérico	8	0		
	Símbolo		diámetro	metros	doble	10	4		
			material	material de fabricación	texto	50	0		
	Medida	12.00 unidades	profundidad	metros	doble	10	4		
			ubicación	avenida_calle; calle o avenida	texto	50	0		
			número de redes que llegan	redes que entran a él	numérico	8	0		
			número de redes que salen	redes que salen de él	numérico	8	0		
			número colectores que llegan	colectores que entran a él	numérico	8	0		
			número colectores que salen	colectores que salen de él	numérico	8	0		
			tramos iniciales	tramos que inician en él	numérico	8	0		
			registro (identificador)	llave primaria	numérico	20	0		
			DRE_3448	TRAGANTE	zona	número de zona	numérico	8	0
					sistema	combinado (03)	numérico	8	0
	Geometría	Punto		número	número de tragante de la zona	numérico	8	0	
diámetro				metros	doble	10	4		
Símbolo		material		material de fabricación	texto	50	0		
		profundidad		metros	doble	10	4		
Medida	10.00 unidades	ubicación		calle o avenida	texto	50	0		
		caudal de diseño Q		litros/segundo	doble	10	4		
		a red		llave foránea	numérico	20	0		
		tragante (identificador)		llave primaria	numérico	20	0		

Continúa figura 34...

CATALOGO DE OBJETOS (Continuación)								
ESCALA 1:1,000.								
Código	Entidad	Atributos	Tipo de dato	Tipo de campo	Precisión	Escala		
DRE_3449	REJILLA	zona	número de zona	numérico	8	0		
		sistema	combinado (04)	numérico	8	0		
		número	número de rejilla de la zona	numérico	8	0		
		tipo	longitudinal o transversal	texto	50	0		
		material	materiales de fabricación	texto	50	0		
		profundidad	metros	doble	10	4		
		ancho	metros	doble	10	4		
		largo	metros	doble	10	4		
		ubicación	avenida_calle; calle o avenida	texto	50	0		
		caudal de diseño Q	litros/segundo	doble	10	4		
		a red	llave foránea	numérico	20	0		
		rejilla (identificador)	llave primaria	numérico	20	0		
		DRE_3452	ACOMETIDA	zona	número de zona	numérico	8	0
manzana	número de manzana de la zona			numérico	8	0		
sistema	combinado (07)			numérico	8	0		
diámetro	pulgadas			doble	10	4		
material	material de fabricación			texto	50	0		
longitud	metros			doble	10	4		
pendiente	en %			doble	10	4		
caudal estimado q	litros/segundo			doble	10	4		
a red	llave foránea			numérico	20	0		
de candela número	número de candela			numérico	8	0		
acometida (identificador)	llave primaria			numérico	20	0		
DRE_3451	CANDELA			zona	número de zona	numérico	8	0
				manzana	número de manzana de la zona	numérico	8	0
		número	número de candela de la man.	numérico	8	0		
		sistema	combinado (06)	numérico	8	0		
		diámetro	metros	doble	10	4		
		material	material de fabricación	texto	50	0		
		profundidad	metros	doble	10	4		
		ubicación	calle o avenida	texto	50	0		
		caudal estimado q	litros/segundo	doble	10	4		
		acometida	llave foránea	numérico	20	0		
		a red	llave foránea	numérico	20	0		
		candela (identificador)	llave primaria	numérico	20	0		
		DRE_3450	CM	zona	número de zona	numérico	8	0
manzana	número de manzana de la zona			numérico	8	0		
predio	número de predio de la man.			numérico	8	0		
número	número de conexión por predio			numérico	8	0		
sistema	combinado (05)			numérico	8	0		
diámetro	pulgadas			doble	10	4		
material	material de fabricación			texto	50	0		
caudal estimado q	litros/segundo			doble	10	4		
a candela	llave foránea			numérico	20	0		
a red	llave foránea			numérico	20	0		
catastral	número catastral de enlace			texto	50	0		
CM (identificador)	llave primaria			numérico	20	0		
DRE_3454	CAJA			zona	número de zona	numérico	8	0
		sistema	combinado (09)	numérico	8	0		
		número	número de caja de la zona	numérico	8	0		
		ancho	metros	doble	10	4		
		largo	metros	doble	10	4		
		material	material de fabricación	texto	50	0		
		profundidad	metros	doble	10	4		
		ubicación	avenida_calle; calle o avenida	texto	50	0		
		número de redes que llegan	redes que entran a la caja	numérico	8	0		
		número de redes que salen	redes que salen de la caja	numérico	8	0		
		tramos de inicio	tramos que inician en la caja	numérico	8	0		
		caja (identificador)	llave primaria	numérico	20	0		

Fuente: elaboración propia

5.3.6. Modelo físico

Tanto el modelo conceptual como el lógico, son independientes de los programas y equipos que se vayan a utilizar y de su correcta concepción depende el éxito del SIG de la red de drenaje. En sí el modelo físico es la implementación de los anteriores modelos en el programa o software seleccionado y los equipos específicos en que se vaya a trabajar y por esto se realiza de acuerdo con sus propias especificaciones; el modelo físico determina en qué forma se debe almacenar los datos, cumpliendo con las restricciones y aprovechando las ventajas del sistema específico a utilizar.

5.3.6.1. Software

Los programas de manejo de sistemas de información geográfica deben proveer las funciones y herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los principales componentes de estos programas deben ser herramienta para la entrada y manipulación de la información geográfica, un sistema manejador de bases de datos interno (DBMS) o externo (*Oracle*), herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis, visualización, consultas y salidas impresas.

El *software* que a la fecha se utiliza con mayor frecuencia para la implementación de un SIG es el *ArcGis*, debido a las ventajas que el sistema posee para la creación, uso y mantenimiento de la base de datos gráfica. Este software da cierta facilidad al usuario para la creación de las entidades, su manipulación y edición, además posee muchas herramientas o extensiones que permiten la realización de procesos geoespaciales, creación de mapas temáticos mediante la aplicación de simbologías específicas, consultas y búsquedas de entidades con los atributos o características deseados o según su posición espacial, en fin éste *software* es por así decirlo muy amigable con el

usuario, ya que por su estructura y configuración facilita en un buen porcentaje las operaciones, en comparación con otros *software* que existen en el mercado; por lo cual, mediante la utilización del mismo se puede realizar cualquier cantidad de tareas con éxito.

ArcInfo es el producto funcionalmente más rico en la familia de productos *ArcGIS*. Incluye toda la potencia que nos puede dar *ArcView* y *ArcEditor*. También se puede añadir, que incluye una aplicación completa *ArcToolBox* y toda una versión de *ArcInfo Workstation* (*Arc*, *ArcEdit*, *ArcPlot* y todas las extensiones). *ArcInfo* es un completo programa de GIS; añade datos, crea, modifica, consulta, actualiza, hace mapas y analiza sistemas.

ArcInfo incluye una serie de aplicaciones integradas: *ArcMap*, *ArcCatalog*, y *ArcToolBox*. Usando estas tres herramientas juntas, se puede realizar cualquier tarea GIS, ya sea simple o avanzada, incluyendo mapeo, manejo de datos, análisis geográfico, corrección de datos, y geoprocésamiento. *ArcGIS Desktop* es un sistema comprensivo, integrado y escalable diseñado para resolver las necesidades de una amplia gama de los usuarios GIS.

ArcInfo Desktop incluye toda la funcionalidad de *ArcEditor* y agrega un sistema completo de administración de datos, de análisis, y de herramientas de la conversión al uso de *ArcToolbox*. Con estas herramientas, se puede realizar la conversión de datos, la generalización, la agregación, recubrimientos, la creación de buffers, cálculos estadísticos, y mucho más.

ArcToolBox ofrece un conjunto de herramientas que se organizan en cuatro grandes grupos: herramientas de manejo de datos, herramientas de análisis, herramientas de conversión y herramientas de usuario. Cada grupo está dividido a su vez en subgrupos según su funcionalidad.

Las herramientas de manejo de datos permiten dar topología a coberturas, realizar proyecciones y gestionar los atributos, así como modificar la definición de una cobertura o una tabla. Las herramientas de análisis permiten también realizar superposiciones, crear *buffers*, calcular estadísticas, unir conjuntos de datos y mucho más. Dentro del grupo de herramientas de conversión están las herramientas para convertir coberturas, *grids* y *TINs* a otros formatos de datos. El último grupo es el de las herramientas de usuario ("Mis herramientas"). Se puede modificar este grupo añadiendo las herramientas que se usen con más frecuencia o aquellas que realizan las tareas más comunes.

Podemos describir entre muchas, las siguientes funcionalidades sobre *ArcInfo*, *ArcEditor* y *ArcView*:

Visualizar mapas y datos: a partir de una vista de una carpeta o del contenido de una base de datos podemos examinar la lista de los datos que contiene. Las vistas reducidas nos permiten ver qué datos hay en cada carpeta o base de datos.

Explorar los datos: dibujar los datos geográficos. Haciendo zoom y desplazamientos podemos explorar los elementos de una cobertura, las celdas de un *raster*, los triángulos de un TIN. Podemos ver los atributos de un elemento, celda o triángulo haciendo un clic. Con la vista de tabla podemos ver los atributos de una fuente de datos geográficos o los contenidos de cualquier otra tabla de la *geodatabase*, como por ejemplo el inventario o la facturación.

Gestionar fuentes de datos: los datos los gestionamos independientemente de su formato. Podemos borrar una cobertura con la tecla Suprimir, podemos renombrar un *shape* o copiar un *raster* con la misma facilidad con la que renombramos o copiamos archivos con el Explorador de *Windows*.

Visualizar la información: podemos analizar la información geográficamente, hacer mapas temáticos, descubrir tendencias ocultas, revelar distribuciones.

Crear y mantener mapas: las herramientas de edición nos permiten crear y actualizar los datos geográficos. Podemos crear nuevos elementos, utilizar un tablero digitalizador, crear elementos a partir de elementos existentes, editar los elementos existentes incluso manteniendo las relaciones topológicas y editar los atributos.

Resolver: trabajar geográficamente permite resolver problemas como ¿Dónde está...?, ¿Cuánto...?, ¿Qué pasaría si...?. Entender las relaciones permite mejorar la toma de decisiones.

Presentar: resulta fácil presentar el resultado del trabajo. Se puede hacer mapas de calidad para su publicación y crear visualizaciones interactivas que enlacen gráficos, tablas, dibujos, fotografías y otros elementos a los datos. Las herramientas geográficas constituyen una forma potente de informar y motivar.

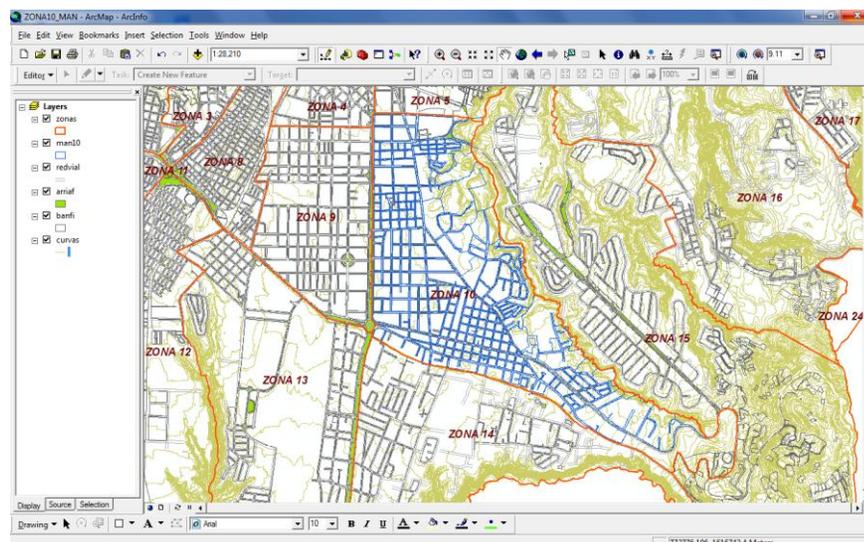
Desarrollar: las herramientas de desarrollo permiten adaptar la interfaz para que encaje exactamente con nuestras necesidades, construir nuevas herramientas para automatizar el trabajo y desarrollar aplicaciones autosuficientes a partir de componentes.

Estas funcionalidades se implementan mediante el uso de tres aplicaciones:

- *ArcMap*
- *ArcCatalog*
- *ArcToolBox*.

ArcMap es usado para toda tarea de mapeo, edición y corrección, así como para el análisis basado en mapas. *ArcMap* permite crear e interactuar con mapas, se pueden hacer queries de los datos espaciales para encontrar y entender relaciones entre features geográficos. Además se pueden representar los datos en una gran variedad de formas, se pueden crear gráficas y reportes para presentar los datos. La aplicación *ArcMap* permite crear, visualizar, consultar, editar y realizar análisis sobre nuestros datos, y tener información cartográfica de gran calidad.

Figura 36. Visualización del mapa de la zona 10, a nivel de manzanas



Fuente: elaboración propia.

ArcMap, además de permitir editar, mostrar y analizar los datos de los mapas, contiene un sistema de gráficos, un editor orientado a objetos y una potente herramienta para generar reportes. Es el entorno para trabajar con los mapas y para crear salidas cartográficas de alta calidad.

Tablas de atributos: una tabla es un componente de una base de datos que contiene una serie de renglones y columnas, donde cada renglón,

representa un *feature* geográfico, como carretera, población, ríos; y cada columna, describe un atributo particular del *feature*, como longitud, área.

ArcMap permite usar las tablas para observar los atributos de los *features* geográficos; desde una tabla, se puede identificar *features* con atributos particulares y seleccionarlos en el mapa, además, se pueden actualizar los atributos y reflejar los cambios en los *features*. Los mapas ofrecen un gran tratamiento de la información. Con *ArcMap* se puede:

- Encontrar el tipo de *feature*, con sólo apuntarlo. Junto con esto se puede desplegar información adicional como una imagen o una página *Web*.
- Encontrar *features* con atributos particulares, como por ejemplo ciudades con una población mayor a mil.
- Encontrar *features* con una relación espacial particular.
- Agregar *features* a una capa o unir capas entre sí.

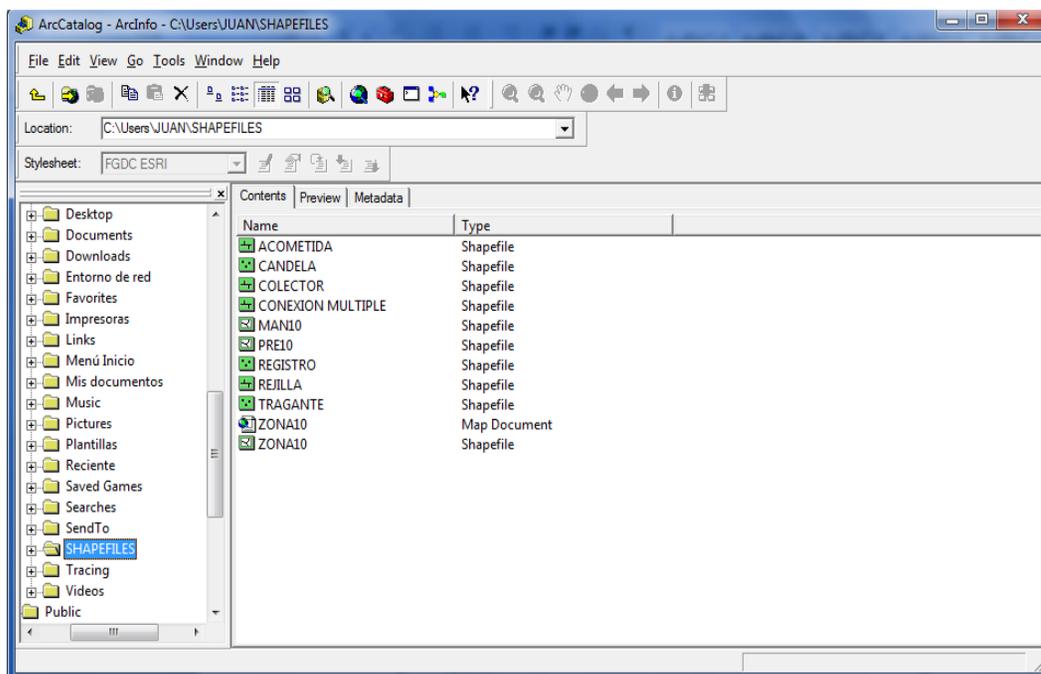
La selección de un conjunto de *features* nos permite identificar y enfocarnos en una aplicación determinada. Existen dos tipos de selecciones de *features* que nos ayudan a resolver *queries*, éstas se realizan a través de los atributos y la ubicación.

ArcCatalog: con *ArcCatalog*, se puede manejar, crear, y organizar datos geográficos y tabulares. Además, *ArcCatalog* viene con soporte para varios estándares populares de metadatos que permite crear, corregir, y ver la información de los datos. Con *ArcCatalog* se puede visualizar los datos GIS, hacer vistas previas de información geográfica, visualizar y corregir los metadatos, trabajar con las tablas, y definir la estructura del esquema para las capas geográficas.

Esta aplicación es un avanzado explorador de datos geográficos, donde se puede gobernar el acceso a la cartografía, tablas y bases de datos.

ArcCatalog provee un *framework* para organizar grandes y diversos almacenes de datos GIS, diferentes vistas de los datos ayudan a encontrar rápidamente lo que se necesita, para esto están las etiquetas de *Contents*, *Preview*, y *Metadata*. La figura siguiente muestra la interfaz de *ArcCatalog*, en la pestaña de *Contents*.

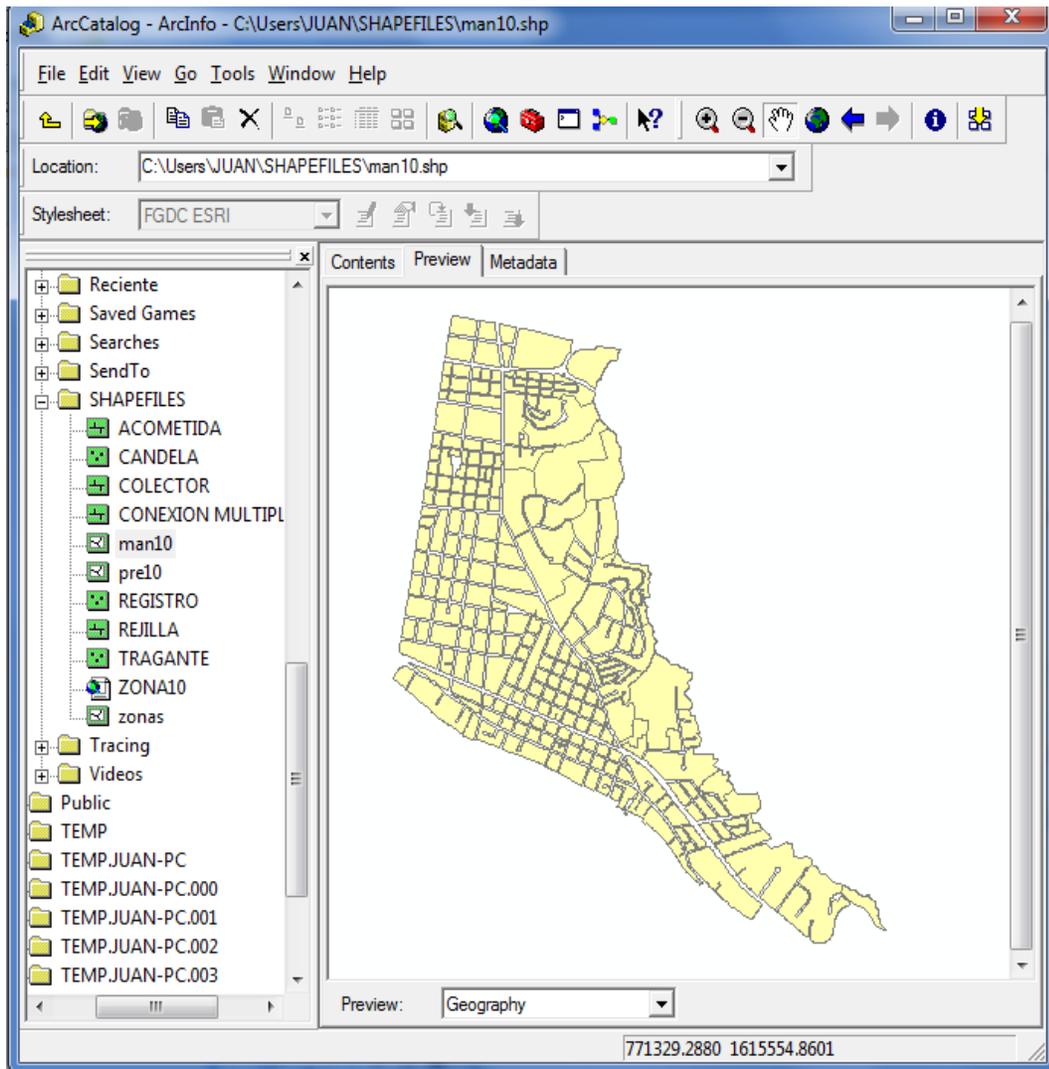
Figura 37. **Visualización del contenido de carpetas mediante *ArcCatalog***



Fuente: elaboración propia.

ArcCatalog permite además de la organización de los datos, su exploración, ya que es capaz de generar vistas de los datos (en forma de tabla y mapa). En las figuras siguientes se muestra la capa de manzanas de Zona 10 del municipio de Guatemala, en sus dos modos de vistas, geográfico y tabla.

Figura 38. Visualización en *ArcCatalog* del modo geográfico



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Visualización en *ArcCatalog* del modo tabla

FID	Shape	AREA	PERIMETER	PRE2	PRE_ID	DEP	MU	AR	ZON	MAN	PRE	NC
1	Polygon	1249.749	142.749	3	817	0	0	0	10	100002	100002001	100002001
2	Polygon	1279.591	144.403	4	810	0	0	0	10	100002	100002003	100002003
3	Polygon	1030.923	134.201	5	812	0	0	0	10	100002	100002002	100002002
4	Polygon	1042.31	132.294	6	71	0	0	0	10	100002	100002004	100002004
5	Polygon	12650.339	436.662	7	3531	0	0	0	10	100003	100003001	100003001
6	Polygon	1169.073	161.568	8	811	0	0	0	10	100002	100002015	100002015
7	Polygon	86294.21	1190.684	9	4286	0	0	0	10	100004	100004001	100004001
8	Polygon	1368.607	168.235	10	813	0	0	0	10	100002	100002009	100002009
9	Polygon	450.247	110.128	11	68	0	0	0	10	100002	100002016	100002016
10	Polygon	799.727	120.921	12	816	0	0	0	10	100002	100002018	100002018
11	Polygon	126.446	78.963	13	69	0	0	0	10	100002	100002017	100002017
12	Polygon	758.143	114.316	14	814	0	0	0	10	100002	100002014	100002014
13	Polygon	1221.11	169.396	15	70	0	0	0	10	100002	100002005	100002005
14	Polygon	699.532	108.06	16	372	0	0	0	10	100002	100002013	100002013
15	Polygon	496.01	93.06	17	381	0	0	0	10	100002	100002011	100002011
16	Polygon	556.11	100.225	18	371	0	0	0	10	100002	100002010	100002010
17	Polygon	478.849	115.72	19	815	0	0	0	10	100002	100002006	100002006
18	Polygon	641.933	102.889	20	378	0	0	0	10	100002	100002012	100002012
19	Polygon	27615.597	690.929	21	317	0	0	0	10	100013	100013001	100013001
20	Polygon	260.375	76.287	22	1006	0	0	0	10	100002	100002007	100002007
21	Polygon	713.505	115.201	23	1007	0	0	0	10	100002	100002008	100002008
22	Polygon	25709.977	682.583	24	927	0	0	0	10	100012	100012001	100012001

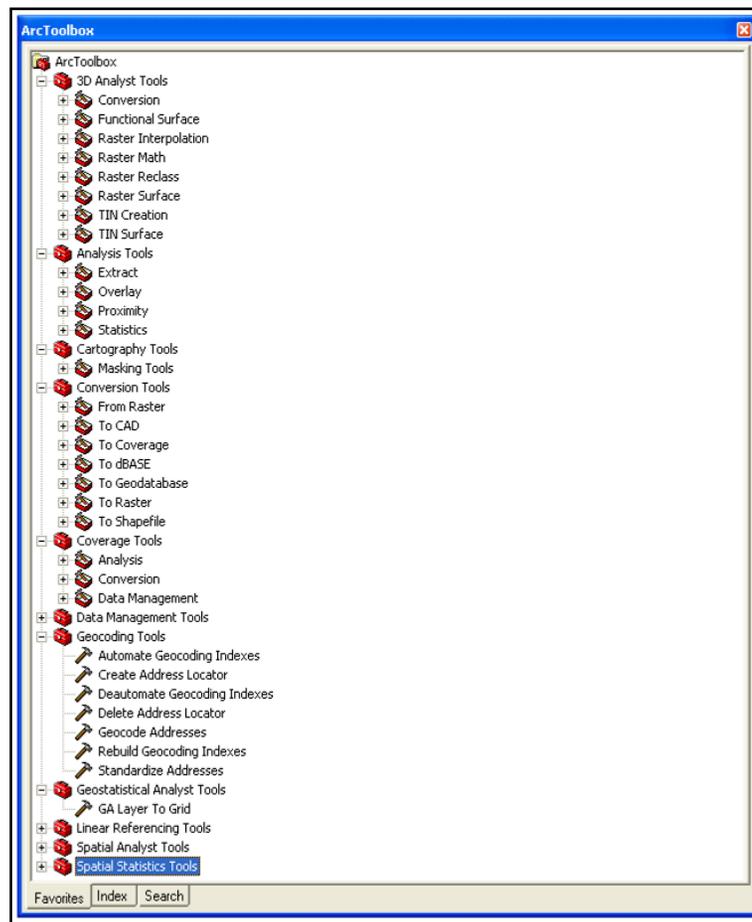
Fuente: elaboración propia.

Dentro de las funcionalidades de ArcCatalog se encuentran:

- Tabla de contenidos: permite ver los archivos, carpetas y bases de datos disponibles en la máquina local y en la red; indica los tipos de datos y nos permite crear, importar y exportar capas.
- La interfaz de vistas proporciona diferentes Vistas de los datos: permite tener cuatro vistas de datos diferentes que son iconos grandes, vista tipo listado, vista detallada y vista reducida; y nos muestra la previsualización de datos geográficos o de una tabla.
- Herramientas: permiten hacer efectos de Zoom y Pan, así como importar y exportar capas.
- Generación del esquema de la Base de Datos geográfica: proporciona una interfaz para crear y editar y el manejo de conjuntos de datos.

ArcToolBox: para *ArcInfo* es una aplicación que viene con un completo y comprensible sistema de herramientas para geoprocesamiento, conversión y manejo de datos, análisis de recubrimientos, proyección de mapas, y mucho más.

Figura 40. **Herramientas de *ArcToolbox***



Fuente: elaboración propia.

ArcToolbox ofrece herramientas para acceder a la funcionalidad de una manera fácil. Las herramientas para la conversión, manipulación y análisis están jerarquizadas para un rápido acceso, también se puede acceder a las

mismas a través de palabras clave o los comandos que ejecutan. La siguiente figura muestra las diferentes herramientas con las que cuenta *ArcToolbox*.

ArcToolBox es un entorno completo para realizar cientos de operaciones de geoproceto, como conversión de datos, proceso de superposiciones, creación de *buffers* y transformación de mapas.

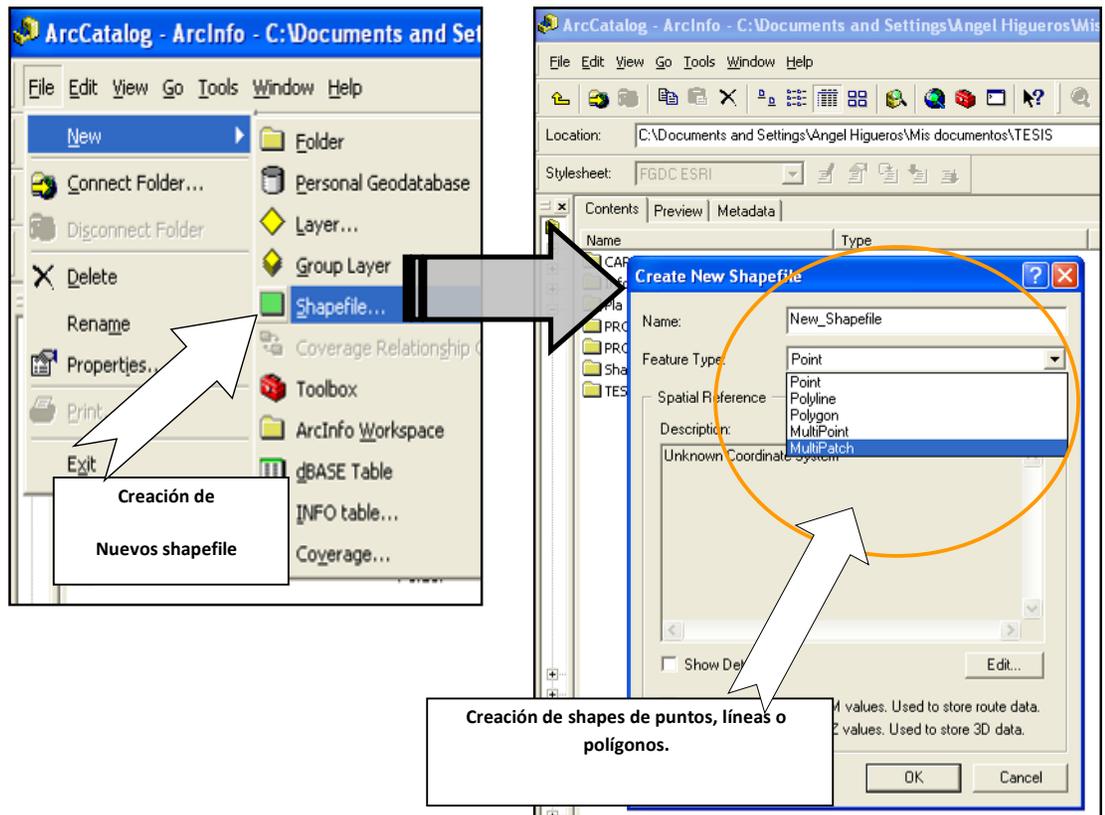
Dentro de las funcionalidades de *ArcToolbox* tenemos:

- Elementos clave: conjunto de herramientas de geoproceto avanzado y herramientas definidas por el usuario.
- Asistentes de geoproceto: permiten definir y realizar proyecciones, además de añadir y extraer datos.
- Asistentes de *geodatabase*: permiten construir redes y hacer la conversión de formatos de cobertura y shapefile a *geodatabase*.
- Asistentes de conversión: permiten hacer la conversión de diferentes formatos de datos a coberturas, y viceversa.
- Análisis de redes: permite construir redes, añadir elementos a la red o crear nuevos elementos.

5.3.6.2. Tipo de archivo

Aprovechando las ventajas que nos brinda, el tipo de archivo que se utilizará para la creación de las entidades así como la identificación de sus características o atributos será el formato *shape* (con extensión *.shp*), éste tipo de archivo perfectamente ayuda a representar los objetos que existen en la realidad, debido a que se pueden crear *shapes* con geometría de puntos, líneas y polígonos; por lo que mediante estos, aptamente se logra la representación de cualquier objeto que se encuentre en la naturaleza (mundo real).

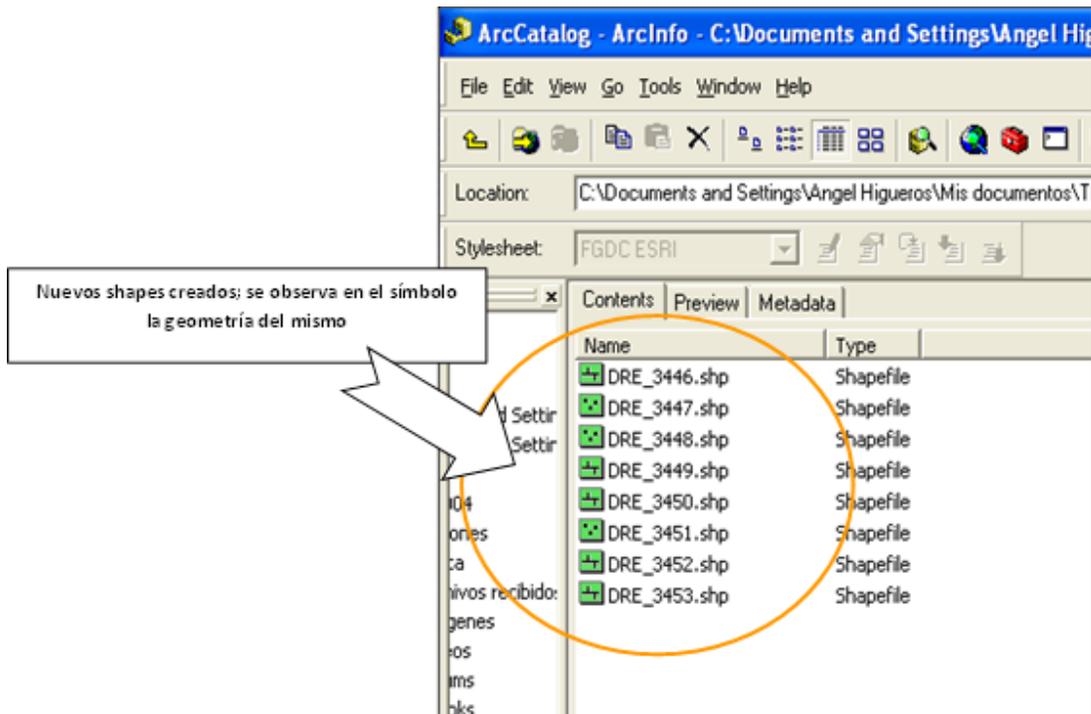
Figura 41. Creación de nuevos *shapes* mediante *ArcCatalog*



Fuente: elaboración propia.

Cada *shape* creado, se deberá regir por la geometría, normalización y clasificación que previamente se han definido y establecido en el modelo conceptual; los *shapes* se crearan desde el *ArcCatalog*.

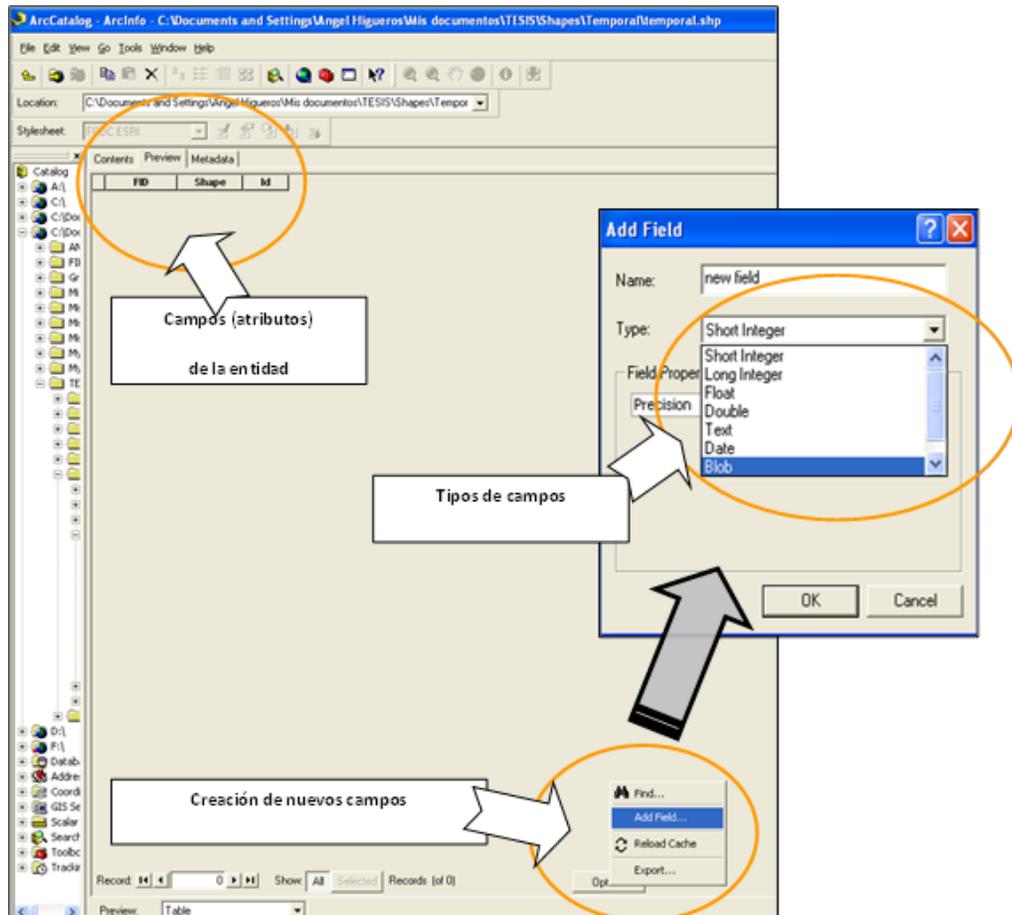
Figura 42. Visualización mediante *ArcCatalog* de los *shapes* creados



Fuente: elaboración propia.

Posterior a la creación de los *shapes* de todas las entidades, ya con su respectiva geometría y clasificación, se procede a la creación de los campos que identificarán cada una de las características (atributos) que poseen las entidades ya plasmadas mediante un *shape*; se deberán crear los atributos que se han indicado en el modelo lógico, ya que en el mismo, se han definido para cada entidad y con ello lograr la integración y enlace entre las mismas; por ende se concluye con el buen funcionamiento del SIG. Al crear los campos o atributos, se deberá tomar como base las características estructurales que previamente se han definido en el catálogo de objetos. Los tipos de campos para los atributos, variaran según el tipo de dato que refleje el mismo.

Figura 43. Creación de nuevos campos en los *shapes*, mediante el modo tabla de *ArcCatalog*



Fuente: elaboración propia.

Finalmente al representar las entidades mediante el *shape* respectivo, se deberá visualizar el mismo en el *software* utilizado, esta visualización se hará aplicándole a cada entidad, la estructuración de la simbología que previamente se le ha definido en el Catálogo de Objetos.

Figura 44. **Estandarización de simbología para la representación de los *shapes* o entidades**

SIMBOLOGIA			
	CONEXION MULTIPLE		CANDELA
	REJILLA		TRAGANTE
	ACOMETIDA		INCOMPLETO
	COLECTOR		REGISTRO
	RED		CAJA

Fuente: elaboración propia.

5.3.6.3. *Hardware*

Podría decirse que el *hardware* es la computadora en la que opera el SIG. Actualmente, un SIG corre en un amplio rango de tipos de *hardware*, desde *Workstation* de computadoras centralizadas hasta computadoras *desktop* utilizadas en configuraciones individuales o de red.

Una organización requiere de *hardware* suficientemente específico para cumplir las necesidades de la aplicación. Algunas cosas a considerar incluyen: velocidad, costo, soporte, administración, escalabilidad y seguridad.

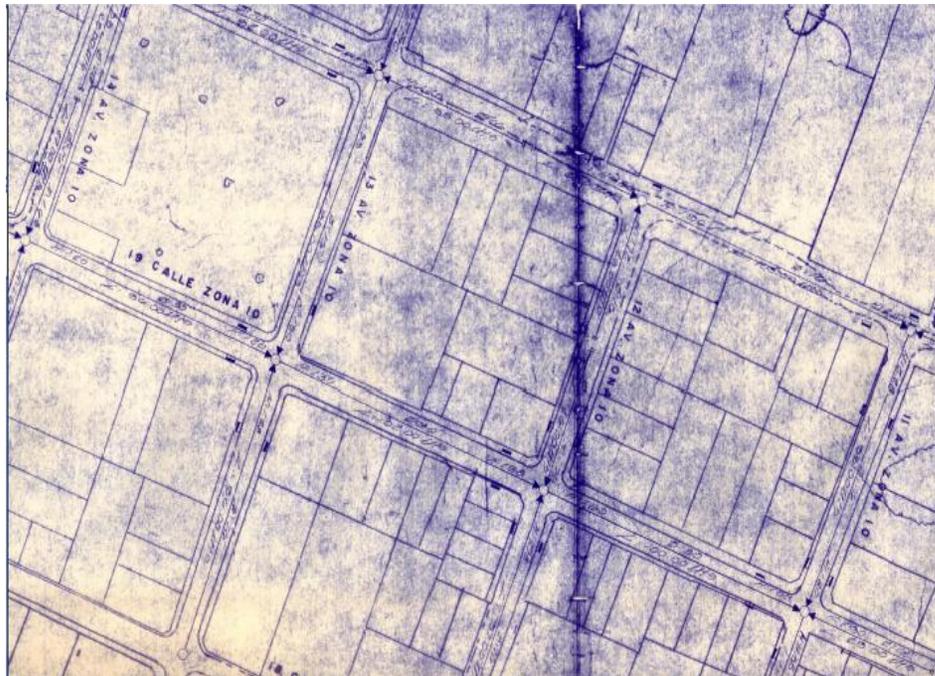
5.4. Digitalización de las redes

Ya habiendo definido el modelo del SIG, se procede a la digitalización de los elementos que intervienen en la red de drenajes. La información fuente para la digitalización de los elementos son los planos (conocidos como *sabanas*) de

la zona 10, los cuales consisten en mapas impresos a escala 1:1 000 en los que tomando como base la información de manzanas, predios, construcciones, vegetación, eje vial y nomenclatura vial existentes, se realizó y plasmó el levantamiento de los registros, redes y tragantes que componen la red de alcantarillado de la zona en estudio.

Estos planos fueron realizados en el año de 1980 y como se mencionó contienen los elementos de la red espacialmente ubicados, identificándose sus características tales como diámetro, longitud, profundidad, cotas invert y el sentido del flujo. Todo lo descrito anteriormente se tomó como base para digitalizar ya en formato *shape* y con ello conformar lo que será el SIG de la red de alcantarillado de la zona 10.

Figura 45. **Segmento de la cartografía (sabanas) utilizada como información fuente**

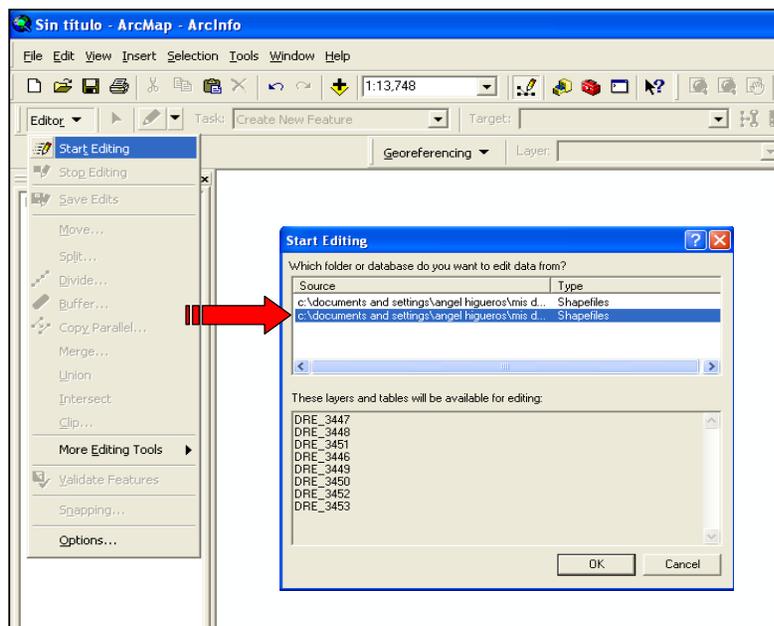


Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Para digitalizar los elementos que intervienen en el SIG, se utilizará como plataforma *ArcMap*, cargando al proyecto los *shapes* que se han estructurado y definido sus características en el modelo conceptual, para llegar a las relaciones entre ellos, mismas que se establecen en el modelo lógico.

Ya habiendo cargado todos los *shapes* al proyecto de *ArcMap* y proceder a digitalizar o crear los elementos, se debe iniciar sesión de edición mediante la barra de herramientas llamada *EDITOR*; para ello en la opción Editor se selecciona *Start Editing* y aparecerá el cuadro llamado *Start Editing*, en el cual se debe seleccionar la carpeta en la que se tienen almacenados los *shapes* y automáticamente se desplegarán en la parte inferior los *shapes* que en esa carpeta existen, los mismos serán los que se podrán editar en la sesión de edición que se está iniciando, tal como se observa en la imagen siguiente.

Figura 46. **Inicio o creación de sesión de edición, mediante la barra de herramientas *EDITOR***

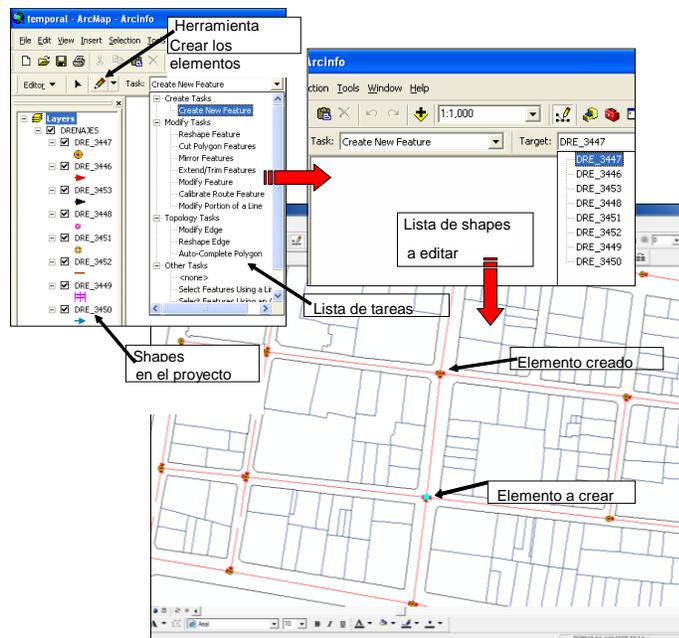


Fuente: elaboración propia.

Estando en sesión de edición, se activa en la barra de herramientas *EDITOR* el listado de tareas que permite realizar, así como los *shapes* sobre los que se desea realizar la tarea que se seleccione. La digitalización de cada uno de los elementos se debe hacer individual, ya que *ArcMap* permite la edición de un solo *shape* o entidad a la vez.

Para la creación de los elementos de la red de drenajes de la zona 10, se procede a seleccionar en el listado de tareas *Task, Create New Feature* (crear nuevo elemento) y en *Target* se selecciona dentro del listado de *shapes* cargados en el proyecto, el que se desea trabajar para crear los elementos gráficos del mismo. Y finalmente se selecciona la herramienta para crear los elementos, con lo cual en el puntero del *Mouse* llevará el elemento hasta seleccionar la ubicación final del elemento a crear.

Figura 47. Creación de nuevos elementos en una entidad



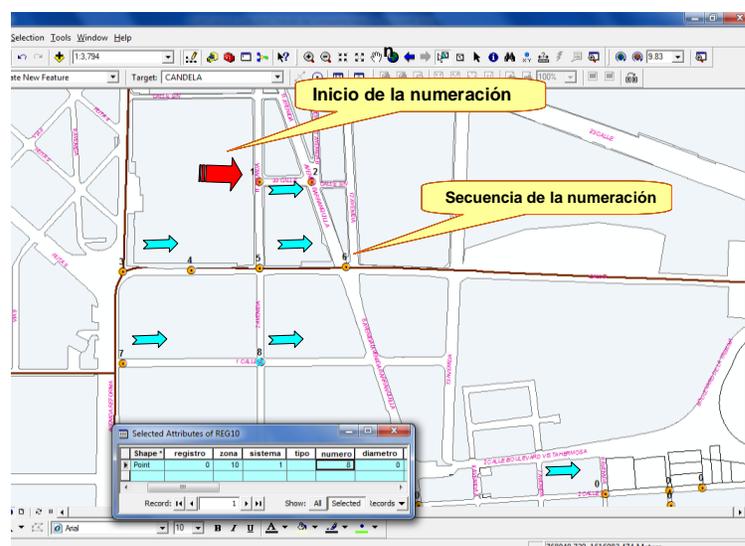
Fuente: elaboración propia.

5.4.1. Numeración de los elementos de cada entidad

Posterior a la digitalización de los elementos en formato *shape* de cada entidad, se procede a digitar los datos alfanuméricos en las tablas de atributos de cada elemento, por lo cual se deben ingresar los identificadores y numeración de los mismos. El modelo del SIG se ha construido tomando como base para la numeración e identificación de los elementos, las zonas político-administrativas con que cuenta el Municipio de Guatemala.

Los elementos que se constituyen en las entidades de cajas, registros, incompleto, tragantes y rejillas se deberán numerar o identificar en cada zona del Municipio de Guatemala a partir del sector Nororiente de la misma, siguiendo la numeración de los elementos de las entidades mencionadas hacia el Este (según las calles de la zona) y bajando hacia el Sur de la zona en cuestión; esto permitirá que junto con el número de la zona, se alcance un orden y fácil localización espacial de los elementos.

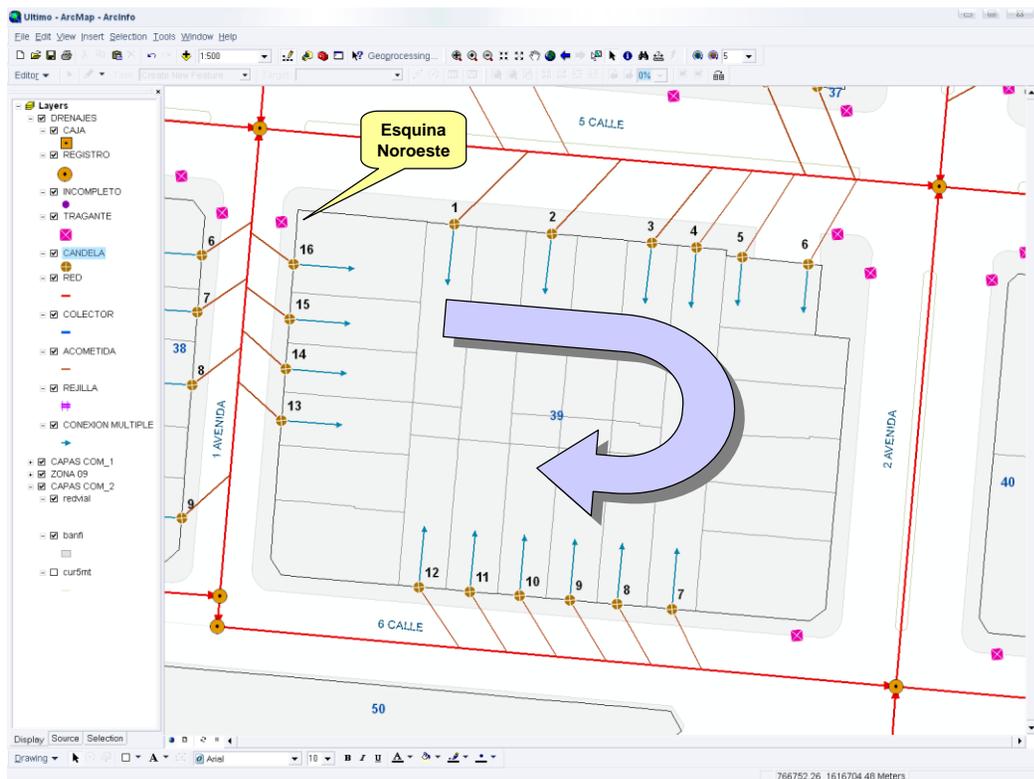
Figura 48. Ejemplo de numeración de los registros en la zona 10



Fuente: elaboración propia.

Debido a que los elementos que constituyen las candelas domiciliarias, tienen relación con las manzanas de cada zona, estas se numeraran o identificarán en base a la manzana sobre la que se ubican espacialmente; por tal motivo la numeración de las candelas domiciliarias no será para la zona completa, sino que identificará el número de estas que existen en una manzana; se numerarán a partir de la esquina Noroeste de la manzana y se seguirá en sentido horario.

Figura 49. **Sentido para la numeración de candelas domiciliarias en cada manzana**



Fuente: elaboración propia.

Por último, la red, el colector, la acometida y la conexión múltiple, no llevan una numeración específica, ya que las llaves y atributos están con base a los elementos a los cuales poseen conectividad o relación.

5.5. Creación de topología y estructura geoespacial

Una vez los datos geométricos han sido capturados, se requiere efectuar un proceso de estructuración como condición previa para manipular los datos. Para lograrlo los SIG aprovechan las posibilidades que brinda la topología.

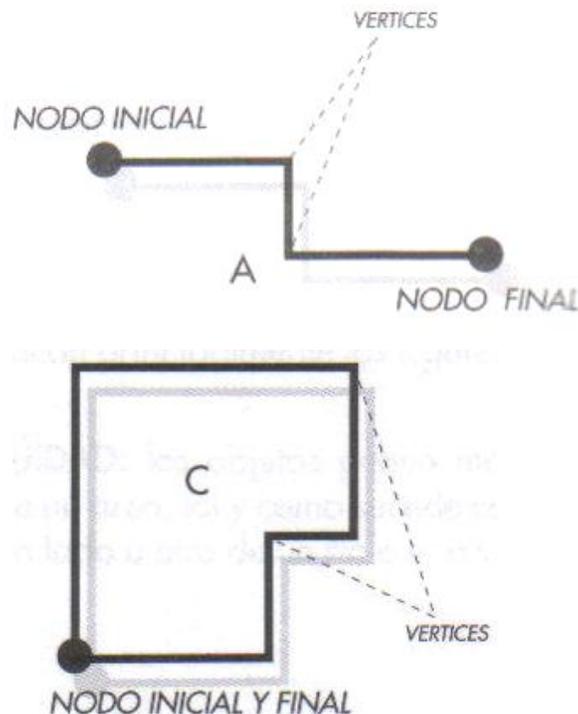
La topología es la base del análisis espacial, involucra los objetos en toda su complejidad, tanto en la definición de los elementos primitivos o constituyentes de cada objeto, como en la identificación y reglamentación de las conexiones internas y de las interrelaciones posibles con otros objetos. Cuando se pasa de manejar figuras geométricas a manejar objetos geográficos en los que deben hacerse uniones, intersecciones y sustracciones de objetos con atributos, se recurre a la ayuda de la vertiente algebraica de la topología, la cual permite representar una configuración geométrica y sus relaciones.

Mediante la topología es posible mantener las relaciones geométricas existentes entre los objetos (representados por puntos, líneas y polígonos), de acuerdo con la estructura de los grafos. El modelo topológico posibilita que los objetos representados en el sistema conserven, no solo su posición absoluta determinada por las coordenadas, sino su ubicación relativa en relación con sus vecinos. Esto tiene gran importancia en muchas aplicaciones, por ejemplo, cuando se está trabajando con las vías de una ciudad, ya que además de su posición absoluta, es también relevante la conectividad existente entre los diferentes elementos que forman la malla vial.

El concepto más elemental en la topología es el de cadena, que se define como una secuencia de segmentos de línea o de arcos que no se interceptan. Los diferentes objetos son entonces descritos por cadenas y puntos de tal manera que un objeto o entidad tipo línea será una cadena abierta (A en la figura) y otro tipo polígono será descrito por una cadena cerrada (C en la figura).

Los puntos donde comienza y termina la cadena se denominan nodos. Un segmento de línea o arco, es una línea definida por una función matemática que une dos puntos denominados vértices.

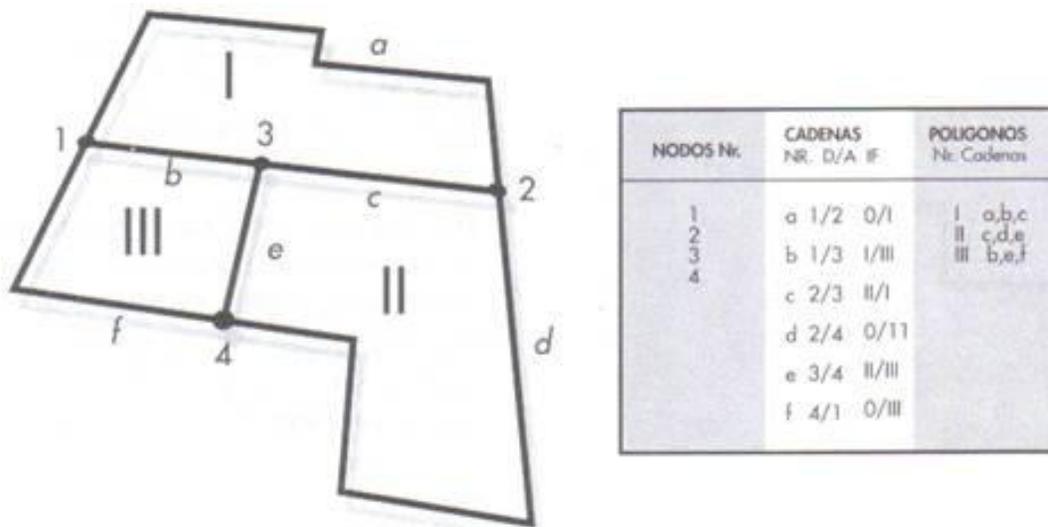
Figura 50. **Cadena abierta y cadena cerrada**



Fuente: elaboración propia.

El modelo topológico se describe mediante una serie de tablas en las que se almacenan las relaciones entre punto-línea-polígono. En la figura siguiente, se observan seis (6) cadenas formadas por los arcos a, b, c, d, e, f y sus respectivos nodos 1, 2, 3 y 4. Los polígonos I, II, III comparten algunos de los arcos ya enumerados. En las tablas se indican las posiciones relativas existentes.

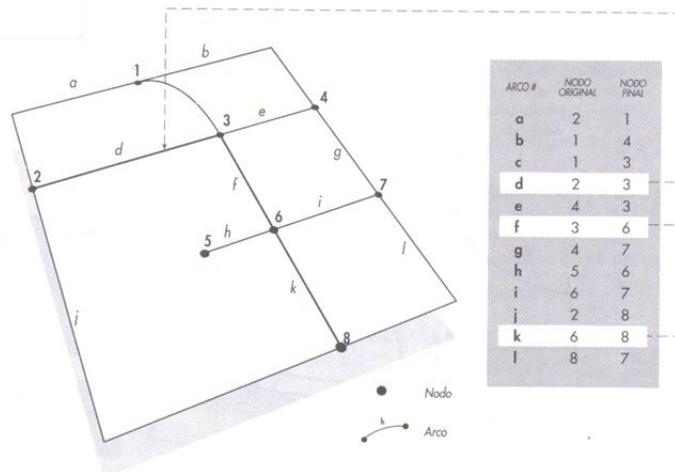
Figura 51. **Topología para tres polígonos**



Fuente: elaboración propia.

Aunque existen más de una docena de relaciones que guardan entre si los objetos, se destaca principalmente el de conectividad, ya que este hace explícita la conexión entre los nodos y los arcos que forman una red; esto permite, por ejemplo, representar el flujo de líquido en un ducto o el flujo de tráfico en una vía.

Figura 52. Relación de conectividad



Fuente: elaboración propia.

Puesto que las herramientas disponibles en el ambiente *ArcGis* no permiten la creación de topologías, todos los archivos *shapes* deben ser exportados a formatos de coberturas, con los que se efectuarán los procesos de topología en el módulo *ArcInfo*.

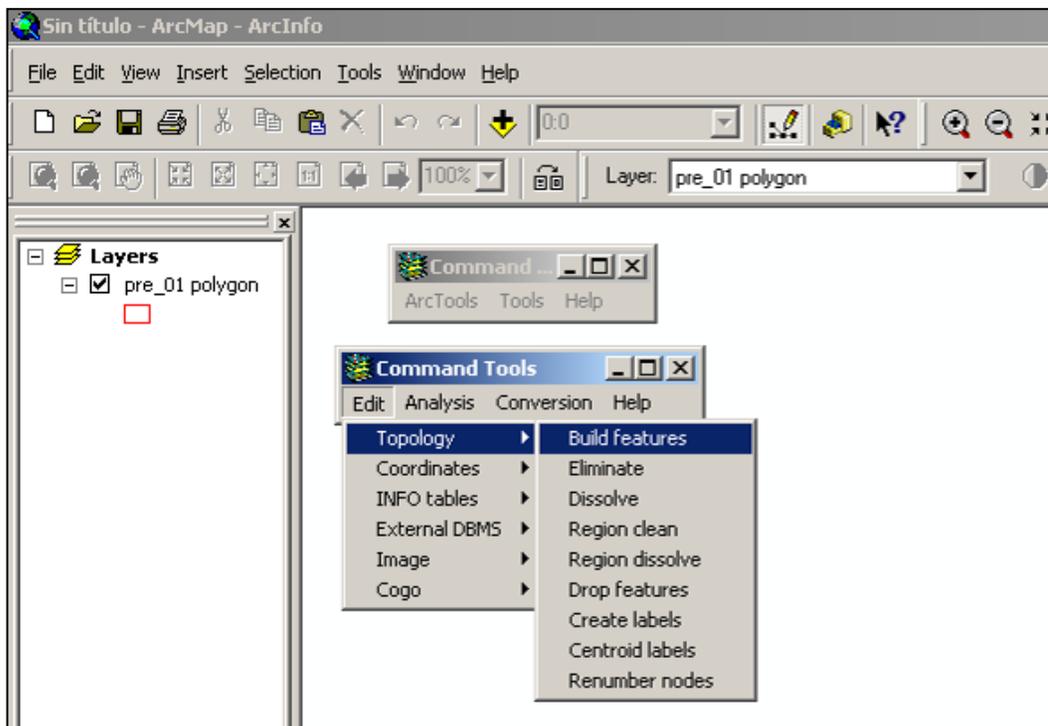
El proceso de topología permite mantener la alta precisión con que cuenta la cartografía, además que estructura nuevamente los polígonos editados a fin de contar con las características o atributos correctamente actualizados. Este proceso define estructuralmente los siguientes parámetros dentro de cada polígono:

- Área
- Perímetro
- Identificador individual (*FID*)
- Traslape de linderos (hasta el rango de 0,000001 metros).

Cada estructura deberá trabajarse individualmente, corriendo dos procesos sucesivos, los denominados *clean* y *build*.

Luego de estructurar la topología correspondiente, deben importarse nuevamente los archivos de coberturas a formatos *shapes* para su posterior manipulación y actualización en plataformas *ArcGis*.

Figura 53. **Acceso a las herramientas de construcción de topologías en la plataforma *ArcInfo* 8.3**

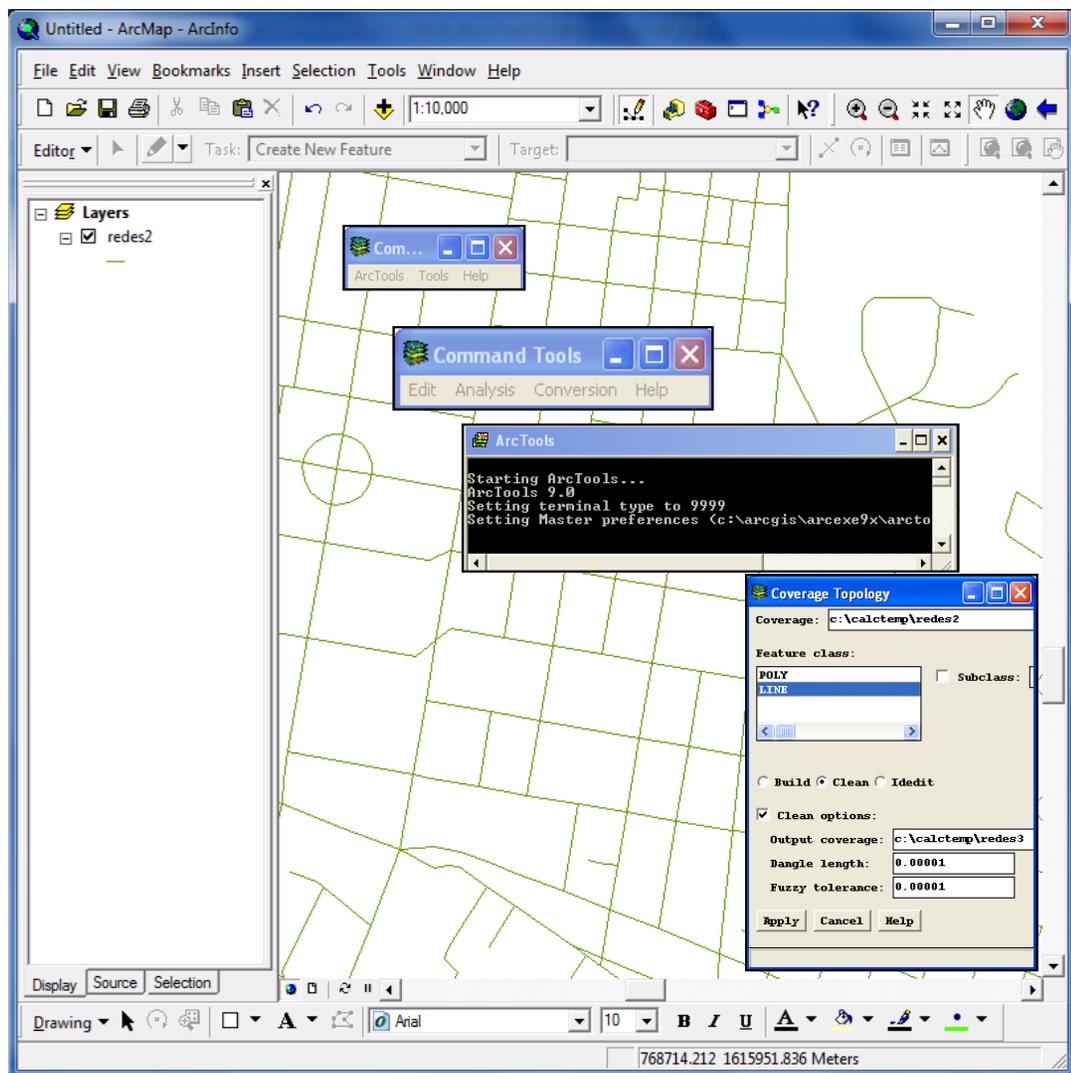


Fuente: DIAZ CARRERA, Gerson Amílcar. Metodologías para la implementación del catastro urbano con sistemas de información geográfica.

Cabe señalar que esta actividad se transforma en un proceso repetitivo, puesto que cada vez que sea necesario actualizar un *shape* de cualquier

entidad, se debe repetir el proceso antes descrito, a fin de mantener la calidad de la cartografía.

Figura 54. **Definición de tolerancias de intersección de polígonos y construcción de topologías para la cobertura de redes**



Fuente: elaboración propia.

La persona encargada de la creación de estructuras topológicas, deberá tener un profundo conocimiento de la herramienta *ArcInfo Workstation*, puesto que es el único módulo donde se pueden efectuar dichos procesos de control de calidad.

5.6. Integración de datos alfanuméricos y geoespaciales

Los últimos pasos para tener estructurado el SIG, será crear los enlaces necesarios entre la información gráfica y las tablas de datos alfanuméricas de la base de datos, es importante hacer notar que el código “llave” está presente en ambos ámbitos, tanto en las tablas de la base de datos, como en los shapes de información cartográfica. Es en este punto en donde se ponen en práctica las relaciones entre shapes y las tablas de la base de datos, mediante la aplicación de enlaces entre llaves primarias (1k) y secundarias o foráneas (FK), mismas que se han establecido en el modelo lógico del SIG.

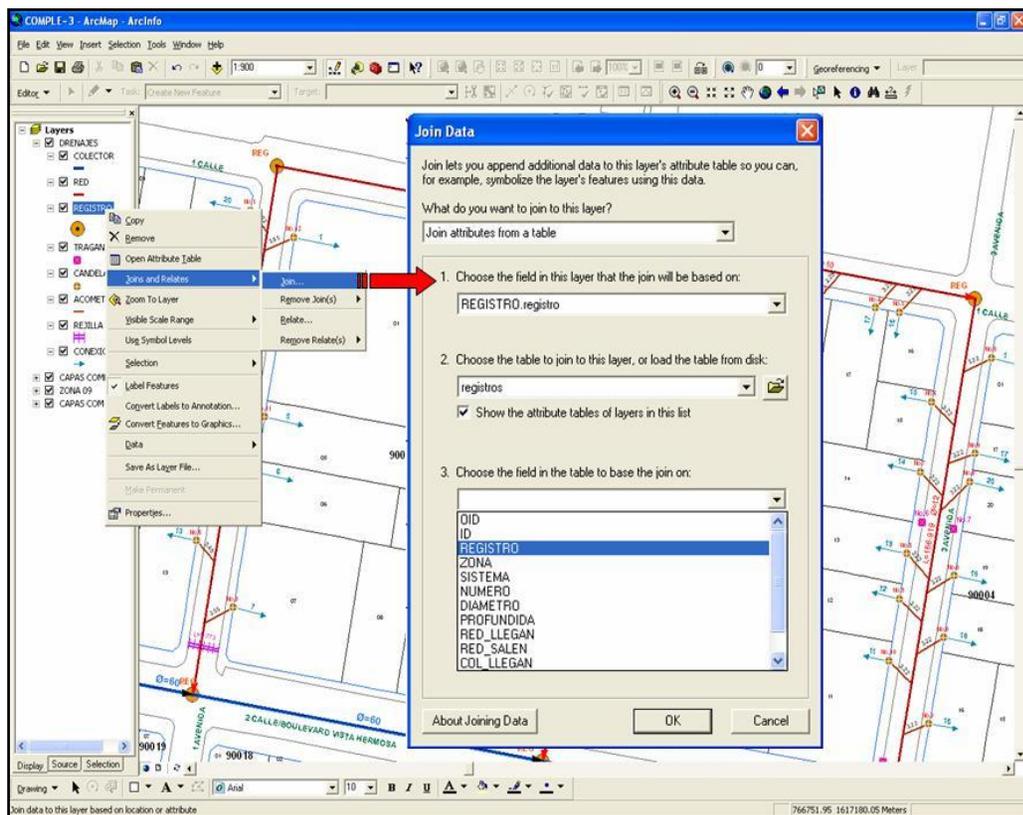
La integración propiamente dicha de los datos alfanuméricos y geoespaciales, se realizará a través del comando *JOIN*, presente en las plataformas *ArcGis*. Los pasos para crear el link a una tabla externa son:

- Seleccionar la capa cartográfica a la que se desea ligar la tabla externa.
- Clic derecho y seleccionar el comando *JOIN*.
- En el cuadro de diálogo que aparece seleccionar el campo llave.
- Direccionar la ubicación de la tabla externa.
- Seleccionar el campo llave de la tabla, para crear finalmente el *link*.

Es importante resaltar el hecho de que solamente se reconocerán aquellos campos de la tabla externa que poseen igual estructura a la del campo llave de la capa cartográfica seleccionada, es decir de tipo numérico o alfanumérico.

A manera de ejemplificar lo descrito anteriormente, a continuación se describe como se debe realizar la integración de los datos alfanuméricos de la base de datos y la capa cartográfica de los registros, esto mediante la utilización del comando o herramienta *JOIN*.

Figura 55. **Herramienta *JOIN* que permite ligar tablas externas en formatos de base de datos DBF a las capas de la cartografía digital, con el fin de integrar la base gráfica y la alfanumérica**



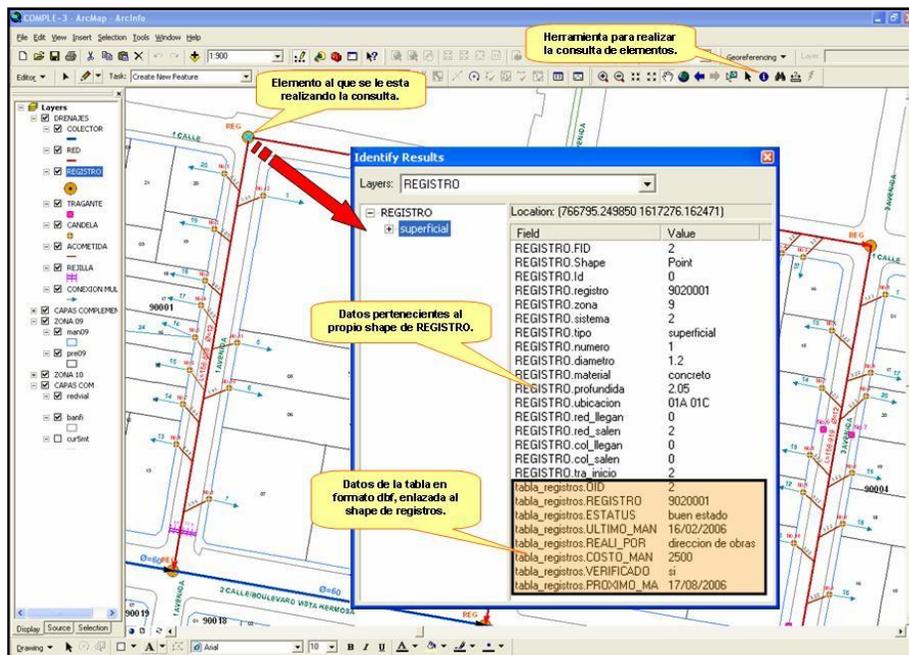
Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. Análisis del sistema de Drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un Sistema de Información Geográfica. p. 139.

Mediante el procedimiento anterior, se ha ligado la base de datos externa en formato DBF del control y programación, del mantenimiento que se le brinda

a los registros, tanto superficiales como profundos de la red de alcantarillado de la Zona 10, esto con el fin de realizar cualquier análisis espacial o simplemente verificar gráficamente el mantenimiento que se ha realizado, así como la programación de estos.

No está de más indicar, que en la tabla del mantenimiento de registros que se ha ligado, puede incluir cualquier número de campos de información; tal como el estatus, el último y próximo mantenimiento, el responsable de los mantenimientos realizados, si fue verificado o no, el consto que tuvo el mantenimiento, etc., en fin toda la información que se requiera.

Figura 56. **Consulta de información de los registros, a los cuales se le ha cruzado la base de datos externa del mantenimiento de los mismos**



Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. Análisis del sistema de Drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un Sistema de Información Geográfica. p. 140.

De esta forma, se obtiene una consulta completa de la información alfanumérica, del mantenimiento que se ha realizado a todos los registros que contiene el sistema de alcantarillado, misma que se encuentra almacenada en una tabla externa. Al finalizar el proceso de incorporación de tablas para todos los shapes o entidades, se pueden hacer consultas, actualizaciones, análisis geométricos, análisis espaciales, en fin se puede realizar cualquier análisis o proceso en el que intervengan ya sean los atributos o características de los shapes, la geometría de los mismos o su ubicación espacial no solo individualmente sino en su conjunto con todos los elementos que intervienen en el SIG de la red de alcantarillado de la zona 10.

6. ANÁLISIS Y USO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG)

6.1. Consultas y búsquedas (*Queries*)

Una vez implementado el SIG y se establezcan todas las relaciones espaciales y alfanuméricas, en el sistema se podrán consultar gran variedad de interrogantes, entre las cuales se pueden mencionar:

- ¿Cuál es el número de registros, tramos de red, tramos de colectores, o cualquier otra entidad; ya sea de toda la zona o de un sector en específico?
- ¿Cuál es el caudal estimado que circula en cualquier tramo de red y realizar análisis al respecto?
- ¿Cuántas propiedades son las que evacuan aguas residuales a un tramo o varios tramos de red o colector?
- ¿Cuál es el recorrido del flujo de las aguas residuales de un sector?
- ¿Cuántas son las propiedades de una zona o un sector que cuentan con servicio de alcantarillado de la Municipalidad de Guatemala y por ende cuántos no cuentan con este servicio?
- ¿Cuántas conexiones ilícitas existen en un sector o en toda la zona?

Algo muy importante de concebir, es que el SIG tiene la capacidad de suministrar información, tanta como le haya sido alimentada y de la calidad o confiabilidad que tengan esos datos ingresados; basada en esta información, se podrá resolver cualquier inquietud técnica del profesional.

Las consultas y búsquedas, básicamente serán la interacción entre el personal técnico altamente capacitado y el resto del personal que no necesariamente tiene que tener un conocimiento profundo de la herramienta pero que necesita consultar la información y que en definitiva será usuario principal.

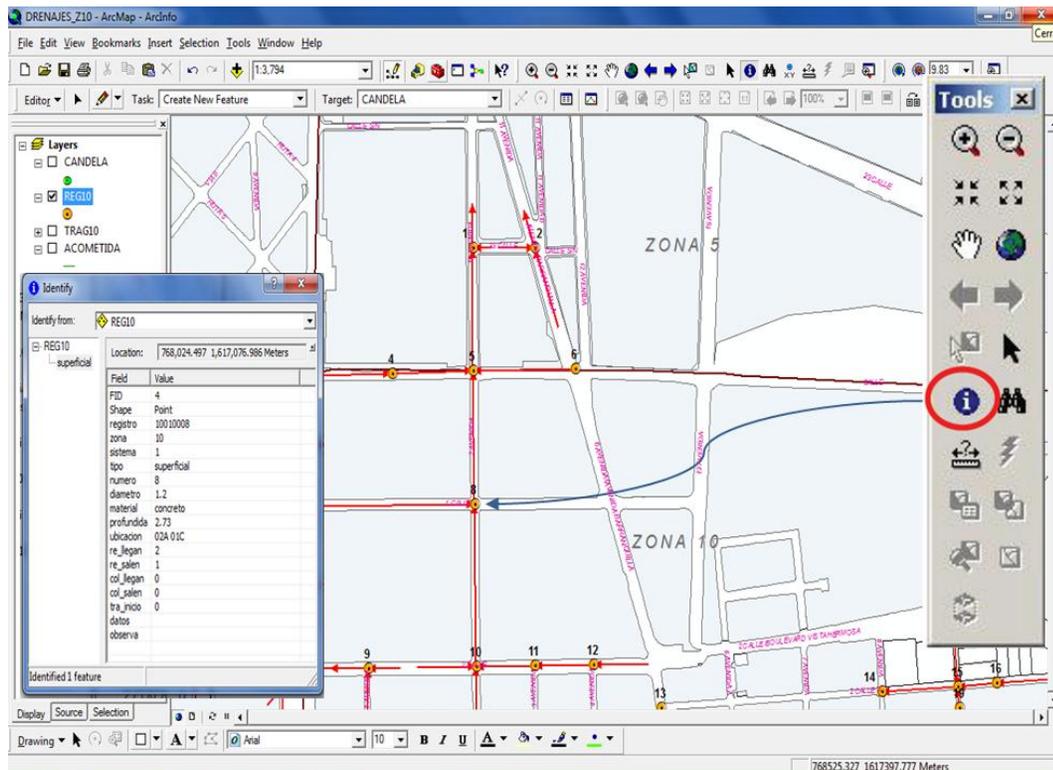
La manipulación de la información incluye operaciones de extracción y edición. Así mismo provee los mecanismos para la comunicación entre los datos físicos (extraídos por los módulos de almacenamiento y utilización por el módulo de análisis).

Las formas de extraer o consultar información de los SIG son muy variadas y pueden llegar a ser muy complejas. Las formas básicas para extraer y consultar la información del SIG de la Red de Alcantarillado de la zona 09 son por identificación, por búsqueda, por medición, por herramientas para seleccionar datos y por condición geométrica.

6.1.1. Identificación

Es la herramienta más sencilla para mostrar el contenido de la tabla de los atributos de la entidad o elemento geográfico seleccionado, esta puede mostrar uno o varios records, así como también mostrar records en varias capas.

Figura 57. Uso de la herramienta de identificación (*Identify*) en ArcMap

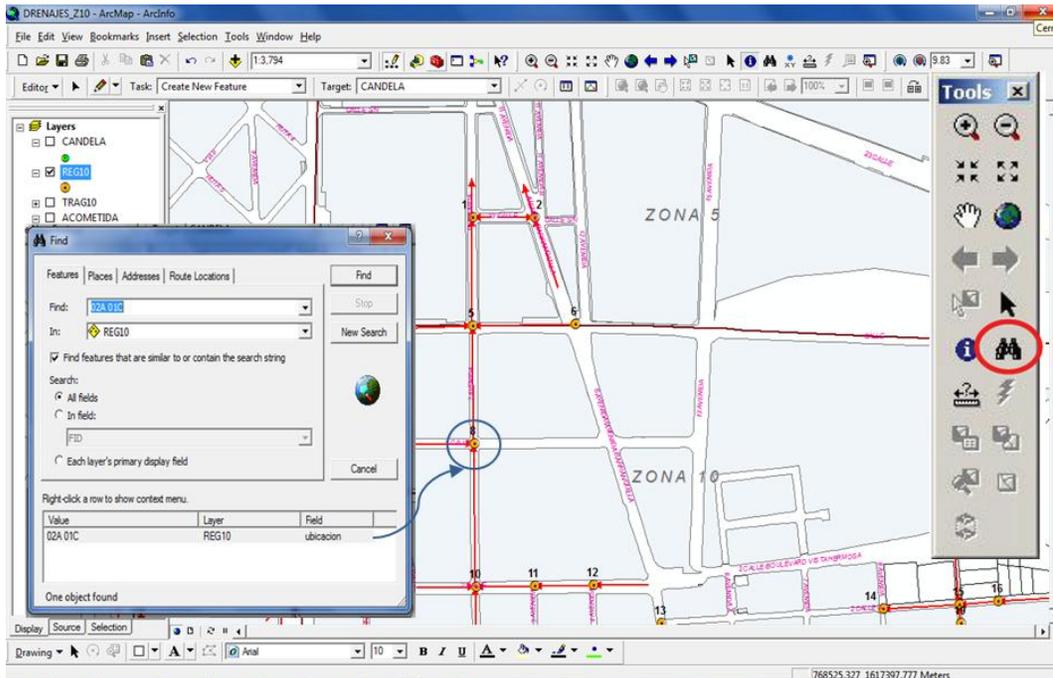


Fuente: Municipalidad de Guatemala.

6.1.2. Búsqueda

Mediante una búsqueda lo que se consigue es la localización de un elemento específico, el procedimiento es muy sencillo, sólo se debe seleccionar la herramienta *Find* en la barra de herramientas *Tools*, posteriormente se le indica en qué entidad se desea realizar la búsqueda y con qué parámetro debe cumplir esa entidad. Es importante aclarar que la búsqueda se realiza sobre los datos alfanuméricos que tenga la entidad y no por su ubicación en el espacio.

Figura 58. Uso de la herramienta de búsqueda (*Find*) en ArcMap

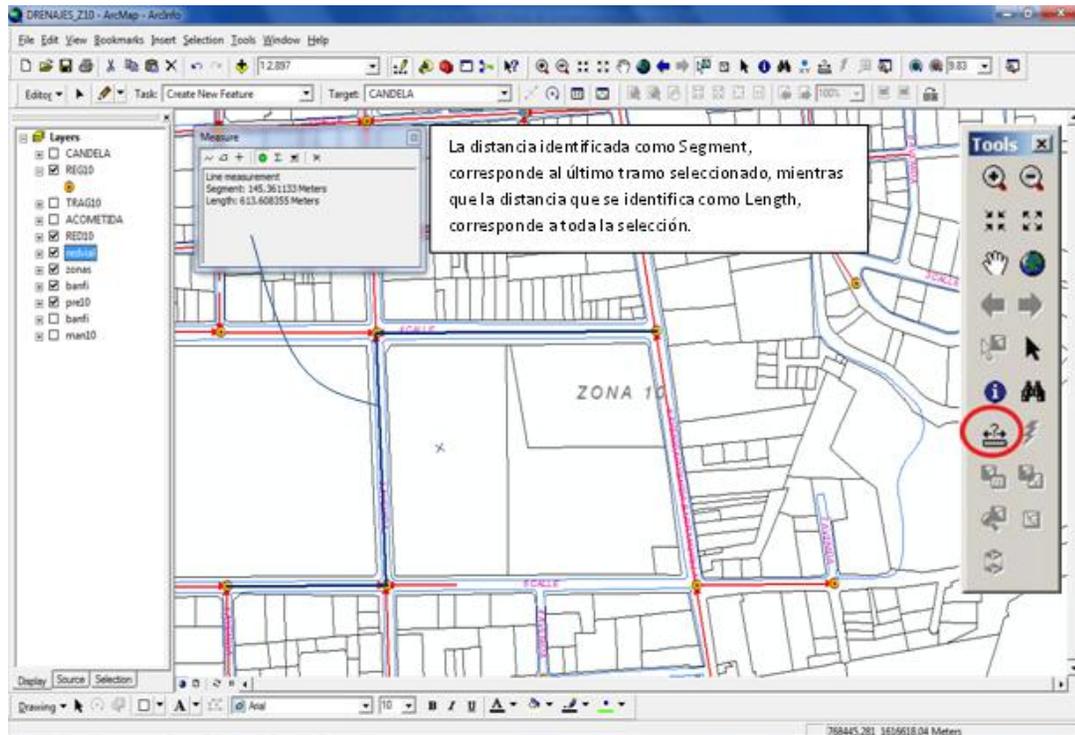


Fuente: Municipalidad de Guatemala.

6.1.3. Medición

Esta herramienta, no es más que un auxiliar para realizar mediciones rápidamente en segmentos de línea recta; es muy importante tener claro que esta herramienta solamente mide en unidades basadas en sistemas de coordenadas cartesianas (planas). Para especificar las unidades de medida que se desean obtener, se debe acceder la *View/Data Frame Properties/General*; al especificar las unidades de medida, en la parte inferior izquierda de la pantalla (barra de estado), se podrá observar la magnitud del segmento y el total de la medición.

Figura 59. Procedimiento para realizar mediciones en *ArcMap* y la visualización de los resultados



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

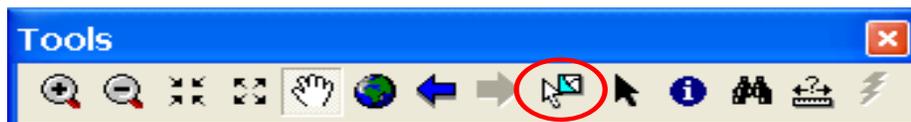
6.1.4. Herramientas para seleccionar datos

Seleccionar datos es muchas veces necesario por varias razones, por ejemplo para exportar datos, producir informes, seleccionar para una subselección, realizar un reenfoque de áreas, computar resúmenes estadísticos o digitalizar. Básicamente se tienen tres tipos de selecciones que son la selección interactiva, la selección por atributos y la selección por localización (*spatial query*).

6.1.4.1. Selección interactiva

La selección interactiva es muy sencilla, simplemente en la barra de herramientas *Tools*, se debe seleccionar la herramienta *Select Features* y por ultimo seleccionar sobre la cartografía el elemento de la entidad deseada: En este tipo de selección hay cuatro opciones, las cuales son la de una nueva selección (*New Selection*), la de añadir una selección a lo que ya se tiene seleccionado (*Add to current selection*), quitar la selección realizada (*Remove from current selection*) y por ultimo realizar una superselección o seleccionar entre lo seleccionado (*Select from current selection*); estas opciones de selección interactiva se deben establecer en el menú *Selection/Interactive Selection Method*, dependiendo de la opción marcada, así será la selección interactiva que realice.

Figura 60. **Herramienta para seleccionar elementos de las diferentes entidades en ArcMap**



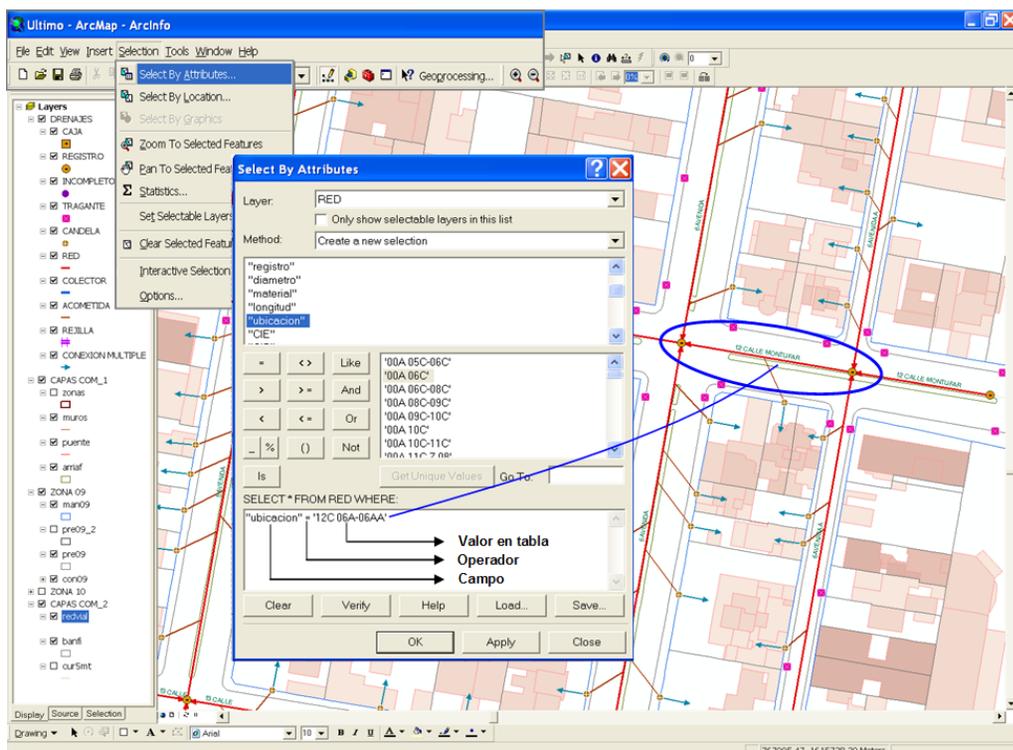
Fuente: elaboración propia.

6.1.4.2. Selección por atributos

Son las llamadas expresiones SQL, este método de selección se asemeja al de búsqueda, con la diferencia de que con este método las selecciones realizadas pueden ser guardadas como un archivo, con lo cual podrán ser usadas en diferentes ocasiones; al ingresar al menú *Selection/Select By Attributes*, se mostrará un cuadro en el que se deberá especificar en *Layer* la

entidad en la cual se desea realizar la búsqueda, en *Method* se debe indicar el método de selección, en *Fields* el campo de la entidad sobre el que se realizará la búsqueda y con la ayuda de un operador SQL especificar el valor en la tabla que se desea seleccionar.

Figura 61. Procedimiento para realizar búsquedas por atributos de las entidades



Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. Análisis del sistema de Drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un Sistema de Información Geográfica. p. 147.

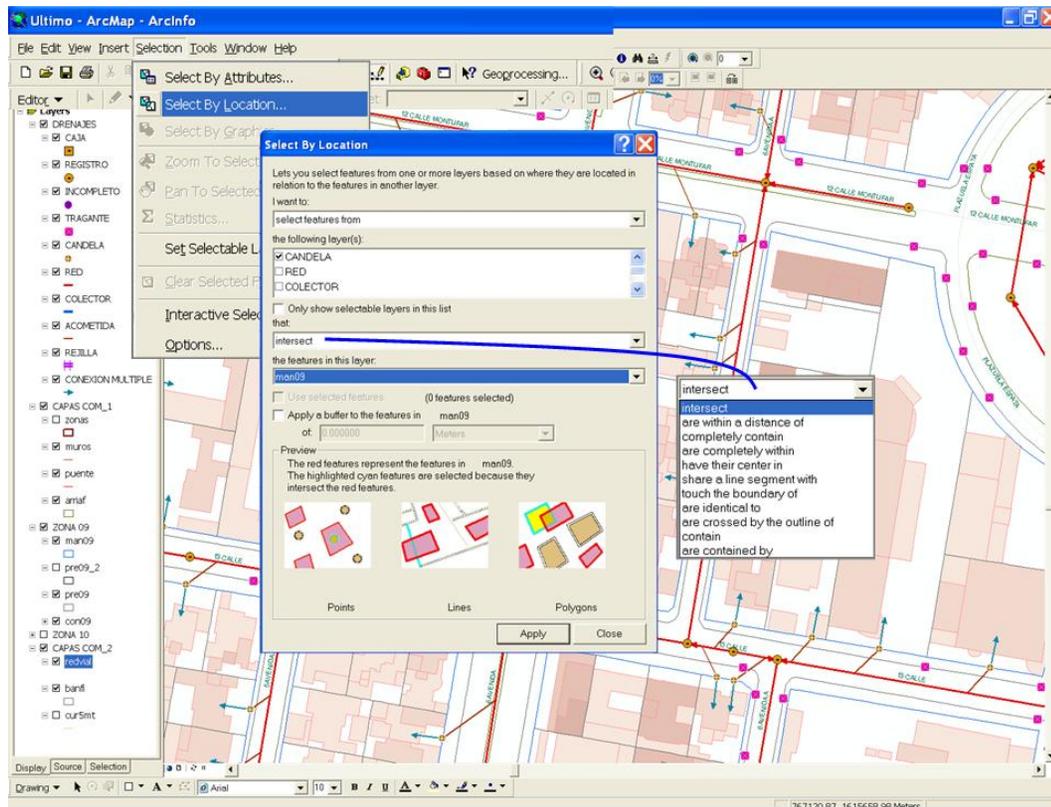
6.1.4.3. Selección por localización (*Spatial query*)

Este es el único método que permite realizar selección de elementos de cualquier entidad según su ubicación espacial y asimismo tomando en cuenta la ubicación espacial de las otras entidades que interactúan entre sí.

Debido a que este tipo de selección utiliza los elementos de una capa para seleccionar otros, tiene múltiples opciones en la forma que están interactuando, por ejemplo que intersecten, que contengan, que este contenida por, que toque el límite de, que se ubique a una distancia de, que sea idéntico a, que tenga su centro en, entre otros; cada una de esas opciones son las que se especifican entre los elementos de la entidad que se desea seleccionar y la entidad con la que esta interactuando.

Estas opciones se indican en el cuadro que se despliega al ingresar al menú *Selection/Select By Location*, todas contienen diagramas que cambian según el contexto o el tipo de representación de los datos (punto, línea y polígono).

Figura 62. Procedimiento para realizar búsquedas según la localización espacial de los elementos



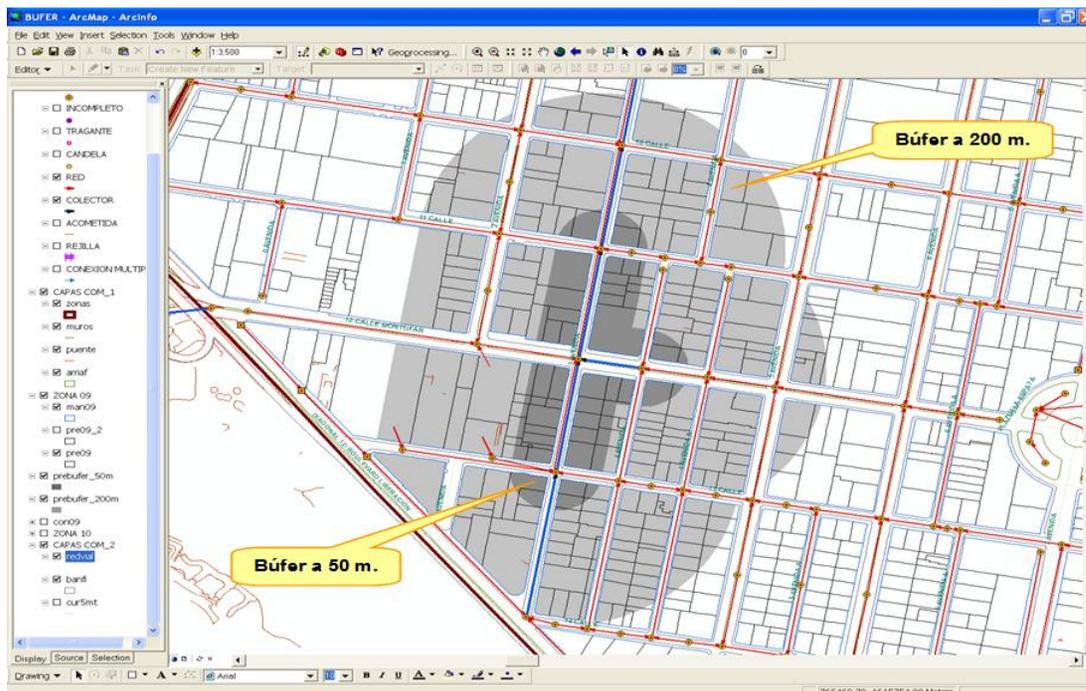
Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. Análisis del sistema de Drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un Sistema de Información Geográfica. p. 149.

6.1.5. Consultas y búsquedas mediante condición geométrica

Consiste en extraer por medio de un dominio espacial y una condición geográfica entidades gráficas, por ejemplo: se desea saber cuales son los inmuebles que se encuentran en un radio de 50,00 y 200 metros alrededor de un tramo de colector y que se verían afectados por una circunstancia “X”; para

este tipo de preguntas, la tecnología de SIG usa un proceso llamado "*buffering*" para determinar la relación de proximidad entre características.

Figura 63. **Ejemplo de la aplicación de un búfer generado mediante geoprocesos, en el que se observan los predios que serían afectados por una circunstancia "X" en un radio de 50,00 y 200 metros alrededor de un tramo de colector**



Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. Análisis del sistema de Drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un Sistema de Información Geográfica. p. 150.

6.2. Creación de mapas temáticos

Según la ICA (Asociación Internacional de Cartografía) de España, un mapa temático es aquel que está diseñado para mostrar características o

conceptos particulares. En el uso convencional de los mapas, este término excluye los mapas topográficos.

Se denomina Cartografía Temática al conjunto de actividades cartográficas tendentes a mostrar las características estructurales de una determinada distribución geográfica o espacial que utiliza como soporte cartografía base de un fenómeno geográfico particular (singulariza), excluyendo, convencionalmente, los mapas topográficos. Esto supone que en el proceso cartográfico es necesario transformar los datos observados en formas cartografiables, para así poderlos codificar gráficamente.

La Cartografía Temática suele dividirse en dos grandes grupos, el primero es el de Cartografía Cuantitativa, en este se muestran distribuciones numéricas de un acontecimiento; el segundo es el de Cartografía Cualitativa, en este se muestran las clases en las que se puede descomponer el acontecimiento. Por tanto es cualitativa si es una descripción de características, mientras que si se describen valores, ya sean de orden o numéricos, la información aportada por el mapa es cuantitativa.

Todo mapa temático está compuesto por dos elementos fundamentales, una base geográfica o mapa base y una capa de contenido específico o temático. El usuario habrá de ser capaz de integrar ambas visual y mentalmente, durante la lectura del mapa.

El mapa base proporciona información espacial para referenciar el contenido propio correspondiente a un cierto tema específico, deberá estar correctamente diseñado e incluir únicamente la cantidad de información necesaria para transmitir el mensaje.

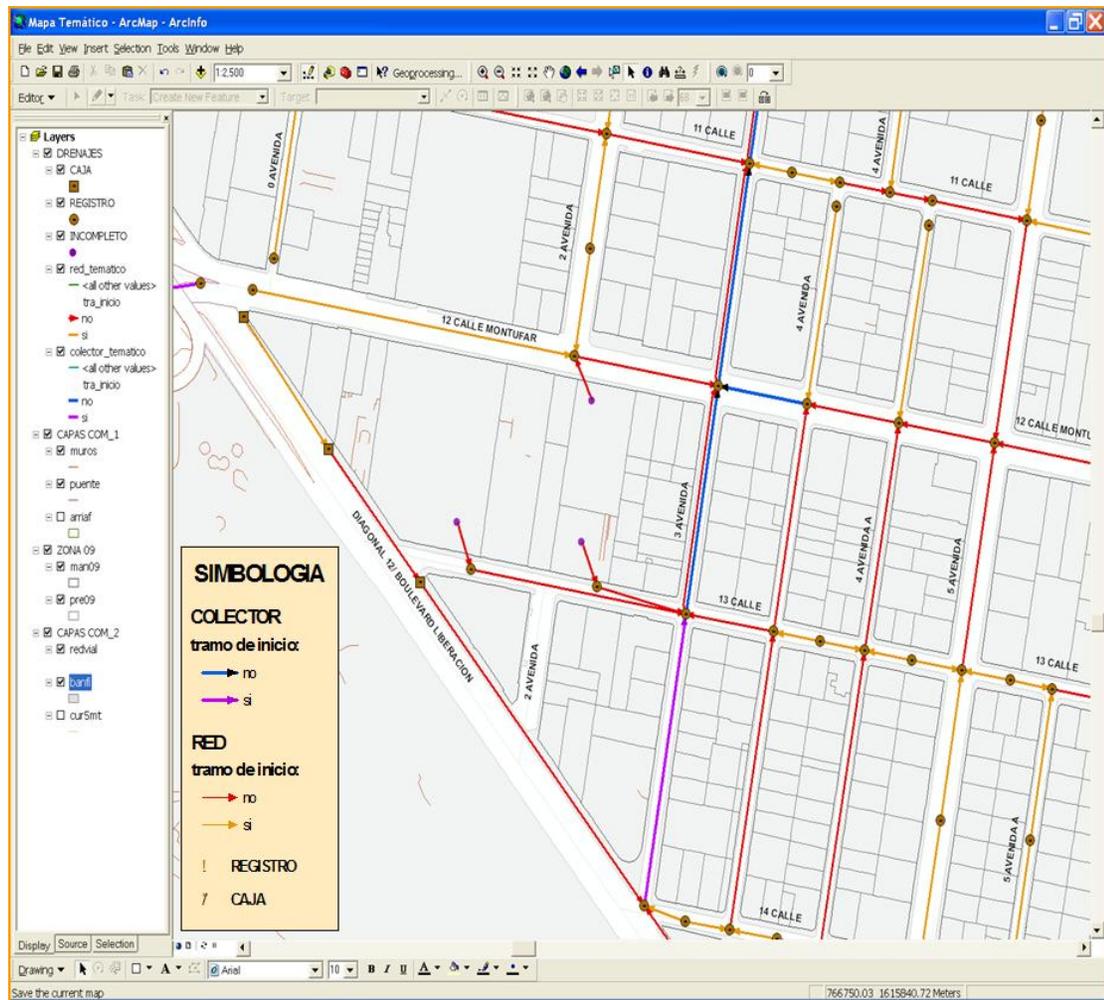
Este se define como una imagen más o menos sintética del territorio, cuyo objetivo es la referenciación geográfica del contenido temático del mapa. En cuanto al contenido temático, son importantes la simplicidad y legibilidad del mismo.

Una de las aplicaciones más importantes de los Sistema de Información Geográfica es la generación de mapas temáticos a partir de la información con que previamente fue alimentada cada entidad que participe en la creación de dicho mapa.

La tecnología SIG permite la creación de mapas temáticos mediante la utilización de simbolización de las características o atributos que posean cada uno de los objetos o entidades.

Es imprescindible aclarar que la creación de mapas temáticos mediante la tecnología SIG no se reduce estrictamente a los atributos o características que posean las entidades directamente en su tabla estructural, sino que también mediante las características que se le relacionen a estas mediante el procedimiento de la integración de datos alfanuméricos y geoespaciales.

Figura 64. Ejemplo de mapa temático, en el que se simbolizan los tramos de colector y red que son iniciales y los que no los son



Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. Análisis del sistema de Drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un Sistema de Información Geográfica. p. 152

6.3. Actualización y mantenimiento del Sistema de Información Geográfico

Al implementar y constituir las bases de datos gráfica y alfanumérica, corresponde dar marcha al mantenimiento y/o actualización, este es uno de los procesos indispensables dentro de la creación y uso de un Sistema de Información Geográfico, ya que de nada servirá realizar una gran inversión en el desarrollo del sistema, si este no se mantiene y actualiza; debido a que el gran objetivo de la creación del SIG de la red de alcantarillado, es realizar consultas y análisis sobre los elementos que en ella existe, esto para tomar diferentes tipos de decisiones y si la información tanto gráfica como alfanumérica no esta actualizada, los resultados inevitablemente serán equívocos e inexactos; con lo cual se perdería toda la inversión no solo económica sino de esfuerzo humano.

En todo proyecto se planifica el mantenimiento y actualización a corto, mediano y largo plazo; en este proyecto en específico es muy difícil de hacerlo mediante esas etapas, ya que prácticamente el sistema se actualiza con los movimientos diarios que se den en cuanto a autorización de nuevas acometidas hacia la red de alcantarillado municipal; dicha actualización también se daría a la hora de que se aprueben e incorporen a la red la conexión de nuevos desarrollos urbanos, tal situación no dependería tanto de la planificación de la actualización de este proyecto, ya que esto se podría dar en un lapso de tiempo muy corto o a un lapso de tiempo muy largo después de haber establecido ya el SIG.

Podría decirse que un mantenimiento a largo plazo sería el migrar la información a otra tecnología futura, pero esto haría que se tenga que replantear el modelo, lo cual esta fuera del alcance del presente estudio. La actualización y mantenimiento de las bases de datos gráfica y alfanumérica, se

harán por separado, por tal motivo operado por personal diferente, por lo que al final se tienen dos procesos diferentes e individuales.

6.3.1. Cambios a la base alfanumérica

La base alfanumérica se refiere a la base de datos que se tenga con todas las características propias o extrínsecas de cada uno de los elementos que intervienen en la red de alcantarillado, así como las características en tablas de datos que se tengan de otros objetos y que están relacionadas con las anteriores.

Estas incorporaciones o modificaciones en la base alfanumérica las deberá realizar el mismo operador que ingrese los datos u opere la autorización final de una o varias conexiones nuevas hacia la red de alcantarillado, esto teniendo el cuidado de hacerlo tal como se indicó en el capítulo anterior.

Todo los cambios que se hagan en la base alfanumérica las realizara el operador mediante pantallas o aplicaciones y permisos específicos que debe de crear y supervisar un administrador de bases de datos (DBA). No esta de más indicar que la creación de las pantallas de actualización alfanumérica y establecimiento de permisos de usuario a esas pantallas o aplicaciones son desarrolladas específicamente por personal de sistemas, por lo cual están fuera del alcance de este estudio.

6.3.2. Cambios a la base gráfica

La actualización de la base de datos gráfica consiste en la incorporación de nuevos elementos tales como candelas domiciliarias, su respectiva conexión múltiple, así como su acometida hacia un tramo de red o hacia un tramo de

colector, todo esto debido a la autorización de una nueva conexión para un inmueble hacia el alcantarillado municipal.

El personal que digitalice estos nuevos elementos en la cartografía digital, deberá de asignar la misma numeración o identificación que previamente le asigno el operador de la base de datos alfanumérica a estos elementos; con esto se asegurará el excelente funcionamiento del SIG, ya que se lograra realizar en forma esplendida el cruce o enlace entre la base gráfica y alfanumérica, alcanzando el objetivo que sintetiza la definición y el porqué de la aplicación de un SIG.

Para realizar la creación de los nuevos elementos se procede de la misma forma que en la digitalización inicial de los elementos que comprenden la red de alcantarillado, por lo cual se debe seguir exactamente el mismo procedimiento que se ha explicado en digitalización de las redes.

Para el cambio de las características geométricas de cualquier elemento existente en el SIG, lo único que variara es la selección de la herramienta deseada en la lista de tareas *Task*, para lo cual el digitalizador que se encuentre realizando la tarea, tiene que poseer la capacidad de manejo básico del *software ArcMap*, así como sus respectivas herramientas.

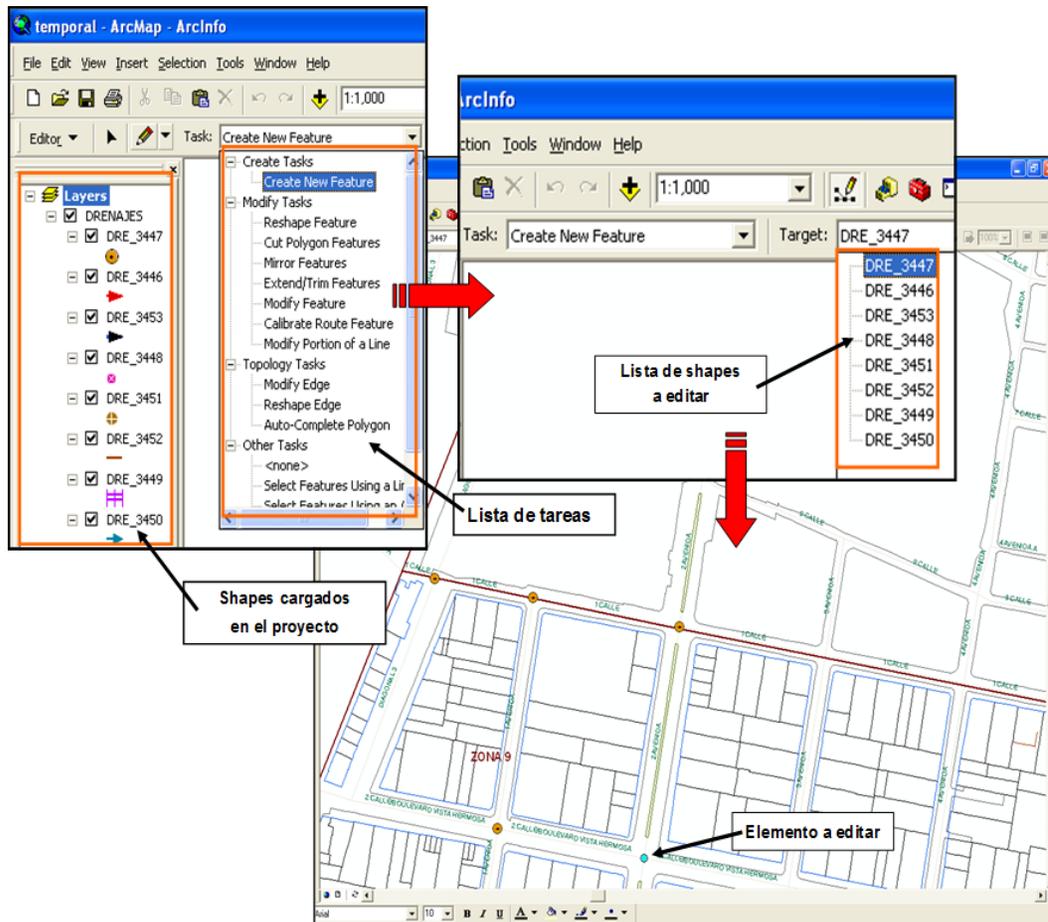
El elemento existente en la base grafica (cartografía digital) que se le desean cambiar sus características geométricas, se debe seleccionar directamente mediante una selección interactiva, con lo cual se observará que este elemento, resaltará y se mantendrá en primer plano, con el color de selección de elementos que se ha establecido anteriormente o bien mediante el color *default*.

Habiendo ya seleccionado el elemento, se indica en el listado de tareas *Task* la tarea que se desea, tal como cortar polígonos (*cut polygon features*), reformar o redibujar (*reshape feature*), modificar los nodos del elemento seleccionado (*modify feature*), entre otras que se logran observar en la figura 64.

Por lo general después de haber editado o cambiado la geometría de un elemento, también será necesaria la edición de las características o datos alfanuméricos que posea este elemento o entidad en su tabla de datos estructural (tabla de datos, propia del *shape*), por lo cual deberá ser consultada y editada dicha tabla.

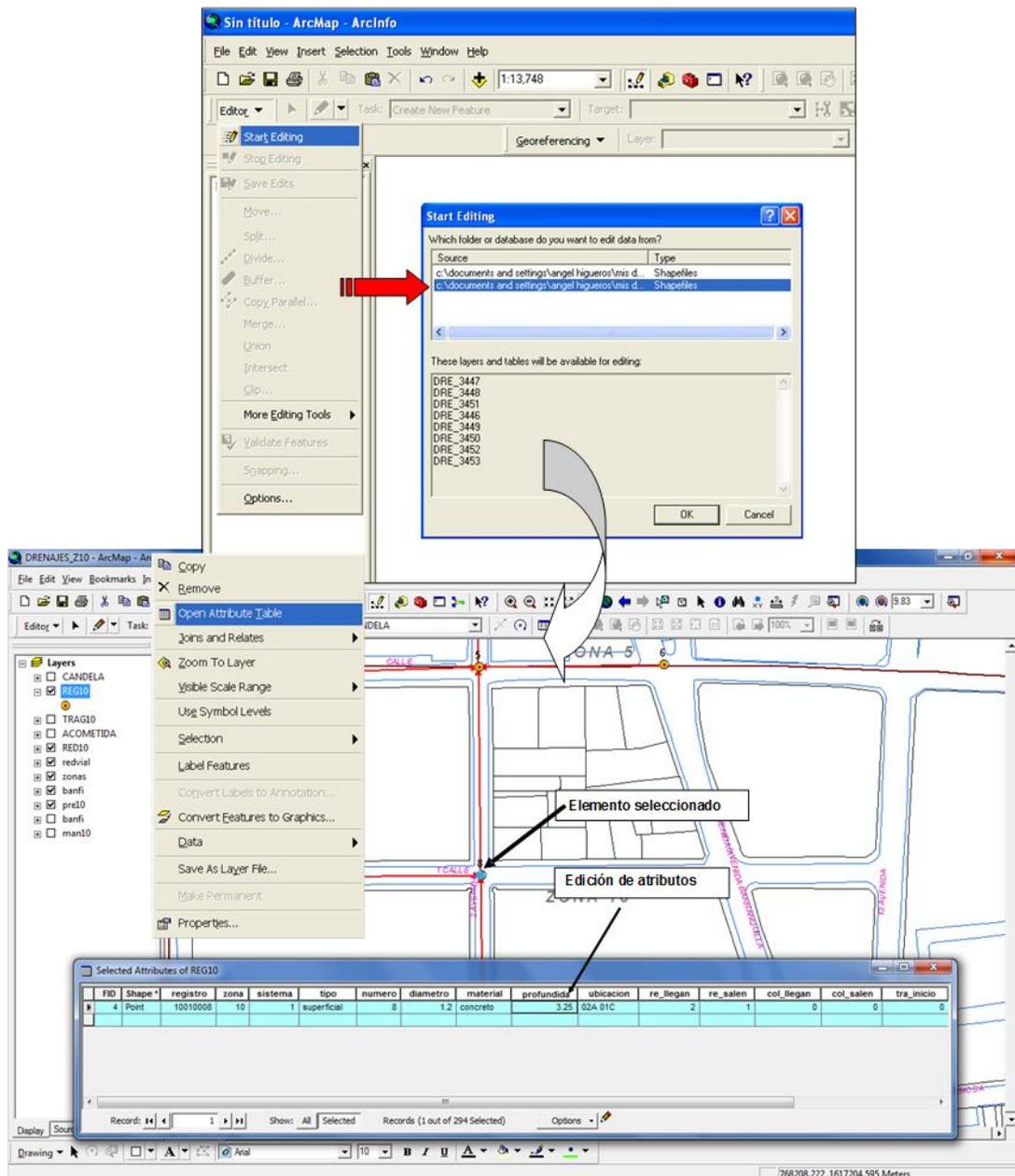
Para poder editar los campos en una tabla de un *shape*, lo primero es iniciar sesión de edición en la carpeta en la que se encuentra el *shape* a modificar, posteriormente con selección contractual en el *shape* dentro de la tabla de contenido, aparecerá un menú en el cual se selecciona abrir la tabla de atributos (*open attribute table*); con esto se podrán editar los campos con los nuevos datos alfanuméricos del elemento seleccionado.

Figura 65. Tareas disponibles en *ArcMap* para la edición o cambio geométrico de elementos



Fuente: elaboración propia.

Figura 66. Inicio de sesión de edición y proceso para edición de atributos de una entidad



Fuente: elaboración propia.

6.3.3. Impresión de la información

Es indispensable que se generen salidas gráficas impresas de la información que contiene el SIG, ya que de lo contrario la información no podría ser consultada a los niveles deseados; por tal motivo se pueden generar mapas de toda índole a diversos tamaños, escalas y con los niveles de información que se deseen.

ArcMap nos ofrece herramientas muy sencillas para poder realizar impresiones, con cualquier especificación, es decir a cualquier tamaño, cualquier escala y con la información o elementos deseados; además nos permite la generación automática de simbologías o leyendas de los elementos que intervienen.

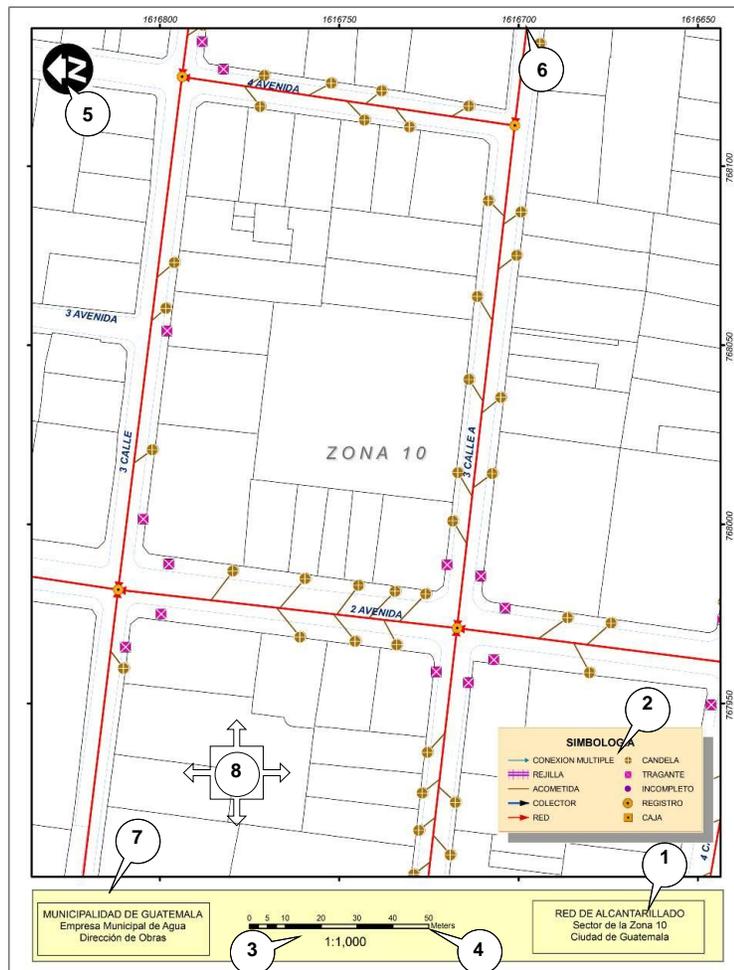
El procedimiento es muy sencillo, simplemente en el menú de vista (*View*), se selecciona vista del diseño (*Layout View*) que es una sub-interfaz para la salida de mapas hacia una impresora o para generar otro tipo de formatos, tales como pdf, jpg y otros. Ya en *Layout View*, se configura la impresora, así como el tamaño de página o papel de impresión, posteriormente en la tabla de contenido, se activa o desactiva la información que se desea que se despliegue en la impresión a realizar y finalmente, se configuran e incorporan los elementos básicos con los que debe contar cualquier impresión; estos elementos básicos son:

- Título
- Leyenda
- Escala numérica
- Escala gráfica
- Orientación
- Sistema de referencia

- Textos marginales (autor, fecha, fuentes utilizadas, etc.)
- Cuerpo de la impresión o marco del mapa (*Map frame*)

Es importante señalar que la simbología de los elementos se haya realizado según lo establecido en el catálogo de objetos, con ello se estandariza la salida de cualquier cantidad de impresiones y no se tendrá que modificar la generación automática que se realiza de dicha simbología (leyenda).

Figura 67. Ejemplo de impresión de mapa con sus elementos básicos



Fuente: Municipalidad de Guatemala.

6.4. Seguridad del sistema y la información

Es indispensable que se tenga seguridad en las carpetas donde se resguarden los proyectos del sistema de drenaje, ya que en ellos se visualiza la información del SIG de la red de alcantarillado; así mismo debe existir seguridad y control sobre los *shape* de cada una de las entidades del SIG (elementos de la red de alcantarillado).

Es primordial que la información se almacene en carpetas dentro de una base de datos, ya que por medio de esta es posible asignar perfiles de usuarios y con ello asignar a las carpetas los accesos para visualización o consulta y para edición.

Para los usuarios, que solo se les desee dar los permisos necesarios para visualización o consulta a la información del SIG, el administrador de la base de datos (DBA) deberá asignarle a estos solo permisos de lectura a las carpetas que contienen los proyectos del sistema y de la información en formato *shape*, con ello se podrá únicamente visualizar y no modificar la información. Estos usuarios serán por ejemplo personas encargadas de dar información gráfica, ya sea a personal interno o externo a EMPAGUA.

Otro tipo de usuario será el que además de visualizar o consultar la información también la modificará, estos usuarios serán los técnicos encargados de actualizar la información de la base de datos gráfica del SIG, esto debido a la incorporación de nuevos elementos en la red de alcantarillado o si se diera el caso de que se hallan eliminado elementos de dicha red. Para estos usuarios, el administrador de la base de datos deberá asignarle permisos de lectura y escritura a las carpetas que contienen los proyectos del sistema y de la información en formato *shape*.

Es importante resaltar que se deberán crear históricos de los *shape* que se modifican, con el objeto de saber el estado de la información a diferentes fechas que se desee consultar y por ende se podrá registrar los cambios que ha tenido la red de alcantarillado a lo largo del tiempo. A esta información deberá tener acceso únicamente el personal encargado de la actualización.

CONCLUSIONES

1. La base de datos del sistema de drenajes de la zona 10 de la ciudad de Guatemala fue analizada, mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG); el cual constituye una herramienta importante para consultas, control, mantenimiento y ampliaciones del mismo, facilitando el acceso a la información.
2. Ha dado una ubicación espacial mediante la cartografía digital actualizada, de los elementos que conforma el sistema de drenajes de la zona 10 de la ciudad de Guatemala cumpliendo con los estándares de calidad.
3. Digitalizó el sistema de drenajes de la zona 10 de la Ciudad de Guatemala, asignándole a cada elemento su tabla de atributos, haciendo además el análisis lógico y la relación entre dichos elementos.
4. Con la implementación de los *shapefiles* (formato de archivos de informática que detalla las capas o coberturas de los elementos para el SIG, desarrollados por *Environmental System Research Institute* (ESRI), proveedor del *software*), se pueden realizar proyectos de consulta y análisis de los elementos, así como dejar abierta la opción de realizar incorporaciones o uniones de bases de datos enlazadas mediante una llave primaria, para establecer estudios relacionados según la información que se complementa, creando además mapas temáticos.
5. La implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) requiere de una inversión considerable y de un recurso humano

capacitado, con conocimientos de la red de drenaje determinada, esto conlleva a la optimización de la herramienta, consultas ágiles y dinámicas.

6. La zona 10 de la ciudad de Guatemala conserva un número importante de inmuebles que, con el transcurso del tiempo han sido diseñados sobre ellos, edificios de oficinas públicas y privadas, hotelería y apartamentos, lo cual le ha dado un cambio a dicha zona de estudio.
7. Con la implementación del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), se establecen áreas que tienden a ser de mayor desarrollo y de impacto al sistema de drenaje de la zona 10 de la ciudad de Guatemala, mediante el Sistema de Información Geográfico (SIG), se pueden establecer mecanismos de alerta y medidas de mitigación a los efectos que puedan suscitarse.

RECOMENDACIONES

1. Un Sistema de Información Geográfica (SIG) está formado por cinco elementos básicos: *software*, *hardware*, base de datos, métodos y recurso humano; mismos que deben de cubrir las necesidades básicas para que el resultado final llene los requisitos establecidos y así contar con una consulta, análisis, estudio y mantenimiento de la base de datos alfanumérica y base de datos gráfica de la red de drenajes de la zona 10 de la ciudad de Guatemala.
2. El recurso humano debe contar con la capacitación previa de aspectos técnicos que permitan la realización de la actualización y mantenimiento de la cartografía digital, dicha capacitación deberá abarcar lo relacionado al modelo conceptual, modelo lógico y físico con que fue diseñada esta aplicación de los Sistemas de Información Geográfico (SIG); debe contar con conocimientos generales, funcionamiento, operación y normas que rigen todos y cada uno de los elementos que conforman la red de drenajes.
3. La información que obra en los archivos de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) de la ciudad de Guatemala, datan de la década de los 80's, es por ello que es necesario la actualización mediante levantamientos de información en campo, de esta forma daremos una actualización a la aplicación del Sistema de información Geográfica (SIG) y por consiguiente, un mantenimiento eficiente a la base de datos alfanumérica y al mapa digital de la red de drenajes a medida que se tenga mayor cobertura o modificaciones al mismo.

4. Para los levantamientos de campo programados a partir de la presente fecha, es conveniente el apoyo de la cartografía base con la que cuenta la Municipalidad de Guatemala, a través del Departamento de Cartografía, además, de equipo como estación total y GPS geodésico, esto establece una mayor exactitud y un mejor desarrollo en la aplicación del Sistema de Información Geográfica.
5. La información debe ser almacenada y consultada mediante un servidor, el cual debe contener las normas de seguridad necesarias. Esto conlleva a crear usuarios con determinados privilegios, tanto para consulta de información como para edición de la misma, cuando sea necesario.
6. En Guatemala, existe un aumento de la utilización de aplicaciones basadas a Sistemas de Información Geográfico (SIG), por tal razón, es de vital importancia que las autoridades educativas establezcan programas de enseñanza a nivel universitario, ya que por el momento los profesionales interesados en la rama, deben de realizar estudios en el extranjero.

BIBLIOGRAFÍA

1. DÍAZ CARRERA, Gerson Amílcar. “Metodologías para la implementación del catastro urbano con sistemas de información geográfica”. Trabajo de graduación Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004.
2. Dirección General Del Catastro. Secretaria de Estado de Hacienda, Ministerio de Economía y Hacienda. [en línea] Gobierno de España, Sede Electrónica del Catastro, 2005. Disponible en Web: <http://www.catastro.meh.es/>
3. ETAP *thinking power*, Solución Empresarial, Sistemas de información geografía GIS ETAP [en línea], 2004-2011. Disponible en Web: http://www.software-gg.com/informacion_geografica_gis.htm.
4. GARCÍA VALLE, Julio Guillermo. “Estudio sobre el saneamiento básico rural en la zona de desastre a través de un programa de emergencia”. Trabajo de Graduación de Msc. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS). Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1976. 53 p.
5. GONZÁLEZ ORASSO, Rodolfo. *Normas generales para el diseño de redes de alcantarillado*. Colegio de Ingenieros de Guatemala. Guatemala, Centro América, Diciembre de 1967.

6. HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. "Análisis del sistema de drenajes existente en la zona 9 de la Ciudad de Guatemala, mediante un sistema de información geográfica". Trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.
7. Municipalidad de Guatemala, Dirección de Planificación Urbana. Plan de Ordenamiento Territorial (POT) Acuerdo COM-030-08 del Honorable Concejo Municipal de la Municipalidad de Guatemala, [en línea] 2008-2011. Disponible en Web: <http://pot.muniguate.com>
8. ORTIZ, Gabriel. Sistemas de Información Geográfica GIS – SIG, [en línea] 2003 - 2011. Disponible en Web: <http://recursos.gabrielortiz.com/>
9. Real Academia Española, Diccionario [en línea]. Vigésima segunda edición, España 2001. Disponible en Web: <http://www.rae.es/rae.html>
10. Reglamento para el diseño y construcción de drenajes. Municipalidad de Guatemala. Anuario del Colegio de Ingenieros, Colegio de Ingenieros de Guatemala; Guatemala, Centro América, 1988.
11. SALGUERO España, Manuel Francisco. Valores de terrenos de la zona 10 de la ciudad de Guatemala. Revista Plusvalía, 2009
12. Sistemas de Información Geográfico (SIG) [en línea], 2007. Disponible en web: <http://www.monografias.com/trabajos/gis>.