

ROBIN WLADIMIR SANCHEZ COTO

**SISTEMA DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICO
PARA RED DE ALCANTARILLADO Y
DRENAJES**



**UNIVERSIDAD GALILEO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS,
INFORMÁTICA Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

GUATEMALA, 2008

Esta tesis fue elaborada por los autores como requisito
para a obtener el título de
Licenciado en Administración de Sistemas de Información

Dedicatoria

A Dios: luz y fuerza eterna.

A nuestros padres, por ser la fuente principal de nuestro triunfo

Agradecimientos

A Dios, con infinita gratitud por todas sus bendiciones, fuerza y sabiduría.

A nuestros padres, por su ayuda incondicional y constante apoyo. Esperamos que con este logro se vean, de alguna manera, recompensados el esfuerzo y sacrificio que realizaron para llevarnos hasta el final de la carrera,

A la Inga. Lorena Aguilar, por su asesoría y aporte de conocimiento en la elaboración del proyecto

Indice

Introducción.....	1,2
Objetivos.....	3
Capitulo 1: Sistemas de Información Geográfica.....	4
1.1. Qué es un SIG?.....	4
1.2. Cuáles son los componentes de un SIG?.....	5
1.2.1. Equipos	5
1.2.2. Programas.....	5
1.2.3. Datos.....	6
1.2.4. Recurso humano.....	6
1.2.5. Procedimientos.....	6
1.3. Cuáles son las funciones de los componentes de un SIG?.....	7
1.4. Qué hace un SIG con la información?.....	8
1.4.1. Representación de la información.....	9
1.4.2. Estructura de la representación.....	9
1.5.Cuál es la información que se maneja en un SIG?.....	10
1.5.1. Atributos gráficos.....	10
1.5.2. Atributos no gráficos.....	11
1.6. Cómo se agrupa la información de los objetos en un SIG?.....	11
1.7. Cómo se encadenan los objetos y atributos en una categoría?.....	12
1.8. Qué es una base de datos geográfica?.....	13,14
1.9. Cuáles son las aplicaciones de los SIG?.....	15
1.9.1. Captura de la Información	16
1.9.1.1 Formato Raster.....	17
1.9.1.2 Formato Vectorial.....	17
1.9.2. El manejo de la información.....	17,18
1.9.2.1 Modelo Conceptual.....	19
1.9.2.2 Modelo Lógico.....	20
1.9.2.3 Modelo Físico.....	21

1.9.3. Almacenamiento de la Información.....	21
1.9.4. Manipulación de la Información.....	21
1.9.5. Extracción de la Información.....	22
1.9.5.1 Extracción mediante especificación geométrica.....	22
1.9.5.2 Extracción mediante condición geométrica.....	22
1.9.5.3 Extracción mediante especificación Descriptiva.....	22
1.9.5.4 Extracción mediante condición descriptiva Lógica.....	22
1.9.6. Edición de la información.....	23
1.9.7. Análisis y Modelamiento de la Información.....	23
1.9.7.1 Generalización Cartográfica.....	23
1.9.7.2 Análisis Espacial.....	23,24
1.9.8. Salida y representación de la información.....	25
Capítulo 2: Sistemas de Coordenadas Geográficas.....	26
2.1. Sistemas de Coordenadas Geográficas.....	26,27
2.1.1. Esferoides y Esferas.....	28,29
2.1.2. Datums.....	30
2.2. Sistemas de Coordenadas Proyectadas.....	31
2.2.1. Qué es la Proyección de un Mapa?.....	32,33
2.2.2. Proyecciones Conformes.....	34
2.2.3. Proyecciones de Igual Área	34
2.2.4. Proyecciones Equidistantes.....	34
2.2.5. Proyecciones de Dirección Verdadera.....	35
2.2.6. Tipos de Proyección.....	35
2.2.7. Parámetros de las Proyecciones	36
2.2.7.1. Parámetros Lineales.....	36
2.2.7.2. Parámetros Angulares.....	37,38
2.3. Proyección Universal Transverse de Mercator.....	38

Capítulo 3: Sistemas de Alcantarillado.....	39
3.1. Sistemas de Alcantarillado y Drenajes.....	39
3.2. Flujo de las Tuberías de Agua.....	39,40
3.2.1. Tuberías para los Sistemas de Alcantarillado, Drenajes y Agua..	40
3.2.1.1. Tuberías de Agua de Hierro Fundido.....	40
3.2.1.2. Tubería de Asbesto-Cemento.....	41
3.2.1.3. Tubo de Concreto.....	41
3.2.1.4. Juntas y Accesorios.....	41
3.2.1.5. Tubo de Acero.....	41
3.2.1.6. Tubo de Servicio.....	42
3.2.1.7. Accesorios para los Sistemas de Agua.....	42
3.2.1.8. Tubo de Alcantarilla de Arcilla Vitrificada.....	43
3.2.1.9. Tubo de alcantarilla de Concreto.....	43
3.2.2. Accesorios para Alcantarillas	43
3.2.3. Pozos de Visita.....	44
3.2.4. Pozos de Caída.....	44
3.2.5. Pozos de Tormenta.....	44
3.2.6. Desarenadotes.....	44
3.2.7. Tanques de Inundación	45
3.2.8. Vertederos de Derivación	45
3.2.9. Sifones Invertidos.....	45
3.2.10. Bocas de Salida	45
3.2.11. Obras que integran los Sistemas de Alcantarillado.....	45
3.3. Tipos de Sistema.....	46
3.3.1. Sistema Separado.....	46
3.3.2. Sistema Combinado.....	46
3.3.2. Sistema Semi-Combinado.....	46

Capítulo 4: Levantamiento Topográfico	47
4.1. Definición del Problema.....	47
4.2. Situación Actual.....	48,49
4.3. Metodología a Utilizar.....	50
4.4. Investigación Preliminar.....	50
4.4.1 Unidad Dirección de Obras.....	50
4.4.2. Servicios que Presta la Unidad.....	51
4.4.2.1. Construcción y Supervisión de Redes de Agua Potable.....	51
4.4.2.2. Construcción y Supervisión de Alcantarillado.....	52
4.4.2.3. Mantenimiento de Obras de Drenajes y Reparación de Pavimentos y Banqueta.....	52
4.4.2.4. Áreas Precarias.....	52
4.4.2.5. Obras Civiles.....	52
4.4.2.6. Fabrica de Tubos.....	52
4.4.2.7. Control y Manejo de Aguas Negras del Área Metropolitana.....	52
4.5. Procesos Críticos Actuales.....	53,56
4.6. Problemas.....	57,58
4.7. Determinación de Requerimientos.....	58,61
4.8. Diseño del Sistema.....	61,62
4.9. Desarrollo del Sistema.....	62
4.10. Justificación del Sistema.....	63
4.10.1. Ventajas de un SIG.....	63,64
4.10.2. Beneficios de un SIG	64
4.10.2.1. Beneficios Económicos.....	64,66
4.10.2.2. Beneficios Funcionales.....	67
Conclusiones.....	68
Recomendaciones.....	69
Anexos.....	70,71
Bibliografía	72

Introducción

Con más de 942 mil habitantes, la ciudad de Guatemala es la más poblada del país, con un crecimiento diario de aproximadamente 1,300 personas. La comuna cuenta con varios sistemas complejos que le permiten satisfacer de alguna forma las necesidades de la población. Por lo que es indispensable que los sistemas sean eficientes y eficaces.

Los sistemas que la comuna capitalina utiliza fueron en su tiempo sistemas que agilizaron los procesos e hicieron mas eficientemente y eficaz su trabajo. Pero como todo sistema tiene su tiempo de vida útil y dadas las condiciones actuales de crecimiento en la ciudad de Guatemala, creemos que algunos de estos sistemas han llegado con el ciclo de vida para el cual fueron creados.

Uno de esos sistemas que la municipalidad utiliza es el de alcantarillado. Diseñado hace 55 años y actualizado por última vez hace 5, para gestionar el suministro y distribución de agua potable, ha llegado ya a su límite máximo de capacidad.

La utilización de nueva tecnología en este sistema no se descarta, pero para introducir la tecnología a un sistema es necesario conocer a fondo todos los elementos que lo componen como procesos, resultados, fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

Los beneficios que la tecnología brinda son indiscutibles, pero sin un buen análisis previo no se pueden alcanzar esos beneficios. Además, es necesario conocer los alcances que la tecnología permite para escoger todos aquellos componentes que permitan que el sistema funcione y sus resultados sean beneficiosos.

Por esta razón y considerando la necesidad urgente de automatizar las actividades que realiza la municipalidad, en esta oportunidad presentamos el estudio de la implementación de un Sistema de Información Geográfico para la red de alcantarillado de la ciudad de Guatemala.

Inicialmente es necesario definir que es un sistema de información geográfico, para entender cómo puede este servir en el sistema de alcantarillado. Se define qué tipo de datos utiliza, cómo se obtienen, dónde se almacenan y qué resultado brinda.

Seguidamente, se define qué es un sistema de alcantarillado, se identifican sus componentes, así como sus procesos y salidas. Además, se identifica el alcance del sistema de alcantarillado que actualmente administra la Municipalidad de Guatemala.

Como tercer punto, se define la situación actual del sistema. Al igual que en los puntos anteriores se definen sus componentes y las dificultades que afronta, así como todos aquellos elementos que hacen que el sistema no funcione correctamente.

Como cuarto punto, están todos aquellos beneficios que un sistema de información geográfico brindaría al sistema actual y todas las oportunidades que se abrirían para que la comuna brinde un mejor servicio a la población.

Finalmente, es necesario conocer todas las opciones en tecnología que podrían funcionar para este proyecto, por lo que se afectaría un pequeño análisis de 3 opciones y hacemos una recomendación de cuál podría adaptarse mejor a las necesidades presentes y futuras que la municipalidad tenga.

Sabemos que los sistemas no son eternos, pero con este trabajo se busca la excelencia y que las modificaciones para su adaptación a las necesidades municipales sean mínimas.

Objetivos

Principal:

Facilitar una herramienta que permita racionalizar los procedimientos de planificación, programación y control del trabajo ejecutado en la red de alcantarillado y drenajes.

Específicos:

1. Unificar los criterios de evaluación y priorización de las actividades de mantenimiento rutinario y periódico.
2. Establecer una base de datos visual de la red de alcantarillado y de sus elementos, incluyendo colectores, líneas de conducción, tragantes y pozos de visita.
3. Actualizar los planos del sistema de drenajes de la Empresa Municipal de Agua.
4. Establecer una herramienta que defina y determine las distintas alternativas de decisión, para la aplicación de la red de alcantarillado.
5. Proporcionar una herramienta de soporte para presupuestar trabajos de mantenimiento, nuevos proyectos y nuevas conexiones.
6. Establecer con facilidad la prioridad de las inversiones en función de los parámetros que le dan importancia a la red.

Sistemas de Información Geográfica

1.1. ¿Qué es un SIG?

Es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración. Una definición más sencilla es: “*Un sistema de computador capaz de mantener y usar datos con localizaciones exactas en una superficie terrestre.*”¹

Un sistema de información geográfica es una herramienta de análisis de información. La información debe tener una referencia espacial y debe conservar una inteligencia propia sobre la topología y representación.

En general un SIG debe tener la capacidad de dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ◆ ¿Dónde está el objeto A?
- ◆ ¿Dónde está A con relación a B?
- ◆ ¿Cuántas ocurrencias del tipo A hay en una distancia D de B?
- ◆ ¿Cuál es el valor que toma la función Z en la posición X?
- ◆ ¿Cuál es la dimensión de B (frecuencia, perímetro, área, volumen)?
- ◆ ¿Cuál es el resultado de la intersección de diferentes tipos de información?
- ◆ ¿Cuál es el camino más corto (menor resistencia o menor costo) sobre el terreno desde un punto (X_1, Y_1) a lo largo de un corredor P hasta un punto (X_2, Y_2) ?
- ◆ ¿Qué hay en el punto (X, Y) ?

¹ Sistemas de Información Geográfica

Prácticas con PC arc/info. e IDRISI

Joaquín Bosque Sendra, Francisco J. Escobar, Ernesto García Hernández, María J. Salado García
ADDISON-WESLEY Iberoamericana 1994.

Sistemas de Información Geográfica

- ◆ ¿Qué objetos están próximos a aquellos objetos que tienen una combinación de características?
- ◆ ¿Cuál es el resultado de clasificar los siguientes conjuntos de información espacial?
- ◆ Utilizando el modelo definido del mundo real, simule el efecto del proceso P en un tiempo T, dado un escenario S.

1.2. ¿Cuáles son los Componentes de un SIG?



Figura 1.1: Componentes básicos de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

1.2.1. Equipos (Hardware)

Todos los recursos tangibles donde opera el SIG. Hoy por hoy, programas de SIG se pueden ejecutar en un amplio rango de equipos, desde servidores hasta computadores personales usados en red o que trabajan en modo “desconectado”.

1.2.2. Programas (Software)

Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica. Los principales componentes de los programas son:

Sistemas de Información Geográfica

- ◆ Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.
- ◆ Un sistema de manejador de base de datos (DBMS).
- ◆ Herramientas que permitan búsquedas geográficas, análisis y visualización.
- ◆ Interfaz gráfica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas.

1.2.3. Datos

Probablemente la parte más importante de un sistema de información geográfico son sus datos. Los datos geográficos y tabulares pueden ser adquiridos por quien implementa el sistema de información, así como por terceros que ya los tienen disponibles. El sistema de información geográfico integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso, utilizar los manejadores de base de datos más comunes para usar la información geográfica.

1.2.4. Recurso Humano

La tecnología del SIG está limitada si no se cuenta con el personal adecuado para operar, desarrollar y administrar el sistema, que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real.

1.2.5. Métodos

Un SIG operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras del negocio, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización.

1.3. ¿Cuáles son las funciones de los componentes de un SIG?

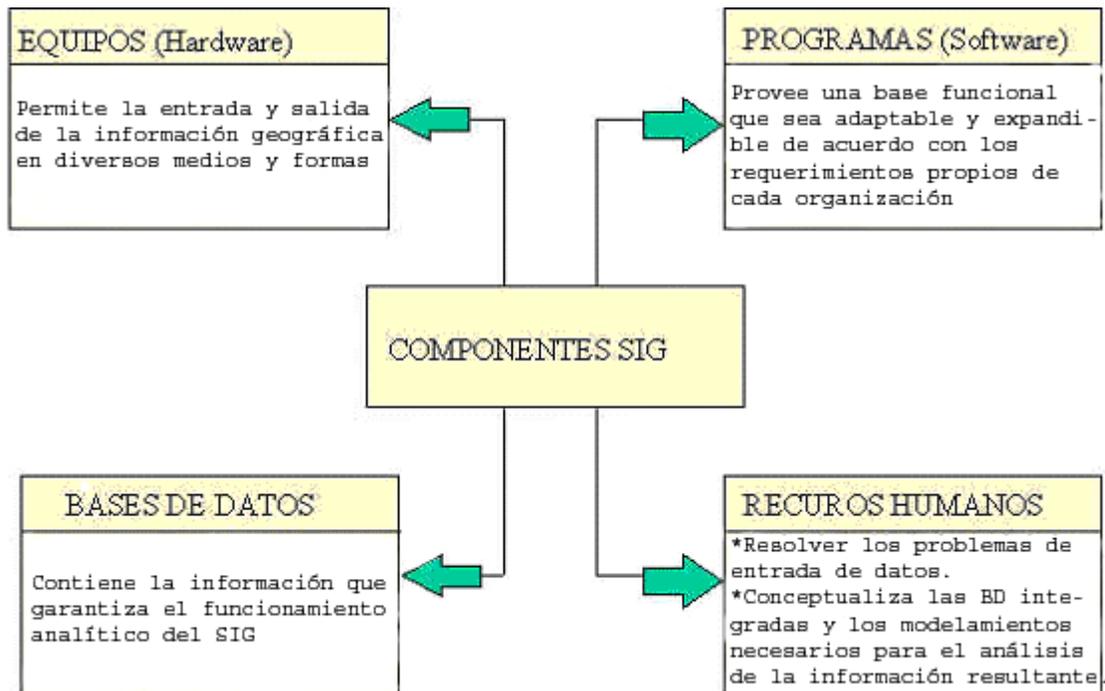


Figura 1.2: Funciones de cada componente de un SIG.

Dentro de las funciones básicas de un sistema de información podemos describir la captura de la información, que se logra mediante procesos de digitalización, procesamiento de imágenes de satélite, fotografías, videos, procesos aerofotogramétricos, entre otros.

La definición formal del concepto categoría o cobertura, queda determinado como una unidad básica de agrupación de varios mapas que comparten algunas características comunes en forma de temas relacionados con los objetos contenidos en los mapas. Sobre un mapa se definen objetos (tienen una dimensión y localización respecto de la superficie de la tierra), estos poseen atributos, y estos últimos pueden ser de tipo gráfico o de tipo alfanumérico.

Sistemas de Información Geográfica

A un conjunto de mapas relacionados se le denomina entonces categoría, a un conjunto de categorías se les denomina un tema y al conjunto de temas dispuesto sobre una área específica de estudio se agrupa en forma de índices temáticos o geíndice del proyecto SIG. Entonces la arquitectura jerárquica de un proyecto queda expuesta por el concepto de índice, categoría, objetos y atributos.

Las categorías definidas pueden ser los puntos de control, el modelo de formación y conservación catastral, la categoría transporte, las coberturas vegetales, la hidrología, el relieve y áreas en general.

1.4. ¿Qué hace un SIG con la información?

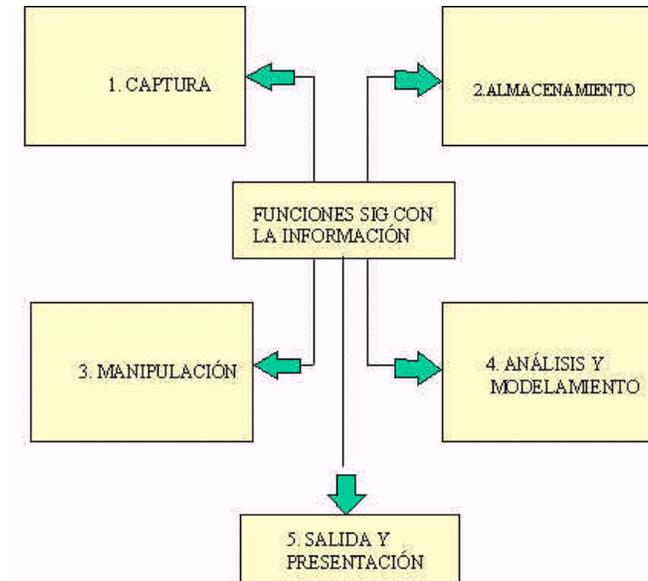


Figura 1.3: Qué hacen los SIG con la información, y su orden de ejecución con números.

Sistemas de Información Geográfica

1.4.1. Representación de la información

La representación primaria de los datos en un SIG está basada en algunos tipos de objetos universales que se refieren a el punto, la línea y el área. Los elementos puntuales son todos aquellos objetos relativamente pequeños respecto de su entorno más próximo y se representan mediante líneas de longitud cero. Por ejemplo, elementos puntuales pueden ser un poste de la red de energía o un sumidero de la red de alcantarillado.

Los objetos lineales se representan por una sucesión de puntos donde el ancho del elemento lineal es despreciable respecto de la magnitud de su longitud. Con este tipo de objetos se modelan y definen las carreteras, las líneas de transmisión de energía, los ríos, las tuberías del acueducto, entre otros.

Los objetos de tipo área se representan en un SIG de acuerdo con un conjunto de líneas y puntos cerrados para formar una zona perfectamente definida a la que se le puede aplicar el concepto de perímetro y longitud. Con este tipo se modelan las superficies tales como: mapas de bosques, sectores socioeconómicos de una población, un embalse de generación, entre otros.

1.4.2. Estructura de la representación

La manera como se agrupan los diversos elementos constitutivos de un SIG, quedaría determinada por una serie de características comunes a varios tipos de objetos en el modelo. Estas agrupaciones son dinámicas y generalmente obedecen a las condiciones y necesidades bien específicas de los usuarios.

1.5. ¿Cuál es la información que se maneja en un SIG?

Parte de la idea que un SIG es el conjunto de procedimientos usados para almacenar y manipular datos geográficamente referenciados, es decir objetos con ubicación definida sobre la superficie terrestre bajo un sistema convencional de coordenadas.

Se dice que un objeto en un SIG es cualquier elemento relativo a la superficie terrestre que tiene tamaño, es decir, que presenta una dimensión física (alto - ancho - largo) y una localización espacial o una posición medible en el espacio relativo a la superficie terrestre.

A todo objeto se asocian unos atributos que pueden ser:

- ◆ Gráficos,
- ◆ No gráficos o alfanuméricos.

1.5.1 Atributos gráficos

Son las representaciones de los objetos geográficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real. La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas.

Ejemplos de una red de servicios:

- ◆ Punto: un poste de energía,
- ◆ Línea: una tubería,
- ◆ Área: un embalse.

1.5.2. Atributos no gráficos

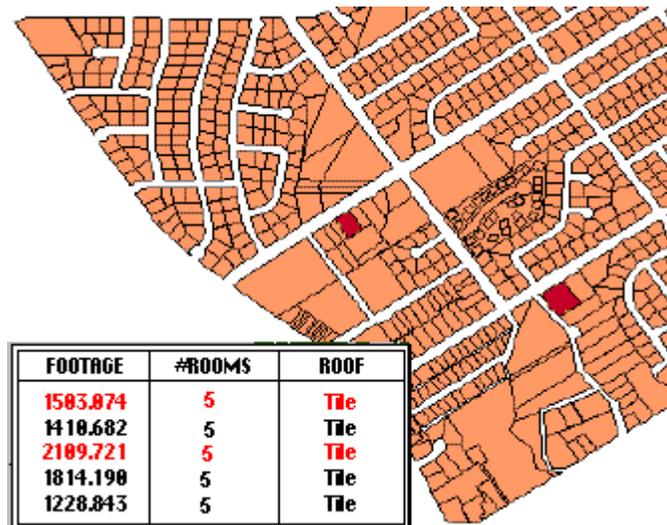


Figura 1.4: En el gráfico se observan los atributos gráficos y no gráficos (alfanuméricos) que se encuentran asociados a los objetos representados.

Son también llamados atributos alfanuméricos y corresponden a las descripciones, calificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos. En un SIG los atributos gráficos y no gráficos se tienen que relacionar y esto se logra mediante un atributo de unión.

1.6. ¿Cómo se agrupa la información de los objetos en un SIG?

Los objetos se agrupan de acuerdo con características comunes y forman categorías o coberturas. Las agrupaciones son dinámicas y se establecen para responder a las necesidades específicas del usuario. La categoría o cobertura se define como una unidad básica de almacenamiento. Es una versión digital de un sencillo mapa "temático" en el sentido de contener información solamente sobre algunos de los objetos: lotes, vías y marcas de terreno, hidrografía, curvas de nivel, etc. En una categoría se presentan tanto los atributos gráficos como los no gráficos.

Una categoría queda representada en el sistema por el conjunto de archivos o mapas que le pertenecen.

1.7. ¿Cómo se encadenan los objetos y atributos en una Categoría?

A cada objeto contenido en una categoría se le asigna un único número identificador. Cada objeto está caracterizado por una localización única (atributos gráficos con relación a unas coordenadas geográficas) y por un conjunto de descripciones (atributos no gráficos). El modelo de datos permite relacionar y unir atributos gráficos y no gráficos. Las relaciones se establecen tanto desde el punto de vista posicional como topológico. Las relaciones se establecen tanto desde el punto de vista posicional como topológico.

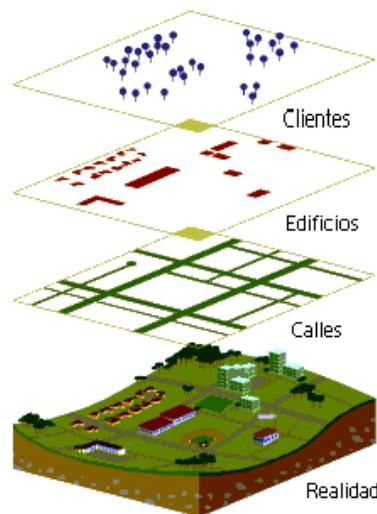


Figura 1.5: Modelo de capas que utilizan los SIG para encadenar información

Los datos posicionales indican en dónde está el elemento, y los datos topológicos informan sobre la ubicación del elemento con relación a los otros elementos. Los atributos no gráficos indican qué es y cómo es el objeto. El número identificador, que es único para cada objeto de la categoría, es almacenado tanto en el archivo o mapa de objetos como en la tabla de atributos, lo cual garantiza una correspondencia estricta entre los atributos gráficos y no gráficos.

1.8. ¿Qué es una 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 una forma tal que puede servir eficientemente a una o varias aplicaciones.*”²

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 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 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

² Sistemas de Información Geográfica

Prácticas con PC arc/info. e IDRISI

Joaquín Bosque Sendra, Francisco J. Escobar, Ernesto García Hernández, María J. Salado García

ADDISON-WESLEY Iberoamericana 1994.

Sistemas de Información Geográfica

formato se puede 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 un 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.

Base de Datos con Información Geográfica

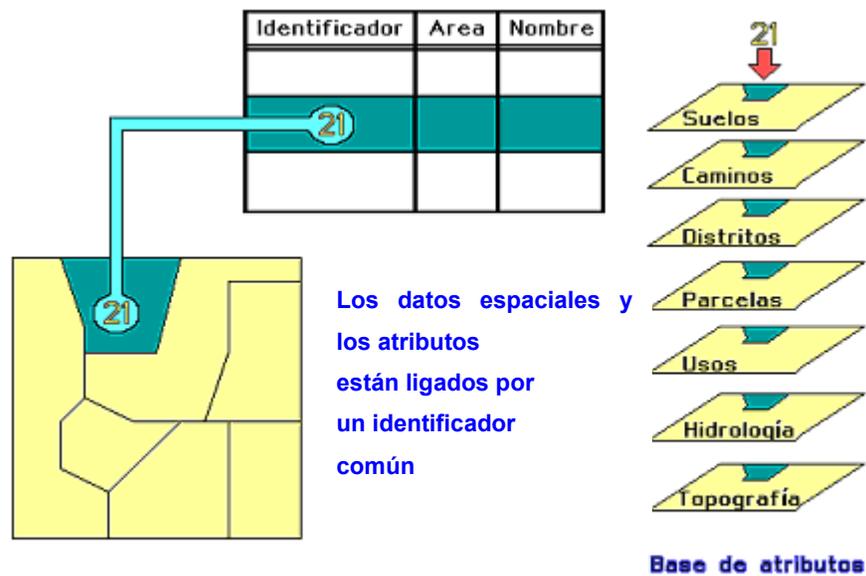


Figura 1.6: Modelo conceptual de las Bases de Datos con información geográfica.

1.9. ¿Cuáles son las aplicaciones de los SIG?

La utilidad principal de un Sistema de Información Geográfica radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real, a partir de las bases de datos digitales y para utilizar esos modelos en la simulación de los efectos que un proceso de la naturaleza o una acción antrópica produce sobre un determinado escenario en una época específica. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen, así como para evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en el área de interés.

En el ámbito municipal pueden desarrollarse aplicaciones que ayuden a resolver un amplio rango de necesidades, por ejemplo:

- ◆ Producción y actualización de la cartografía básica.
- ◆ Administración de servicios públicos (acueducto, alcantarillado, energía, teléfonos, entre otros).
- ◆ Inventario y avalúo de predios.
- ◆ Atención de emergencias (incendios, terremotos, accidentes de tránsito, entre otros).
- ◆ Estratificación socioeconómica.
- ◆ Regulación del uso de la tierra.
- ◆ Control ambiental (saneamiento básico ambiental y mejoramiento de las condiciones ambientales, educación ambiental).
- ◆ Evaluación de áreas de riesgos (prevención y atención de desastres).
- ◆ Localización óptima de la infraestructura de equipamiento social (educación, salud, deporte y recreación).
- ◆ Diseño y mantenimiento de la red vial.
- ◆ Formulación y evaluación de planes de desarrollo social y económico.

Sistemas de Información Geográfica



Figura 1.7: Representación de algunas aplicaciones de los SIG

1.9.1. Captura de la Información

La información geográfica con la cual se trabaja en los SIG, puede encontrarse en dos tipos de presentaciones o formatos: Celular o raster y Vectorial.

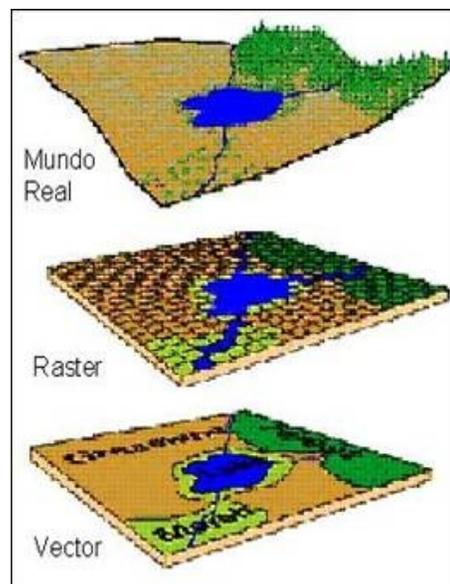


Figura 1.8: Presentación de la información en un SIG, modelo RASTER y modelo Vectorial

Sistemas de Información Geográfica

1.9.1.1 Formato Raster

El formato raster consiste en la división del espacio en una red de celdas (generalmente cuadrada.). Cada celda representa la unidad mínima de información y se le denomina píxel. Los píxeles están asociados a un único valor de una variable determinada. En caso de que en un mismo espacio geográfico se den diferentes variables, esta relación unívoca lleva a que cada variable esté representada en un mapa o capa diferente.

La captura de la información en este formato se hace mediante los siguientes medios: escáners, imágenes de satélite, fotografía aérea, cámaras de video, entre otros.

1.9.1.2. Formato Vectorial

La información gráfica en este tipo de formatos se representa internamente por medio de segmentos orientados de rectas o vectores. De este modo, un mapa queda reducido a una serie de pares ordenados de coordenadas, utilizados para representar puntos, líneas y superficies.

La captura de la información en el formato vectorial se hace por medio de: mesas digitalizadoras, convertidores de formato raster a formato vectorial, sistemas de geoposicionamiento global (GPS), entrada de datos alfanumérica, entre otros.

1.9.2. El Manejo de la Información

Normalmente se llevan a cabo tres etapas para desplazarse 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:

Etapas para el manejo de la información en un SIG

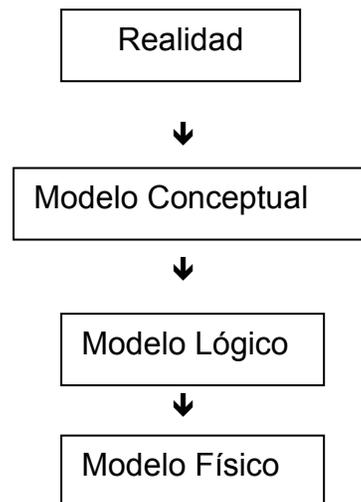


Figura 1.9: Etapas para el manejo de la información en un SIG

Ciclo de Manejo de la Información por un SIG

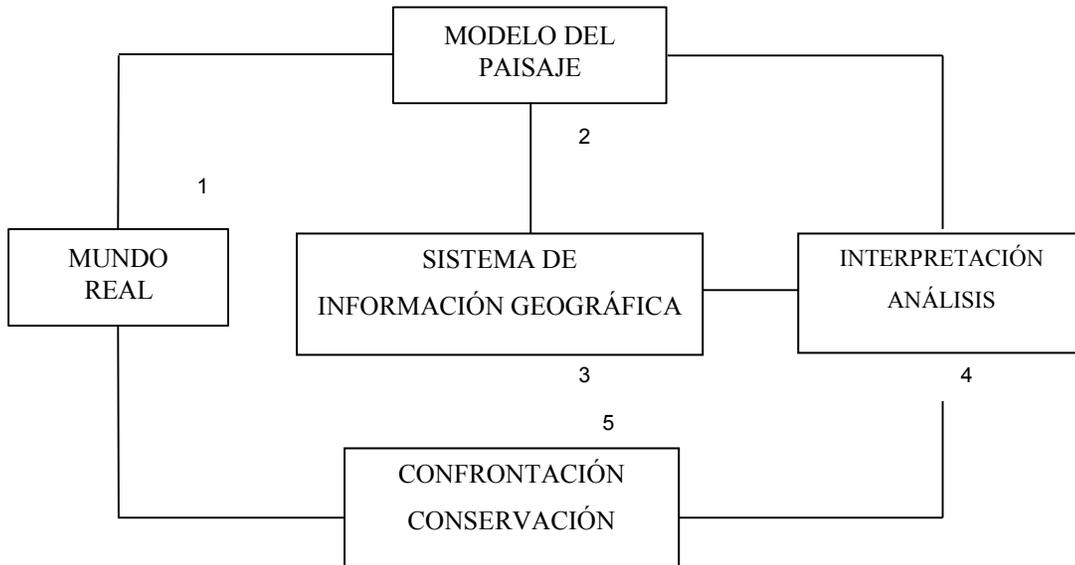


Figura 1.10: Ciclo para el manejo de información en un SIG.

1.9.2.1 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).

Sistemas de Información Geográfica

1.9.2.2. Modelo Lógico

Se puede definir como *“el diseño detallado de las bases de datos que contendrán la información alfa – numérica 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.”*³

Es en esta etapa que se elaboran las estructuras en que se almacenarán todos los datos, tomando como base el modelo conceptual desarrollado anteriormente. Se trata de hacer una descripción detallada de las entidades, los procesos y análisis que se llevarán a cabo, los productos que se espera obtener y la preparación de los menús de consulta para los usuarios.

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. Lo anterior respecto de la estructura de las bases de datos (gráficas y alfa – numéricas) dependen los resultados obtenidos al final. 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.

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.

³ Sistemas de Información Geográfica

Prácticas con PC arc/info. e IDRISI

Joaquín Bosque Sendra, Francisco J. Escobar, Ernesto García Hernández, María J. Salado García

ADDISON-WESLEY Iberoamericana 1994.

Sistemas de Información Geográfica

1.9.2.3. Modelo Físico

Es la implementación de los anteriores modelos en el programa o software seleccionado y los equipos específicos en que se va a trabajar y por esto se realiza de acuerdo con sus propias especificaciones. El modelo físico determina en qué forma se deben almacenar los datos, al cumplir con las restricciones y para aprovechar las ventajas del sistema específico a utilizar.

1.9.3. Almacenamiento de la Información

En esta etapa se administra la información geográfica y descriptiva contenida en las bases de datos y los elementos en que físicamente son almacenados.

La información en un SIG es almacenada en cuatro grandes conjuntos de bases de datos:

1. **Bases de Datos de Imágenes:** Estas imágenes representan fotográficamente el terreno.
2. **Bases de Datos Complementarios de Imágenes:** Contiene símbolos gráficos y caracteres alfanuméricos georeferenciados al mismo sistema de coordenadas de la imagen real a la que complementan.
3. **Bases de Datos Cartográficos:** Almacena la información de los mapas que representan diferentes clases de información de un área específica. Corresponden a las coberturas o categorías.
4. **Bases de Datos de Información Descriptiva:** Esta base facilita el almacenamiento de datos descriptivos en las formas más comunes, de tal forma que puedan ser utilizados por otros sistemas.

1.9.4. Manipulación de la Información

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

1.9.5. Extracción de la Información

Las formas básicas para extraer la información son:

1.9.5.1. Extracción mediante especificación geométrica

Consiste en extraer información del SIG mediante la especificación de un dominio espacial definido por un punto, una línea o una área deseada. Por ejemplo: seleccionar por medio del apuntador gráfico un río en un mapa, una tubería en un plano.

1.9.5.2. Extracción mediante condición geométrica

Extraer por medio de un dominio espacial y una condición geográfica entidades gráficas. Por ejemplo: las poblaciones que se encuentren en un radio de 5 Km alrededor de una bocatoma.

1.9.5.3. Extracción mediante especificación descriptiva

Extracción de las entidades espaciales que satisfagan una condición descriptiva determinada. Por ejemplo todos los predios que tengan el mismo dueño.

1.9.5.4. Extracción mediante condición descriptiva o lógica

Extracción de entidades espaciales que cumplan la condición descriptiva y una expresión lógica cualquiera relacionada con algunos de sus atributos espaciales asociados. Por ejemplo, todos los predios que pertenezcan al mismo dueño, con áreas superiores a 500 hectáreas y perímetro superior a 10.000 metros.

Sistemas de Información Geográfica

1.9.6. Edición de la información

Permite la modificación y actualización de la información. Las funciones de edición son particulares de cada programa SIG. Las funciones deben incluir:

- ◆ Mecanismos para la edición de entidades gráficas (cambio de color, posición, escala, dibujo de nuevas entidades gráficas, entre otros.)
- ◆ Mecanismos para la edición de datos descriptivos (modificación de atributos, cambios en la estructura de archivos, actualización de datos, generación de nuevos datos, entre otros.)

1.9.7. Análisis y modelamiento de la información

Permite realizar las operaciones analíticas necesarias para producir nueva información con base en la existente, con el fin de dar solución a un problema específico.

Las operaciones de análisis y modelamiento se pueden clasificar en:

1.9.7.1. Generalización Cartográfica

Capacidad de generalizar características de un mapa o presentación cartográfica, con el fin de hacer el modelo final menos complejo.

1.9.7.2. Análisis Espaciales

Incluye las funciones que realicen cálculos sobre las entidades gráficas. Va desde operaciones sencillas como longitud de una línea, perímetros, áreas y volúmenes, hasta análisis de redes de conducción, intersección de polígonos y análisis de modelos digitales del terreno.

Sistemas de Información Geográfica

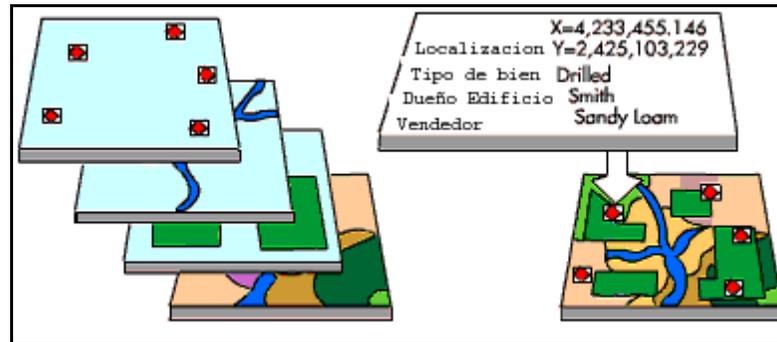


Figura 1.11: Localización de polígonos en una mapa por capas



Figura 1.12: Qué lote está dentro de un perímetro de 60mts(Color celeste) de la carretera (Color rojo).

Los diferentes tipos de análisis que un SIG debe realizar son:

- ◆ **Contigüidad:** Encontrar áreas en una región determinada.
- ◆ **Coincidencia:** Análisis de superposición de puntos, líneas, polígonos y áreas.
- ◆ **Conectividad.** Análisis sobre entidades gráficas que representen redes de conducción, tales como:

Sistemas de Información Geográfica

- ❖ **Enrutamiento:** Cómo se mueve el elemento conducido a lo largo de la red.
 - ❖ **Radio de Acción:** Alcance del movimiento del elemento dentro de la red.
 - ❖ **Apareamiento de Direcciones:** acoplamiento de información de direcciones a las entidades gráficas.
-
- ◆ **Análisis digital del terreno:** Análisis de la información de superficie para el modelamiento de fenómenos geográficos continuos. Con los modelos digitales de terreno (DTM: la representación de una superficie por medio de coordenadas X, Y, Z) que son la información básica para el análisis de superficies.
 - ◆ **Operación sobre mapas:** Uso de expresiones lógicas y matemáticas para el análisis y modelamiento de atributos geográficos. Estas operaciones son soportadas de acuerdo con el formato de los datos (raster o vectorial).
 - ◆ **Geometría de coordenadas:** Operaciones geométricas para el manejo de coordenadas terrestres por medio de operadores lógicos y aritméticos. Algunas de esas operaciones son: proyecciones terrestres de los mapas, transformaciones geométricas (rotación, traslación, cambios de escala), precisión de coordenadas y corrección de errores.

1.9.8. Salida y representación de la información

La salida de información de un SIG puede ser de tipo textual o de tipo gráfico. Ambos tipos de información pueden ser presentados en forma digital o analógica.

La representación digital se utiliza cuando dicha información, o en general, a otro medio sistematizado. El medio analógico es el que se presenta al usuario como respuesta a una interrogante del mismo. La información textual analógica consiste normalmente en un conjunto de tablas que representan la información almacenada en la base de datos o representan el resultado de algún tipo de análisis efectuado sobre ésta. La información analógica gráfica consiste en mapas, gráficos o diagramas. Ambos tipos de información pueden ser presentados en una pantalla o impresos en el papel.

Sistemas de Coordenadas Geográficas

2.1. Sistemas de Coordenadas Geográficas

Un sistema de coordenadas geográficas (SCG) utiliza una superficie tri-dimensional para definir ubicaciones en la tierra. Frecuentemente, un SCG es llamado incorrectamente como datum, pero el datum es sólo una parte del SCG.

Un SCG incluye una unidad angular de medida, un meridiano primario y un datum (este se basa en un esferoide.)

Un punto es referenciado por sus valores de longitud y latitud. *“La latitud y la longitud son ángulos medidos desde el centro de la tierra hasta un punto en la superficie de la tierra”*⁴. Frecuentemente, los ángulos son medidos en grados.

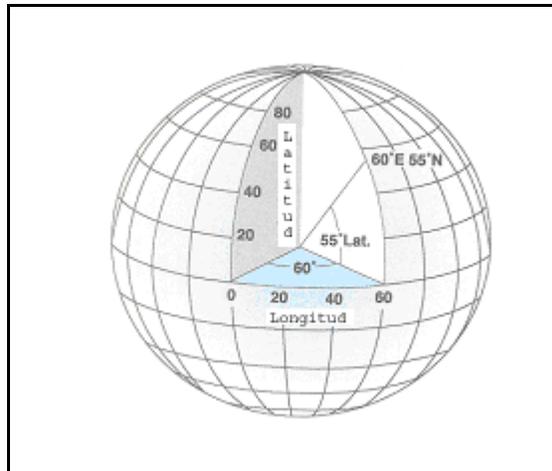


Figura 2.1. El mundo representado como un globo, que muestra valores de longitud y latitud.

⁴ Sistemas de Coordenadas Geográficas

Carlos S. China

astronomia@casanchi.com Diciembre, 2002

Sistemas de Coordenadas Geográficas

En los sistemas esféricos, las “líneas horizontales” o líneas del este al oeste, son líneas de igual latitud o *paralelos*. Las “líneas verticales” o líneas de norte a sur, son líneas de igual longitud o *meridianos*. Estas líneas dividen el globo, que forman una red llamada *cráticula*.

La línea de latitud a la mitad entre los dos polos es llamada el ecuador. El ecuador define la línea cero de latitud. *La línea cero de longitud es llamado el meridiano primario*. Para la mayoría de los sistemas de coordenadas geográficas el meridiano primario es la longitud que pasa por Greenwich, Inglaterra. Otros países utilizan líneas de longitud que pasan por Berna, Bogotá y París como meridianos primarios.

El origen de la cráticula (0,0) está definido en donde el ecuador y el meridiano primario se interceptan. Entonces, el globo se divide en cuatro cuadrantes geográficos que están basados en la orientación de la brújula desde el origen. El norte y el sur están arriba y abajo del ecuador, respectivamente. El oeste y el este están a la izquierda y a la derecha del meridiano primario.

Los valores de latitud y longitud tradicionalmente son medidos en grados decimales o en grados, minutos y segundos (GMS). Los valores de latitud son medidos con relación al ecuador y su rango va de -90° (en el polo sur) hasta 90° (en el polo norte). Los valores de longitud son medidos con relación al meridiano primario. El rango de estos valores desde -180° (cuando se viaja al oeste) hasta 180° (cuando se viaja al este).

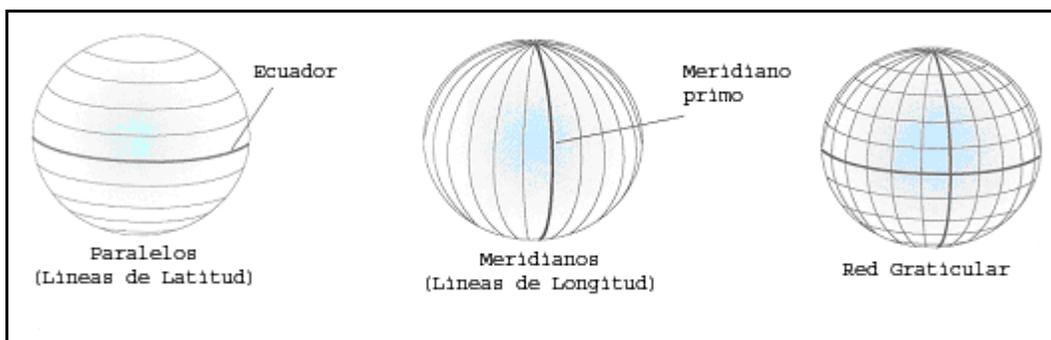


Figura 2.2. Los paralelos y meridianos que conforman una cráticula.

Sistemas de Coordenadas Geográficas

Debido a que los grados de longitud y latitud no tienen una longitud estándar, no se pueden hacer mediciones de distancias o de áreas precisas o desplegar los datos fácilmente en un mapa plano o en la pantalla de la computadora.

2.1.1. Esferoides y Esferas (Formas que Representan a la Tierra)

La forma y el tamaño de la superficie de un sistema de coordenadas está definido por una esfera o un esferoide. A pesar de que la tierra se representa mejor por un esferoide, algunas veces la tierra es representada como una esfera para hacer cálculos matemáticos más fácilmente. Asumir que la tierra es una esfera es posible para mapas de escalas pequeñas (menor de 1:5,000,000.) A estas escalas, las diferencias entre una esfera y un esferoide no son detectables en un mapa. Sin embargo, para mantener la precisión en mapas de gran escala (escalas iguales o mayores a 1:1,000,000) se requiere de un esferoide para representar la forma de la tierra. Para escalas intermedias entre las anteriores, escoger una esfera o un esferoide dependerá de los propósitos del mapa y la precisión de los datos.



Figura 2.3. Esfera y Esferoide (Elipsoide)

Sistemas de Coordenadas Geográficas

Una esfera está basada en un círculo, mientras que un esferoide (o elipsoide) está basado en una elipse. La forma de una elipse está definida por dos radios. El radio más grande se conoce como eje semimayor, y más pequeño es conocido como eje semimenor.

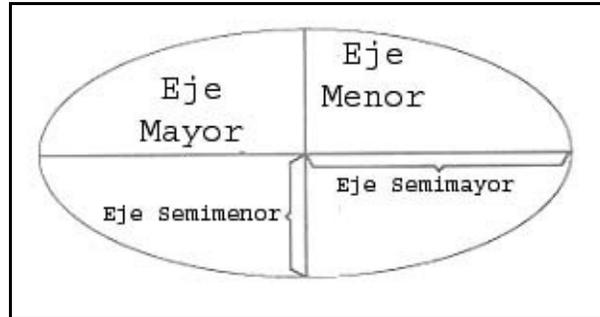


Figura 2.4. Los ejes mayor y menor de una elipse

La rotación de la elipse alrededor del eje semimenor crea un esferoide. Un esferoide se conoce también como un elipsoide **óbrate** de revolución.

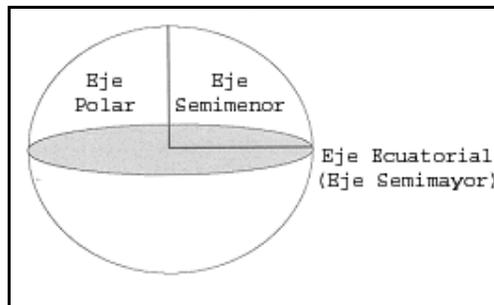


Figura 2.5. El eje semimayor y el eje semimenor de un esferoide.

Sistemas de Coordenadas Geográficas

2.1.2. Datums (Posición Relativa al Centro de la Tierra)

Mientras que un esferoide aproxima la forma de la tierra, un *datum* define la posición del esferoide con relación al centro de la tierra. El datum provee un marco de referencia para realizar localizaciones en la superficie de la tierra. El datum define el origen y la orientación de las líneas de latitud y longitud.

Cuando se cambia el datum, o dicho correctamente, el sistema de coordenadas geográficas, los valores de las coordenadas de los datos también cambian.

En los últimos 15 años, los datos de satélite han proveído a los geodesistas con nuevas medidas para definir el esferoide que mejor se ajusta a la tierra, que relacionan las coordenadas con el centro de masa de la tierra. Un datum centrado a la tierra, o datum geocéntrico, utiliza el centro de masa de la tierra como origen. El datum desarrollado más

recientemente y más utilizado es el WGS 1984. Este datum sirve como un marco de trabajo para mediciones locales alrededor del mundo.

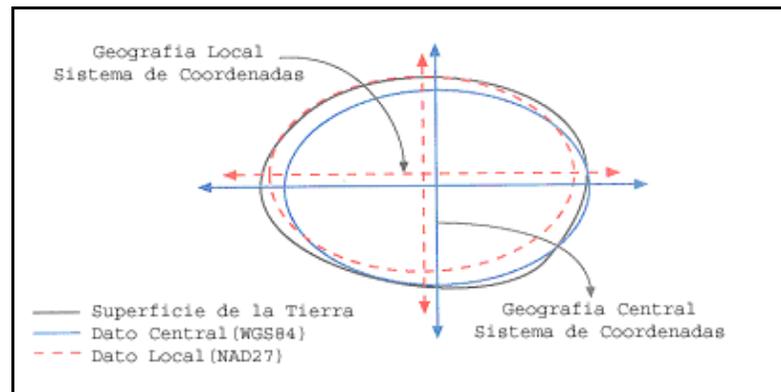


Figura 2.6. Comparación de un Datum Local (NAD27) con el WGS84 y la superficie de la tierra.

2.2. Sistemas de Coordenadas Proyectadas

Un sistema de coordenadas proyectadas está definido en una superficie plana, de dos dimensiones. A diferencia de un sistema de coordenadas geográficas, un sistema de coordenadas proyectadas tiene longitudes, ángulos y áreas constantes a través de las dos dimensiones. Un sistema de coordenadas proyectadas se basa siempre en un sistema de coordenadas geográficas, que está basado, a su vez, en una esfera o esferoide.

En un sistema de coordenadas proyectadas, las localizaciones son identificadas por coordenadas x , y en una cuadrícula, con el origen al centro de dicha cuadrícula. Cada posición tiene dos valores que la referencia a la localización central. Un valor especifica la posición horizontal y el otro valor la posición vertical. Los dos valores son llamados coordenada X y coordenada Y . Al utilizar esta notación las coordenadas en el origen son $X = 0$ y $Y = 0$.

En una red cuadriculada con espaciamentos iguales para las líneas verticales y horizontales, la línea horizontal en el centro se llama eje x y la línea vertical central se llama eje y . Las unidades son consistentes y de igual espaciamiento a lo largo del todo el rango de X y Y . Las líneas horizontales arriba del origen y las líneas verticales a la derecha del origen tienen valores positivos. Los cuatro cuadrantes representan las cuatro posibles combinaciones de coordenadas X y Y , positivas y negativas.

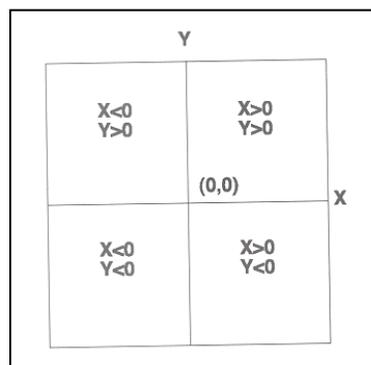


Figura 2.7. Los símbolos de las coordenadas x , y en un sistema de coordenadas proyectadas.

2.2.1. ¿Que es la proyección de un mapa?

Cuando se trata a la tierra como una esfera o esferoide, se debe transformar la superficie tri-dimensional para crear una hoja de mapa plano. A esta transformación matemática se refieren como la proyección del mapa. Una forma fácil de entender cómo las proyecciones de los mapas alteran las propiedades espaciales es visualizando una luz brillante a través de la tierra en una superficie, llamada la superficie de proyección. Se debe imaginar que la superficie de la tierra es transparente con una cratícula sobre ella. Luego se debe envolver un pedazo de papel alrededor de la tierra. Una luz en el centro de la tierra reflejará la sombra de la cratícula al pedazo de papel. Después se debe quitar el papel y colocarlo en forma plana. La forma de la cratícula en el papel plano es muy diferente a la forma de la tierra. La proyección del mapa ha distorsionado la cratícula.

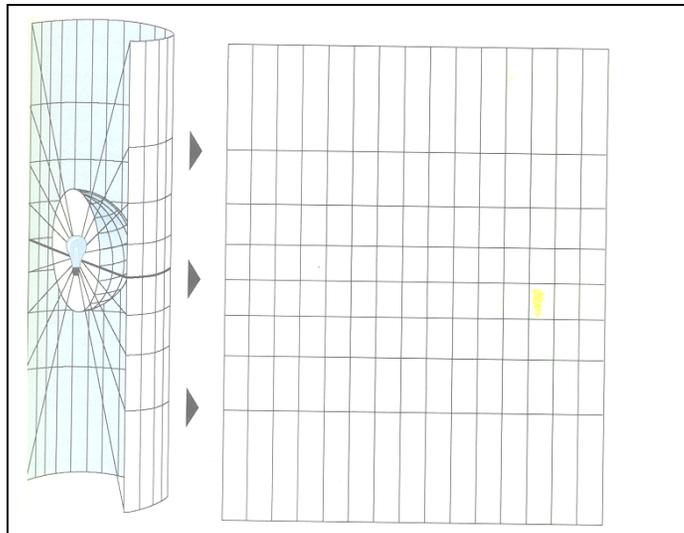


Figura 2.8. La cratícula de un sistema de coordenadas geográficas proyectado en una superficie cilíndrica

Sistemas de Coordenadas Geográficas

Un esferoide puede representarse en un plano; sin embargo, representar la superficie de la tierra en dos dimensiones provoca distorsiones en la forma, el área, la distancia o la dirección de los datos.

Las proyecciones de los mapas utilizan fórmulas matemáticas para relacionar coordenadas esféricas en el globo con coordenadas planas.

Diferentes proyecciones causan diferentes tipos de distorsiones. Algunas proyecciones están diseñadas para minimizar la distorsión en una o dos características de los datos. Una proyección puede mantener el área de un elemento pero sin alterar su forma.

En la figura 9 se muestra cómo los elementos tridimensionales son comprimidos para ajustarse a una superficie plana.

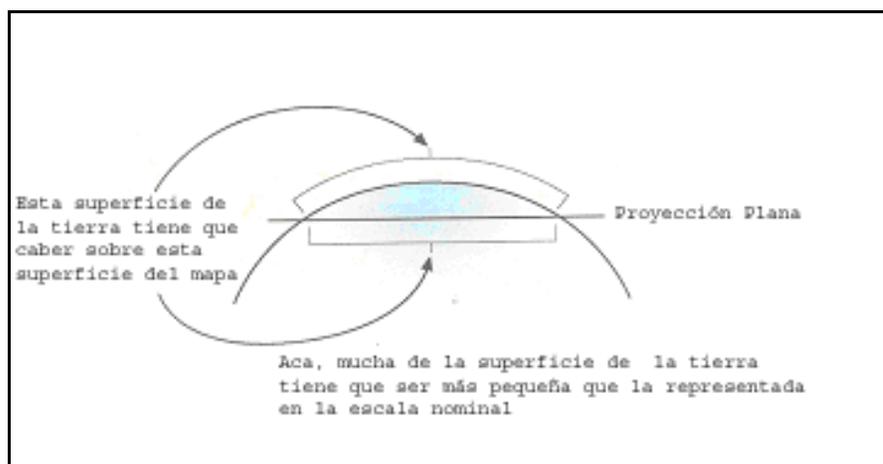


Figura 2.9. La craticula de un sistema de coordenadas geográficas proyectado en una superficie cilíndrica

Las proyecciones de los mapas se diseñan para propósitos específicos. Una proyección puede ser utilizada para datos de gran escala en áreas limitadas, mientras otra, se puede utilizar para mapas de escalas pequeñas de todo el mundo. Las proyecciones de los mapas diseñadas para datos de pequeña escala generalmente se basan en sistemas de coordenadas geográficas esféricas en vez de sistemas esferoidales.

Sistemas de Coordenadas Geográficas

2.2.2. Proyecciones conformes

Las proyecciones conformes preservan la forma local. Para preservar los ángulos individuales que describen las relaciones espaciales, una proyección conforme debe mostrar las líneas perpendiculares de la cratícula interceptándose en ángulos de 90 grados en el mapa. Una proyección que cumpla esto mantendrá todos los ángulos. La desventaja es que el área definida por una serie de arcos puede distorsionarse mucho en el proceso. Ninguna proyección puede preservar las formas en regiones muy extensas.

2.2.3. Proyecciones de igual área

Las proyecciones de igual área preservan el área de los elementos desplegados. Para esto, las otras propiedades –forma, ángulo y escala- se distorsionan. En las proyecciones de igual área, puede ser que los meridianos y los paralelos no se intercepten en ángulos rectos.

En algunos casos, especialmente en regiones pequeñas, las formas no se distorsionan notablemente, y la diferenciación entre una proyección conforme y una de igual área se dificulta, a menos que se documente o se realicen mediciones.

2.2.4. Proyecciones equidistantes

Los mapas equidistantes preservan las distancias entre ciertos puntos. La escala no se mantiene correctamente por ninguna proyección a través de todo el mapa; sin embargo, en la mayoría de los casos existe una o más líneas en el mapa que mantienen la escala correctamente. La mayoría de las proyecciones equidistantes tienen una o más líneas para las cuales su longitud en un mapa es la misma (a la escala del mapa) que la misma línea en el globo, indistintamente si es un círculo grande o pequeño o si es curva o recta. Dichas distancias se conocen como verdaderas. Por ejemplo, en la proyección sinusoidal, el ecuador y todos los paralelos son las distancias verdaderas. En otras proyecciones equidistantes el ecuador y todos los meridianos son verdaderos. Mientras otras (por ejemplo Dos-puntos Equidistantes) muestran escalas verdaderas entre uno o dos puntos y todos los otros puntos en el mapa. Se debe tener en mente que ninguna proyección es equidistante para y desde todos los puntos en el mapa.

Sistemas de Coordenadas Geográficas

2.2.5. Proyecciones de dirección verdadera

La ruta más corta entre dos puntos en una superficie curva como la de la tierra, es a lo largo del equivalente esférico de una línea recta en una superficie plana. Esto es el gran círculo en el cual dos puntos caen. Las proyecciones de dirección verdadera, o azimutales, mantienen algunos de los arcos de los grandes círculos, dando las direcciones o azimut de todos los puntos en el mapa correctamente respecto del centro. Algunas proyecciones de dirección verdadera también son conformes, de igual área o equidistantes.

2.2.6. Tipos de proyección

Debido a que los mapas son planos, algunas de las proyecciones más simples se realizan en formas geométricas que pueden ser aplanadas sin estirar sus superficies. Estas se conocen como superficies desarrollables. Algunos ejemplos comunes son los conos, los cilindros y los planos. “ *Una proyección de mapa sistemáticamente proyecta una ubicación desde la superficie de un esferoide a una posición representativa en una superficie plana utilizando algoritmos matemáticos*”⁵.

El primer paso en la proyección de una superficie a otra es crear uno o más puntos de contacto. Cada contacto es llamado punto (o línea) de tangencia. Por ejemplo, en las proyecciones planas son tangenciales al globo en un punto. Los conos o cilindros tangenciales toca al globo a lo largo de una línea. Si la superficie de proyección intercepta (corta) al globo en lugar de solamente tocar su superficie, la proyección resultante es secante en vez de tangente. Ya sea un contacto secante o tangente, los puntos o líneas de contacto son significantes porque definen las localizaciones donde la distorsión es cero. Las líneas de escala verdadera generalmente son referidas como estándar. En general, la distorsión se incrementa con la distancia desde el punto de contacto.

Las proyecciones de mapas más comunes se clasifican de acuerdo a la superficie de proyección utilizada: cónica, cilíndrica o plana.

⁵ Sistemas de Coordenadas Geográficas, Carlos S. Chinaea
astronomia@casanchi.com Diciembre, 2002

Sistemas de Coordenadas Geográficas

2.2.7. Parámetros de las Proyecciones

La proyección de un mapa en sí no es suficiente para definir un sistema de coordenadas proyectado. Se puede saber que un conjunto de datos está en Transverse Mercator, pero esa no es suficiente información. ¿Dónde está el centro de la proyección? ¿Qué factor de escala se está utilizando? Sin saber los valores exactos de los parámetros de la proyección, el conjunto de datos no puede ser reproyectado.

Se puede tener alguna idea de la cantidad de distorsión que la proyección le ha dado a los datos. Por ejemplo, si está trabajando en Australia pero se sabe que la proyección del conjunto de datos está centrado en 0,0 (la intersección del ecuador y el meridiano de Greenwich) se puede considerar el cambio del centro de la proyección.

Cada proyección de mapas tiene un conjunto de parámetros que se deben definir. Los parámetros especifican el origen y personalizar una proyección a un área de interés. Los parámetros angulares utilizan unidades del sistema de coordenadas geográficas, mientras que los parámetros lineales utilizan las unidades del sistema de coordenadas proyectado.

2.2.7.1 Parámetros Lineales

Este falso – Un valor lineal aplicado al origen de las coordenadas en x.

Norte falso – Un valor lineal aplicado al origen de las coordenadas en y.

Los valores de este falso y norte falso generalmente se aplican para asegurarse que todos los valores X o Y sean positivos. Se pueden utilizar parámetros de falso este y norte para reducir el rango de los valores de las coordenadas x o y. Por ejemplo, si se tiene certeza que todos los valores en y son mayores que cinco millones de metros, se puede aplicar un norte falso de -5,000,000.

Factor de escala – Un valor adimensional aplicado al punto o línea central de una proyección.

Generalmente, el factor de escala es ligeramente menor que uno. El sistema de coordenadas UTM, el cual utiliza la proyección Transverse Mercator, tiene un factor

Sistemas de Coordenadas Geográficas

de escala de 0.9996. En vez de 1.0, la escala a lo largo de la meridiana central de la proyección es de 0.9996. Con esto se crean dos líneas casi paralelas aproximadamente a 180 Km, de distancia, donde el factor de la escala es 1.0. El factor de escala reduce la distorsión total de la proyección en el área de interés.

2.2.7.2. Parámetros angulares

- ◆ Azimut – Define la línea central de la proyección. La rotación del ángulo mide este desde el norte. Utilizado con los casos Azimut de la proyección Hotine Oblicué Mercator.
- ◆ Meridiana central – Define el origen de las coordenadas X.
- ◆ Longitud de origen – Define el origen de las coordenadas X. El meridiano central y la longitud de origen son sinónimos.
- ◆ Paralelo central – Define el origen de las coordenadas Y.
- ◆ Latitud de origen – Define el origen de las coordenadas Y. Este parámetro puede que no esté localizado en el centro de la proyección. En particular, las proyecciones cónicas usan este parámetro para definir el origen de las coordenadas y debajo del área de interés. En este caso, no se necesita definir un parámetro de norte falso para asegurarse de que todas las coordenadas Y son positivas.
- ◆ Longitud del centro – Utilizada con el caso de la proyección Hotine Oblicué Mercator (las dos Dos-Puntos y Azimut) para definir el origen de las coordenadas X. Usualmente sinónimo con los parámetros de la longitud de origen y meridiano central.
- ◆ Latitud del centro - Utilizada con el caso de la proyección Hotine Oblicué Mercator (las dos Dos-Puntos y Azimut) para definir el origen de las coordenadas y. Es casi siempre el centro de la proyección.
- ◆ Paralelo estándar 1 y Paralelo estándar 2 – Utilizado con las proyecciones cónicas para definir las líneas de latitud en las cuales la escala es 1.0. Cuando se define una proyección Lambert Conformar Conic con un paralelo estándar, el primer paralelo define el origen de las coordenadas Y.

Sistemas de Coordenadas Geográficas

Para otros casos cónicos, la coordenada y de origen está definida por el parámetro de latitud de origen:

- ◆ Longitud del primer punto.
- ◆ Latitud del primer punto.
- ◆ Longitud del segundo punto.
- ◆ Latitud del segundo punto.

Estos cuatro parámetros son utilizados con las proyecciones Dos-puntos Equidistantes y Hotine Oblicué Mercator. Estos parámetros especifican dos puntos geográficos que definen el eje central de la proyección.

2.3. Proyección Universal Transverse de Mercator (UTM)⁶

El sistema Universal Transverse de Mercator es una aplicación especializada de la proyección Transverse de Mercator. El globo es dividido en 60 zonas norte y sur, cada una con un espacio de seis grados de longitud. Cada zona tiene su propia meridiana central. Zona 1 N y 1 S empiezan a los -180° W. Los límites de cada zona son 84° N y 80° S, con la división entre las zonas norte y sur en el ecuador. Las regiones polares utilizan el sistema de coordenadas Universal Polar Estereográfico.

El origen de cada zona es la meridiana central y el ecuador. Para eliminar valores negativos, el sistema de coordenadas altera los valores de las coordenadas en el origen. El valor dado a la meridiana central es el este falso, y el valor asignado al ecuador es el falso norte. Un este falso de 500,000 metros se aplica. Una zona norte tiene el falso norte de cero, mientras que una zona sur tiene un falso norte de 10,000,000 metros.

⁶ Conocida también como UTM

Sistemas de Alcantarillado

3.1. Sistemas de Alcantarillado y Drenajes

Es un sistema de conductos y equipos que tienen como finalidad coleccionar y desalojar en forma segura y eficiente las aguas residuales de una población, solas o en combinación con las aguas pluviales, además de disponerlas adecuadamente y sin peligro para el hombre y el ambiente.

Aguas residuales son aquellas aguas limpias que han sido utilizadas o degradadas por una población, provenientes de los hogares de esa población o directamente de afluentes industriales.

Aguas pluviales son las aguas provenientes de la precipitación pluvial que escurren dentro del área de captación del sistema.

3.2. Flujo de las Tuberías de Agua

En el abastecimiento de agua, el agua usualmente se transporta en una tubería cerrada bajo presión; sólo en casos raros se transporta en un conducto de gravedad o en un canal abierto. Las aguas negras, se transportan normalmente en tubos a medio llenar; sólo ocasionalmente las tuberías transportan aguas negras bajo presión.

Los mismos principios y formulas de hidráulica se aplican al agua y a las aguas negras. A pesar de que las aguas negras pueden transportar hasta 2000 MG/t de sólidos en suspensión, esto no afecta sus cualidades hidráulicas.

Los mismos principios hidráulicos se aplican al flujo en las alcantarillas y al flujo en tuberías de agua. Sin embargo, las alcantarillas rara vez trabajan a tubo lleno y para cualquier alcantarilla circular el área recta del flujo, la velocidad de fluido y la descarga varían con la altura de las aguas negras en la tubería.

Las alcantarillas que transportan aguas negras domésticas deben proyectarse de modo que la velocidad de flujo no quede, normalmente, debajo de 0.6 m/s. No siempre es posible obtener esta velocidad con los flujos bajos que se obtienen a veces en ramales que sólo sirven a unas cuantas casas.

Sistemas de Alcantarillado

En general, una velocidad de por lo menos 0.9 m/s es la deseada, siempre que sea posible a un costo razonable. La experiencia ha demostrado que, cuando las velocidades están por debajo de los 0.5 a 0.6 m/s puede ocurrir una decantación de sólidos, haciéndose necesaria una limpieza mas frecuente. En el caso de alcantarillas de tormenta se deberá proporcionar una velocidad de proyecto de por lo menos 0.9 m/s, siempre que sea posible. Este tipo de alcantarilla puede transportar una cantidad considerable de materia suspendida de una gravedad específica relativamente elevada. En escurrimientos bajos, como lo son al final de un período de tormenta, la velocidad puede decrecer rápidamente con los flujos poco profundos que resultan de las grandes secciones de tubería que son generalmente necesarias.

Es deseable limitar las velocidades a unos 3 m/s, aunque una velocidad mayor, usualmente, no creará efectos adversos, a menos que se transporten cantidades considerables de sólidos en las aguas negras.

Las alcantarillas de tormenta, generalmente se proyectan para trabajar a tubo lleno, mientras que las alcantarillas sanitarias se proyectan para trabajar a medio tubo.

3.2.1. Tuberías para los Sistemas de Alcantarillado, Drenajes y Agua

3.2.1.1. Tuberías para agua de hierro fundido

Las tuberías de hierro fundido, para el abastecimiento de agua deberán tener ciertas características para que su funcionamiento sea correcto:

- a. **Durables**, de modo que las fallas y las composturas necesarias ocurran muy de vez en cuando.
- b. **Herméticas**, para evitar pérdidas de agua por filtración

La tubería de hierro fundido se utiliza para la gran mayoría de líneas en los sistemas de distribución de agua. La tubería de abastecimiento es la siguiente en volumen de empleo. Para grandes líneas de abastecimiento se utilizan frecuentemente concreto reforzado y acero.

Sistemas de Alcantarillado

El tubo de hierro fundido se fabrica en tamaños de 2 a 36 pl. de diámetro. Su longitud es de 18 pies, excepto para tamaños mayores. Los tipos de tubo de hierro fundido, generalmente usados, son el tubo macho-hembra de hierro fundido centrífugo y el tubo estándar macho-hembra fundido en foso de colada.

3.2.1.2. Tubo de asbesto - cemento

El tubo de cemento está hecho de una mezcla de fibra de asbesto, cemento Pórtland, y sílice formada bajo una gran presión. Es resistente a la tuberculación, incrustación, corrosión del suelo y electrólisis, y tiene excelentes propiedades hidráulicas.

3.2.1.3. Tubo de concreto

El tubo de concreto utilizado en abastecimiento de agua varía en diámetros de 20 a 24 pl. hasta de 100 pl. Es uno de los tipos principales y el más utilizado para tubos de 20 pl. de cilindro de acero reforzado. Este consiste de un cilindro de acero soldado herméticamente con concreto reforzado en el exterior y concreto simple en el interior. El cilindro de acero se proyecta para soportar la presión.

3.2.1.4. Juntas y accesorios

En el proceso de juntado de los tubos de concreto, se emplea un sistema modificado de campana y espiga, en el que un empaque asegura una junta hermética, y el espacio libre se rellena con mortero.

3.2.1.5. Tubo de acero

El tubo de acero viene en diámetros de 6 a 72 pl. o mayores. Se utilizan principalmente para líneas que requieran un diámetro de 30 pl. o mayor. El tubo puede estar integrado por placas dobladas soldadas que forman una línea suave, o puede estar soldado en espiral. Se utiliza, en ocasiones, el remachado, pero la soldadura es más común y las características de escurrimiento son mejores en tubo soldado.

Sistemas de Alcantarillado

3.2.1.6. Tubo de servicio

Los pequeños tubos que conectan las tuberías principales con la tubería de las casas se llaman tubos de servicio. Estos pequeños, casi siempre son menores de una (1) pulgada de diámetro, y son susceptibles, por tanto, a su obstrucción por la corrosión o depósitos. Para minimizar la corrosión, las tuberías de servicio pueden ser de hierro galvanizado, cobre, plomo o plástico.

3.2.1.7. Accesorios para los sistemas de agua

Un sistema de obras hidráulicas requiere muchos accesorios para su operación. Estos incluyen: válvulas para controlar el flujo del agua; medidores para medir el volumen; hidrantes para permitir utilizar el agua de las tuberías contra incendios, lavado de calles y fines similares.

- ◆ **Válvulas:** para controlar el flujo en un sistema de agua, y aislar cualquier sección de una línea para una reparación, se colocan válvulas en todas las principales y secundarias. En un sistema de distribución las válvulas se deben colocar en todos los tramos rectos de tubería a intervalos de 500 a 800 pies. El principio general es que las válvulas estén colocadas de tal manera, que cualquier tubo de dos cuadras de largo pueda cortarse de la circulación general sin interrumpir el servicio en el resto del sistema.
- ◆ **Medidores:** Para medir flujos en líneas muy largas se utilizan “medidores venturi”. Un medidor de servicio se utiliza para medir y registrar el flujo que pasa por una línea pequeña, usualmente el consumo de un edificio. La mayoría de los medidores de servicio son del tipo de disco, en el que el paso del agua causa un movimiento rotatorio del disco.
- ◆ **Hidrantes:** Un hidrante es una salida de una tubería principal que tiene, principalmente, el fin de proporcionar una conexión para combatir los incendios.

Sistemas de Alcantarillado

3.2.1.8. Tubo de alcantarilla de arcilla vitrificada

Los tubos para alcantarillas deben ser:

- ◆ Lisos en su interior para permitir el flujo con la menor pérdida de carga y para reducir el depósito de sólidos y la consiguiente obstrucción del flujo.
- ◆ Impermeable por dentro y por fuera.
- ◆ Resistente a los ácidos y productos químicos.
- ◆ Deben tener una vida útil muy larga.

3.2.1.9. Tubo de alcantarilla de concreto

El tubo de concreto precolado se utiliza en las líneas de alcantarillas muy grandes. Debido a que las alcantarillas, excepto para las líneas con diámetros muy grandes, son rectas entre pozos de visita y generalmente no tienen conexiones directas con otras líneas, se utilizan muy pocos aditamentos especiales. Cuando se necesitan para tubos de concreto, los accesorios pueden ser tanto recolados o colados en el sitio. También se pueden utilizar accesorios de hierro fundido o de arcilla vitrificada.

3.2.2. Accesorios para alcantarillas

En un sistema de alcantarillado existen las siguientes condiciones:

- ◆ Se emplea un pozo de visita en cada cambio de dirección o de pendiente.
- ◆ Las bocas de tormenta toman agua y la llevan al sistema de drenajes de tormenta.
- ◆ Se utiliza un sifón invertido para cruzar una corriente por abajo o para condiciones similares donde se deba cruzar una depresión debajo de la línea del gradiente.
- ◆ En los sistemas combinados se proporcionan reguladores y rebosaderos.
- ◆ Los entronques de las alcantarillas grandes presentan problemas especiales.
- ◆ Pueden ser necesarias estaciones de bombeo para llevar las aguas a un nivel más alto donde el desnivel disponible sea insuficiente para un flujo por gravedad.
- ◆ Se deben proyectar bocas de salida para descargar las aguas negras a un río, lago o al océano.

3.2.3. Pozos de visita

Los pozos de visita se instalan en cada entronque de dos o más alcantarillas, a intervalos de 300 a 400 pies en alcantarillas de 24 pl. o menores en alcantarillas mayores, a intervalos de 600 pies, y en todas las alcantarillas demasiado pequeñas para permitir el paso de un hombre en cada cambio de dirección o de pendiente.

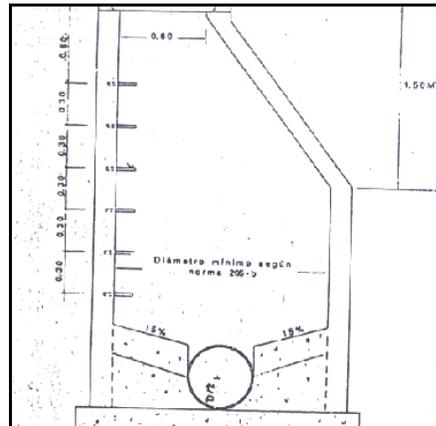


Figura 3.1: Esquema de un pozo de visita

3.2.4. Pozos de caída

En donde las plantillas de las alcantarillas que se unen en un pozo de visita tienen más o menos el mismo nivel. En muchos casos, sin embargo, la alcantarilla principal está mucho más profunda que el ramal y el problema es tener un flujo de aguas negras suave. Para tales condiciones, la práctica normal es utilizar un pozo de visita de caída.

3.2.5. Pozos de tormenta

Una boca de tormenta es una abertura en la calle para interceptar el agua de tormenta que escurre en ella y conducirá a una alcantarilla de tormenta o a una alcantarilla combinada.

3.2.6. Desarenadotes

El fin de un sumidero es proporcionar una trampa para evitar que se escape el gas de las aguas negras; también, la porción del fondo permite que los sólidos arrastrados durante una tormenta se depositen en la trampa en vez de entrar a la alcantarilla.

3.2.7. Tanques de inundación

Las alcantarillas laterales que sirven áreas poco pobladas pueden no recibir suficiente flujo para autolimpiarse, por lo que será necesario un baldeo frecuente. Esto puede efectuarse a mano o mediante tanques de inundación. Un tanque de inundación puede proyectarse para recoger las aguas negras y descargarlas rápidamente a intervalos; más a menudo se coloca un tanque en el extremo superior de una línea y se llena con agua del abastecimiento público.

3.2.8. Vertederos de derivación

Son utilizados donde hay alcantarillas combinadas y se trate o se bombeen las aguas negras. Los gastos mayores de una cantidad predeterminada, usualmente el gasto máximo de verano, se deriva. Esto es necesario para evitar las inundaciones y daño de la planta de tratamiento o estación de bombeo.

3.2.9. Sifones invertidos

Cuando es necesario cruzar una corriente, valle o cañada, se utiliza un sifón invertido. Generalmente consiste en dos o más tubos colocados de modo tal que sólo uno opera en flujos normales y el otro u otros se emplearán para grandes gastos.

3.2.10. Bocas de salida

Cuando las aguas domésticas, tanto crudas como tratadas, se descargan a una corriente o lago, la boca de salida deberá extenderse hasta llegar a aguas más bien profundas y debe localizarse de modo tal que difunda o mezcle las aguas negras con el agua. En el caso de un sistema combinado, un tubo más pequeño se puede utilizar para transportar el flujo normal de aguas negras bien lejos de la playa, en tanto que el flujo de tormenta se descarga por medio de la línea principal más cercana a la playa.

3.2.11. Obras que integran los sistemas de alcantarillado

- ◆ Obras de captación.
- ◆ Obras de conducción.
- ◆ Obras de tratamiento.
- ◆ Obras de descarga y disposición final.

3.3. Tipos de Sistema

3.3.1. Sistema separado

Sistema de alcantarillado sanitario destinado a recolectar y transportar aguas residuales al utilizarlo la vivienda o predio como unidad básica de conexión.

3.3.2. Sistema combinado

Sistema de alcantarillado que recolecta y transporta conjuntamente aguas residuales y de lluvia.

3.3.3. Sistema semi-combinado

Sistema de alcantarillado sanitario destinado a recolectar y transportar aguas residuales al utilizar el ramal con dominial como unidad básica de conexión.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

Definición del Problema

EMPAGUA, a través de su Dirección de Obras⁷ tuvo un exceso de gasto en el año 2002, en materiales, mano de obra y, además en lo administrativo, de Ciento Noventa y Dos mil Cuatrocientos Treinta y Dos con 13/100 (Q 192,432.13). Esto se debe a la inexactitud en la información relacionada con la ubicación de los elementos de la red de alcantarillado. La información con la que se cuenta actualmente es inexacta y difícil de analizar y examinar, debido a que aún se encuentra en las llamadas Sabanas⁸, que no son actualizadas de una forma sistemática y la información que contienen no es exacta ni confiable. Esto se refleja en la necesidad de hacer estudios topográficos y romper asfalto, antes de cualquier trabajo de reparación e incluso mantenimiento, para descubrir dónde se localizan los elementos de la red. A esto se agrega el gasto por reparaciones en los lugares donde se rompió asfalto y banquetas para localizar los elementos no encontrados.

Además, EMPAGUA ha dejado de percibir ingresos por cobros a clientes que utilizan la red de alcantarillado, pero por no tener una base de datos de los clientes con información exacta, se ha dejado de hacer los cobros por el servicio que reciben. Así, también existen conexiones ilícitas a la red de alcantarillado, que EMPAGUA no tiene conocimiento de ellas, por lo que el ingreso no es el que debería ser. Según datos obtenidos de los reportes financieros de la Dirección de Obras para el año 2002, con únicamente el 40% de clientes de los cuales no se tienen información para el cobro, han dejado de percibir Un millón Seiscientos Setenta mil Ocho con 56/100 (Q1,670,008.56)

⁷ La Dirección de Obras. Es la encargada de la construcción, supervisión y mantenimiento de obras necesarias para la expansión de la cobertura del servicio de agua potable, alcantarillado, conducción y distribución.

⁸ Las SÁBANAS son planos que contienen la red de alcantarillado y son de tamaño doble formato A1.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

4.2. Situación Actual

Con una población de casi un millón de personas en el área metropolitana de la ciudad de Guatemala y con tendencia a crecer en grandes proporciones, según el índice de natalidad y las migraciones, se prevé que la demanda de servicios de agua aumente y, como consecuencia, requiera una estructura administrativa más grande, de parte de la empresa encargada del sistema.

Actualmente se cuenta con sistemas de información que proporcionan el apoyo necesario para cumplir con las necesidades de la empresa. Pero, la tendencia al crecimiento poblacional requiere que estos sistemas se adapten para soportar la creciente demanda de trabajo, que ya empieza a tener consecuencias, especialmente en:

- ◆ Eficiencia de los empleados.
- ◆ Tiempo de respuesta a las demandas de los usuarios.
- ◆ Gestión de datos.
- ◆ Seguridad.
- ◆ Integridad de la información.

Como encargada de la red de alcantarillado, la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA), a través de la Dirección de Obras, gestiona la construcción, supervisión y mantenimiento de esta red, para lo que emplea herramientas como teodolitos, mapas y registros topográficos que le permiten identificar la ubicación de los elementos de la red. La dirección de obras cuenta con planos y libretas topográficas con información de la red de alcantarillado, pero por la falta de actualización, por la pérdida de algunos elementos y algo que certifique los datos que contienen, se prefiere salir al campo a corroborar los datos que allí se presentan cuando se requiere.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

Por las características mencionadas la implementación de un SIG, que es el conjunto de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración, se vislumbra como la herramienta ideal para resolver los problemas que por el aumento de la demanda tiene actualmente EMPAGUA.

Como lo indica la definición, el sistema resolvería problemas complejos de planeación y administración de la red de alcantarillado. A continuación se listan los beneficios que brindaría específicamente a la de EMPAGUA el SIG:

- ◆ Reducción de costos.
- ◆ Aumento de las utilidades.
- ◆ Oportunidad para mejorar y modernizar los activos.
- ◆ Información exacta de los usuarios.
- ◆ Localización e información exacta de los elementos de la red.
- ◆ Capacitación para el personal.
- ◆ Administración eficiente de la red.
- ◆ Modificaciones más eficientes.
- ◆ Aumento de la capacidad de atención al cliente.
- ◆ Integración de la información.
- ◆ Información en un formato durable.
- ◆ Aumenta la productividad de los empleados.
- ◆ Agilizar el diseño y presupuesto de nuevos proyectos.
- ◆ Conocimiento amplio de la red.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

4.2 Metodología a Utilizar

El método seleccionado para desarrollar el sistema es el método de Ciclo de Vida, que consta de las siguientes etapas:

- ◆ Investigación preliminar,
- ◆ Determinación de los requerimientos del sistema,
- ◆ Diseño del sistema,
- ◆ Desarrollo de software,
- ◆ Prueba de los sistemas,
- ◆ Implantación y evaluación.

Entre las ventajas de esta metodología están:

- ◆ Manejable como proyecto,
- ◆ Gran volumen de transacciones y procesamientos,
- ◆ Requiere de la validación de los datos de entrada,
- ◆ Abarca varios departamentos,
- ◆ Adecuado para todo tipo de aplicaciones,
- ◆ Mayor utilidad como complemento de otros métodos de desarrollo.

4.3 Investigación Preliminar

4.3.1 Unidad Dirección de Obras

La Dirección de Obras es la encargada de la construcción, supervisión y mantenimiento de obras necesarias para la expansión de la cobertura del servicio de agua potable, alcantarillado, conducción y distribución.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

En la estructura administrativa de EMPAGUA, la Dirección de Obras está ubicada por debajo de la Sub-Gerencia Técnica. Cuenta con siete (7) unidades que se complementan para cumplir con los objetivos de la Dirección de Obras. Las unidades son:

- Obras civiles,
- Construcción y supervisión de obras y drenajes,
- Fábrica de tubos,
- Áreas precarias,
- Construcción y supervisión de agua potable,
- Mantenimiento de obras de drenaje, reparación de pavimentos y banquetas.
- Control y manejo de las aguas negras, área metropolitana

◆ **Visión de la Dirección de Obras**

Es una dirección eminentemente técnica con personal altamente calificado para lograr así la prestación, el mantenimiento, mejoramiento y ampliación del servicio de agua potable y alcantarillado, así como mejorar el saneamiento de la Ciudad de Guatemala y sus áreas de influencia urbana.

◆ **Misión de la Dirección de Obras**

Mejorar el nivel de vida de sus usuarios al proveerles de un buen servicio de Agua y Alcantarillado.

4.3.2 Servicios que Presta la Unidad

4.3.2.1 Construcción y Supervisión de Redes de Agua Potable

Es la encargada de la construcción de redes nuevas y la remodelación de redes ya existentes de agua potable aplicada a extender nuestra zona de abastecimiento a nuevas zonas o mejorar los existentes.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

4.3.2.2 Construcción y Supervisión de Alcantarillado

Es la encargada de la construcción de redes nuevas y existentes de alcantarillado (drenajes) para evitar inundaciones y contaminación en la vía pública

4.3.2.3 Mantenimiento de Obras de Drenajes y Reparación de Pavimentos y banquetas

Es la unidad encargada de mantener en óptimas condiciones las redes de alcantarillado y sus obras complementarias (tragantes, registros o pozos de visita, conexiones domiciliarias), así como la reparación de pavimentos y banquetas dañadas por fugas de agua o drenajes.

4.3.2.4 Áreas Precarias

Es la encargada de la construcción y supervisión de obras de agua potable y alcantarillado en las áreas de asentamientos humanos en el área metropolitana

4.3.2.5 Obras Civiles

Es la encargada de la construcción de infraestructuras de agua potable requeridas por EMPAGUA, como por ejemplo tanques elevados, fosas, muros, casetas de pozos, cajas de válvulas, etc.

4.3.2.6 Fábrica de tubos

Es la encargada de la fabricación de tubos de diferentes diámetros, así como cualquier producto de cemento.

4.3.2.7 Control y Manejo de Aguas Negras del Área Metropolitana

Unidad encargada del manejo, control, monitoreo, administración de 2 plantas de aguas negras, propiedad de EMPAGUA.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

4.4 Procesos Críticos Actuales

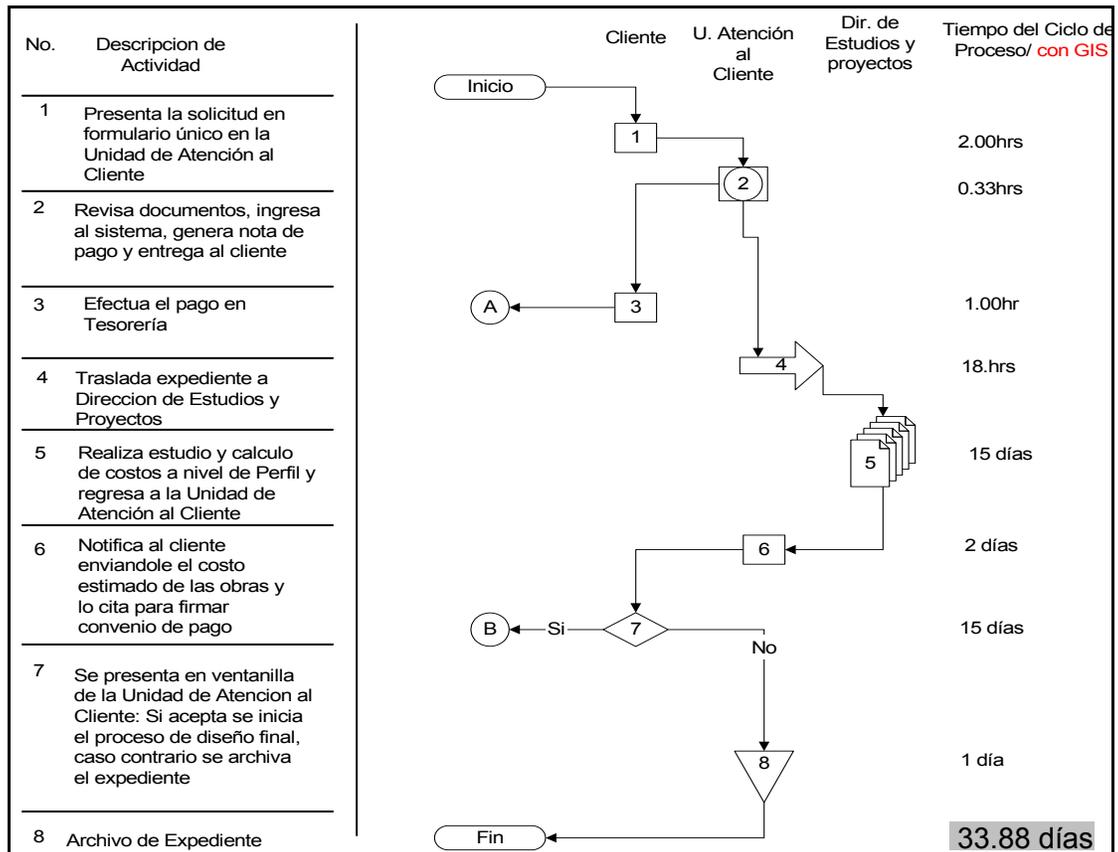


Figura 4.1: Diagrama de procesos de Nuevos servicios de Agua Potable y Drenajes Actual – Propuesto

El proceso de contratación de nuevos servicios de agua potable y drenajes que se describe en la gráfica anterior, refleja la necesidad de un SIG que tiene esta dirección. El proceso completo de contratación de uno de estos servicio puede tomar en promedio 33 días, siendo su parte crítica el proceso número 5 (realización de estudio y cálculo de costos a nivel de perfil y regresa a la unidad de atención al cliente), ya que es en este momento cuando los diseñadores, calculistas y topógrafos van a los planos o al campo, en la mayoría de los casos al campo, para verificar las características

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

de la red en el área donde se requiere el servicio. Hay que considerar que, en este estudio 90% prefiere salir al campo para verificar los datos, ya que como se mencionó antes, los planos y libretas no están actualizadas, no se tienen todos los planos o simplemente porque no se confía en los datos que allí se presentan.

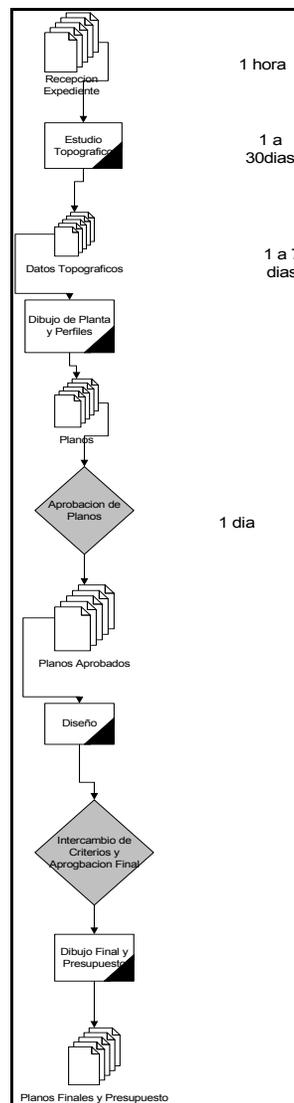


Figura 4.2: Diagrama de proceso de Nuevos Proyectos Actual

En este diagrama nuevamente se puede comprobar que la falta de un sistema automatizado, hace que el desempeño del sistema sea tardado y hasta cierto punto poco confiable, ya que el manejo de información en papel y con datos dibujados a mano alzada provoca un sentimiento de

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

desconfianza. Además, el traslado de información de una persona a otra y de un departamento a otro, aumenta la probabilidad de que se pierda información durante el traslado, también es mayor la probabilidad de que los planos y libretas que se manejan en este proceso se deterioren, ocasionando esto a la larga una pérdida de información. Pero en este caso ya no vale que se hable de probabilidades, ya que durante mucho tiempo el traslado de información se ha realizado de esta forma y las consecuencias de esto han sido:

- ◆ Pérdida de información.
- ◆ Deterioro de los planos y libretas.
- ◆ Desconfianza en los datos.

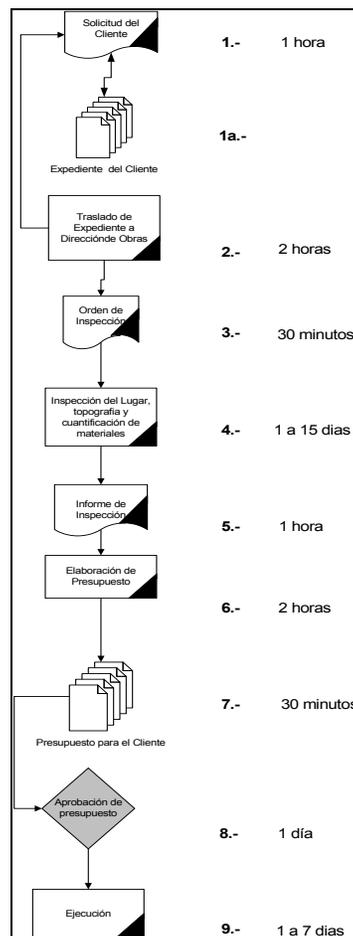


Figura 4.3: Diagrama del proceso de Nuevas Conexiones Actual

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

Este proceso afecta directamente al cliente, ya que es él quien solicita las conexiones nuevas. En este diagrama nuevamente se puede claramente el proceso que en la actualidad consume más tiempo del total. Este proceso es el número 4 (Inspección del lugar, topografía y cuantificación de materiales) que puede tomar hasta 15 días, más de la mitad del total promedio de duración de este proceso.

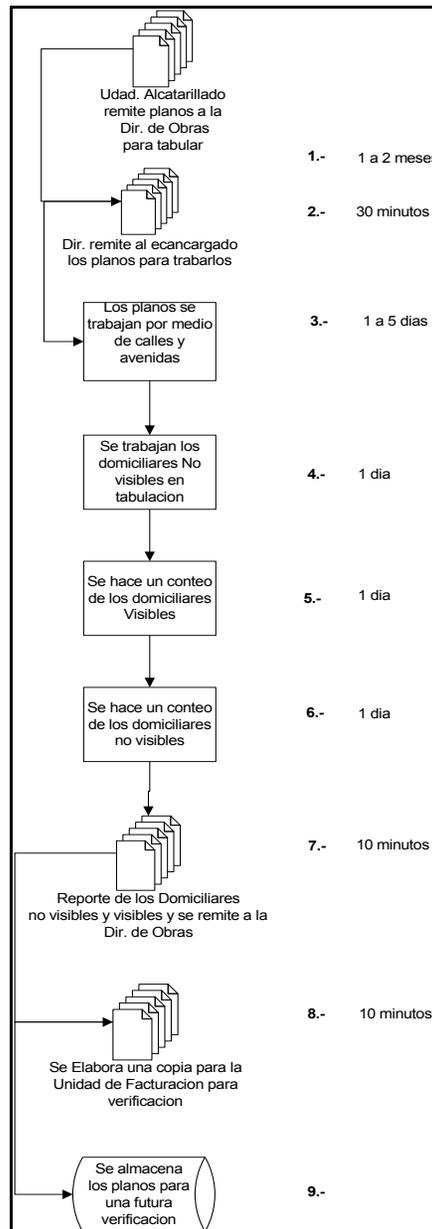


Figura 4.4: Catastro de Domiciliarios Actual

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

Este proceso es el que permite tener datos actualizados de los usuarios y del tipo de conexión que tiene. Es indispensable para todo el sistema de la red de alcantarillados y se debe realizar periódicamente, pero la dificultad de portar planos y marcar cada punto que representan los elementos de la red en dichos planos, permite que este proceso, además de indispensable, deba prestársele especial atención. Actualmente este proceso se realiza esporádicamente y de manera desordenada, solamente cuando algún proyecto lo requiera, además de esto la pérdida de planos ha provocado que se dificulte aún más su desarrollo.

4.5 Problemas

Los problemas específicos encontrados en la Dirección de Obras son:

- ◆ Falta de información exacta de los elementos de la red (características de la tubería, pozos, etc.).
- ◆ Falta de información de las conexiones domiciliarias.
- ◆ Tiempo largo para la aprobación de nuevas conexiones.
- ◆ Complejidad de los procesos para nuevas conexiones, catastro de domiciliarios, presupuestos y mantenimientos.
- ◆ La ubicación inexacta de los elementos de la red, ya que retrasa una pronta acción o respuesta a cualquier eventualidad que se presente dentro de una localidad desconocida.
- ◆ Información actual en un formato con corto periodo de vida (Planos, fichas y libretas de topografía).
- ◆ Costos elevados por las investigaciones hechas para aprobar una nueva conexión y nuevos proyectos (Zanjeo).
- ◆ Pérdida de información por modificaciones.
- ◆ Inseguridad de la información.
- ◆ Información desactualizada.
- ◆ Capacidad reducida para la administración de volúmenes grandes de información.
- ◆ Duplicidad, integridad y confiabilidad de información.
- ◆ Control sobre conexiones ilegales.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

Demora en la elaboración de un presupuesto para una conexión domiciliar, localización de pozos de visita y localización de la tubería son tareas que actualmente se ven afectadas por la carencia de información íntegra y actualizada.

El gasto en materiales, mano de obra y equipo para la reparación de asfalto y banquetas por trabajos de investigación son consecuencia de la carencia de ubicación exacta de los elementos de la red.

La falta de planos actualizados es consecuencia de la manipulación de los mismos por personal de la empresa a través de los años. Mucha información se pierde porque es manipulada por muchas personas y en ocasiones es accesible a personas sin autorización para usarla.

Los problemas que indicamos antes son indicadores de la necesidad urgente de que el sistema reciba una reingeniería, para que pueda hacer su trabajo correctamente sin necesidad de estar sobrecargando al personal, equipo, procesos y en sí toda su estructura.

4.6 Determinación de Requerimientos

Tomando en cuenta el trabajo que realiza la Unidad de Dirección de Obras, se efectuaron varias reuniones y entrevistas con el personal de este departamento, con el fin de conocer el funcionamiento y operación de la red de alcantarillado y drenajes, y se logró determinar la siguiente lista de requerimientos con su costo estimado:

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

Hardware

No.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	PC, Pentium IV, procesador de 2.66 Mhz, Disco Duro de 80 GB, 512 MB de memoria RAM, Tarjeta de Red 10/100, Sistema Multimedia, Monitor, Mouse, Teclado.	1	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
2	GPS de Precisión Submetrica, marca TRIMBLE.	1	\$ 13,500.00	\$ 13,500.00
3	Punto de Red en (Ya existe), sin costo	1	-	-
TOTAL Hardware				\$ 15,500.00

Cuadro 4.1: Requerimientos de Hardware y sus costos.

Software

Una de las condiciones para el desarrollo e implementación del SIG es la utilización de ArcView, debido al tipo de consultas que requiere el Departamento de Dirección de Obras. Sobre la base de la necesidad de integrar la información alfanumérica con la información geográfica, se decidió en primera instancia optar por un SIG en lugar de un CAD (Computer Aided Design).

Dentro de las facilidades que este software ofrece al usuario se encuentra su personalización, a través del cual se puede reutilizar segmentos de código propios de ArcView escritos en el lenguaje de programación Avenue y/o modificar sus internas Gráficas de usuario (GUI). Para la construcción de interfaz y formularios, se utiliza Dialog Designer, el cual es una extensión de ArcView que debe ser previamente instalada y activada para que el sistema que será implementado trabaje de manera eficiente.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

En segunda instancia se decidió utilizar una base de datos relacional con el programa Arcview como herramienta de desarrollo, porque la licencia para la Base de Datos Oracle ya existe.

No.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Licencia de Arcview 8.3	1	\$ 4,000.00	\$ 4,000.00
2	Licencia para Base de Datos Oracle (Ya se cuenta con ella)	1	-	-
TOTAL Software				\$ 4,000.00

Cuadro:4.2: Requerimientos de Software y sus costos.

Datos

- ◆ Diseñar una Base de Datos que contenga las características principales de los elementos que forman parte de la red de alcantarillado.
- ◆ Permitir relacionar la información de los elementos que forman la red de alcantarillado y drenajes con sus respectivas características a partir de la definición de proceso tales como ingresos, consultas y actualizaciones.
- ◆ Diseñar las interfaz gráficas de usuario que faciliten la administración de la información.
- ◆ Permitir que el usuario puede obtener información a partir de la ubicación geográfica de los elementos que integran el sistema de la red de alcantarillado.
- ◆ Determinar fácilmente la ubicación de cada elemento que forma parte de la red de alcantarillado a partir de su código o nombre de identificación.
- ◆ Mapas georeferenciados por lotes de la ciudad de Guatemala Formato Arcview.

No.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Mapas georeferenciados por lotes de la ciudad de Guatemala Formato ArcGis.	330	\$ 55.00	\$ 18,150.00
TOTAL Datos				\$ 18,150.00

 Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala
Personal

No.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Analistas de Sistemas	1	\$ 20,000.00	\$ 20,000.00
2	Programadores	1	\$ 5,200.00	\$ 5,200.00
3	Digitadores para alimentar la BD	2	\$ 2,800.00	\$ 5,600.00
TOTAL Personal				\$ 30,800.00

Cuadro 4.4: Requerimientos de Personal y sus costos

Procesamiento

- ◆ Análisis y Diseño del sistema.
- ◆ Diseño de la Base de datos.

El costo de este requerimiento ya esta cubierto con los honorarios de los analistas de sistemas, ya que son ellos los encargados del análisis y diseño del sistema, así como, del diseño de la base de datos.

El costo total de los requerimientos para el proyecto asciende a:

Sesenta y Ocho mil Cuatrocientos Cincuenta Dólares (\$ 68,450.00).

4.7 Diseño del Sistema

En esta etapa es donde se trabaja el diseño de la parte lógica del sistema, por consiguiente, estará desarrollándose entre el primer y segundo* mes del desarrollo del proyecto. Se diseñarán los reportes y las formas de las pantallas para el ingreso y consultas de información, los tipos de almacenamientos y los cálculos. Las características del software Arcview, recomendado para este proyecto, nos permiten tener una facilidad importante para el manejo de datos por parte de los usuarios finales, ya que su excelente diseño permite al usuario final, aun sin un alto grado de adiestramiento, obtener los datos que le interesan.

* Ver cronograma de actividades en la sección de anexos.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

El proceso de diseño del sistema será de la siguiente forma:

Serán cinco (5) semanas continuas desde el primer mes del proyecto donde se determinaron los requerimientos de los usuarios y de la empresa, y al mismo tiempo se diseñaron algunos reportes y pantallas para la consulta e ingreso de información. Ya que para el cuarto (4) mes se estará haciendo entrega de una zona completa para el uso de EMPAGUA, por lo que para su utilización se diseñará la forma de las aplicaciones y reportes, para los datos de entrada, cálculos y consultas.

El diseño del sistema es una etapa que se puede considerar como crítica, ya que es donde se plasma la forma del sistema en papel antes de su desarrollo. Esta planificación hará que el desarrollo sea más efectivo y evitará en muchas ocasiones retraso del desarrollo por falta de información y cambio de estructuras. Además, esta planificación, como se le puede llamar también, hará que el sistema sea un sistema de éxito, un sistema que contribuya a conseguir los resultados que la empresa busca.

4.8 Desarrollo del Sistema

La implementación o desarrollo de aplicaciones de sistema para este proyecto es reducido, en especial para el uso de la información debido a que como se mencionaba anteriormente, la herramienta Arcview es bastante completa y cuenta con características especiales para la consulta de información y la obtención de los mismos. Esto no quiere decir que el desarrollo vaya a ser nulo, ya que se necesita desarrollar algunos elementos, que Arcview y software no pueden proporcionar por sí solos. Por ejemplo, las pantallas para el ingreso de información, aplicaciones para la administración de la información, aplicaciones con diseño a la medida para consultas y algunos otros elementos que además de tener una interacción más fácil con el usuario, le ayudarán a una mejor interpretación de la información.

Esta etapa será desarrollada entre el primer y segundo mes del proyecto, ya que la primera entrega deberá realizarse en el transcurso del cuarto mes. Para el desarrollo de esta etapa se hará uso de herramientas como Visual Basic 6.0, Cristal Reports y SQL para las consultas a bases de datos. La empresa cuenta ya con estos recursos, por lo que no fue necesario incluirlos dentro de los requerimientos del sistema.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

Cada herramienta será utilizada por personal capacitado en el uso de las mismas y se espera que esta etapa esté terminada en 5 semanas. Aunque podrían existir cambios, modificaciones, mejoras y creación de nuevos elementos durante la continuidad del proyecto, el propósito es que durante esta etapa se logre concluir 90% de la parte de desarrollo y se deja un pequeño margen de modificaciones.

4.9 Justificación del Sistema

4.9.1. Ventajas de un SIG

1. Capacidad

- ◆ Con el sistema de información geográfico se podrá efectuar cálculos, ordenar, recuperar datos e información y efectuar repetidamente las mismas tareas con mayor velocidad que los seres humanos. Además, aumenta la capacidad de procesar más actividades, tal vez para aprovechar nuevas oportunidades de tipo comercial.
- ◆ Localización y recuperación de información del sitio donde se encuentre cada punto de la red de alcantarillado.

2. Control

- ◆ Tiene mayor exactitud y mejora la consistencia, quiere decir, que lleva a cabo los pasos de cómputo de manera correcta y siempre en la misma forma. Salvaguardar los datos importantes en una forma que sea accesible sólo al personal autorizado

3. Comunicación

- ◆ Acelera el flujo de información entre los consumidores y el proveedor, así como entre los usuarios del sistema. Por ejemplo: Respuesta de una solicitud de instalación.

4. Costos

- ◆ Uso de la capacidad de cómputo para procesar datos con un costo menor del que es posible con otros métodos, al mismo tiempo que se aumenta la exactitud y los niveles de desempeño.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

5. Competitividad

- ◆ Modificar los servicios proporcionados y la relación con los clientes de forma tal que ellos se sientan satisfechos por el servicio que se les brinda.

4.9.2. Beneficios de un SIG para la Dirección de Obras

Beneficios Económicos

1. Reducción de costos administrativos, materiales, equipo y mano de obra.

Según informes financieros, la Dirección de Obras tuvo egresos en el año 2002, por mano de obra, de Doscientos Cuatro mil Trescientos Cincuenta Quetzales (Q 204,350.00), de los cuales Ciento Cuarenta y Tres mil Cuarenta y Cinco Quetzales (Q 143,045.00) fueron destinados para hacer trabajos por falta de información de la red de alcantarillado en los registros de EMPAGUA. Esta última cantidad representa sesenta por ciento (60%) del monto total de egresos por mano de obra. Este egreso se reduciría en un noventa y cinco por ciento (95%) con la implementación de un SIG.

Además, el egreso por materiales fue de Trescientos Veintinueve mil Doscientos Cuarenta y Siete con 50/100 Quetzales (Q 329,247.50), de los cuales Cuarenta y Nueve mil Trescientos Ochenta y Siete con 13/100 Quetzales (Q 49,387.13) fueron destinados para materiales empleados en los trabajos originados por falta de información de la red de alcantarillado en los registros de EMPAGUA. Este egreso también se reduciría en 98% con la implementación de un SIG.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

Egresos de la Dirección de Obras

Descripción	Neto	Por Falta de Información
Mano de Obra*	Q 204,350.00	Q 143,045.00
Materiales	Q 329,247.50	Q 49,387.13
TOTAL de Egresos	Q 533,597.50	Q 192,432.13

Cuadro 4.5: Egresos de mano de obra y materiales neto y por falta de información en la Dirección de Obras durante el año 2002.

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

2. Aumento en los ingresos

Según informes financieros de la Dirección de Obras, ésta tuvo ingresos en el año 2002 por cobro de servicios prestados a sus usuarios de Un millón Doscientos Quince mil Novecientos Setenta y Uno con 35/100 Quetzales (Q 1,215,971.35), las cuentas por cobrar sumaban Un millón Seiscientos Setenta mil Ocho con 56/100 Quetzales (Q 1,660,008.56). 99% de las cuentas por cobrar son por falta de información para el cobro de usuarios. Estas cuentas por cobrar, con un SIG se pueden reducir a 1% anual, que son cuentas por cobrar de usuarios morosos o con financiamiento, además se puede recuperar con una actualización de la información actual un porcentaje de las cuentas por cobrar actuales. Según los informes financieros, estos datos representan únicamente al cuarenta por ciento (40%) de los usuarios que en realidad tiene EMPAGUA, por lo que haciendo una proyección para el cien por ciento (100%) de los usuarios, el monto de las cuentas por cobrar sería de Cuatro millones Ciento Setenta y Cinco mil Veintiuno con 40/100 Quetzales (Q 4,175,021.40). La recuperación de un alto porcentaje de las cuentas por cobrar se puede lograr con la actualización de la información de los usuarios dentro del proceso de implementación de un SIG.

O
b
t

Ingresos de la Dirección de Obras

	Pagado	Cuentas por Cobrar	Proyección
Servicio de Alcantarillado y Drenajes	Q1,215,971.35	Q1,670,008.56	Q4,175,021.40
TOTAL Ingresos	Q1,215,971.35	Q1,670,008.56	Q4,175,021.40

or la Dirección de Obras durante el año 2002, Cuentas por Cobrar y proyección de 100% de datos recopilados

Aplicación del SIG a la Red de Alcantarillado de la Ciudad de Guatemala

Beneficios Funcionales

3. Oportunidad para mejorar y modernizar los activos, servicios e infraestructura que actualmente tiene EMPAGUA.
4. Localización exacta de usuarios, con información exacta sobre ellos y el tipo de servicio que ellos reciben, esto para conocer la red, a quiénes se sirve y a cuántos se beneficia. Además, es importante para que los cobros sean efectivos y no ocurra que muchos usuarios desaparecen y ya no se pueda cobrar el servicio, así como inconformidades por parte del usuario respecto del cobro.
5. Capacitación para el personal de la empresa, esto representa para los empleados una mejora en su calificación, así como abre las posibilidades de mejoras laborales, tanto económicas como en la estructura organizacional.
6. Localización exacta de la infraestructura.
7. Administración eficiente de la red.
8. Modificaciones más eficientes.
9. Aumento de la capacidad de atención al cliente.
10. Integración de la información.
11. Información en un formato durable. En formatos digitales que permite conservar por más tiempo del que lo hacen actualmente los planos y documentos que contienen toda la información sobre el sistema de alcantarillado.
12. Aumenta la productividad de los empleados al incrementar la velocidad en la obtención, al dar precisión y aumentar la cantidad de información que se puede manipular.
13. Agilizar el diseño y presupuesto de nuevos proyectos.
14. Conocimiento amplio de la red, que a su vez permite extenderse y manejar los caudales.
15. Medir los beneficios para un período considerable, que sirva para decidir la automatización de otras unidades.
16. Manipulación y utilización de información recopilada por estudios e investigaciones anteriores, de los cuales aún no se tiene el retorno de la inversión, ejemplo: (Gran Colector del Oriente Zonas 1 y 5).
17. Administración de nuevos sistemas (Sistemas Hidráulicos).

Conclusiones

- A. La implementación del proyecto permitirá actualizar los mapas si estos no hubieran sido ya actualizados, ya que gran parte de la red de alcantarillado no aparece en mapas con información íntegra
- B. El Sistema de Información Geográfica logrará que el usuario pueda tener un interfaz de fácil manejo, y podrá realizar diferentes mapas temáticos a partir de la información con que cuenta en la base de datos
- C. El Sistema de Información Geográfica será de beneficio de las siguientes maneras:
1. Aumentará la capacidad de análisis para tomar decisiones de una manera ágil.
 2. La información se analizará con mayor rapidez en forma gráfica (mapas) comparado con el proceso actual mediante las impresiones de varias hojas de reportes con números y letras, ya que se visualiza directamente en sus puntos de ocurrencia
 3. El sistema permitirá una visualización de toda la red por parte de los encargados de la planificación y desde la oficina, sin tener que desplazarse al campo y tomar decisiones acertadas por medio del sistema de gestión de los trabajos de mantenimiento que deben ejecutarse en la red de alcantarillado
 4. Reducirá 95% los egresos por mano de obra.
 5. Reducirá 95% los egresos por materiales.
 6. Se lograra hacer el cobro de 99% de los usuarios.
 7. Las cuentas por cobrar se reducirán a 1% y se recuperará un porcentaje alto de las cuentas por cobrar actuales.
- D. La utilización del RDBMS (Sistema Administrador de Bases de Datos Relacionales) como sistema administrador de la base de datos permitirá:
- ◆ Reducir los tiempos de respuesta relacionados con el ingreso, consulta y actualización de la información alfanumérica,
 - ◆ Mantener la integridad referencial de los datos,
 - ◆ Controlar de manera eficiente el acceso de los usuarios,
 - ◆ Mejor adaptación al SIG por ser una herramienta ya implementada en el sistema de información municipal.

Recomendaciones

- ◆ Utilización de “*Hand Helds*” para los trabajadores de campo (topógrafos, supervisores, encargados de obra, etc.)
- ◆ Gestionar la adquisición de la base de datos del Departamento de Catastro, para acceder a datos confiables sobre los lotes y los usuarios.
- ◆ Capacitación del personal (Seleccionado) en el uso de computadoras y equipo topográfico.
- ◆ Es necesario hacer el estudio del sistema periódicamente, por lo menos cada año y medio, para atender los cambios que éste necesita, de acuerdo a las necesidades de la empresa.
- ◆ Manejar claves de seguridad y restricciones para el acceso a la información.
- ◆ Realizar copias de seguridad de la información por mes, semana y día.
- ◆ Utilizar las mismas PC que se tienen actualmente, para mejorar ciertos componentes de hardware.
- ◆ Uso del sistema de forma exclusiva en la Dirección de Obras para evitar el mal manejo de la información, ya que incluye información importante de EMPAGUA como de sus usuarios.

Anexos

♦ Organigrama EMPAGUA



Anexo 1: Organigrama Empagua

◆ Cronograma de Actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

PROYECTO: IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

MESES

No.	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Investigación Preliminar	■	■						
2	Compra y Entrenamiento para uso de Equipo		■	■	■				
3	Determinar requerimientos	■	■	■					
4	Implementación de mapas digitalizados	■	■	■					
5	Análisis de datos actuales	■	■	■					
6	Análisis de Base de Datos		■	■	■				
7	Diseño de Base de Datos		■	■	■				
8	Implementación de BD			■	■	■			
9	Levantamiento de Datos de campo			■	■	■	■	■	■
10	Ingreso de datos de campo			■	■	■	■	■	■
11	Diseño del Sistema	■	■	■	■				
12	Desarrollo del sistema			■	■	■	■		
13	Implementación de la interfase de usuario				■	■			
14	Pruebas del Sistema con 1 zona completa				■	■	■		
15	Entrega de 1 zona completa a las autoridades de Empagua					■			
16	Pruebas del Sistema						■	■	■
17	Capacitación sobre el Sistema								■
18	Entrega del Sistema								■
		\$ 30,802.50	\$ 5,378.18	\$ 5,378.18	\$ 5,378.18	\$ 5,378.18	\$ 5,378.18	\$ 5,378.18	\$ 5,378.18

Anexo 2: Cronograma de Actividades

Referencia Bibliográfica

1. Ernesto García Hernández, Francisco J. Escobar, Joaquín Bosque Sendra, María J. Salado
Sistemas de Información Geográfica
Prácticas con PC arc/info. e IDRISI
ADDISON-WESLEY Iberoamericana
1994.
2. Rodrigo Varela
Innovación Empresarial
(Arte y Ciencia en la Creación de Empresas)
Segunda Edición
Prentice Hall
2001
3. The Armco International Corporation
Manual de Drenajes y Productos de Construcción
Middletown, Ohio, U.S.A.
1958
4. W.A. Hardenbergh y Edward B. Rodie
Ingeniería Sanitaria
Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V., México
Octava impresión
Enero de 1984