



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO,
DEL CONJUNTO DE EDIFICIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

Juan Miguel Indekeu Rivas

Asesorado por el Ing. Luis Fernández Santos

Guatemala, abril de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO,
DEL CONJUNTO DE EDIFICIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

JUAN MIGUEL INDEKEU RIVAS
ASESORADO POR EL ING. LUIS FERNÁNDEZ SANTOS

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS**

GUATEMALA, ABRIL DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADORA	Inga. Virginia Victoria Tala Ayerdi
EXAMINADOR	Ing. Luis Alberto Vettorazzi España
EXAMINADOR	Ing. Edgar Estuardo Santos Sutuj
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO, DEL CONJUNTO DE EDIFICIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ciencias y Sistemas, el 16 de Febrero de 2004.

Juan Miguel Indekeu Rivas

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me da la vida, entendimiento y sabiduría para alcanzar las metas propuestas y que me acompaña en todo momento.

A mis padres, hermanas y hermano por su amor, apoyo y comprensión incondicional durante toda mi vida.

A mi abuela Hortensia Rivas Guadrón por sus consejos, regaños y cariño.

A mi familia que vive en El Salvador, Estados Unidos y Bélgica, gracias por sus consejos y palabras de aliento a través de la distancia.

A Candy por ser fuente de inspiración, por apoyarme en los proyectos que emprendo y por su cariño.

A mis amigos y amigas, por escucharme siempre, por todas las experiencias compartidas, convivencias y proyectos.

A Luis Fernández por la paciencia y apoyo en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS por ser un padre amoroso, a ti todo el honor y toda la gloria.

A MI PADRE JUAN SANTIAGO INDEKEU (QEPD) Y MI MADRE MARIA IRENE RIVAS DE INDEKEU, por ser ejemplo de servicio y amor al prójimo, por ser ejemplo de excelencia y dedicación, por mostrarme el camino a Dios y enseñarme los valores que me han formado y señalado el camino para comprender que no hay obstáculo grande que no podamos superar.

A MI MADRINA MARTA REYES, que la quiero como a mi segunda madre, por apoyarme siempre, por cuidar de mi y por su cariño.

A MIS HERMANAS VALERIA Y MARGARITA, MI HERMANO CARLITOS, por su comprensión y apoyo, para que sigamos adelante con nuestras metas y sueños.

A las amigas y amigos de mis padres a quienes cariñosamente llamo TÍOS Y TÍAS, quienes siempre me han brindado su apoyo y cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO	1
1.1 ¿Qué es el Sistema de Información Geográfico –SIG-?	1
1.2 ¿Cómo funciona un Sistema de Información Geográfico?	2
1.3 Tipos de datos y modelos en un Sistema de Información Geográfico	2
1.3.1 Modelos vectoriales	2
1.3.2 Modelos <i>Raster</i>	3
1.3.2.1 Tipos de datos <i>Raster</i>	4
1.3.3 Superficies y modelos de elevación	5
1.3.3.1 Modelo de Elevación Digital -DEM-	5
1.3.3.2 Modelo Red de Triángulos Irregulares TIN	6
1.3.4 Comparación de las representaciones espaciales	7
1.4 Fuentes de datos de un Sistema de Información Geográfico	8
1.4.1 Fotografía aérea	8
1.4.1.1 Fotografía aérea oblicua	8
1.4.1.2 Fotografía aérea vertical	9
1.4.2 Fotografía termográfica	9
1.4.3 Ortofotografía	10
1.4.4 Imágenes satelitales	10

1.4.5	Mapas	11
1.4.5.1	Mapas temáticos	11
1.4.6	Sistemas de Posicionamiento Global –GPS-	11
1.5	Partes de un Sistema de Información Geográfico	12
1.5.1	<i>Hardware</i>	12
1.5.2	<i>Software</i>	13
1.5.3	Datos Geográficos	14
1.5.4	Métodos	14
1.5.5	Usuarios de los Sistemas de Información Geográfico	15
1.6	¿Por qué usar un Sistema de Información Geográfico?	16
1.6.1	Facilita y mejora la toma de decisiones	16
1.6.2	Elaboración de mapas	17
1.7	¿Qué puedo hacer con un Sistema de Información Geográfico?	17
1.7.1	Mapeo de cantidades	17
1.7.2	Mapeo de densidades	18
1.8	Análisis y manipulación de datos en SIG	18
1.8.1	Funciones de consulta	18
1.8.2	Operaciones de reclasificación y generalización	19
1.8.3	Funciones de medida	19
1.9	Aplicaciones	20
2	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL –GPS-	23
2.1	¿Qué es el Sistema de Posicionamiento Global –GPS-?	23
2.2	Principios básicos del funcionamiento de GPS	23
2.2.1	La triangulación desde los satélites	24
2.2.2	Medición de las distancias a los satélites	26
2.2.3	Medición del tiempo	28
2.2.4	Posición de los satélites en el espacio	31
2.2.5	Corrección de errores	32
2.3	GPS Diferencial –DGPS-	33
2.3.1	Resumen de las fuentes de error del GPS	35

2.4 Tipos de receptores GPS	35
2.5 ¿Para qué es usado un GPS?	36
2.5.1 Aplicaciones de los recursos naturales	36
2.5.2 Aplicaciones urbanas	37
2.5.3 Aplicaciones agrícolas	38
2.5.4 Aplicaciones en las ciencias sociales	38
2.5.5 Sistemas AVL	39
2.5.6 Otras aplicaciones	39
2.5.7 Georeferenciación	39
3 CASO PRÁCTICO	41
3.1 Análisis y requerimientos del sistema	41
3.1.1 Recursos de entorno	42
3.1.1.1 <i>Hardware</i>	42
3.1.1.1.1 GPS	43
3.1.1.1.2 Colector de datos	44
3.1.1.1.3 Computadora de escritorio	45
3.1.1.2 <i>Software</i>	45
3.1.1.2.1 TerraSync	45
3.1.1.2.2 GPS PathFinder Office	46
3.1.1.2.3 ArcGIS Desktop	46
3.1.1.2.4 ArcGIS Publisher	47
3.2 Diseño de los datos	48
3.2.1 <i>Shapefiles</i>	48
3.3 Construcción del Sistema de Información Geográfico	50
3.3.1 Recopilación de mapas y planos	50
3.3.2 Captura de datos usando GPS	50
3.3.2.1 Inicio del <i>software</i> del colector de datos	51
3.3.2.2 Obtención de una vista clara al cielo	51
3.3.2.3 Comprobación del estado del GPS	52
3.3.2.4 Establecimiento de coordenadas	52

3.3.2.5	Creación de archivo para almacenar datos	53
3.4	Procesamiento de datos	54
3.4.1	Transferencia de los datos del colector a una computadora	54
3.4.2	Corrección de datos	55
3.4.3	Exportación de datos y digitalización	58
3.4.4	Georeferenciación del edificio T-3	60
3.5	Publicación y presentación de los datos	61
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA	67
	APÉNDICE	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Representación de la información en un SIG	1
2	Tipos de datos vectoriales	3
3	Representación de datos tipo <i>raster</i> y vector	5
4	Representación de un TIN	7
5	Imagen satelital del campus de la Universidad de San Carlos	10
6	Partes de un SIG	12
7	Medición de la distancia con un satélite	24
8	Medición de la distancia con dos satélites	25
9	Medición de la distancia con tres satélites	25
10	Medición de la distancia con cuatro satélites	26
11	Generación de código	27
12	Medición de una distancia con un reloj sincronizado	28
13	Medición de una distancia con un reloj mal sincronizado	29
14	Medición de una distancia con tres satélites con reloj sincronizado	30
15	Medición de una distancia con tres satélites con reloj mal sincronizado	30
16	Multireflexión	33
17	Componentes de un DGPS	34
18	GPS PathFinder Pocket	44
19	Colector de datos TSCe	44
20	Representación de datos vectoriales en coordenadas	48
21	Representación de un <i>Shapefile</i>	49
22	Visualización del estado de los satélites	52

23	Creación de un archivo para almacenar datos del receptor GPS	53
24	Vista de elementos capturados por GPS	54
25	Transferencia de archivos usando GPS PathFinder Office	55
26	Diálogo de corrección diferencial	56
27	Búsqueda de archivo base para corrección diferencial de datos	57
28	Confirmación de posición de archivos base	57
29	Proceso de corrección diferencial de datos	58
30	Digitalización del campus de la Universidad de San Carlos	59
31	Digitalización del 1er. nivel del edificio T-3 de la Facultad de Ingeniería	59
32	Georeferenciación del edificio T-3	60
33	Mapa del conjunto de edificio de la Facultad de Ingeniería	61
34	Mapa digitalizado del campus de la Universidad de San Carlos	69
35	Datos de campo	70

TABLAS

I	Comparación de las representaciones espaciales	7
II	Aplicaciones del Sistema de Información Geográfico	20
III	Errores típicos en metros (por cada satélite)	35
IV	Tipos de receptores GPS	36

GLOSARIO

- Atributos** En contexto de Sistemas de Información Geográfica, atributos se refiere a aquellos datos alfanuméricos pertenecientes y conectados a un determinado objeto geográfico, que generalmente se almacenan en forma de tablas. La conexión de estas tablas alfanuméricas con los objetos geográficos, suele ser a través de un campo común con forma de identificador.
- Cartografía** Ciencia que se encarga de la confección de mapas.
- Coordenadas** Sistema de representación para la ubicación de puntos con precisión en la superficie de la tierra. Cada sistema cartográfico de proyección conlleva su propia manera de concebir las coordenadas.
- SIG** (SIG o GIS por sus siglas en inglés *Geographic Information System*); Sistema de Información Geográfica –SIG-. Conjunto de tecnología (software y hardware), datos y personal especializado encargados de la captura, almacenamiento y análisis de información espacialmente referenciada.
- GPS** (por sus siglas en inglés *Global Positioning System*); Sistema de Posicionamiento Global. Sistema que permite a un usuario dotado del correspondiente receptor, conocer su ubicación espacial con precisión en cualquier parte del globo, y en tiempo real. Utiliza un sistema de satélites para calcular la posición.

Capa	En SIG, el término hace referencia a capa temática de datos vectorial o <i>raster</i> .
DEM	Modelo Digital de Elevaciones (DEM). Conjunto de datos geográficos tridimensionales que representan una superficie tridimensional compleja (generalmente la forma de la superficie terrestre en una zona concreta). El término se aplica sobre todo a conjunto de datos en los cuales cada celda se corresponde con una elevación z. A efectos prácticos es sinónimo de MDT (Modelo Digital del Terreno) o DTM (<i>Digital Terrain Model</i>).
Raster	Modelo de datos geográfico que representa la información a través de una malla regular de tipo mosaico, donde cada celda (<i>píxel</i>) es la unidad mínima de información que lleva asociado un valor.
TIN.	Estructura vectorial usada para construir modelos digitales del terreno. Son las siglas de <i>triangulated irregular network</i> ; se trata de una estructura de datos que representa el relieve mediante una red irregular de triángulos adosada al terreno, sin solapamientos y donde cada vértice se define por sus coordenadas espaciales (x,y,z).
Vector	Entidad geométrica definida por una magnitud y un sentido. Un vector está formado por una relación de puntos ordenados; el orden define el sentido del vector, la distancia entre el origen y el final su magnitud; si la magnitud es nula, el vector se reduce a un punto y el sentido queda indefinido.

RESUMEN

El ser humano siempre ha tenido la necesidad de comunicar y expresar sus ideas, de resolver problemas y encontrar soluciones a las diferentes necesidades que se presentan a diario. Muchos de estos problemas involucran elementos geográficos, que pueden encontrar su solución haciendo uso de los sistemas de información geográfico e integrando al mismo tiempo sistemas de posicionamiento global –GPS-.

Actualmente, un sistema de información geográfico está compuesto por *hardware*, *software*, datos, métodos y personas. La interacción de estos elementos hace que podamos modelar nuestra realidad para poder encontrar nuevas soluciones a problemas ya conocidos, como son la administración de la tierra, el manejo de zonas de alto riesgo a desastres naturales, problemas de logística, rastreo de vehículos, etc.

Un sistema de información geográfico permite analizar, visualizar y presentar el mundo en el que vivimos de una manera gráfica, por medio de la utilización de mapas ya sean impresos o digitales, haciendo de ésta una herramienta para tomar mejores decisiones. Un mapa está formado por diferentes capas de información geográfica como son las calles y avenidas de una ciudad, sus edificios, el sistema de drenajes, etc. El conjunto de todas estas capas representa y modelan el mundo en que vivimos.

Por éstas y muchas razones más, surge la necesidad de presentar qué son los sistemas de información geográfico (capítulo 1), qué son los sistemas de posicionamiento global (capítulo 2) y cómo la integración de ambos sistemas pueden ayudarnos a modelar la realidad de la Facultad de Ingeniería de la

Universidad de San Carlos a través de la creación de diferentes capas de información geográfico de los espacios físicos existentes.

OBJETIVOS

General

- Implementar un sistema de información geográfico que pueda presentar al conjunto de edificios de la Facultad de Ingeniería, referenciados geográficamente y que pueda mostrar gráficamente los espacios físicos de cada uno de estos edificios, y asociar a ellos información descriptiva.

Específicos

1. Dar a conocer qué es un sistema de información geográfico –SIG-, cómo funciona, cuáles son los componentes que lo forman y qué beneficios y aplicaciones podemos obtener al hacer uso de estos sistemas.
2. Presentar qué es el sistema de posicionamiento global –GPS-, cuáles son sus principios básicos de funcionamiento y sus aplicaciones.
3. Presentar un caso práctico donde se expongan los pasos a seguir para la implementación de un sistema de información geográfico que muestre al conjunto de edificios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, referenciados geográficamente y que presente información de la distribución de espacios físicos de cada edificio.

INTRODUCCIÓN

A diario nos encontramos en un mundo que cada vez es más pequeño, con relación al aumento de la población que lo habita. Los problemas de tránsito vehicular cada día son mayores, los recursos vitales como el agua van disminuyendo por la mala administración de los recursos naturales, y los espacios físicos cada vez son más reducidos. Éstas y otras dificultades que involucran elementos espaciales, pueden encontrar una solución haciendo uso de los sistemas de información geográfica.

Un sistema de información geográfica es una herramienta de análisis que nos permite capturar, almacenar, procesar y visualizar elementos espaciales que cuentan con una referencia geográfica. Con esta herramienta podemos ubicar nacimientos de agua, administrar de mejor manera cualquier espacio físico que cuente con una referencia geográfica, monitorear dónde se encuentra cualquier vehículo, etc.

Actualmente, mucha de la información tratada por empresas e instituciones oficiales, tiene relación con localizaciones geográficas o coordenadas espaciales. Las decisiones que toman estos organismos dependen en gran medida de la calidad, exactitud y actualidad de la información que a menudo es presentada en forma de mapas.

Como todos los elementos espaciales poseen una ubicación única, actualmente se hace uso de los sistemas de posicionamiento global -GPS- para darles una referencia geográfica de la forma más precisa y exacta. El GPS consta de un conjunto de satélites que orbitan la tierra y de receptores que capturan las señales emitidas por estos satélites.

En el presente trabajo se explica cómo funciona el GPS y las aplicaciones más comunes que se obtienen al hacer uso de este sistema.

La correcta implementación de sistemas de información geográfica, integrando sistemas de posicionamiento global, puede brindar nuevas soluciones a los problemas reales que se encuentran todos los días. En este estudio se explicará, con un caso práctico, los procedimientos que deben llevarse a cabo para poder implementar un sistema de información geográfico.

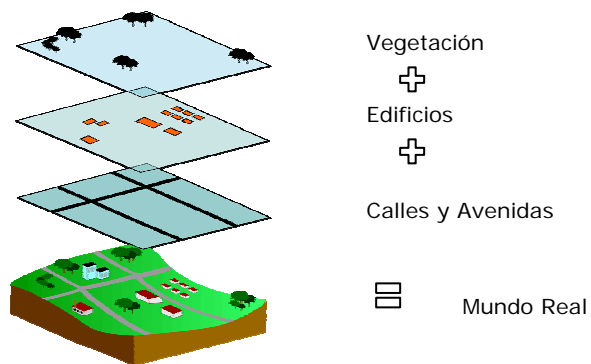
1 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

1.1 ¿Qué es el Sistema de Información Geográfico –SIG-?

SIG se define como un conjunto de *hardware*, *software*, datos geográficos, personas y procedimientos; organizados para capturar, almacenar, actualizar, manejar, analizar y presentar eficientemente elementos espaciales referenciados geográficamente.

Un SIG almacena los elementos espaciales en capas temáticas, cada una de estas representa un tipo distinto de información geográfica, por ejemplo las calles y avenidas de una ciudad, las zonas con mayor densidad de población, los tipos de suelo de un terreno, etc. Todas estas capas de información superpuestas modelan el mundo real en que vivimos. La calidad y el contenido de información que podamos obtener de un sistema de información geográfico dependerán de la mayor cantidad de información y detalle que podamos trasladar al SIG.

Figura 1. Representación de la información en un SIG



1.2 ¿Cómo funciona un Sistema de Información Geográfico?

Un SIG almacena información sobre el mundo como una colección de capas o niveles temáticos que pueden relacionarse geográficamente. Cada capa es un mapa temático completo que contiene elementos espaciales y atributos. Cada capa se puede visualizar en primera instancia como un acetato, que permite ver tanto la información geográfica contenida en él, como la información de otros a los que subyace.

La información geográfica puede contener una referencia geográfica explícita tal como latitud y longitud o una coordenada X,Y; o una referencia implícita tal como domicilio, código postal, etc. Estas referencias geográficas permiten localizar elementos espaciales tales como la ubicación geográfica de un cliente y eventos como un terremoto en la superficie de la tierra.

1.3 Tipos de datos y modelos en un Sistema de Información Geográfico

Los dos principales modelos con que se representan los elementos espaciales son los modelos vectoriales y *raster*. Sobre el modelo vectorial tenemos tres formas de representar datos espaciales: puntos, líneas y polígonos; y sobre el modelo *raster* podemos representar los datos geográficos por medio de una matriz de celdas.

1.3.1 Modelos vectoriales

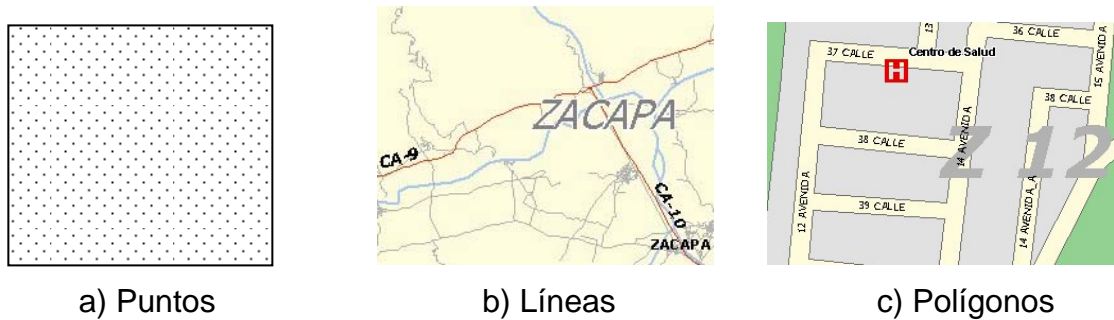
La principal característica del modelo vectorial es el almacenamiento de coordenadas en dos o tres dimensiones usando un formato de números decimales de alta precisión. Se utiliza para representar elementos discretos a partir de puntos, líneas y polígonos.

Punto: El más básico, corresponde a un solo grupo de coordenadas que describe una posición única en el espacio, por ejemplo ubicación de un poste de luz, hidrantes, semáforos, árboles, antenas para telecomunicaciones, etc.

Líneas: Se representan con las coordenadas de los puntos inicial, vértices intermedios y el punto final que describen un segmento de línea, por ejemplo una calle, una carretera, un río, etc.

Polígonos: Un polígono está definido por un conjunto de puntos continuos que describen su forma. Como un polígono debe estar cerrado, el primer punto tiene que repetirse al final de la secuencia de puntos, con este podemos representar parcelas, edificios, áreas de siembra, unidades de suelo, etc.

Figura 2. Tipos de datos vectoriales



1.3.2 Modelos *Raster*

El modelo *raster* representa los datos de tipo gráficos por medio de una matriz de celdas de igual tamaño, de forma que cada celda contiene un valor; por ejemplo una altura representada por un color. El tamaño de las celdas que

conforman la malla en ambas direcciones define la resolución, siendo mejor entre más pequeñas sean las celdas.

Los datos en formato *raster* son muy simples y su consumo de memoria es proporcional al tamaño de la matriz y no a la diversidad y distribución de los datos dentro de ella, lo que los hace adecuados para representar características que varían suavemente en el espacio, como la representación de temperaturas, precipitación, presión, etc. Por otro lado, no son aptos para la manipulación pues pierden definición con las rotaciones o cambios de escala.

1.3.2.1 Tipos de datos *Raster*

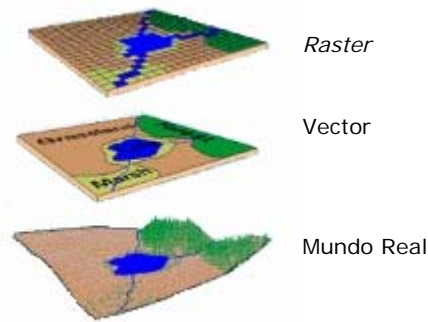
Un *raster* puede contener uno de tres tipos de información: datos temáticos, datos espectrales, o imágenes.

Datos temáticos en un *Raster*: Un *raster* puede representar un fenómeno en particular, como un incendio, concentraciones químicas, o elevaciones. Estas son almacenadas como un *raster* simple y a menudo tiene asociada una tabla con atributos.

Datos espectrales en un *Raster*: El uso mas común de un *raster* es en la representación de imágenes de la tierra adquirido por sensores remotos. Cámaras especiales pueden capturar la radiación electromagnética en muchas partes del espectro, tanto visibles como también infrarrojo o UV.

Imágenes en un *Raster*: Un *raster* puede contener imágenes como mapas escaneados, fotografías aéreas, fotos de satélite etc.

Figura 3. Representación de datos tipo *raster* y vector.



1.3.3 Superficies y modelos de elevación

Los modelos en tres dimensiones se emplean para describir una superficie en el espacio, donde los puntos que la conforman no solo poseen una localización sobre el plano horizontal sino también una altura respecto al mismo. Son muy utilizados cuando el relieve de una región es de importancia en el estudio que se realiza, como ocurre en estudios topográficos o hidrológicos, incluyendo la determinación de zonas con mayor riesgo de inundación, delimitación y comportamiento de una cuenca, etc. También se pueden utilizar como una manera de representar otros valores que varían espacialmente; en este caso, las alturas de los puntos no corresponden al relieve de la zona, sino a la magnitud de cualquier fenómeno. Los modelos principales son el DEM y el TIN.

1.3.3.1 Modelo de Elevación Digital -DEM-

En el Modelo Digital de Elevación o DEM (Digital Elevation Model) la superficie es representada utilizando la elevación de un número finito de puntos

que incluyen rasgos de importancia tales como valles, lomas, picos, hoyos, etc. Los DEM están normalmente organizados en forma de matriz con espaciamientos regulares entre puntos en las direcciones horizontales, si bien esto facilita la manipulación de los datos, instauran una resolución espacial fija, no adaptable a los cambios en la rugosidad del terreno.

1.3.3.2 Modelo Red de Triángulos Irregulares -TIN-

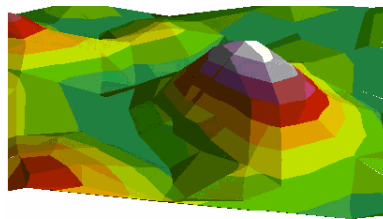
Con la Red de Triángulos Irregulares (Triangulated Irregular Network), también se emplea un número finito de puntos para caracterizar toda la superficie, pero con una distancia entre puntos variable. Cada trío de puntos contiguos define una superficie triangular plana entre ellos. La no regularidad en la distancia entre puntos permite prestar especial atención a las zonas muy irregulares, donde se concentraran la mayor parte de los puntos y usar a la vez unos pocos en las zonas del relieve suave. La desventaja del modelo TIN es la mayor complejidad que implica en los algoritmos de manipulación asociados, respecto a los requeridos para el modelo DEM.

Un TIN se compone de una serie de puntos con valores x,y,z conocidos y un conjunto de arcos que los unen para formar triángulos. En general la mayor parte del *software* de SIG disponible en el mercado utiliza la triangulación de Delaunay que une los puntos más cercanos, confiriéndole a la malla generada las siguientes características:

- Se producen triángulos casi equiláteros, reduciendo así los problemas potenciales de precisión numérica,

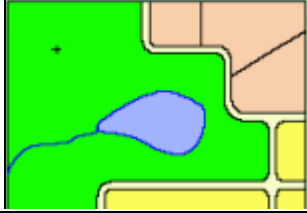
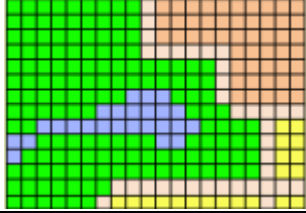
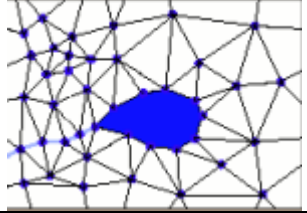
- Mejor calidad de interpolación, al asegurar que cualquier punto sobre la superficie deriva su valor z de los puntos muestreados mas cercanos,
- Independiza el proceso de triangulación del orden en que se introducen los datos.

Figura 4. Representación de un TIN.



1.3.4 Comparación de las representaciones espaciales

Tabla I. Comparación de las representaciones espaciales

	Representación de Datos Vector	Representación de Datos Raster	Representación de Datos triangulados TIN
			
Enfocado al Modelo	Los datos vectoriales están enfocados en modelar características discretas con formas precisas.	Los datos <i>raster</i> están enfocados en modelar fenómenos continuos e imágenes de la tierra	TIN están enfocados en la eficiente representación de superficies que pueden mostrar elevaciones, etc.
Fuentes de Datos	Fotografías aéreas, datos colectados por GPS, digitalización de mapas, vectorizados de datos <i>raster</i> , importado por dibujos CAD	Fotografías aéreas, imágenes satelitales, rasterizado de datos vector, fotografías.	Compilados de fotografías aéreas, datos recibidos de GPS, puntos importados con elevaciones.
Almacenamiento espacial	Coordenas x,y para puntos, líneas y polígonos	Celdas de igual tamaño ordenadas en filas y columnas	Cara triangular.
Representación de Características	Puntos – Líneas - Polígonos - áreas	Puntos – celda Líneas – conjunto de celdas adyacentes Polígonos Representados por una región con valores comunes.	Valores z de puntos determinan la forma de la superficie, polígonos.

Asociaciones Topológicas	Líneas – conectividad con nodos Polígonos – líneas izq y der.	Las celdas vecinas pueden ser detectadas rápidamente incrementando o disminuyendo valores en columnas y filas	Triángulo asociado a triángulos vecinos
Análisis geográfico	consultas lógicas y espaciales, direcciones georeferenciadas, análisis de redes	Coincidencia espacial, proximidad, análisis de superficie, dispersión, ruta mas corta.	Elevación, pendientes, curvas de nivel, volumen, perfiles, puntos de vista y perspectiva 3D

Fuente: Zeiller Michael. **Modeling Our World** Pág. 58

1.4 Fuente de datos de un Sistema de Información Geográfico

Los datos son recolectados por diferentes medios que posteriormente se almacenan en una base de datos geográfica. Entre las fuentes de datos más comunes se encuentran: fotografía aérea, imágenes satelitales, mapas impresos y digitales, Sistema de Posicionamiento Global, catastros, etc.

1.4.1 Fotografía aérea

Las fotografías aéreas tienen su principal aplicación en la actualización de información geográfica y la visualización de detalles del terreno que no son vistos desde el suelo. Los tipos de fotografía aéreas que más se utilizan son:

- Fotografía con enfoque oblicuo,
- Fotografía con enfoque vertical,
- Fotografía termográfica.

1.4.1.1 Fotografía aérea oblicua

La fotografía aérea con enfoque oblicuo se utiliza para darnos una idea precisa de lo que allí se encuentra y establece una relación espacial entre los elementos allí presentes. Por consiguiente la fotografía oblicua es el recurso ideal para la ilustración de un territorio y para la planificación y progreso de trabajos, las cámaras utilizadas son de formato medio, aproximadamente 3

veces mayor a los formatos de 35mm, lo que permite una calidad sobresaliente, las imágenes obtenidas pueden archivarse en cualquiera de los formatos disponibles en la actualidad.

1.4.1.2 Fotografía aérea vertical

La fotografía aérea vertical es ideal para la confección de planos y mapas así como levantamientos topográficos del terreno, el equipo utilizado es similar al caso anterior aunque los formatos suelen ser de tipo medio o grande, lo que permite una mayor gama de ampliaciones manteniendo una magnífica calidad.

1.4.2 Fotografía termográfica

La fotografía termográfica se utiliza en investigaciones científicas sobre evoluciones del terreno, contenidos químicos, enfermedades de fauna, contaminación medioambiental etc. Además, la imagen infrarroja, capaz de detectar diferencias de hasta 0.5°C entre un objeto y los que le rodean permite la localización de elementos invisibles para la fotografía normal como podrían presentar las fugas en tuberías enterradas. La última aplicación de esta técnica está en la evaluación de los aislantes utilizados en la construcción de viviendas presentando las diferencias entre las pérdidas de calor previstas y las reales.

El equipo fotográfico ha de ser específico y se define como scanner de infrarrojos, algunos de los cuales disponen de una excepcional sensibilidad que puede llegar a detectar diferencias de 0.2°C con una resolución espacial de 0.8 m.

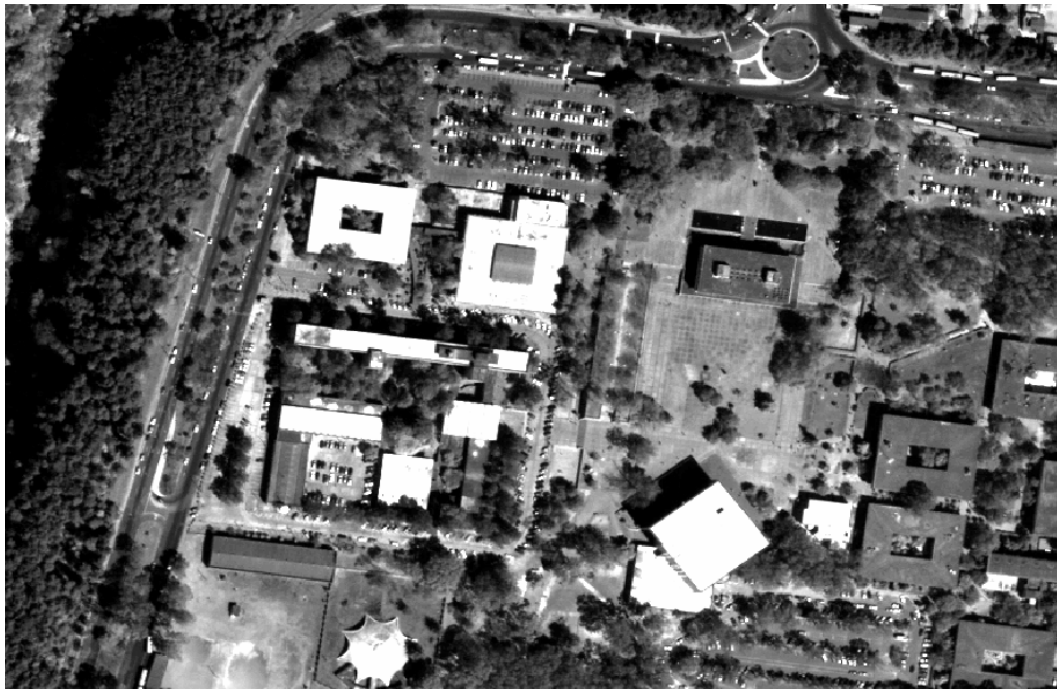
1.4.3 Ortofotografía

La Ortofotografía es una técnica fotográfica que permite la creación de fotografías georeferenciadas y orto rectificadas para la producción de mapas de gran precisión y de composición continua. La ortofotografía corrige la variación de la escala en la fotografía y la deformación por el relieve del terreno.

1.4.4 Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales proporcionan imágenes de la atmósfera como de la superficie de la tierra. Estas imágenes nos proporcionan información en formato *raster* y nos permiten obtener una mayor cantidad de datos de lo que hace una fotografía aérea, ya que incluye los espectros infrarrojo y UV.

Figura 5. Imagen satelital del campus de la Universidad de San Carlos



Fuente: GEOSISTEC/Digital Globe

1.4.5 Mapas

Un mapa o plano son representaciones gráficas en dos dimensiones de nuestra realidad. Como es imposible tener todos los elementos de nuestra realidad en un solo mapa, se elaboran mapas con un determinado fin, así los hay de carreteras, físicos, políticos, turísticos, topográficos, de localización, etc.

1.4.5.1 Mapas temáticos

Un mapa temático representa elementos geográficos clasificados que poseen una relación única. Ejemplos son el uso del suelo y la aptitud agrícola de una región. Estos datos, obtenidos a partir del levantamiento de campo, son insertados en el sistema por digitalización o de una forma más automatizada, a partir de la clasificación de imágenes.

Un mapa temático también puede ser almacenado en formato matricial (*raster*). En este caso, el área correspondiente al mapa es dividida en celdas de tamaño fijo. Cada celda tendrá un valor correspondiente al tema más frecuente en esa localización espacial.

1.4.6 Sistema de Posicionamiento Global –GPS-

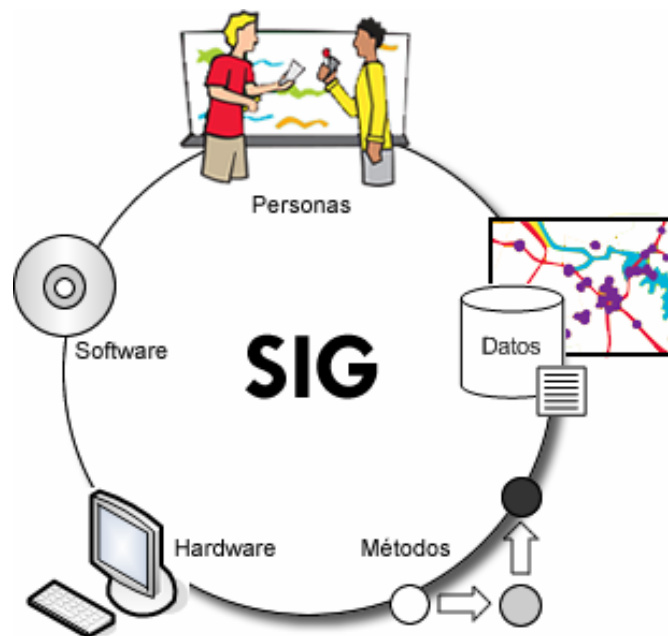
El Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) es un sistema de localización basado en señales de radio emitidas por una constelación de 24 satélites activos en órbita alrededor de la tierra a una altura de aproximadamente 20,000 Km. El sistema permite el cálculo de coordenadas tridimensionales que pueden ser usadas en navegación o mediante el uso de métodos adecuados para determinación de mediciones de precisión. El GPS

fue implementado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el objeto de obtener en tiempo real la posición de un punto en cualquier lugar de la tierra.

1.5 Partes de un Sistema de Información Geográfico

Un sistema de información geográfico esta constituido por varios elementos:

Figura 6. Partes de un SIG



1.5.1 Hardware

Es la computadora en la cual el *software* SIG se ejecuta. El *software* de SIG funciona en una amplia gama de *hardware*, desde los grandes servidores

centralizados hasta las PC de escritorio y computadoras de bolsillo, utilizadas en configuraciones individuales o de red.

Una organización requiere de *hardware* suficientemente específico para cumplir las necesidades de la aplicación. Algunos aspectos que deben considerar son: velocidad, costo, soporte, administración, escalabilidad y seguridad.

1.5.2 Software

Los diferentes paquetes de *software* de SIG proporcionan herramientas para la creación, interacción, clasificación, simbolización y análisis de datos geográficos en una interfaz amigable. Actualmente existen diferentes *software* de SIG que son soportados por los diferentes sistemas operativos como Windows, Unix, Solaris, etc.

Algunas funciones básicas que el *software* de SIG debe proporcionar son:

- Almacenamiento de elementos espaciales con sus atributos dentro de la base de datos,
- Infraestructura para la creación de mapas simples y sofisticados,
- La creación y almacenaje de relaciones topológicas entre los elementos geográficos, como conectividad de líneas o adyacencia de polígonos,
- Herramientas para construir consultas espaciales y consultas a la base de datos,

- Un sistema de flujo de trabajo que permita la edición y mantenimiento de datos geográficos.

1.5.3 Datos Geográficos

El componente más importante de un SIG son los datos. Los datos pueden ser tomados de distintas fuentes como lo son fotografías aéreas, imágenes satelitales, mapas impresos y digitales, coordenadas, GPS, etc. Los datos geográficos se dividen en tres componentes principales: geometría, atributos y comportamiento.

La geometría representa los elementos geográficos asociados con las ubicaciones del mundo real. Los elementos geográficos pueden ser representados por puntos, líneas o polígonos.

Los atributos proveen características descriptivas de los elementos geográficos.

El comportamiento significa que los elementos geográficos poseen restricciones y reglas que limitan su existencia y representación, tanto para la edición como para el análisis. El comportamiento es asignado por el usuario en función de las características del mundo real que se quieren modelar.

1.5.4 Métodos

Son los procedimientos utilizados en un SIG que operan de acuerdo a los modelos y las prácticas operativas características de cada organización. Los métodos se refieren a las disciplinas que cada equipo de trabajo SIG implante para mejorar el funcionamiento y aprovechar de mejor manera los resultados

que se puedan obtener. El análisis de datos geográficos requiere métodos bien definidos, consistentes para producir resultados precisos y reproducibles.

1.5.5 Usuarios de los Sistemas de Información Geográficos

Cuando diseñamos un sistema y construimos una aplicación de *software* es importante determinar el tipo de usuario a quien va dirigido el sistema, por eso existen diferentes roles que las personas juegan en un sistema de información geográfico y estos son algunas de ellas:

Un diseñador de base de datos construye modelos de datos e implementa diseños de base de datos.

Un constructor de datos compila o crea datos geográficos usando diferentes técnicas como la edición manual, conversión de datos, etc.

Un administrador de una base de datos administra las bases de datos de un sistema de información geográfico.

Un constructor de mapas usa capas de información geográfica provenientes de varios recursos para crear un mapa temático.

Un analista resuelve problemas geográficos: encuentra la mejor ruta para llegar a un lugar, el mejor lugar para colocar una tienda, identifica el cambio en el uso del suelo, etc.

Un publicador de mapas imprime mapas. Esta persona esta dedicada a trabajos de cartografía de alta calidad.

Un desarrollador personaliza el *software* de sistema de información geográfico que va a servir para cubrir las necesidades específicas de una industria.

Un usuario de mapas es el consumidor final de un sistema de información geográfica. Esta persona ve los mapas que fueron creados con fines generales o para aplicaciones específicas e interpreta los mapas. Todas las personas son usuarios potenciales de mapas.

1.6 ¿Por qué usar un Sistema de Información Geográfico?

Existen suficientes razones por lo cual usar un sistema de información geográfico como por ejemplo resolver problemas que tengan un componente geográfico o espacial, para mejorar la integración de nuestras organizaciones, mejorar la toma de decisiones y por supuesto la construcción de mapas. Una de las ventajas al hacer uso de este sistema es que podemos contar con una visión gráfica del mundo en que vivimos permitiendo encontrar mejores soluciones a cualquier tipo de problemas donde se involucra un componente espacial.

1.6.1 Facilita y mejora la toma de decisiones

Un sistema de información geográfico es una herramienta para hacer consultas o análisis espaciales pero también es un sistema de automatización de toma de decisiones. Provee herramientas para visualizar la base de datos en forma grafica y encontrar relaciones entre los datos.

Por ejemplo, el SIG puede ser utilizado para tomar la decisión de donde ubicar un restaurante con reparto a domicilio. La selección del sitio ideal se

realizará identificando áreas con alta concentración de personas que consumen el producto que se quiere vender. También puede mostrar la localización exacta de los consumidores de estos productos, su frecuencia de consumo, etc. Al implementarse un SIG se presenta la ventaja de evaluar múltiples escenarios en forma efectiva y eficaz, para la mejor toma de decisiones.

1.6.2 Elaboración de mapas

La elaboración de mapas en SIG es mucho más flexible que los métodos tradicionales o automatizados de las aproximaciones cartográficas. Un SIG crea mapas a partir de una base de datos. Los mapas pueden ser creados a cualquier escala y mostrando información seleccionada con símbolos que identifiquen los elementos de ese lugar.

1.7 ¿Qué puedo hacer con un Sistema de Información Geográfico?

Como hemos visto con SIG podemos elaborar mapas de cualquier lugar u objeto que contenga datos espaciales, pero además de eso SIG permite hacer los siguientes análisis:

1.7.1 Mapeo de cantidades

El mapeo de cantidades se utiliza para saber donde se encuentra, por ejemplo, la mayoría o minoría de algún elemento que cumple con algún criterio en particular o para identificar las relaciones entre lugares y elementos geográficos. Por ejemplo, podríamos tener un mapa de la ciudad capital donde

se muestra donde esta la mayoría de gente que puede votar, o identificar las zonas con mas comercios, etc.

1.7.2 Mapeo de densidades

El mapeo de densidades nos permite medir el número de elementos relacionados espacialmente y así poder determinar claramente las distribuciones y concentraciones de datos. El mapeo de densidades es especialmente útil cuando necesitamos hacer mapas como censos poblacionales y poder ver el número de personas que viven en un kilómetro cuadrado y determinar que áreas tienen mayor cantidad de personas viviendo en ella; otro ejemplo es la distribución de clientes para una empresa de comida con reparto a domicilio.

1.8 Análisis y manipulación de datos en SIG

Los Sistemas Información Geográfica cuentan con funciones en las que se hace uso tanto de la información espacial como de los atributos relacionados. Las principales funciones de un SIG incluyen operaciones de consulta, medición, reclasificación, medición, superposición, conectividad y búsqueda.

1.8.1 Funciones de consulta

Las funciones de consulta incluyen la búsqueda selectiva y la manipulación de la información sin efectuar cambio alguno sobre la base de datos. Estas pueden ser: consulta de datos usando clasificaciones geométricas. Por ejemplo la obtención de zonas de riesgo sísmico asociadas a una falla.

Consultas de datos usando especificaciones simbólicas: extraer la distribución y características físicas de un tipo de suelo en especial. Consultas de datos usando declaraciones simbólicas y lógicas: obtener las zonas con suelos con un pH entre 6.0 y 7.0, etc.

1.8.2 Operaciones de reclasificación y generalización

Las operaciones de reclasificación y generalización reasignan los valores temáticos de un mapa existente en cada una de sus categorías, como función del valor inicial, la posición, el tamaño o forma de una configuración espacial asociada a cada categoría o tema. Un caso simple de reclasificación se da cuando un mapa que cataloga los tipos de suelo pasa a clasificar la permeabilidad del terreno, se ha reemplazado el atributo que contenía el nombre de suelo por el valor de la permeabilidad asociada. La reclasificación también puede afectar simultáneamente varias capas, como parte de una operación de superposición.

1.8.3 Funciones de medida

Las funciones de medida incluyen el cálculo de valores tales como perímetros; áreas y volúmenes y la medición de distancias entre puntos; distancia mínima entre puntos y líneas, entre líneas y líneas y entre líneas y polígonos; además de la longitud de líneas y curvas.

1.9 Aplicaciones

Con el uso de SIG podemos hacer muchas cosas, por ejemplo encontrar la distancia mas corta para viajar de un lugar a otro, estudiar patrones de crímenes para saber donde deben estar patrullando los policías, ver como cambian las condiciones meteorológicas para tomar acciones de precaución, etc. Con SIG podemos estudiar los problemas que enfrentamos cada día en el mundo real. Para tener una mejor idea de lo que puede hacer un SIG se listan aquí algunos ejemplos:

Tabla II. Aplicaciones del Sistema de Información Geográfico

Aplicación	Uso en Guatemala	Organizaciones en Guatemala
Administración de emergencias y seguridad pública	Para la elaboración de mapas y modelos de riesgo, delimitación de zonas por riesgo sísmico, volcánico o por inundación, ubicación geográfica de los puestos de servicios de emergencias.	Conred
Agricultura	Elaboración de mapas de suelo, proyectos de nichos ecológicos, análisis de productividad-variedad de cultivo-tipo de suelo, control de plagas, etc.	Anacafe, Moscamed, Ingenio Pantaleón, Ingenio Santa Ana
Catastro	Uso de SIG para el almacenamiento, edición, análisis, presentación y mantenimiento del catastro nacional.	UTJ
Crimen	Elaboración de mapas con áreas de mayor concentración de crímenes (áreas rojas), para combatir de mejor manera la delincuencia y crimen organizado.	PNC
Defensa e Inteligencia	Elaboración de mapas militares con identificación de recursos, reservas y áreas restringidas.	Instituto Geográfico Militar, Ministerio de la Defensa Nacional
Ecología y Conservación	Mapas de regiones ecológicas, delimitación de áreas protegidas, zonas de amortiguamiento, mapas de diversidad de especies, delimitación de cuencas.	Fundaeco, Defensores de la Naturaleza, Conap, Conama
Educación	Ubicación geográfica de escuelas, cobertura en educación, identificación de sitios potenciales para nuevas escuelas	Ministerio de educación, Iger, URL
Electricidad	Inventario de usuarios, conexiones, líneas de transmisión (red eléctrica), etc.	Unión Fenosa

Logística	Generación de rutas optimas para distribución.	Avícola Villalobos
Mercadeo	Análisis de mercado, definición de territorios de ventas, descripción y segmentación del mercado, ubicación de clientes, etc.	Domino's Pizza, Siglo Veintiuno, GeoBusiness
Minería y Petróleo	Mapas de reconocimiento geológico, análisis geoestadístico de prospección, identificación de pozos, mapas de oleoducto, delimitación de zonas para geotermia.	Ministerio de Energía y Minas, Perenco
Oceanografía	Mapas batimétricos, análisis de turbidez, oxígeno disuelto, ubicación de bancos de peces.	USAC, Conap
Reforestación	Mapas de cobertura forestal, cambios en el uso del suelo, áreas de reforestación.	Inab, Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
Salud	Inventario y localización geográfica de centros y puestos de salud, Mapas de distribución de enfermedades y epidemias	Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social
Sistema Geoestadístico Nacional	Sistema de información Geográfico relacionado con los censos de población y vivienda en lugares poblados en el año 2002, censo de población y vivienda de municipios en el año 2002, censo nacional agropecuario en el año 2003 y Encuestas Nacional de Empleo e Ingreso en el año 2004.	INE
Telecomunicaciones	Redes de distribución, enlaces de antena microondas, propagación y cobertura de señal celular, etc.	Telefónica Móviles S.A., Teléfonos del Norte

2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

2.1 ¿Qué es el Sistema de Posicionamiento Global –GPS-?

El GPS (Global Positioning System) o Sistema de Posicionamiento Global es un sistema compuesto por una red de 24 satélites, situados en una órbita a unos 20,200 Km. de la tierra a partir de los cuales podemos determinar nuestra posición geográfica en cualquier lugar del planeta, de día o de noche y bajo cualquier condición meteorológica. La red de satélites es propiedad del Gobierno de los Estados Unidos de América y es administrado por su Departamento de Defensa (DoD). Las señales que emiten los satélites para poder localizar puntos sobre la tierra es un servicio gratuito.

2.2 Principios básicos del funcionamiento de GPS

Los principios básicos del funcionamiento del GPS son bastantes sencillos, aun cuando el sistema utiliza componentes de la mas moderna tecnología. Para comprender mejor el funcionamiento del GPS describiremos el sistema en cinco partes:

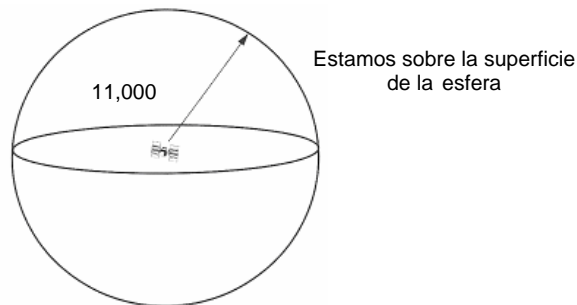
- Triangulación,
- Distancia,
- Tiempo,
- Posición,
- Corrección.

2.2.1 La Triangulación desde los satélites

La idea general del GPS es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia para realizar mediciones aquí en la tierra. Esto se logra mediante una exacta medición de nuestra distancia hacia al menos tres satélites, lo que nos permite triangular nuestra posición en cualquier parte de la tierra.

Consideremos primero como la medición de esas distancias nos permite ubicarnos en cualquier punto de la tierra. Supongamos que medimos nuestra distancia un satélite y resulta ser de 11,000 millas (20,000 Km), sabiendo que estamos a 11,000 millas de un satélite determinado, nuestra posición en el universo se limita a las posiciones sobre la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es de 11,000 millas.

Figura 7. Medición de la distancia con un satélite.

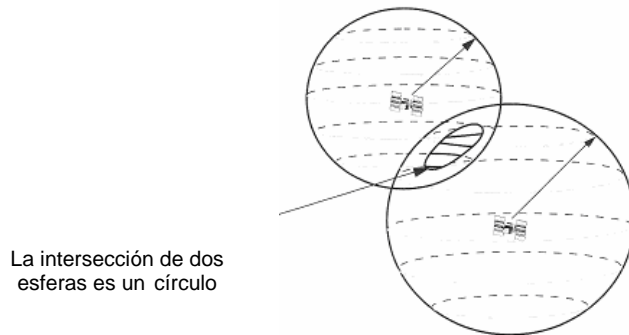


Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference**. Pág. 10

A continuación medimos nuestra distancia a un segundo satélite y descubrimos que estamos a 12,000 millas del mismo. Esto nos dice que estamos a 11,000 millas de la primera esfera correspondiente al primer satélite,

y a 12,000 millas del segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.

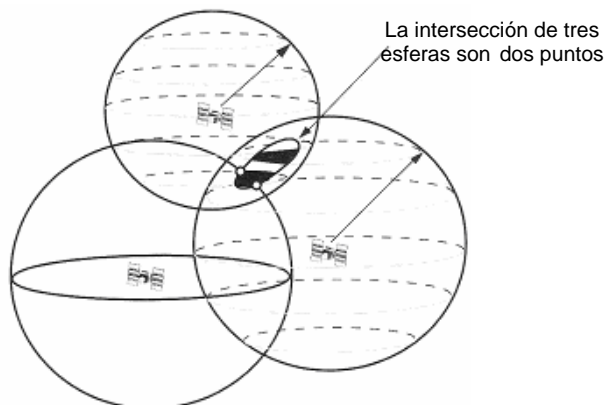
Figura 8. Medición de la distancia con dos satélites.



Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference.** Pág. 11

Si ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite y descubrimos que estamos a 13,000 millas del mismo, esto limita nuestra posición aún más; a los dos puntos en los cuales la esfera de 13,000 millas corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas.

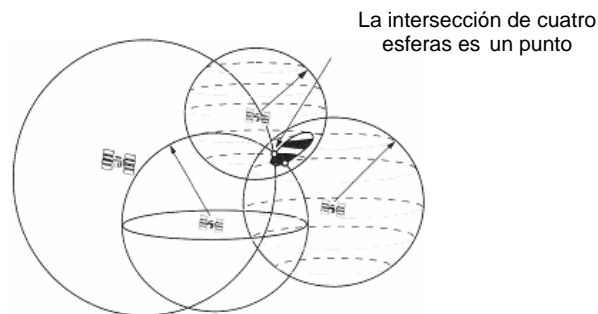
Figura 9. Medición de la distancia con tres satélites.



Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference.** Pág. 12

Midiendo nuestra distancia a tres satélites limitamos nuestro posicionamiento a solo dos puntos posibles. Para decidir cual de ellos es nuestra posición verdadera, podríamos efectuar una nueva medición a un cuarto satélite, o podríamos descartar uno de los dos puntos que tenga un valor improbable como por ejemplo un resultado podría ser una ubicación a 2,000 metros dentro de la tierra; otro sería una ubicación que se desplace a 100,000 Km/h.

Figura 10. Medición de la distancia con cuatro satélites.



Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference**. Pág. 13

2.2.2 Medición de las distancia a los satélites

Ya que GPS se basa en saber nuestra distancia a los satélites, necesitamos un buen método de determinar dicha distancia. Esto resulta bastante simple si utilizamos la siguiente ecuación

$$\text{Distancia} = \text{Velocidad} \times \text{Tiempo} \quad (D = V \times T)$$

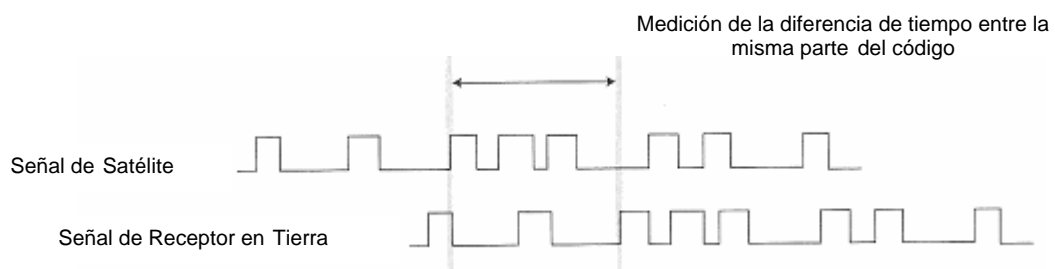
El sistema GPS mide cuanto tiempo tarda la señal del satélite en llegar a nosotros y así calcula su distancia. Las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz 186,000 millas/s (299,329.80 Km/s). Entonces, si podemos averiguar

exactamente cuando un satélite envió su señal de radio y cuando la recibimos, sabremos cuanto tiempo viajo. Si esto lo multiplicamos por la velocidad de la luz, tendremos nuestra distancia hacia el satélite. Por lo tanto nuestros relojes deben ser muy precisos. Un receptor GPS con relojes bastantes precisos pueden registrar mediciones de hasta nanosegundos.

¿Cómo sabemos cuándo salió la señal del satélite?

La forma de hacerlo es conociendo cuando se genero el mensaje en el satélite. Para lograr esto los diseñadores del GPS idearon lo siguiente: sincronizar los satélites y el receptor de forma que ambos generen el mismo código al mismo tiempo. Entonces, lo único que debemos hacer es observar el mensaje y ver cuando se genero nuestro código en el receptor y compararlo con el código del satélite. La diferencia en tiempo de los códigos es el tiempo de vuelo de la señal.

Figura 11. Generación de código.



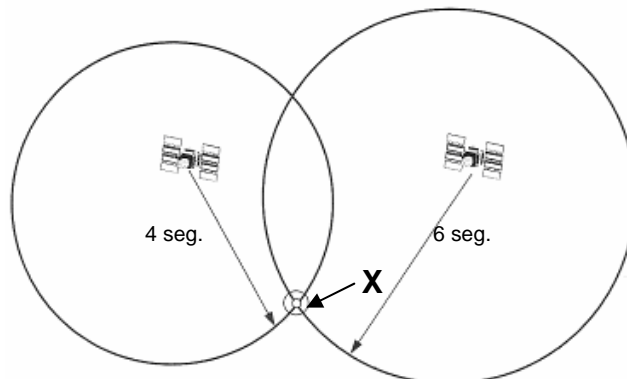
Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference**. Pág. 14

2.2.3 Medición del tiempo

Sabemos que la velocidad de la luz es de 186,000 millas por segundo, lo que significa que si nuestro receptor estuviera mal sincronizado por 1/100 de segundo, nuestra medición estaría corrida 1,860 millas. Los satélites poseen relojes atómicos, por lo que el posible error de parte de ellos es completamente despreciable. Sin embargo los relojes en nuestros receptores no son atómicos y por tanto están sujetos a errores. Afortunadamente la trigonometría puede resolver nuestro problema.

Suponiendo que el reloj de nuestro receptor no es tan exacto como un atómico y no se encuentra sincronizado con la hora universal. Digamos que es un poco más rápido, así que cuando el reloj marca las 12:00 PM, realmente son las 11:59:59 AM. Veamos como afecta este segundo de diferencia a nuestras mediciones. Supongamos que nuestra posición esta a 4 segundos del satélite A y a 6 segundos del satélite B como lo muestra la figura 12.

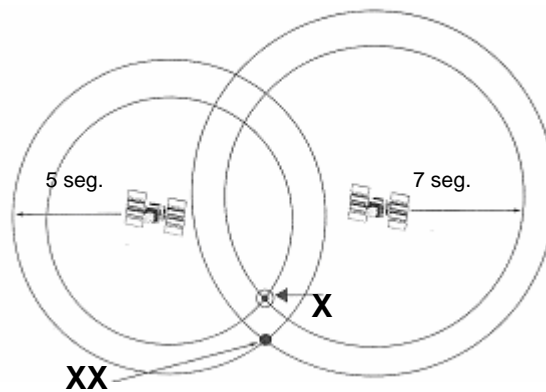
Figura 12. Medición de una distancia con un reloj sincronizado.



Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference**. Pág. 15

La “X” muestra el punto correcto de nuestra ubicación si todos los relojes estuvieran exactamente sincronizados. Ahora, que sucede si usamos nuestro receptor “imperfecto” que es un segundo más rápido. El receptor daría una distancia al satélite A de 5 segundos y al satélite B de 7 segundos. Esto produce que los círculos de los satélites se intercepten en un punto diferente, como lo muestra la marca con “XX” en la figura 13.

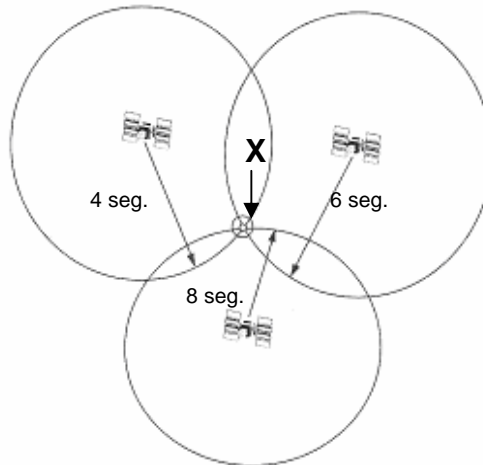
Figura 13. Medición de una distancia con un reloj mal sincronizado.



Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference**. Pág. 17

Ahora, agreguemos un satélite más. Si este, satélite C, se encuentra a 8 segundos de nosotros, nuestra posición real sería la marcada con la “X” en la figura, que es el punto de intersección de los círculos de los tres satélites.

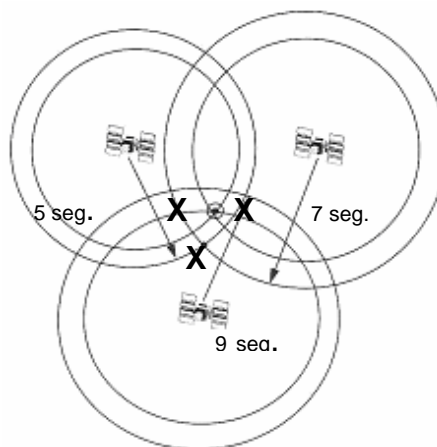
Figura 14. Medición de una distancia con tres satélites con un reloj sincronizado.



Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference.** Pág. 16

Ahora agreguemos un segundo de diferencia a la figura anterior y veamos que sucede

Figura 15. Medición de una distancia con tres satélites con un reloj mal sincronizado.



Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference.** Pág. 18

La figura 15 muestra que no se interceptan los tres círculos en un mismo punto y entonces tenemos tres posiciones malas. Las pequeñas computadoras

de nuestros receptores están programadas para que cuando obtengan datos que no se pueden interceptar en un solo punto sepan que algo anda mal. Ellas asumen que el error es causado por su reloj interno y que este tiene una diferencia con el tiempo universal. Entonces, la computadora empieza a sumar o restar tiempo a todas las mediciones. Repite esto hasta llegar a un punto donde todos los círculos de los satélites se interceptan, este proceso se llama: resolución de la ambigüedad. Este punto es la posición correcta.

2.2.4 Posición de los satélites en el espacio

La Fuerza Aérea de los EEUU colocó cada satélite de GPS en una órbita muy precisa, de acuerdo al plan Maestro de GPS. En tierra, todos los receptores de GPS tienen un almanaque programado en sus computadoras que les informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento.

Las órbitas básicas son muy exactas pero con el fin de mantenerlas así, los satélites de GPS son monitoreados de manera constante por el Departamento de Defensa. Ellos utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la exacta altura, posición y velocidad de cada satélite. Los errores que ellos controlan son los llamados errores de efemérides, o sea evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitacionales del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites.

Una vez que el Departamento de Defensa ha medido la posición exacta de un satélite, vuelven a enviar dicha información al propio satélite. De esa manera el satélite incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales a los GPS.

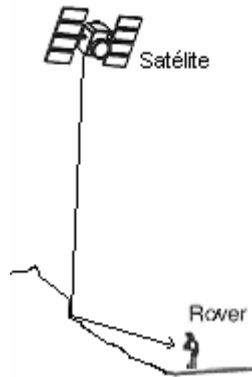
2.2.5 Corrección de errores

En primer lugar, una de las premisas básicas que hemos estado usando a lo largo de este trabajo no es exactamente cierta. Hemos estado afirmando que podemos calcular la distancia a un satélite multiplicando el tiempo de viaje de su señal por la velocidad de la luz. Pero la velocidad de la luz sólo es constante en el vacío. Una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.

Hay dos maneras de minimizar este tipo de error. Por un lado, podríamos predecir cual sería el error tipo de un día promedio. Esto se llama modelación y nos puede ayudar pero, por supuesto, las condiciones atmosféricas raramente se ajustan exactamente al promedio previsto. Otra manera de manejar los errores inducidos por la atmósfera es comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y solo es posible en receptores GPS muy avanzados.

Los problemas para la señal de GPS no terminan cuando esta llega a la tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por nuestro receptor GPS, a esto le llamamos multireflexión.

Figura 16. Multireflexión



2.3 GPS Diferencial –DGPS–

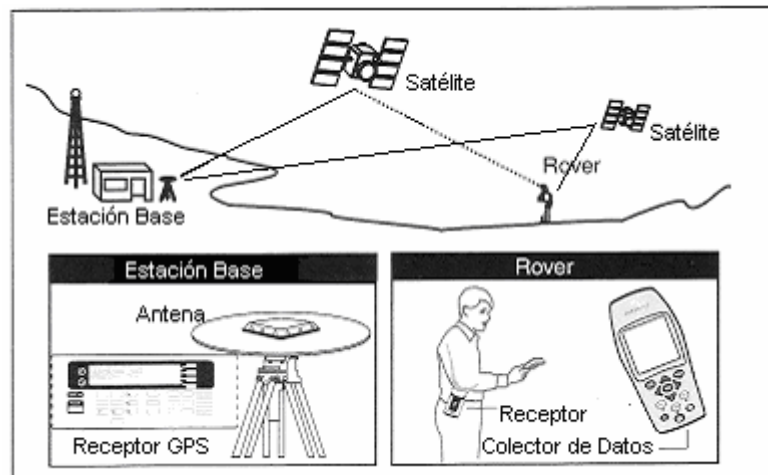
Los GPS son los sistemas de navegación global más exactos que existen, sin embargo la precisión del sistema puede mejorarse aun mas usando la técnica conocida como GPS diferencial. Con esta técnica, GPS puede alcanzar precisiones de hasta varios milímetros.

La forma como este sistema funciona es la siguiente: Se coloca un receptor GPS en una posición conocida con gran exactitud y se realizan mediciones de campo con otros receptores (rover) en distancias no mayores a 60 Km. Ya que conocemos con exactitud la coordenada donde se encuentra ubicado nuestro receptor de control (estación base), podemos averiguar cuales son los errores que trae la información del satélite comparando las coordenadas calculadas con la coordenadas de la estación base conocida. La corrección diferencial requiere lo siguiente:

- La estación base debe estar en una posición conocida

- La estación base debe tener cobertura visual y debe recopilar información al mismo tiempo, de todos los satélites que las unidades remotas están utilizando.
- La información debe ser procesada por un *software* diseñado para realizar la corrección diferencial.

Figura 17. Componentes de un DGPS.



Fuente: Trimble. **Mapping Systems General Reference.** Pág. 23

2.3.1 Resumen de las fuentes de error del sistema GPS

Tabla III. Errores típicos, en metros (por cada satélite)

Fuentes de Error	GPS Standard	GPS Diferencial
Reloj del Satélite	1.5	0
Errores Orbitales	2.5	0
Ionosfera	5.0	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Ruido en el Receptor	0.3	0.3
Multireflexión	0.6	0.6
Exactitud Promedio de Posición		
Horizontal	50	1.3
Vertical	78	2.0
3-D	93	2.8

2.4 Tipos de receptores GPS

En el mercado existen gran diversidad de receptores GPS, cada uno de ellos para aplicaciones específicas. Es importante saber cual será la aplicación de determinado GPS a fin de poder saber su configuración. En la siguiente tabla se resume los diferentes tipos de receptores, su precisión, costo y señal que utilizan.

Tabla IV. Tipos de receptores GPS .

Tipo de GPS	Señales Utilizadas por el GPS					Precisión	Costo US \$
	L1 C/A	L1 P-Code	L1 Carrier	L2 y L1 P-Code	L2 y L1 P y Y-Code		
SPS Navegación	X					100 Mts.	100-500
SPS Diferencial	X					3 –5 Mts.	600 – 2,000
L1 Carrier Phase Diferencial	X		X			< 1 Mt.	2,000 - 8,000
L1 Super Carrier Phase Diferencial	X		X			0.02 Mts	8,000 – 12,000
L1 L2 Carrier Phase Anti-Spoofing	X	X	X	X	X	0.002 Mts.	12,000 – 30,000

Fuente: Geosistec. **Introducción al uso de GPS.** Pág. 20

2.5 ¿Para qué es usado un GPS?

Los sistemas de posicionamiento global –GPS- son usados para una variedad de aplicaciones. Estos sistemas crean y actualizan las bases de datos SIG en disciplinas tan diversas como las ciencias de los recursos naturales, el desarrollo urbano y análisis, la agricultura y ciencias sociales. La ubicación, tiempo e información es recolectada al caminar, manejar y volar alrededor de los lugares o locaciones de interés.

2.5.1 Aplicaciones de los recursos naturales

Los especialistas en Recursos Naturales, tales como silvicultores (ingenieros forestales), geólogos, geógrafos y biólogos, usan el sistema GPS para registrar una posición geográfica única en el espacio para identificar elementos de interés como por ejemplo registrar donde se localizan bosques

tropicales, etc. Los biólogos localizan hábitat de vida silvestre, lo delimitan en un mapa y registran el conteo de animales y otros elementos.

El GPS ayuda en la colección de información de tipos de suelo, la cual es combinada con modelos de terrenos en 3D mostrando la inclinación (declive) y otros aspectos que nos ayudan a predecir que áreas requieren manejo especial. Otras aplicaciones de recursos naturales incluyen mapeo de ojos de agua (manantiales, pozos), el registro de condiciones y tamaños de lagos, crecientes o líneas de inundación, extensión de tierras húmedas, longitud de corrientes de agua (arroyos), pesca y hábitat de vida salvaje, cambios en los litorales, vegetación y zonas de clima.

2.5.2 Aplicaciones urbanas

Las aplicaciones urbanas del sistema cartográfico GPS incluyen mapeo del transporte y infraestructura de empresas de servicio público. Calles y autopistas son digitadas al manejar a través de las carreteras mientras se registran las posiciones GPS. Las condiciones viales, riesgos y áreas que necesitan reparaciones son ingresadas como características para ser usadas en el inventario y sistemas SIG.

El GPS auxilia en el mapeo del alambrado eléctrico, telefónico, tuberías de gas, tuberías de agua y alcantarillado. Elementos como cubiertas de las aperturas o bocas de alcantarillas (cloacas) y sistemas de riego contra incendios son rastreados como puntos con información de elementos asociadas.

Otras aplicaciones urbanas incluyen mapeo y registro de parcelas de tierras, zonas, obras publicas, rasgos principales (o lineamientos) de las calles y fabricas.

2.5.3 Aplicaciones agrícolas

Los sistemas cartográficos GPS ayudan delineando los elementos del campo para las granjas. Los microclimas, tipos de suelo, cosechas, plagas, enfermedades de plantas, daños ocasionados por insectos. La producción o rendimiento de la cosecha son registrados y referidos directamente a sus locaciones.

La tecnología GPS ayuda a los agricultores a conservar un historial exacto de los análisis individuales del campo para determinar los efectos de las diversas formas de prácticas agrícolas.

2.5.4 Aplicaciones en las ciencias sociales

Los arqueólogos e historiadores utilizan el sistema GPS para navegar y archivar información acerca de lugares inadvertidos. Estos lugares son registrados utilizando un colector de datos y son llamados puntos conductores. Los puntos conductores son útiles para la navegación hacia una localidad. Cuando el lugar deseado es encontrado, amplia información puede ser registrada para una entrada dentro un GIS u otra base de datos.

Un ejemplo de la aplicación en las ciencias sociales fue un estudio emprendido por antropólogos en la jungla en Venezuela. Los antropólogos recorrieron territorio inexplorado en la jungla y utilizaron un sistema geográfico

GPS para localizar y mapear previamente tribus desconocidas. La posición e información cultural que fue recolectada, esta ayudando al gobierno de Venezuela a la creación de reservas para asegurar que las villas tribales permanezcan sin molestia alguna.

2.5.5 Sistemas AVL

El GPS se utiliza también para el sistema automático de localización vehicular por sus siglas en ingles -AVL-. Con este sistema se puede monitorear en tiempo real la ubicación geográfica de diferentes tipos de vehículos ya sean aéreos, terrestres o marítimos. Actualmente se utiliza mucho por las empresas de seguridad para monitorear el transporte de carga y la recuperación de vehículos que han sido robados.

2.5.6 Otras aplicaciones

El sistema geográfico GPS puede ser utilizado para cualquier aplicación que requiera precisión de tiempo, ubicación y otra información característica. La utilidad o capacidad final es no limitarse a hacer planos y mapas. La posición y tiempo registrados, pueden además ser transferidos a paquetes de programas que requieren la información para funciones que modelan la realidad del mundo en que vivimos.

2.5.7 Georeferenciación

Cuando se estén representando elementos del mundo real en un SIG se necesita referenciar los datos describiendo su posición sobre la superficie de la tierra utilizando un sistema de coordenadas. El proceso de asignación de las

coordenadas a los elementos del mundo se le llama *georeferenciación*. Si los elementos no están localizados con precisión o si sus formas se representan incorrectamente, el usar un mapa para analizar sus relaciones espaciales dará resultados inexactos. La georeferenciación es un proceso de establecer una relación entre los datos desplegados en un *software* de SIG y su ubicación en el mundo real. Es por ello que es recomendable utilizar un GPS para poder asignar las coordenadas capturadas, a los diferentes elementos geográficos que se deseen georeferenciar.

3 CASO PRÁCTICO

En este capítulo se presenta como se desarrollo el sistema de información geográfico para el conjunto de edificios de la facultad de ingeniería de la universidad de San Carlos, que recursos *hardware*, *software* y procedimientos fueron utilizados para su implementación, así como algunos conceptos prácticos que se deben tomar en cuenta para la creación de cualquier sistema de información geográfico. Se incluyo el uso de herramientas como los Sistemas de posicionamiento Global y el uso de *software* especializado para el manejo de sistemas de información geográfica.

Al final de este capítulo se tendrán como resultados la creación de las diferentes capas de información espacialmente georeferenciadas donde se podrá ver como están distribuidos los espacios físicos del conjunto de edificios de la facultad de ingeniería de la universidad de San Carlos. Este sistema de información geográfica podrá ser accesado y visualizado a través de *software* SIG.

3.1 Análisis y requerimientos del sistema

El sistema de información geográfico de la facultad de Ingeniería cuenta con los siguientes requerimientos para cumplir con los objetivos de este estudio:

- El sistema estará conformado por un mapa del campus de la universidad de San Carlos debidamente georeferenciado donde se presentará la ubicación exacta del conjunto de edificios de la facultad de ingeniería.
- El sistema contara con las capas de información espacial de cada edificio de la facultad de ingeniería debidamente georeferenciadas, donde se presenta la distribución de aulas y laboratorios. Se separarán en capas los niveles que conforman cada edificio.
- Todas las capas de niveles de cada edificio de la facultad de ingeniería tendrán asociada información descriptiva que pueda ayudar a modelar la realidad geográfica de cada edificio.
- Todas las capas de información generadas podrán ser consultadas y visualizadas a través de un *software* SIG que permita leer el formato shapefile tal como AcrGIS Desktop, ArcReader o cualquier otro *software* para sistemas de información geográficos.

3.1.1 Recursos de entorno

Los recursos de entorno en donde se apoya el desarrollo del sistema de información geográfico SIGI incorporan *hardware* y *software* el cual va a ser descrito a continuación.

3.1.1.1 Hardware

Para la captura de datos, mapeo y georeferenciación de los edificios de la facultad de ingeniería se utilizó dos equipos GPS: un equipo GPS de campo

o móvil y un equipo GPS de base (estación base CORS del Instituto Geográfico Nacional –IGN-), una computadora de escritorio y periféricos para comunicar los equipos GPS con la computadora.

Un equipo GPS consta de: Una antena que recibe la señal proveniente de los satélites, un colector de datos para almacenar y capturar datos, periféricos para comunicar al colector de datos con el receptor de GPS.

3.1.1.1.1 GPS

Equipo GPS Pathfinder® Power Especificaciones de Rendimiento

General: 12 canales, rastreo continuo de código L1/CA

Velocidad de actualización: 1 Hz

Precisión después de la corrección diferencial:

Corrección diferencial de GPS Pathfinder Office

Con 5 minutos de rastreo satelital.....30 cm

Con 10 minutos de rastreo satelital.....20 cm

Con 20 minutos de rastreo satelital.....10 cm

Con 45 minutos de rastreo satelital.....1 cm

Por su precisión este equipo GPS fue utilizado para tomar las coordenadas de las esquinas del edificio T-3 de la facultad de ingeniería para tener una referencia geográfica.

Equipo GPS Pathfinder® Pocket Especificaciones de Rendimiento:

General: 8 canales, rastreo continuo de código L1/CA

Velocidad de actualización: 1 Hz

Precisión (RMS):

Corrección diferencial de GPS Pathfinder Office 2.5 metros¹

Corrección diferencial RTCM 2.5 metros¹

Precisión autónoma 10 metros

Figura 18. GPS PathFinder Pocket



Fuente: www.trimble.com

3.1.1.1.2 Colector de datos

Controlador TSCe Trimble

Este colector de datos proporciona dos maneras de capturar datos: a través de su pantalla táctil en color o haciendo uso del teclado. Para la captura de datos provenientes del receptor GPS se utilizó el *software* TerraSync.

Figura 19. Colector de datos TSCe.



Fuente: www.trimble.com

Este colector fue utilizado juntamente con los GPS Pathfinder Power y Pathfinder Pocket para la obtención de los puntos de control necesarios para la digitalización y georeferenciación de los edificios de la facultad de ingeniería.

3.1.1.1.3 Computadora de escritorio

Para la corrección de datos, digitalización de mapas, y codificación de cualquier aplicación de SIG se debe contar con una computadora con los siguientes requerimientos mínimos: Procesador 2 Ghz, Memoria RAM 512 MB, Disco Duro 40 GB, Puerto Serial RS-232 o puerto USB.

3.1.1.2 Software

A continuación se describirán los paquetes de *software* que fueron utilizados para la captura, transferencia, corrección, digitalización de los datos espaciales y las herramientas para implementar el sistema de información geográfico para el conjunto de edificios de la facultad de ingeniería.

3.1.1.2.1 TerraSync

Es un *software* de campo diseñado para la captura y mantenimiento de datos provenientes del GPS. Combinado con un receptor GPS compatible y una computadora es lo único que se necesita para capturar datos de posición y características de calidad para cualquier Sistema de Información Geográfico.

3.1.1.2.2 GPS Pathfinder Office

Este *software* desarrollado por Trimble permite hacer correcciones diferenciales para mejorar la calidad de los datos capturados por un GPS. Importa y exporta datos en diversos formatos SIG y nos permite visualizar los datos capturados del GPS antes y después de hacer una corrección diferencial a los datos.

3.1.1.2.3 ArcGIS Desktop

Es una familia de productos o programas desarrollado por la compañía Environmental Systems Research Institute, Inc. –ESRI- que ha sido diseñado para visualizar información geográfica, realizar consultas, análisis, administración de datos espaciales, edición y publicación cartográfica. ArcGIS Desktop esta compuesto por:

- ArcView: Incorpora funciones avanzadas de visualización, análisis y consulta de datos, así como la capacidad de crear y editar datos geográficos y alfanuméricos.
- ArcEditor: Abarca toda la funcionalidad presente en ArcView y añade además, herramientas para la edición multiusuario de geodatabase corporativa.
- ArcInfo: Complementa la funcionalidad de ArcEditor, incorporando funciones avanzadas de geoprocésamiento, conversión de datos a otros formatos y sistemas de proyección, así como toda la funcionalidad aportada por el entorno de comandos de ArcInfo Workstation.

- ArcReader: Es una aplicación gratuita y de sencillo manejo que permite visualizar, explorar e imprimir mapas ya creados y publicados por la extensión ArcGIS Publisher.
- Extensiones: Las extensiones le agregan funcionalidad a cada uno de los productos ya sea para el análisis avanzado de formatos *raster*, creación y análisis de elementos en 3D, publicación de mapas para ArcReader o análisis de redes. Entre las extensiones de ArcGIS Desktop se encuentran: Spatial Analyst, 3D Analyst, Publisher, Network Analyst, etc.

3.1.1.2.4 ArcGIS Publisher

Es una extensión integrable con ArcView, ArcEditor y ArcInfo. Permite la publicación de documentos mapas a un formato que puede ser visualizado a través de la aplicación gratuita de ESRI, ArcReader. Con esta extensión podemos empaquetar y distribuir de manera comprimida las capas de información geográfica que conforman los mapas. Además de esto podemos proteger los datos empleando una clave y tiempo de caducidad del mapa publicado.

Para la edición y georeferenciación de los mapas del conjunto de edificios de la facultad de ingeniería y del campus de la universidad de San Carlos se utilizo ArcInfo y para la publicación y presentación del proyecto se utilizo la extensión ArcGIS Publisher, para su posterior visualización en ArcReader.

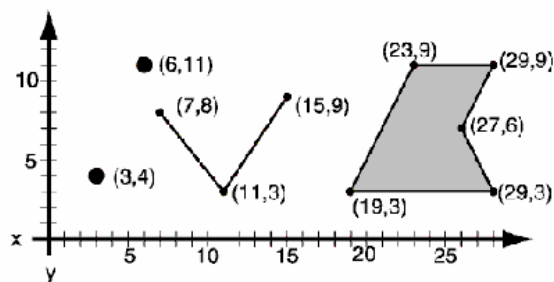
3.2 Diseño de los datos

Antes de comenzar a describir la manera en como el sistema de información geográfico maneja los datos espaciales contenidos en los mapas describiremos que es un shapefile.

3.2.1 Shapefile

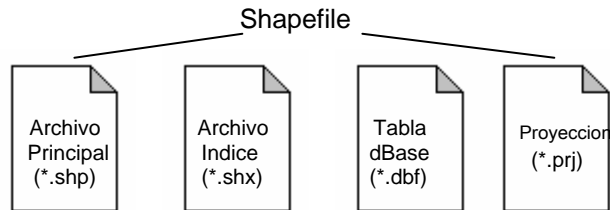
Es un formato desarrollado por ESRI, almacena localización geométrica e información de atributos de los elementos geográficos. Un shapefile almacena datos vectoriales como una colección de coordenadas. Por ejemplo un punto es representado por una coordenada x,y; las líneas son representadas por una serie de coordenadas x,y que tienen un orden y un polígono es representado por una serie de coordenadas x,y que definen un segmento y que tienen la misma coordenada de inicio y coordenada final.

Figura 20. Representación de datos vectoriales en coordenadas.



Un shapefile define la geometría y atributos de un elemento geográficamente referenciado a través de cuatro archivos específicos:

Figura 21. Representación de un shapefile



Fuente: ESRI. **MapObject**. Pág. 28

- .shp, es la extensión del archivo principal contiene la geometría de la forma,
- .shx, almacena el índice del elemento geométrico,
- .dbf, es la extensión de la tabla dBASE que contiene la información de los atributos de cada forma.
- .prj almacena la referencia espacial de la información (sistema de coordenadas)

Cada shapefile representa un tipo de datos vectorial. Como mencionamos anteriormente un shapefile solo almacena información vectorial es decir un shapefile puede ser de puntos, de líneas o de polígonos.

En este caso práctico se crearon un shapefile por cada nivel de cada edificio del conjunto de ingeniería y se creó un shapefile del campus de la universidad de San Carlos. El diseño de los datos quedó de la siguiente manera:

Para el shapefile de Campus Central se crearon los siguientes campos:

Nombre: Tipo texto. Nombre que identifica a cada edificio

Area: Tipo texto. Indica que tipo de área es el polígono, por ejemplo si es parqueo, si pertenece a ingeniería, si es área deportiva, etc.

Para los shapefiles de los niveles de los edificios se crearon los siguientes campos:

Ambiente: Tipo texto. Nombre que identifica a cada espacio físico.

Área: Tipo texto. Identifica si pertenece a un área de servicio, de docencia, administración, etc.

Capacidad: Tipo dato entero. Identifica capacidad de salones.

Edificio: Tipo texto. Identifica a que edificio pertenece el ambiente.

3.3 Construcción del Sistema de Información Geográfico

Para la construcción de un Sistema de Información Geográfico se necesita de varios pasos entre ellos la recopilación de mapas y planos, toma de datos con equipos GPS, digitalización de mapas, publicación y presentación de mapas, etc. Por esto describiremos a continuación de una forma detallada como se construyó el SIG del conjunto de edificios de la facultad de ingeniería haciendo un énfasis en los procedimientos de captura, procesamiento de datos, digitalización y presentación de los datos espaciales que van a formar este sistema de información geográfico.

3.3.1 Recopilación de mapas y planos

Como primer paso para implementar un SIG se debe investigar y buscar si existen mapas del lugar con el que queramos trabajar ya que nos servirán de guía y referencia para hacer mediciones posteriores o simplemente nos ahorrarán trabajo al momento de digitalizar cualquier mapa. En este trabajo se utilizó como base los planos que se encuentran en la unidad de planificación de

la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos siendo de gran ayuda para la posterior digitalización del entorno geográfico de esta aplicación.

3.3.2 Captura de datos usando GPS

En esta sección se describirá los pasos necesarios para la captura de datos usando un equipo GPS. En este caso en particular describiremos la forma como se tomaron las coordenadas del edificio T-3 de la facultad de Ingeniería de la universidad de San Carlos.

Antes de iniciar la captura de datos debemos iniciar las siguientes tareas:

3.3.2.1 Inicio del *software* que utiliza el colector de datos

Iniciamos el colector de datos y abrimos el programa encargado de la captura de datos en este caso se utilizó TerraSync.

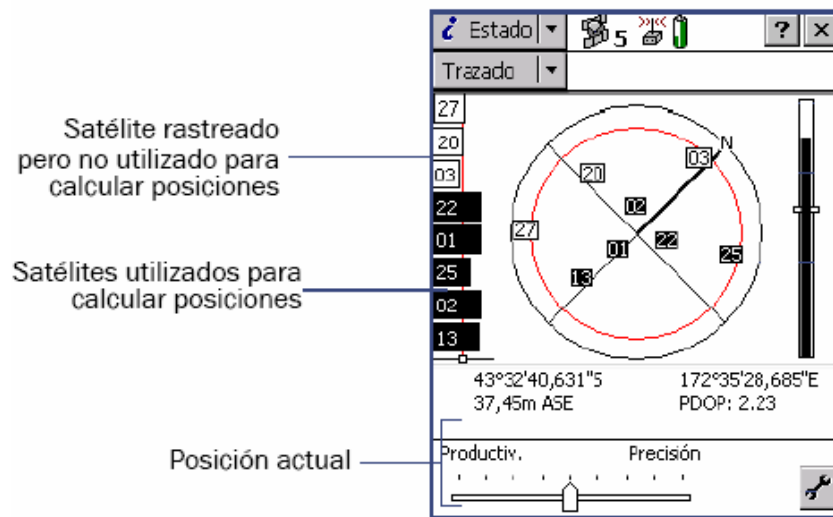
3.3.2.2 Obtención de una vista clara del cielo

Las señales pueden recibirse de cualquier dirección. Las señales de los satélites pueden estar bloqueadas por gente, edificios, una densa cubierta de árboles, vehículos grandes o transmisores potentes. Todo aquello que bloquea la luz también bloquea las señales. Tomando en cuenta lo anterior se colocó el equipo GPS sobre la loza del edificio T-3 de la facultad de ingeniería.

3.3.2.3 Comprobación del estado del GPS

Al iniciar el *software* este se comunica con el receptor GPS, luego comienza a rastrear satélites visibles y a calcular la posición actual.

Figura 22. Visualización del estado de los satélites.



Fuente: Trimble. **Manual de Funcionamiento de TerraSync.** Pág. 63

En la figura anterior se muestran cuadros rellenos (negros) que representan los satélites que el receptor está usando para calcular la posición GPS actual. Los cuadros sin rellenar (blancos) representan los satélites de los cuales el receptor está obteniendo señales pero que no usa puesto que las señales son muy débiles. En el ejemplo anterior, se están rastreando ocho satélites y cinco de ellos se están empleando para calcular posiciones GPS.

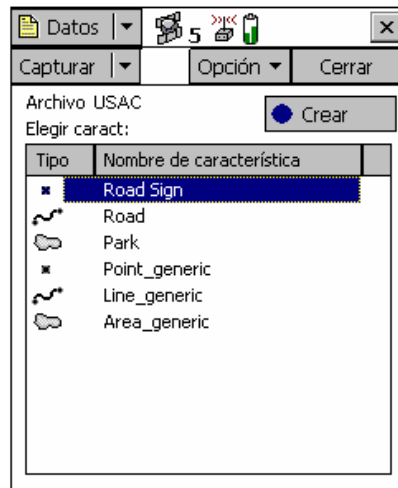
3.3.2.4 Establecimiento de coordenadas

Antes de empezar a capturar datos debemos configurar el *software* para que capture los datos en las coordenadas que deseamos, para la implementación de SIGI se utilizó coordenadas geográficas WGS 1984.

3.3.2.5 Creación de archivo para almacenar los datos

La última tarea antes de la captura de datos es la creación de un archivo que contendrá los elementos que capturemos. Este archivo almacena elementos como puntos, líneas y áreas.

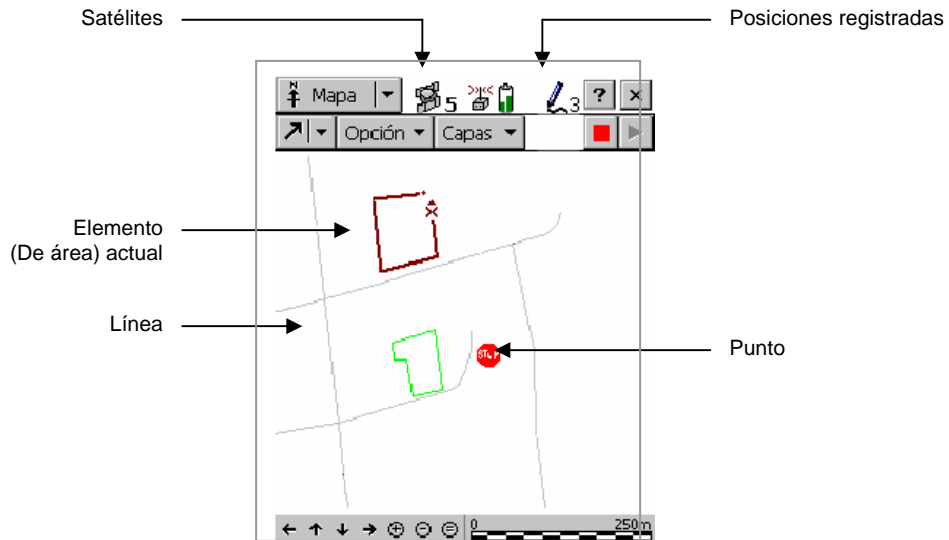
Figura 23. Creación de un archivo para almacenar datos del receptor GPS.



Fuente: Trimble. **Manual de Funcionamiento de TerraSync.** Pág. 67

Una vez realizadas las tareas anteriores se registran posiciones GPS. Dichas posiciones se promedian para calcular la posición GPS final. Para capturar las coordenadas del edificio T-3 de la facultad de ingeniería se registraron puntos durante 12 minutos en cada una de las esquinas del edificio.

Figura 24. Vista de elementos capturados por GPS.



Fuente: Trimble. **Manual de funcionamiento de TetraSync**. Pág. 73

3.4 Procesamiento de datos

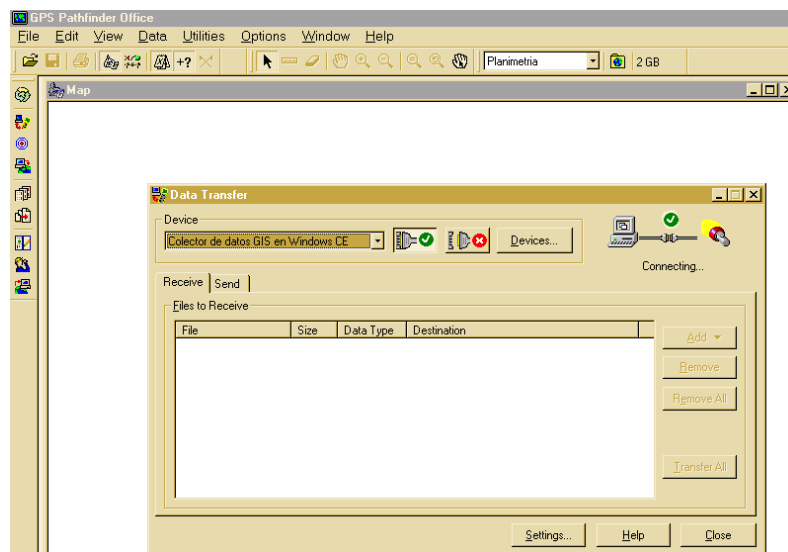
Después de hacer la captura de datos con el GPS los siguientes pasos son: la transferencia de los archivos a la computadora, corrección diferencial de datos, visualización de datos y exportación de datos a un SIG.

3.4.1 Transferencia de los datos del colector a una computadora

En este paso debemos comunicar al colector de datos con la computadora, y luego de conectarlos físicamente, establecemos un protocolo de comunicación para poder transferir los datos capturados por el GPS.

Luego de haber cumplido con esta tarea procedemos a transferir los archivos directamente a la computadora. En la figura 26 se muestra el *software* GPS Pathfinder Office utilizado para transferir los archivos y desplegar los elementos que fueron capturados por el GPS.

Figura 25. Transferencia de archivos usando GPS Pathfinder Office.



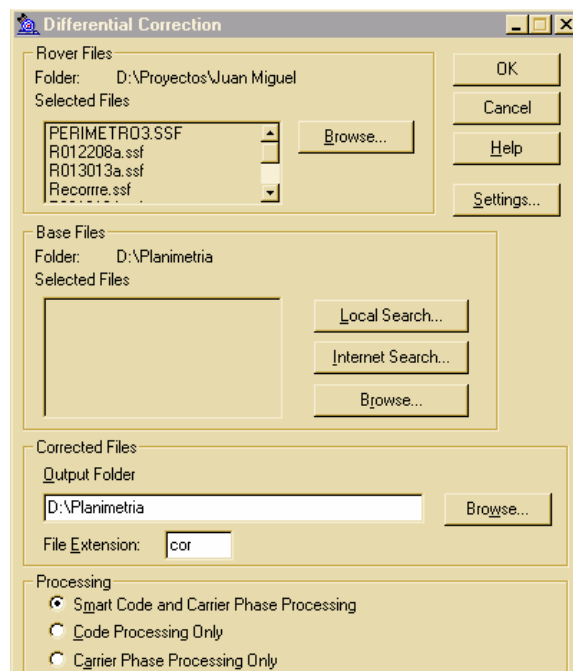
Fuente: *Software* GPS PathFinder Office

3.4.2 Corrección de datos

Los datos capturados por los receptores GPS están sujetos a errores, incluyendo pequeños errores del reloj del satélite, errores de órbita, ruido atmosférico y errores de trayectoria múltiple. La gran mayoría de estos errores se pueden quitar de los datos mediante la corrección diferencial. La corrección diferencial mejora la precisión de las posiciones GPS según la precisión especificada del receptor. Para corregir el archivo de datos diferencialmente se siguieron los siguientes pasos:

- Se inicio el *software* GPS Pathfinder Office y se abrieron los archivos que contenian los datos capturados
- Se selecciono el menu Utilidades / Corrección diferencial para iniciar la utilidad corrección diferencial.

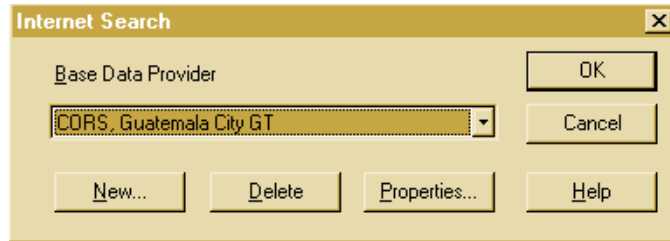
Figura 26. Diálogo de corrección diferencial.



Fuente: *Software* GPS PathFinder Office

- Luego debemos especificar la ubicación de archivos base. Este caso para corregir datos se utilizó la estación base del Instituto Geográfico Nacional –IGN-. En la figura 27 Aparece la búsqueda que se hizo de los archivos en el Internet.

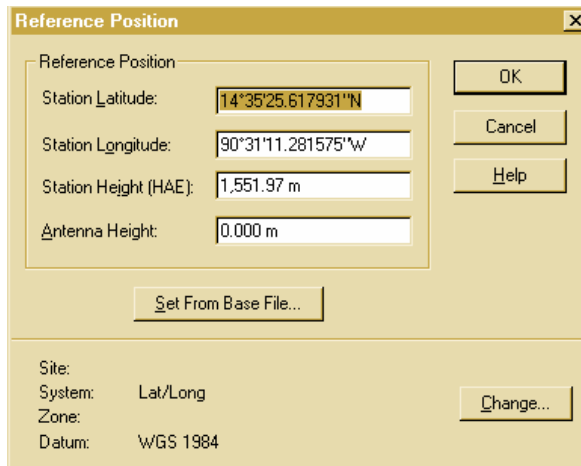
Figura 27. Búsqueda de archivo base para corrección diferencial de datos.



Fuente: *Software GPS Pathfinder Office*

- Confirmamos la posición de referencia de los archivos base.

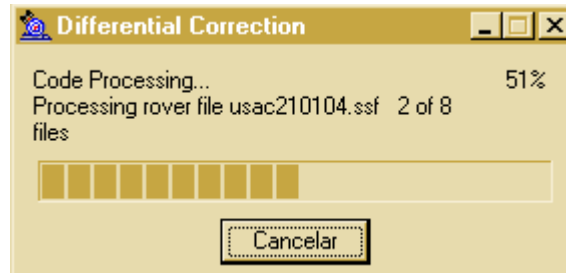
Figura 28. Confirmación de posición de archivos base.



Fuente: *Software GPS Pathfinder Office*

- Aceptamos los parámetros y corregimos los archivos. La corrección de archivos crea nuevos archivos con los datos ya corregidos.

Figura 29. Proceso de corrección diferencial de datos



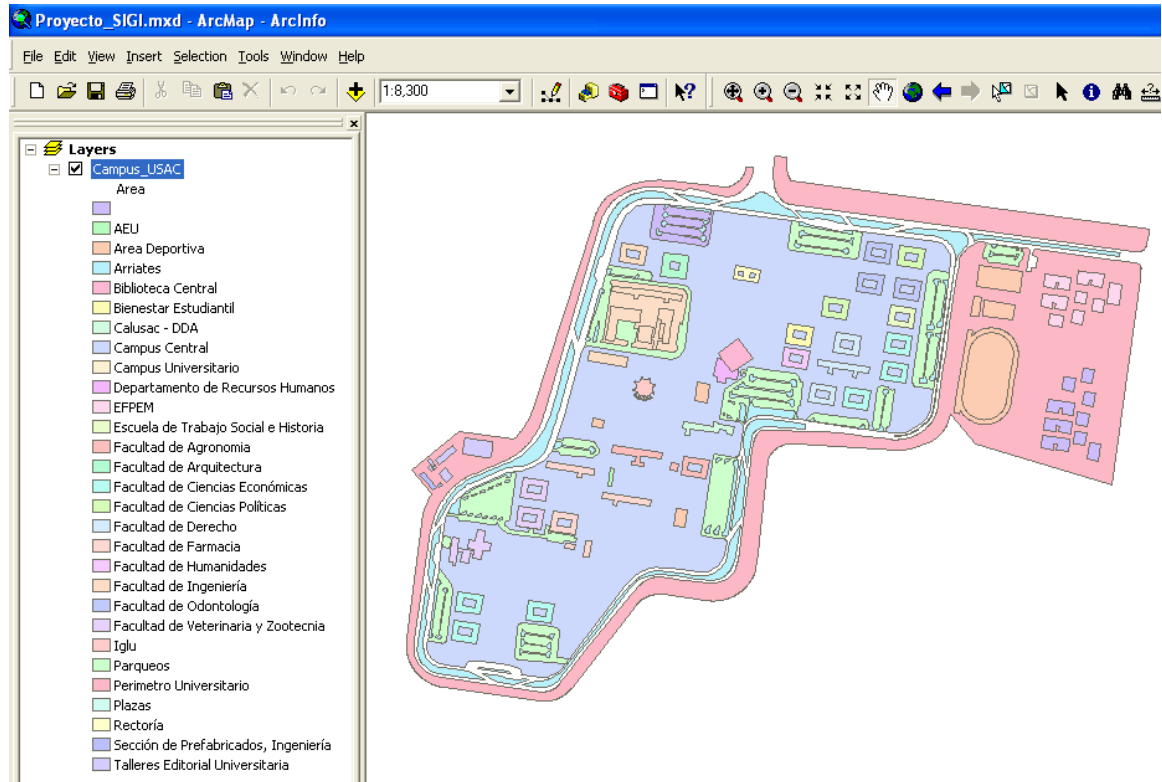
Fuente: *Software* GPS Pathfinder Office

3.4.3 Exportación de datos y digitalización

Ahora que ya sea han corregido los datos los abrimos en un nuevo proyecto y exportamos los archivos al formato shapefile. En este estudio los datos fueron exportados a formato shapefile usando el *software* ArcInfo de ESRI, el cual permitió digitalizar y editar los planos del conjunto de edificios de la facultad de ingeniería y el campus central de la Universidad de San Carlos.

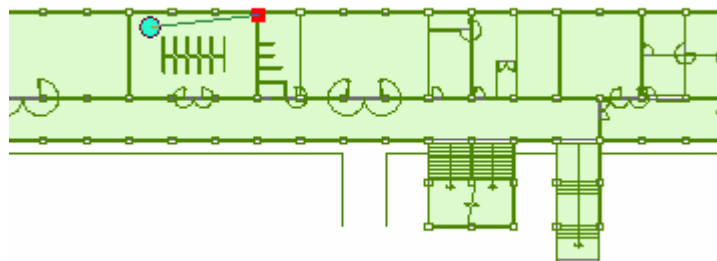
Para la digitalización de los mapas fueron utilizados los planos proporcionados por la unidad de planificación de la facultad de ingeniería como referencia de como estaban constituidos los edificios y como estaban divididos los diferentes ambientes de cada edificio en todos sus niveles. Se exportaron archivos CAD a formato shapefile a los cuales se les asignaron datos que contienen información como nombre de ambientes, áreas, capacidades de salones, etc.

Figura 30. Digitalización del campus de la Universidad de San Carlos.



Fuente: *Software ArcInfo*

Figura 31. Digitalización del primer nivel de edificio T-3 de la Facultad de Ingeniería.



Fuente: *Software ArcInfo*

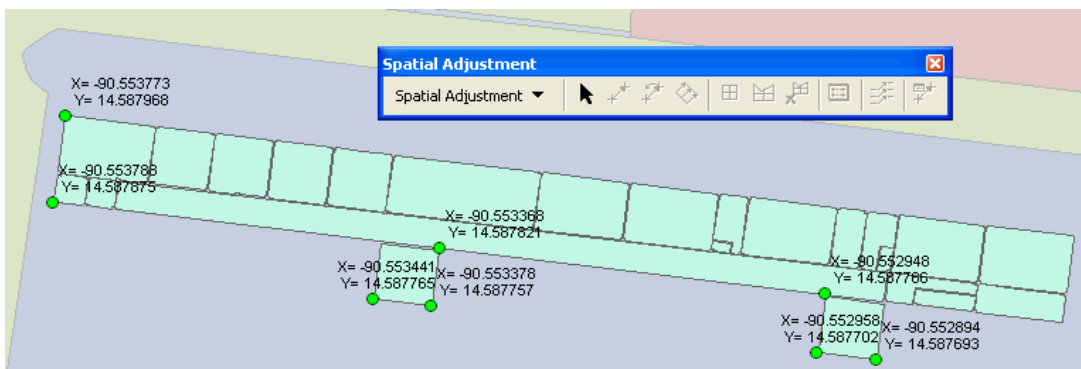
3.4.4 Georeferenciación del edificio T-3

Una vez terminada la digitalización y edición de los datos se procedió a georeferenciar los elementos espaciales. Como se expuso en el capítulo 2 la georeferenciación consiste en asignar coordenadas reales a elementos espaciales para ubicarlos en un lugar exacto y preciso sobre el planeta.

En la construcción de este sistema de información geográfico utilizamos el edificio T-3 de la facultad de ingeniería como punto de control para georeferenciar todos los demás edificios del conjunto de ingeniería. Para ello fue necesario tomar puntos de control que en este caso fueron las esquinas del edificio T-3. Las coordenadas fueron capturadas con el uso de GPS de alta precisión y se utilizó el sistema de coordenadas geográficas WGS 1984.

Con los puntos de control o coordenadas del edificio T-3 se utilizó nuevamente el *software* ArcInfo para poder hacer un ajuste espacial es decir asignar las coordenadas tomadas del edificio T-3 a las esquinas del edificio del mapa digital como se muestra en la figura 33. Una vez que fueron georeferenciadas todas las capas de información, procedemos a presentar y publicar los mapas.

Figura 32. Georeferenciación del edificio T-3

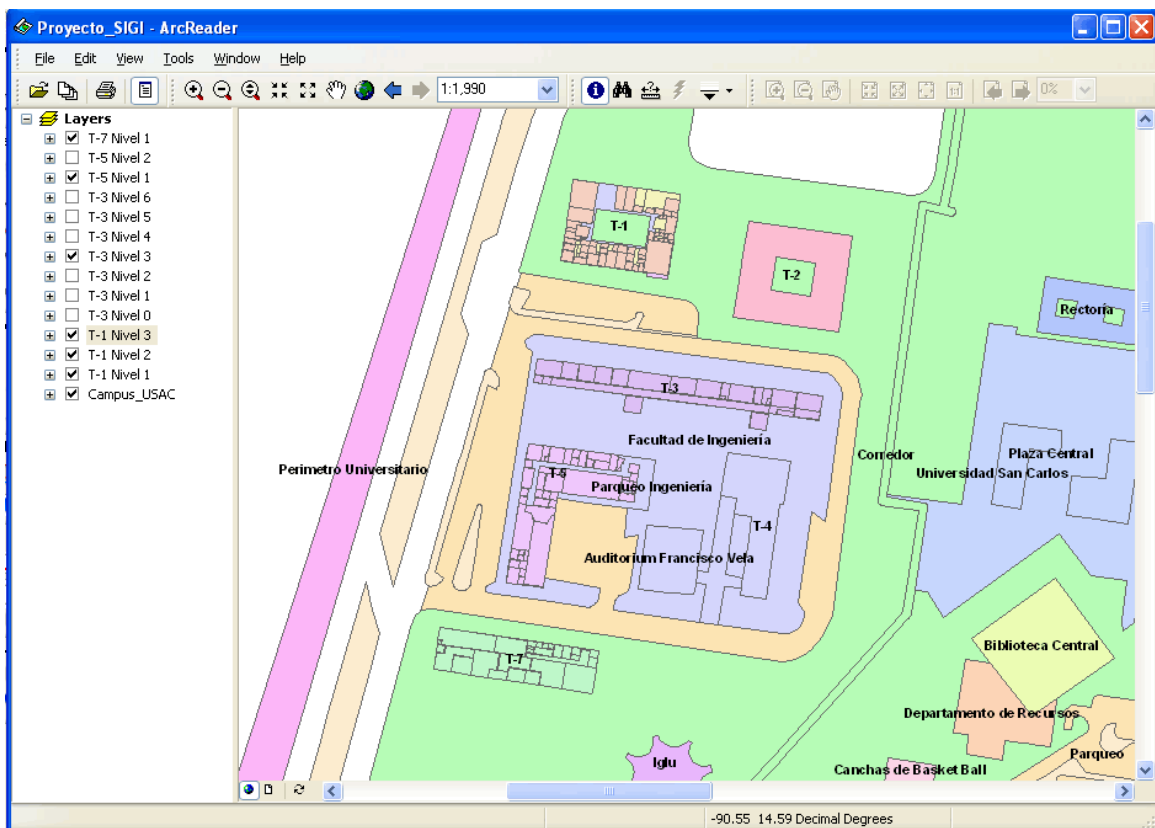


Fuente: *Software* ArcInfo

3.5 Publicación y presentación de datos

El último paso para completar el sistema de información geográfico es publicar las capas de información y presentarlas en un mapa. Para la creación del mapa se utilizó el *software* ArcInfo y para la publicación del mapa se utilizó la extensión ArcGIS Publisher. Para acceder al mapa se utiliza el *software* ArcReader que puede ser adquirido sin ningún costo desde la página de ESRI www.esri.com.

Figura 33. Mapa del conjunto de edificio de la Facultad de Ingeniería



Fuente: *Software* ArcReader

CONCLUSIONES

1. El uso de sistemas de información geográfico dentro de las organizaciones, brinda nuevas soluciones a problemas conocidos y ayuda a la mejora de toma de decisiones, ya que es una herramienta que puede modelarnos la realidad de una forma gráfica con opción de poder hacer diferentes tipos de análisis, procesos y consultas.
2. La utilización de GPS para la ubicación y georeferenciación de elementos espaciales, mejoran la calidad de resultados en la implementación de cualquier sistema de información geográfico.
3. La utilización de Sistemas de Información Geográfico permite la creación de capas de información descriptiva y georeferenciada de una entidad física.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta este estudio como base para la construcción de un sistema de información geográfico más rico en datos, donde pueda modelarse la realidad de la Facultad de Ingeniería, mediante la creación de nuevas capas temáticas, para mejorar y aprovechar los espacios físicos con los que cuenta.
2. Incluir dentro de los pensum de estudio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, los temas de sistemas de información geográficos y sistemas de posicionamiento global, para proveer al estudiante de mejores herramientas, para que pueda solucionar de mejor forma, los problemas que se presentan a diario en las diferentes industrias y organizaciones.

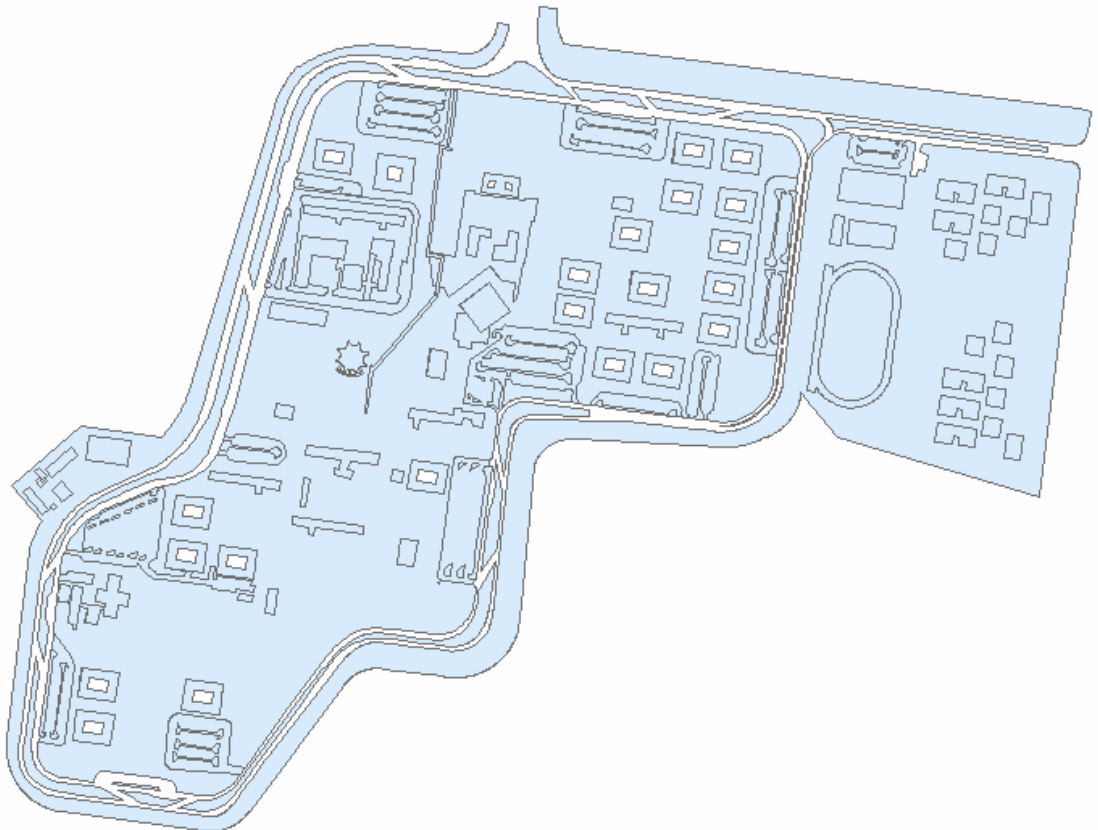
BIBLIOGRAFÍA

1. ESRI. MapObjects. Estados Unidos de América. 1999
2. Ochoa López, Lorna del Rosario. Sistemas de Información Geográfica, ventajas y desventajas de su utilización en Guatemala. Octubre de 2003.
3. Rosales Rossi, Juan Jacobo. Sistemas de Información Geográficos aplicados a la Agro-Industria. Julio de 1996.
4. Trimble. Mapping Systems General Reference. Enero 2002.
5. Zeiller, Michael. Modeling Our World. ESRI Press. Estados Unidos de América. 1999.
6. Aerovía, la aviación en la red. Página de Internet <http://www.aerovia.com/fotografiaaerea/index.asp>, mayo 2005.
6. ESRI - The GIS Software Leader. Página de Internet <http://www.esri.com>, marzo 2005.
7. Cartografia. Página de Internet <http://www.cadex.org/bolfor/Libros/Cartografia.pdf>, marzo 2005.

8. Facultad de Ciencias Agrarias -UNR-. Página de Internet <http://www.fcagr.unr.edu.ar/catedras/mdt/GTS/Zonaedu/GIS1htm.htm>, marzo 2005.
9. Geosistemas y tecnología avanzada, S. A. Página de Internet www.geosistec.com, marzo 2005.
10. GeoVirtual. Página de Internet <http://www.geovirtual.es/edit/favert.html>, marzo 2005.
11. Glosario SIG. Página de Internet <http://www.gisits.com/otros/Glosario.pdf>, marzo 2005.
12. Sistema de Información Geografico. Página de Internet <http://www.audifilm.com/dosier/dosier3/GIS.htm>, marzo 2005.
13. Sistemas de Información Geográfica. Página de Internet <http://onso.cps.unizar.es/gestion/GIS.html>, marzo 2005.
14. Trimble Home. Página de Internet <http://www.trimble.com>, marzo 2005.

APÉNDICE

Figura 34. Mapa digitalizado del campus de la Universidad de San Carlos



Fuente: *Software ArcInfo*

