

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES**  
**CARRERA DE INFORMATICA**



**PROYECTO DE GRADO**

**“SISTEMA DE CARTOGRAFÍA DIGITAL”**

**PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIATURA EN INFORMATICA**

**MENCION INGENIERIA DE SISTEMAS INFORMATICOS**

**Postulante:** Univ. Luis Fernando Contreras Zuleta  
**Tutor:** MSc. Franz Cuevas Quiroz  
**Revisor:** Lic. German Huanca Ticona  
**Asesor:** My. DIM Arturo Echalar Rivera

**LA PAZ - BOLIVIA**  
**2007**

## ***DEDICATORIA***

A Dios, por haberme permitido conocer la verdadera razón de la existencia humana.

A mi madre, Maria Elena Zuleta Terán por brindarme todo el apoyo y colaboración en esta vida, además de su gran amor, paciencia y ejemplo para conmigo.

A mis hermanos, Juan Carlos y Johanna, por su cariño, tolerancia y amistad durante todos estos años

A mi novia, Isabel Flores Guzmán, por su apoyo incondicional en los momentos más importantes de mi vida.

**Luis Fernando Contreras Zuleta**

# ***AGRADECIMIENTOS***

A mi Tutor MSc. Franz Cuevas Quiroz, excelente catedrático, mentor y amigo, por todos los valiosos conocimientos transmitidos de manera desinteresada.

A mi Revisor Lic. Germán Huanca Ticona, por todo el apoyo y la orientación profesional en la culminación del presente documento.

A mi Asesor, My. DIM Arturo Echalar Rivera por brindarme la confianza y oportunidad de poder desarrollar y aplicar los conocimientos adquiridos en tan prestigiosa y reconocida Institución como es el Instituto Geográfico Militar, su voluntad en la investigación ha sido y es una cualidad digna de imitar.

De igual forma agradezco profundamente al General BRIG. Freddy Mackay, por la oportunidad de demostrar que se puede servir a la patria con todos los conocimientos en cada área de formación profesional en el Ejército de Bolivia.

Agradecer especialmente al Ing. Cesar Beltrán Villalba, por su valiosa labor en la formación de la importancia de la codificación de la información desde sus valores naturales hasta la gamma inmensa de sus aplicaciones.

Doy las gracias a todos los que fueron pilares fundamentales durante el proceso de formación que me tocó vivir en esta casa superior de estudios.

**Luis Fernando Contreras Zuleta**

# Resumen

El Instituto Geográfico Militar – IGM - , instancia facultada por el Decreto Supremo No 1158 y elevada a categoría de Ley el 21 de Diciembre de 1948 misma que delega la Misión al IGM de Realizar todos los trabajos Geodésicos Fundamentales en todo el Territorio de la Republica de Bolivia. No obstante, con la creciente utilización de técnicas de posicionamiento por satélite, especialmente del GPS (Global Positioning System), se ha presentado la necesidad de incorporar y emplear la nueva tecnología en la base cartográfica nacional como en la plataforma geodésica vigente y medios en Línea que permitan dar mayor cobertura a la información obtenida.

El Sistema de Cartografía Digital vía Web beneficiará a numerosas instituciones de tipo gubernamental, académico y privado, que han utilizado nuestra información como punto de apoyo para el adecuado desempeño de sus actividades, demostrándonos una vez más, los altos niveles de calidad que ha mantenido el IGM en la información geodésica generada durante los últimos 70 años.

El Sistema Vía Web de Referencia Geocéntrico Cartográfico Nacional fue diseñado y será implementado por el Instituto Geográfico Militar en razón a la existencia de una Referencia Internacional denominada Red SIRGAS, a cuya consecuencia se crearon las Redes Nacionales en cada País, en ese sentido y considerando las especificaciones técnicas provenientes de SIRGAS es que se diseña e implementará el sistema en línea, los cuales referenciará los 137 puntos GPS en diferentes escalas en todo el territorio de la República de Bolivia, cada punto se ha establecido con observaciones de 48 Horas, todos han sido catalogados como puntos de Clase B y ajustados a la Referencia de orden Mayor o sea de clase A en este caso compuesto por los 9 puntos SIRGAS (estaciones continuas) en Bolivia.

Por consiguiente el Sistema de cartografía Digital beneficiará directamente con la Información Georeferencial - Satelital a un 85% de los estudiosos de la Topografía, Geodesia, Cartografía, así también a Instituciones públicas y privadas, permitiendo abrir nuevas brechas para el desarrollo de aplicaciones Geográficas.

# Índice

|                   |      |
|-------------------|------|
| Agradecimientos   | iii  |
| Resumen           | iv   |
| Índice General    | v    |
| Índice de Figuras | viii |
| Índice de Tablas  | ix   |

## CAPITULO I

### Introducción

|  |    |
|--|----|
| 1.1 Antecedentes.....                          | 1  |
| 1.1.1 Antecedentes de la Institución.....      | 4  |
| 1.1.2 Antecedentes de Proyectos similares..... | 4  |
| 1.2 Planteamiento del Problema.....            | 6  |
| 1.3 Justificación.....                         | 7  |
| 1.4 Objetivos.....                             | 8  |
| 1.4.1 Objetivo Principal.....                  | 8  |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....               | 8  |
| 1.5 Alcances.....                              | 9  |
| 1.6 Aportes.....                               | 11 |

## CAPITULO II

### Marco Teórico

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Definiciones.....                       | 13 |
| 2.2 Estructura de un SIG.....               | 15 |
| 2.3 Componentes de un SIG.....              | 17 |
| 2.4 Información que maneja un SIG.....      | 18 |
| 2.4.1 Atributos Gráficos.....               | 18 |
| 2.4.2 Atributos No Gráficos.....            | 20 |
| 2.5 Base de datos Geográfico.....           | 20 |
| 2.6 Modelos Vectorial y Raster.....         | 21 |
| 2.6.1 Modelo Vectorial.....                 | 22 |
| 2.6.2 Modelo Raster.....                    | 23 |
| 2.7 Operaciones y Funciones de los SIG..... | 24 |
| 2.7.1 Entrada De Información.....           | 24 |
| 2.7.2 Gestión de la Información.....        | 26 |
| 2.7.3 Análisis de la Información.....       | 26 |
| 2.7.4 Ventajas de los SIG.....              | 26 |
| 2.7.5 Aplicaciones de los SIG.....          | 26 |
| 2.8 Calidad del Software y Métricas.....    | 28 |
| 2.8.1 Calidad de Software.....              | 28 |
| 2.8.2 Métricas de Calidad de Software.....  | 28 |

## CAPITULO III

### Análisis y Diseño de Sistema

|   |    |
|---|----|
| 3.1Especificación de Requerimientos.....      | 33 |
| 3.2 Funciones de los componentes del SIG..... | 36 |
| 3.3 Información que maneja el SIG.....        | 37 |
| 3.3.1 Atributos Gráficos.....                 | 37 |
| 3.3.1 Atributos No Gráficos.....              | 38 |
| 3.4 Modelo de Diseño del SIG.....             | 38 |

|   |    |
|---|----|
| 3.4.1 Modelo Conceptual.....                      | 39 |
| 3.4.2 Modelo Lógico.....                          | 40 |
| 3.4.3 Modelo Físico.....                          | 41 |
| 3.5 Diseño de la Interfaz Grafica.....            | 41 |
| 3.5.1 Herramienta ArcView 3.2.....                | 41 |
| 3.5.2 Diseño de la Interfaz de Usuario.....       | 42 |
| 3.5.3 Diseño de la Interfaz de Búsquedas.....     | 43 |
| 3.5.4 Diseño del Módulo de Simulación.....        | 45 |
| 3.6 Análisis de Datos y Resultados Obtenidos..... | 49 |
| 3.7 Calidad de Software.....                      | 51 |
| 3.7.1 Funcionalidad.....                          | 52 |
| 3.7.2 Usabilidad.....                             | 53 |
| 3.7.3 Flexibilidad.....                           | 55 |
| 3.7.4 Portabilidad.....                           | 56 |
| 3.7.5 Instalación / Mantenibilidad.....           | 57 |
| 3.8 Seguridad del Sistema.....                    | 57 |
| 3.9 Análisis Costo Beneficio del Sistema.....     | 59 |

## **CAPITULO IV**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 4.1 Conclusiones.....    | 61 |
| 4.2 Recomendaciones..... | 62 |
| Bibliografía.....        | 63 |
| Anexos                   |    |
| Documentación            |    |

# Índice de Figuras

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 2.1  | Sistemas de Información Geográfico.....                       | 15 |
| Figura 2.2  | Estructura de los Sistemas de Información Geográfico.....     | 16 |
| Figura 2.3  | Atributos Gráficos de la Información de un SIG.....           | 18 |
| Figura 2.4  | Atributos Gráficos – Punto, Líneas, polígonos.....            | 19 |
| Figura 2.5  | Atributos No Gráficos de la Información de un SIG.....        | 20 |
| Figura 2.6  | Abstracción a los modelos Vectorial y Raster.....             | 21 |
| Figura 2.7  | Modelo Vectorial.....   | 23 |
| Figura 2.8  | Modelos Raster.....   | 24 |
| Figura 2.9  | Operaciones y Funciones de los SIG.....                       | 25 |
| Figura 3.1  | Funciones de los Componentes del SIG.....                     | 36 |
| Figura 3.2  | Atributos Gráficos.....                                       | 37 |
| Figura 3.3  | Modelo de Diseño el SIG.....                                  | 38 |
| Figura 3.4  | Modelo Conceptual del SIG.....                                | 39 |
| Figura 3.5  | Modelo Lógico del SIG.....                                    | 40 |
| Figura 3.6  | Modelo Físico del SIG.....                                    | 41 |
| Figura 3.7  | Interfaz Gráfica del Arc View 3.2.....                        | 42 |
| Figura 3.8  | Interfaz del Menú Principal.....                              | 43 |
| Figura 3.9  | Interfaz del Modulo de Búsquedas.....                         | 45 |
| Figura 3.10 | Interfaz del Modelo Digital de Bolivia.....                   | 46 |
| Figura 3.11 | Interfaz del Modelo Digital con sus departamentos.....        | 46 |
| Figura 3.12 | Interfaz del Modelo Digital a escala 1:250000.....            | 47 |
| Figura 3.13 | Interfaz del Modelo Digital a escala 1:100000.....            | 47 |
| Figura 3.14 | Interfaz del Modelo Digital de Bolivia y sus Poblaciones..... | 48 |
| Figura 3.15 | Interfaz del Modelo Digital y las Estaciones Continuas.....   | 48 |





# Índice de Tablas

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabla 3.1 | Descripción de Parámetros de Medición.....      | 33 |
| Tabla 3.2 | Atributos No Gráficos.....                      | 38 |
| Tabla 3.3 | Relación entre objetos de la Base de Datos..... | 53 |
| Tabla 3.4 | Evaluación de usabilidad.....                   | 54 |
| Tabla 3.5 | Tipos de cambios dentro del software.....       | 55 |
| Tabla 3.6 | Requerimiento de Hardware y Software.....       | 57 |

# Capítulo 1

## Introducción

El Instituto Geográfico Militar – IGM - , instancia facultada por el DS No 1158 y elevada a categoría de Ley el 21 de Diciembre de 1948 misma que delega la Misión al IGM de Realizar todos los trabajos Geodésicos Fundamentales en todo el Territorio de la Republica de Bolivia, así como la Organización de comisiones Técnicas y realización de la demarcación de las fronteras Internacionales, encargándose directamente de la demarcación de los limites departamentales y provinciales.

Cumpliendo con esta Misión encomendada por la Republica es que el IGM está en la obligación de proporcionar un Marco de Referencia Geocéntrico Nacional para el País, acorde con los estándares internacionales vigentes y haciendo uso de las tecnologías de Posicionamiento Global disponibles. Para el efecto, el IGM ha decidido definir, instrumentar y adoptar un sistema vía Web de Cartografía Digital como respuesta a la actual ubicación espacial de los datos geográficos y los crecientes niveles de precisión impuestos por los Sistemas de Información.

En el periodo anterior a 1985 en el I.G.M., las diferentes funciones de los profesionales de la cartografía topográfica estaban claras. Los Geodestas realizaban lecturas detalladas con instrumentos y computaban los elementos que definían la forma básica del paisaje. A partir de esta información, los topógrafos completaban los detalles en el terreno y los operadores de fotogrametría proporcionaban un mapa previo utilizando la fotografía aérea. Los cartógrafos reconducían sus esfuerzos y presentaban todos estos datos de manera atractiva, al tiempo que comunicaban la información de forma efectiva evitando cualquier tipo de

ambigüedad. Otros especialistas, como los geólogos, utilizaban estos mapas como base sobre la cual volcaban aquellos detalles que tenían interés para ellos.

Sin embargo, en la última década esta estructura se ha visto trastocada por la utilización de las nuevas tecnologías; la mayor parte del trabajo que exigía un cierto nivel de destreza ha ido desapareciendo debido a la información proporcionada por los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y debido a los nuevos equipos de medición geodésica. Se han construido bases de datos en los programas de las computadoras que les permiten producir mapas con una calidad, legibilidad y rapidez superiores a las que se obtenían con antiguas técnicas.

El uso generalizado de los ordenadores o computadoras ha dado paso al desarrollo de un nuevo grupo de instrumentos denominados Sistemas de Información Cartográfica Digital en diferentes países, si se consideran todos los aspectos relacionados con la realidad física y las diferentes actividades humanas. Sin embargo, sería útil resumir sus posibilidades diciendo que es capaz de responder a los siguientes tipos de afirmaciones:

**a) Preguntas puntuales**, que tipo de suelo existe en la latitud X, longitud Y o cuál es la población de un distrito o circunscripción electoral, un Sistema de Información Geográfica Cartográfica es un sistema informático que sintetiza, analiza y representa muchos tipos diferentes de datos geográficos de una forma comprensible. Esta imagen generada

**b) Dirección**, como puedo ir desde un punto X hasta un punto Y, siguiendo instrucciones detalladas para ir conduciendo desde un determinado punto en una provincia que se encuentra en Tarija, hasta un punto que se encuentra en La Paz.

**c) Localización**, donde esta un punto X si es verdadero o falso, en qué parte del país o del mundo puedo encontrar cultivos del tipo A que crezcan en los suelos de tipo X

Pero la verdadera ventaja del Sistema de Cartografía Digital es que son los únicos instrumentos que pueden juntar la información geográfica que se han recogido de forma independiente por diferentes instrumentos (digitalizando, con bases de datos, escáner, etc.)

y desde diferentes organizaciones, que tradicionalmente elaboraban esa información sólo para sus propios fines.

Para la cartografía en primer lugar constituye un verdadero desarrollo para las organizaciones cartográficas estatales y asegura que sus datos se utilizarán con mayor amplitud. Pero los efectos del sistema van mucho más allá. El mapa tradicional, aunque contiene grandes cantidades de información y es más apto para la utilización sobre el terreno, presenta dificultades a la hora de extraer de él diferentes tipos de información y de combinar ésta para darle un sentido y adaptarse a las necesidades individuales. Por otro lado, el mapa sigue siendo el mejor método de representar las variaciones geográficas de un modo que pueda ser comprendido con rapidez por diferentes personas y con la combinación de una herramienta SIG. , “instrumento para explorar, seleccionar y analizar la información”, con la cartografía automatizada está asegurando la rápida expansión de los mapas.

En este contexto, se exponen las necesidades de definir un Marco de Referencia Geocéntrico Nacional que sea empleado en todo el País imponiendo el criterio de actualización y estandarización en el manejo de Información Geodésica Básica en Línea.

Con la visión de promover y difundir las diversas consideraciones tenidas en cuenta para el desarrollo del nuevo Marco de Referencia Geocéntrico Nacional; esperando como retribución, hacemos partícipes de las opiniones y comentarios de las personas que por la naturaleza de sus actividades, tienen como insumo básico la información geodésica básica generada por el IGM la cual se proporcionará en el Sistema vía Web y que, por tanto, serán los directos beneficiados con el proceso de estandarización.

La vigencia de cualquier sistema de referencia está marcada por su utilización. De este modo, es necesario que el IGM y las diferentes instituciones del País que emplean información geodésica en el país, promuevan la adopción del nuevo Sistema en Línea que comprenda el Marco Geocéntrico de Referencia Nacional para que sea puesto en operación de la manera más eficiente y provechosa posible.

De esta manera describiremos a continuación en los siguientes capítulos el desarrollo del Sistema de Cartografía Digital, sus aplicaciones, componentes y los beneficios que llevará con la implementación de la misma. Asimismo, se presentan las propiedades del

Marco de Referencia Geocéntrico Nacional, las implicaciones técnicas de su instrumentación, las ventajas de su utilización y las medidas transitorias necesarias para su adopción definitiva a nivel nacional utilizando el Internet [Fernández, 2003].

## **1.1 ANTECEDENTES**

### **1.1.1 Antecedentes de la Institución**

El Instituto Geográfico Militar - IGM - es la Institución del Estado Boliviano encargado de producir, analizar y radiar la información Georeferenciada necesaria para el desarrollo integral del país.

Esta información es indispensable en la formulación y ejecución de proyectos de los sectores público y privado, por lo que debe caracterizarse por su vigencia técnica y la oportunidad de su producción. Para el efecto, el IGM, a través del Departamento III operaciones de campo y la Sección de Geodesia Topografía y Cálculos que tiene por misión el establecer un Sistema vía Web de Cartografía Digital que comprenda la Red Geodésica de control Horizontal en Bolivia a si como la Red Geodésica de Nivelación y de Control Vertical, mismas que proporcionan los puntos de control horizontal y vertical necesarios para la ubicación y representación cartográfica de los diversos rasgos topográficos del territorio boliviano en todo el territorio Nacional.

Como resultado, el país contará actualmente con un Sistema de Cartografía Digital que comprenda diferentes escalas en algunos casos con recubrimiento nacional, toda esta información cartográfica esta referida espacialmente al Datum "PSAD 56" (Provisional South American Datum del año 1956) que toma como Referencia el Elipsoide Internacional de Hayford definido el año 1924 considerando además la Red Geodésica del IGM que realizo en base a estos parámetros de Referencia.

### **1.1.2 Antecedentes de Proyectos similares**

En la carrera de Informática se desarrollo los siguientes proyectos similares para diversas instituciones, utilizando herramientas GIS, para el desarrollo de las mismas.

- ✓ **Sistema de Control Geográfico de las Unidades Educativas – Gobierno Municipal de La Paz**, Miriam Patricia Anibarro Sanjinez, Implantar un Sistema de Información Georeferenciada de Control de Unidades Educativas del municipio de La Paz , que faciliten datos actualizados rápidos y Concretos, 2004.
- ✓ **Sistema de Información Georeferencial de Urbanizaciones y Remodelaciones**, Claudia Vásquez Pericón, Implementar un Sistema de Información Cliente / Servidor para el proyecto de Regularización de Urbanizaciones y/o Remodelaciones con Interfaces Interactivas que permitan un fácil acceso y entendimiento para el usuario, 2005.
- ✓ **Sistema de Información Geográfica de Control y Seguimiento de la Planificación y gestión del Desarrollo Territorial – Sub alcaldía de Cotahuama**, Dora Virginia Silvestre Vilo, Desarrollar e implementar un “Sistema de Información Geográfica” que permita realizar un adecuado registro, control y seguimiento de proyectos de edificaciones, autorizaciones, procesos a infracciones, actividades económicas generadas y levantamientos topográficos que se van realizando en el Macro Distrito para lograr un desarrollo armónico territorial mediante una oportuna toma de decisiones y una adecuada Planificación y Gestión Territorial haciendo uso de medios Informáticos y herramientas GIS, 2006.

El Sistema de Cartografía Digital vía Web beneficiará a numerosas instituciones de tipo gubernamental, académico y privado, que han utilizado nuestra información como punto de apoyo para el adecuado desempeño de sus actividades, demostrándonos una vez más, los altos niveles de calidad que ha mantenido el IGM en la información geodésica generada durante los últimos 70 años.

No obstante, con la creciente utilización de técnicas de posicionamiento por satélite, especialmente del GPS (Global Positioning System), se ha presentado la necesidad de incorporar y emplear la nueva tecnología en la base cartográfica nacional como en la plataforma geodésica vigente y medios en Línea que permitan dar mayor cobertura a la información obtenida.

## 1.2 PROBLEMA

El GPS es un sistema que nos facilita, con una precisión casi exacta, nuestra posición horizontal en la tierra. Dicho cálculo se realiza a partir de los datos que nos envía una red de 24 satélites, lo que nos proporciona el acceso a una tecnología muy sofisticada y precisa, que hace que el conocimiento y uso del receptor GPS sea de un extraordinario interés, con muchas y variadas utilidades desde el punto de vista profesional.

Los receptores GPS en nuestro País se encuentran establecidos en 137 puntos GPS, por tanto, unos dispositivos extraordinariamente útiles para cualquier tarea de investigación de campo, necesitan ser georeferenciados en diferentes escalas para un adecuado uso y transformación de sus coordenadas para las aplicaciones que esta requiera. Entonces nos preguntaremos si el sistema permite satisfacer los siguientes requerimientos:

¿El Sistema de Cartografía Digital colaborará con la ejecución de las actividades relacionadas con los levantamientos topográficos, fotogramétricos y catastrales?

¿El Sistema de Cartografía Digital permitirá referenciar cada Punto de Localización Satelital GPS?

¿El Sistema de Cartografía Digital identificará los Puntos GPS en diferentes escalas?

¿El Sistema de Cartografía Digital visualizará las Redes de Nivelación para ajustes de Limitación de Provincias o poblaciones?

¿El Sistema de Cartografía Digital Facilitará la información precisa de Coordenadas de Puntos cartográficos y recursos descargables, bajo convenios con la institución?

¿El Sistema de Cartografía Digital identificará que poblaciones hacen referencia cercana a los Puntos GPS y estaciones Continuas que existen el cada departamento dentro el territorio Boliviano?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Cuando el Instituto Geográfico Militar, decide publicar en Internet las referencias de los Puntos G.P.S. en el territorio Nacional, hace que sea evidente una serie de ventajas difícilmente apreciadas en el caso de que la distribución de los mapas, de manera estratégica como los que presentamos.

El acceso a servidores de cualquier tipo permite que el nuevo Marco de Referencia Geocéntrico Nacional en línea, constituirá una red homogénea y operacional y un registro de la utilización de los recursos, un conocimiento de los perfiles de usuario que más demandan esta información y en definitiva una constante retroalimentación que hace que la oferta de los servicios se está adaptando constantemente. Se consigue con esto resolver la incógnita de estar ofreciendo una información, un servicio o unas herramientas sin conocer hasta qué punto ésta se adapta a las necesidades de los usuarios.

La optimización de recursos y la tecnología cliente-servidor favorece una centralización generalizada. Centralización de los datos espaciales, centralización de los esfuerzos, una homogeneización de herramientas, y la estandarización de métodos y procedimientos, En definitiva, provoca y mejora una coordinación entre los diferentes actores implicados. Todo esto tiene como consecuencia una optimización de los recursos, evitando esfuerzos duplicados y centralizando el esfuerzo de varios departamentos.

El solo hecho de publicar una información espacial hace que ésta mejore. Siempre que se accede a un dato en línea, ya sea en Internet corporativa se presupone un mínimo de calidad y actualización. Esto provoca en los responsables y proveedores de la información un cambio de actitud en lo que al sistema se refiere, aumentando los esfuerzos de coordinación y optimizando los recursos. Es bastante habitual, por ejemplo, que a nivel interno se acceda a la publicación para comprobar la veracidad de ciertos datos. La filosofía de "lo que está publicado es lo bueno y lo último" cala en las organizaciones desde abajo hasta arriba del organigrama.

La publicación de la información geográfica de manera sencilla, rápida y eficaz en línea, produce un inmediato aumento de los usuarios, lo que hace que el coste por usuario o



institución de los mapas se reduzca espectacularmente. La utilización de visualizadores estándar sin coste por licencia es otro motivo por el que el coste por usuario sufre una drástica reducción. Un gran número de usuarios también contribuye a buscar alternativas y dedicar recursos para acceder y proporcionar software gratuito o de bajo coste, ya que el modelo tradicional de licencias por puesto se plantea inviable

La publicación de cartografía aumenta la presencia del organismo publicador en la comunidad de usuarios y en la propia organización. Esto provoca un reconocimiento de la necesidad de la información geográfica y un aumento de los recursos destinados al Instituto Geográfico Militar que promueve la publicación. Además se da el caso de que la publicación se considera un objetivo a largo plazo, por lo que el aumento de recursos es estable en el tiempo, lo que permite una mejora importante al ir transformando un proyecto en un servicio a medio o largo plazo, asegurando el éxito [Escobar, 2000].

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Diseñar e Implementar un Sistema de Cartografía Digital vía Web, que permita realizar un registro completo de inscripción de puntos de localización satelital G.P.S. y gravimétricos, Redes de Nivelación, Mapas u otros documentos cartográficos referenciado mediante coordenadas y proyecciones cartográficas, y medios de difusión multimedia.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Colaborar con la ejecución de las actividades relacionadas con los levantamientos topográficos, fotogramétricos y catastrales, utilizando cálculos basados en la Tecnología GPS.
2. Referenciar cada punto satelital GPS y gravimétrico, por nombre, coordenadas, proyecto, departamentos, normalizando cada una de las tablas referenciales.

3. Determinar la interactividad para visualizar cada una de las líneas de Nivelación y los puntos que consta, como la información detallada, proyecto de ejecución dentro del territorio nacional.
4. Georeferenciar cada uno de los mapas en sus diferentes escalas, para su utilización y sea compatible internacionalmente para facilitar la definición de representación cartográfica acorde con los estándares globales, utilizando datos Geodésicos.
5. Identificar Información precisa de Coordenadas de Puntos cartográficos y Ajustes de Nivelación y recursos descargables, bajo convenios con el Instituto Geográfico Militar.
6. Desarrollar medios Interactivos Multimedia que permita orientar acerca de los conceptos fundamentales de Cartográficas, Geodesia, Fotogrametría, etc., mediante herramientas de diseño Interactivo multimedia.

## **1.5 ALCANCES**

El Instituto Geográfico Militar se ha caracterizado por mantener altos estándares de calidad y competitividad en la producción de información geográfica y cartográfica. No obstante, es necesario abordar una política de modernización de la base geodésica que reconozca la excelencia de la información clásica y que además comprenda su obsolescencia y la necesidad de una renovación total y uso de medios en línea utilizando como medio principal el Internet y todos los recursos que brinda acorde con las tecnologías existentes.

El IGM, ente rector de la Cartografía en Bolivia, ha encontrado como la mejor alternativa el desarrollo de un Sistema de referencia de Cartografía Digital vía Web que actualiza la representación cartográfica del país, soporta la tecnología GPS, satisface las exigencias de precisión requeridas por sus usuarios y es compatible internacionalmente.

El Sistema Vía Web de Referencia Geocéntrico Cartográfico Nacional fue diseñado y será implementado por el Instituto Geográfico Militar en razón a la existencia de una Referencia Internacional denominada Red SIRGAS, a cuya consecuencia se crearon las

Redes Nacionales en cada País, en ese sentido y considerando las especificaciones técnicas provenientes de SIRGAS es que se diseña e implementará el sistema en línea, los cuales referenciará los 137 puntos GPS en todo el territorio de la República de Bolivia, cada punto se ha establecido con observaciones de 48 Horas, todos han sido catalogados como puntos de Clase B y ajustados a la Referencia de orden Mayor o sea de clase A en este caso compuesto por los 9 puntos SIRGAS en Bolivia.

La Red Geodésica Fundamental empleada para la elaboración del Sistema de Cartografía Digital vía Web fue obtenida a partir de Observaciones Astronómicas y densificada mediante procedimientos trigonométricos, o sea, mediante la medición de ángulos y distancias de manera que se pudo consolidar como la Red de Control Horizontal necesaria para la elaboración del Sistema.

En este sentido, el Sistema de Referencia Geocéntrico de Cartografía Nacional, deberá estar conformado por tres elementos: primero, una red permanente y activa que permita calcular continuamente coordenadas sobre la superficie terrestre para observar de manera constante la deformación del marco de referencia que contenga a su vez una red casi permanente; segundo, una red básica que proporcione variaciones periódicas de sus coordenadas, facilitando la zonificación de los desplazamientos del marco de referencia y, finalmente, una red de densificación con la cantidad necesaria y adecuada distribución de estaciones para que sea accesible en cualquier lugar del país, todo esto siendo referenciado por puntos satelitales, provincias, municipios, departamentos y coordenadas.

El empleo de este Sistema de Cartografía Digital en línea y las estaciones GPS Continuas (CGPS) proporcionaría al país información que no solo sea para ajustar valores de coordenadas X, Y, Z, con precisión, sino que al haber definido el ITRS para Bolivia, se implementaría el ITRF con el cual anualmente se podrán calcular datos de Velocidad que sean útiles para la actualización de coordenadas y por ende de la Cartografía Básica Nacional, considerando la dinámica de Movimiento de las Capas Tectónicas, y definiendo parámetros tales como velocidades  $V_x$ ,  $V_y$ , y  $V_z$ , de desplazamiento las cuales además posibilitaran y permitirán cumplir con todos los requerimientos establecidos en el Catalogo de Objetos definido en el Modelo de datos para Puntos de Control Geodésico propuesto por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) institución rectora de la Cartografía a Nivel Internacional.

Si bien este sistema en la Red ya ha sido determinado con estándares aceptables de precisión, la compleja situación geodinámica presente en Bolivia hace necesaria la actualización periódica de la misma. Dicha actualización permitirá particularizar y sectorizar la variación de las coordenadas sobre la topografía, pudiéndose predecir la deformación de la de la superficie, ofreciendo intervalos de cambio más precisos para los diferentes usuarios del GPS en el país. Por otra parte, la necesidad de posicionar periódicamente estos vértices, generará una política de mantenimiento que revertirá en la conservación adecuada de los monumentos.

## 1.6 APORTES

El nuevo Sistema de Cartografía Digital Nacional, constituirá una red homogénea y operacional, compatible internacionalmente que facilitará la definición de un nuevo sistema de representación cartográfica acorde con los estándares globales.

Asimismo, alcanzará los niveles de precisión exigidos por los Sistemas de Información Geográfica. Dentro del proceso de modernización del Estado Boliviano, que compromete a sus diferentes entidades con el desarrollo de servicios de información flexibles, la nueva plataforma permitirá la fácil manipulación de diferentes variables, entre las que se destacan: el sistema catastral, la titulación y valuación de tierras, el relieve, la Geodesia, la distribución política y la ubicación de zonas de riesgo natural en general; elementos ligados al sistema geodésico nacional vigente.

El nuevo Sistema de Cartografía Digital geodésico, facilitará la ejecución de las actividades relacionadas con el desarrollo sostenible, modernizará los levantamientos topográficos, fotogramétricos y catastrales, proporcionará mayor referencia en la precisión en la base cartográfica para el diseño y construcción de obras civiles y permitirá el mejor desempeño de la navegación y puntos de localización satelital. Esto último, se traducirá en mejores condiciones de los terminales a fin satisfacer las especificaciones internacionales, mayor eficacia en la definición de rutas fluviales, aéreas, marítimas y terrestres y mejores condiciones de los sistemas de comunicación [Vásquez, 2002].

Si bien, el nuevo sistema de referencia alcanzará objetivos de diversa índole, los principales beneficios e importancia pueden resumirse en:

**a) Soporte a la automatización catastral Urbana y Rural.**

La cartografía empleada con propósitos catastrales está representada sobre una base cartográfica distorsionada, que altera las formas y las áreas de los predios y dificulta la elaboración de sistemas de información catastral. Debido al desconocimiento de un Sistema de Referencia Estándar, produciendo en muchos casos sobre posición de predios y propiedades. Con la precisión del nuevo Sistema y la Referencia al Marco de Referencia Geocéntrico Nacional se facilita la ejecución de las etapas del proceso catastral, se hace más confiable la determinación de zonas homogéneas geoeconómicas y la liquidación automática de los avalúos catastrales. Asimismo, se podrá beneficiar con la Información Geodésica Básica, en primera instancia, a todos los Municipios más importantes del País, y con la consolidación a futuro de este proyecto, a todos los Municipios del País.

**b) Simplificación del manejo digital de datos espaciales.**

Las distorsiones existentes en las coordenadas geográficas y la base cartográfica actual dificultan la combinación de los diferentes sistemas de información desarrollados en el país y no permiten su compatibilidad con las nuevas técnicas de Georeferenciación.

**c) Apoyo al Saneamiento de Tierras – Límites Nacionales e Internacionales.**

El empleo de las Redes de Nivelación y sus ajustes en el Marco de Referencia Geocéntrico Nacional único para toda Bolivia, proporciona mayores índices de precisión en las posiciones geodésicas y es compatible con las coordenadas determinadas por los países vecinos, minimiza la ocurrencia de errores y cualifica, entre otros, los siguientes aspectos:

- ✓ La definición de linderos y predios urbanos y rurales.
- ✓ Apoyo en los procesos de demarcación de límites departamentales y Municipales.
- ✓ La demarcación de líneas fronterizas internacionales.
- ✓ La participación del país en proyectos internacionales de desarrollo regional.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### SISTEMA DE INFORMACION GEOGRÁFICO

Con el surgimiento de las nuevas tecnologías para el manejo de la información con referencia geográfica y la aparición de nuevas exigencias de análisis y producción de información se ha adoptado las tecnologías de los sistemas de Información Geográfica que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información que permita resolver problemas y contestar de manera inmediata.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han venido desarrollando por más de 20 años y aplicando a diversas ramas de la ciencia, los SIG ofrecen múltiples oportunidades y constituyen una poderosa herramienta para facilitar los procesos de análisis de información y toma de decisiones en diversas áreas. La utilización de los SIG permite ampliar las posibilidades de monitoreo y control de diferentes actividades o acciones, siendo de gran utilidad para el análisis espacial y temporal de los eventos y para generar nuevas hipótesis de investigación.

#### 2.1 Definiciones

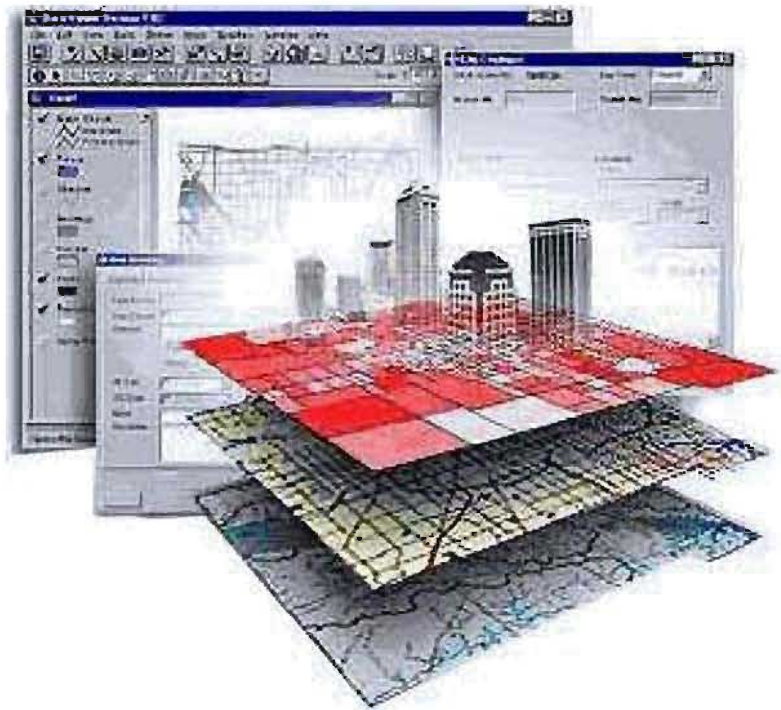
El término SIG procede del acrónimo de **Sistema de Información Geográfico**, y se ha dado diversas definiciones que constituyen claros ejemplos de modos habituales de concebir un SIG

- ✓ Un Sistema de Información Geográfico, es una herramienta de cómputo para trazar mapas y ayudar al análisis de los elementos y eventos que ocurren en la Tierra.
- ✓ Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinadamente y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.
- ✓ Disciplina o ciencia aplicada, incluyen en su formulación no solo el software sino también el hardware, equipo técnico y filosofía de trabajo integrándolo todo en forma global.
- ✓ El término de Sistema de Información Geográfico es aplicado para sistemas que realizan el tratamiento computacional de datos geográficos, se entienden como sistema informático a partir de la adquisición, administración, análisis y presentación de información georeferenciada. Esta información consiste en entidades graficas **(puntos, líneas, polígonos y celdas)**, vinculados a atributos alfanuméricos. Esto implica poder contar con los más diversos registros de información, visualizables separadamente o en conjuntos en su contexto espacial, facilitando y simplificando la toma de decisiones y análisis.
- ✓ Es un sistema o hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de los datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración.
- ✓ Un sistema de información geográfica es una herramienta de análisis de información la cual debe tener una referencia espacial y debe conservar una inteligencia propia sobre la topología y su representación.

Existen otras definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente en una base de datos, otras funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis, y

toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relacionada con la infraestructura de un municipio, estado o incluso a nivel nacional.

**Figura 2.1: Sistemas de Información Geográfico**



**Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2006 ]**

## **2.2 Estructura de un SIG**

Un sistema de Información Geográfico, tiene los siguientes componentes

- ✓ Interfaz con el usuario
- ✓ Entrada e integración de datos
- ✓ Funciones de procesamiento gráfico y de imágenes
- ✓ Visualizaciones y plotaje
- ✓ Almacenamiento y recuperación de datos organizados bajo un banco de datos geográficos.



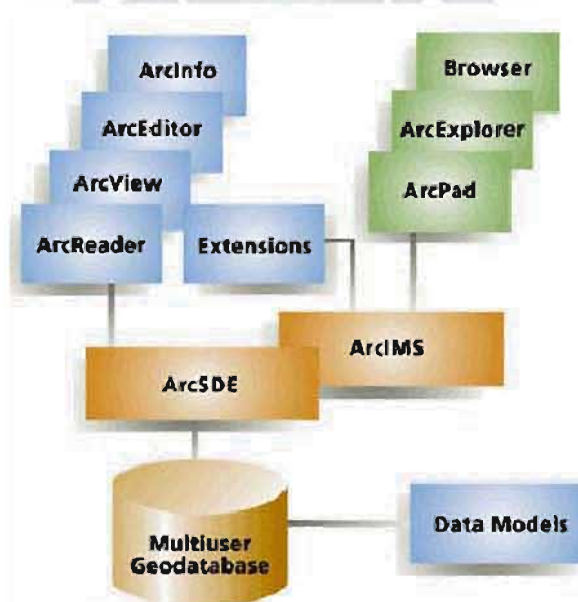
Estos componentes se relacionan de forma jerárquica. En el nivel más próximo al usuario, la interfaz hombre-máquina define como un sistema operado y controlado. En el nivel Intermedio, un SIG debe tener mecanismos de procesamiento de datos espaciales (entrada, edición, análisis, visualización y salida)

En el nivel más interno del sistema, un sistema de gestión de banco de datos geográficos ofrece el almacenamiento y recuperación de datos espaciales y sus atributos. De forma general, las funciones de procesamiento de un SIG operan sobre datos en un área de trabajo en memoria principal.

La conexión entre los datos geográficos y las funciones de procesamiento de un SIG es una hebra por mecanismos de selección y consulta que definen restricciones sobre el conjunto de datos.

La figura 2.2 indica la relación entre los principales componentes. Cada sistema en función de sus objetivos y necesidades, implementan estos componentes de forma diferente, pero todos los sub sistemas citados están presentes en un SIG.

**Figura 2.2: Estructura de los Sistemas de Información Geográfica**



Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2006 ]

## **2.3 Componentes de un SIG**

### **a) Hardware (Equipos)**

Todos los recursos tangibles donde opera los programas de un SIG pueden ejecutarse en un amplio rango de equipos, desde servidores hasta computadoras personales, usados en red o que trabajan en modo “desconectado”

### **b) Software (Programas)**

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:

- ✓ Herramientas para la entrada y manipulación de la información geográfica.
- ✓ Un sistema Manejador de Base de Datos (DBMS)
- ✓ Herramienta que permita búsqueda de datos geográficos, análisis y visualización
- ✓ Interfaz grafica para el usuario (GUI) para acceder fácilmente a las herramientas

### **c) 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 datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso, utilizar los manejadores de base de datos mas comunes para usar la información geográfica.

### **d) Recurso Humano**

La tecnología del SIG esta limitada sino cuenta don el personal adecuado para operar, desarrollar y administrar el sistema que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real.

## e) Métodos

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

### 2.4 Información que maneja un SIG

Se parte de la idea que un SIG es un 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 los cuales cuentan con los siguientes atributos:

#### 2.4.1 Atributos Gráficos

Son las representaciones de los objetos geográficos Asociados con ubicaciones especificaciones en el mundo real. La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas. Ejemplo de una red de servicios. (**Punto:** un poste de energía, **Línea:** una tubería, **Área:** un embalse)

Figura 2.3: Atributos Gráficos de la Información de un SIG



Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2006 ]

**Figura 2.4: Atributos Gráficos – Punto, Líneas, polígonos**



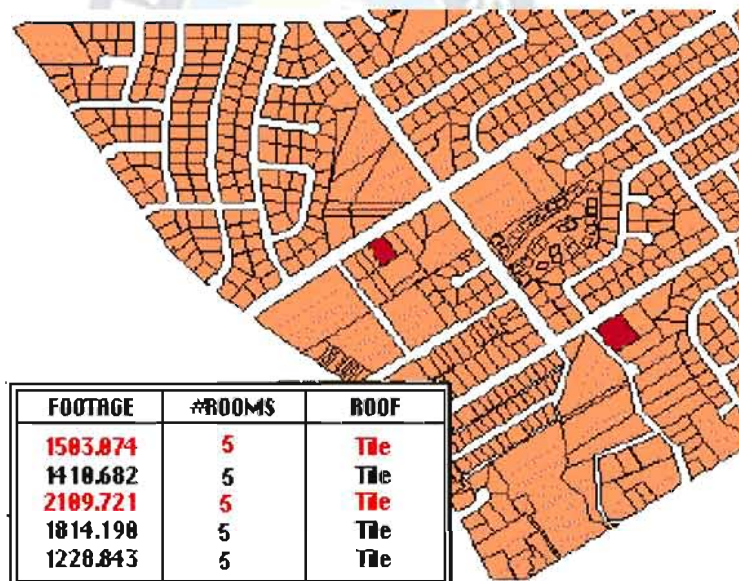
**Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2006 ]**

## 2.4.2 Atributos No Gráficos

También son llamados atributos alfanuméricos. Corresponden a las descripciones, calificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos. En la Figura.... Se puede observar los atributos gráficos y no gráficos que se encuentran asociados a los objetos representados.

En un SIG los atributos gráficos y no gráficos se tienen que relacionar y esto se logra mediante un atributo de unión.

Figura 2.5: Atributos No Gráficos de la Información de un SIG



Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2006 ]

## 2.5 Base de Datos Geográfico

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

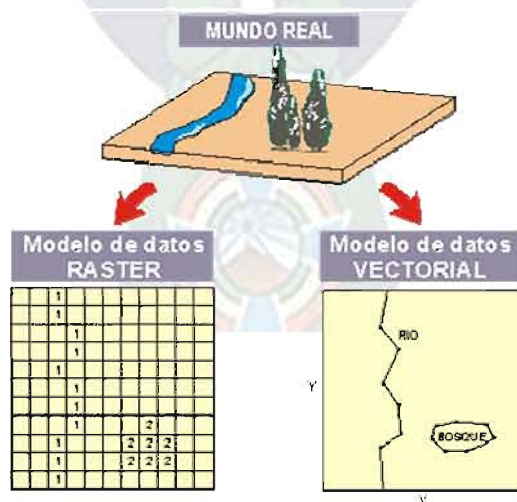
diferentes tipos de datos almacenados en diferentes estructuras. El vínculo entre las diferentes estructuras se obtiene mediante el campo clave que contiene el número identificador de los elementos. Tal número identificador aparece tanto en los atributos gráficos como en los no gráficos. Los atributos no gráficos son guardados en tablas y manipulados por medio de un sistema manejador de base 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 de 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 cada categoría dada, ríos carreteras, poblaciones, aun siendo ambos objetos línea están almacenados en distintos niveles por cuanto sus atributos son diferentes.

## 2.6 Modelos Vectorial y Raster

Los SIG trabajan fundamentalmente con dos modelos de datos geográficos diferenciados por la manera en que cada una almacena y maneja los datos. Estos dos modelos son denominados vectorial raster.

Figura 2.6: Abstracción a los modelos Vectorial y Raster



Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2006 ]

### 2.6.1 Modelo Vectorial

En los modelos vectoriales los elementos se componen de puntos, líneas y polígonos. Al inicio de cada elemento se encuentra un nodo que es un punto localizable en coordenadas XY, las líneas son definidas por dos nodos y las curvas por dos nodos y un vértice (un punto de inflexión), los elementos pueden tener propiedades individuales contenidas en si mismos o por medio de una base relacional. Este sistema es más eficiente para el almacenamiento de datos. También su uso en la cartografía es preferible ya que mantiene la figura real del elemento.

Por tanto los SIG vectoriales son aquellos que para la descripción de los objetos geográficos utilizan vectores definidos por **pares de coordenadas** relativas a algún sistema cartográfico.

En general, el modelo de datos vectorial es adecuado cuando trabajamos con objetos geográficos con límites bien establecidos.

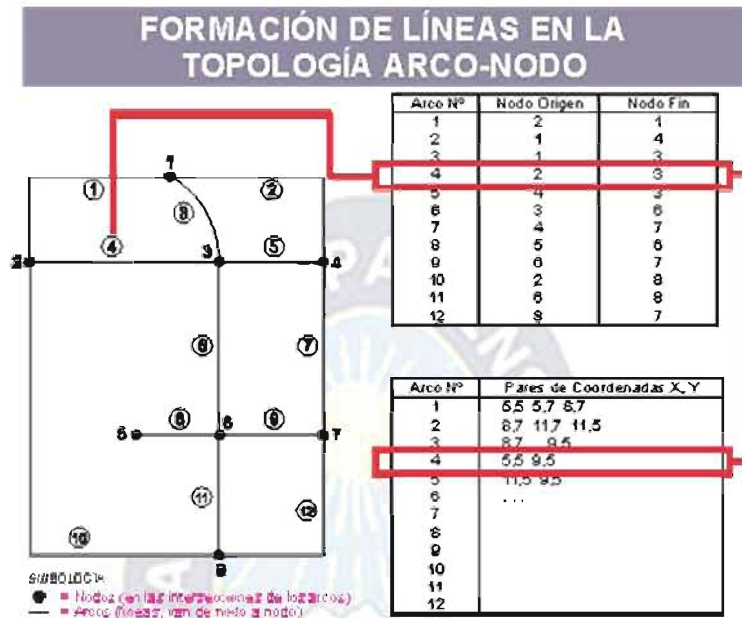
#### a) Ventajas

Buena representación por parte de la estructura de datos, estructura de datos compacta, la topología puede describirse completamente por medio de la unión de arcos o redes, certeza gráfica, es posible la recuperación, actualización y generación de gráficos y atributos.

#### b) Desventajas

Estructuras de datos complejas, la combinación de diferentes mapas de polígonos vectoriales y mapas de tipo raster, causa dificultades, la simulación es difícil porque cada unidad tiene una diferente forma topológica, el despliegue y la graficación, pueden ser caros particularmente por la alta calidad, color, sombreado de los productos impresos, la tecnología es relativamente cara, particularmente porque requiere de programas y equipos sofisticados aunque esto tiende a disminuir, el análisis espacial y el filtrado dentro de los polígonos son imposibles de realizar.

Figura 2.7: Modelo Vectorial



Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2006 ]

### 2.6.2 Modelo Raster

El modelo Raster basa su funcionalidad en una concepción implícita de las relaciones de vecindad entre los objetos geográficos. Su forma de proceder es dividir la zona de afección de la base de datos en una retícula o malla de pequeñas celdas (a las que se denomina píxel) y atribuir un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático dado que la malla es regular (el tamaño del píxel es constante) y que conociendo la posición en coordenadas del centro de una de las celdas, se puede decir que todos los píxeles están georeferenciados.

Lógicamente para tener una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos del píxel ha de ser reducido (en función de la escala) lo que dotará a la malla de una resolución alta, a mayor número de filas y columnas en malla (mayor resolución), mayor esfuerzo en el proceso de captura de la información y mayor costo computacional a la hora de procesar la misma.



### a) Ventajas

Estructura de datos simple, la combinación y sobre posición de los datos de los mapas con datos provenientes de sensores es fácil, diferentes clases de análisis espacial son fáciles, la simulación es fácil porque cada unidad espacial tiene el mismo tamaño y forma, la tecnología es relativamente barata.

### b) Desventajas

Grandes volúmenes de datos gráficos, el uso de grandes celdas para reducir el volumen de los datos significa que el reconocimiento del fenómeno por parte de la estructura puede perderse y por consiguiente puede provocar una pérdida de información importante, se considera que los mapas tipo raster tienen menos presentación que uno con líneas finas, la unión vía arcos o redes es difícil de establecer, sin el uso de algoritmos o equipos especial, la transformación de proyecciones demora bastante.

Figura 2.8: Modelo Raster



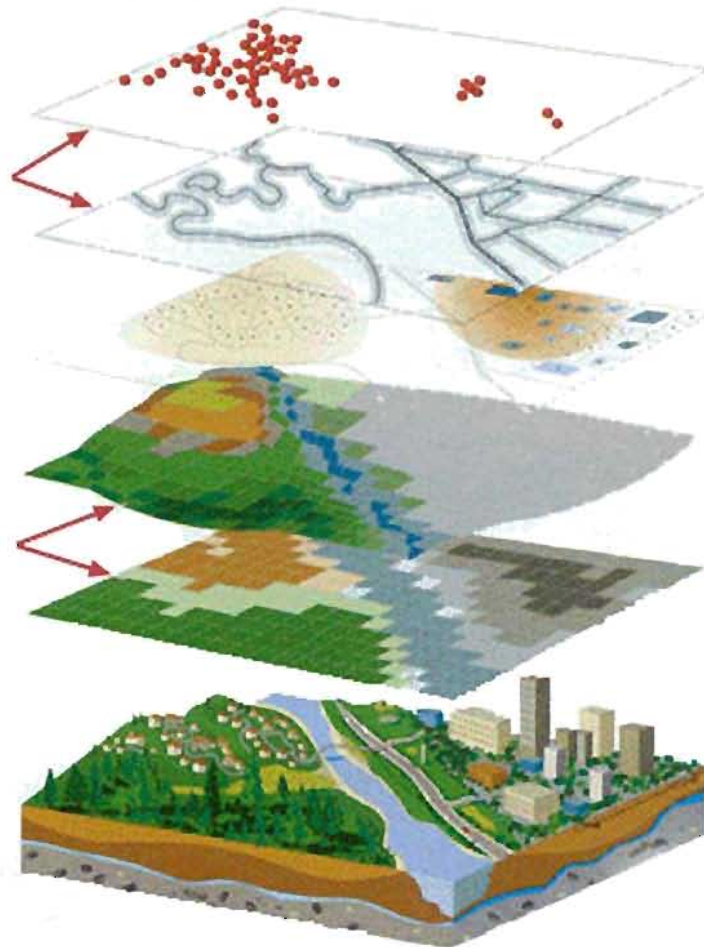
Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2006 ]

## 2.7 Operaciones y Funciones de los SIG

### 2.7.1 Entrada De Información

Se refiere a los procedimientos para convertir la información geográfica de formato analógico a formato digital, la información almacenada en formato digital se clasifica en tipo vector y tipo raster. El formato vector posibilita tres tipos de objetos gráficos, **puntos** que representan un par de coordenadas, **líneas**, que constituyen unos segmentos limitados por dos pares de coordenadas y **áreas o polígonos**, constituidos por la unión de segmentos de líneas. Los archivos en formato vector se obtienen de la digitalización de los mapas. El formato raster representa imágenes gráficas como la matriz de celdas que contienen información de un atributo. Los archivos raster pueden ser obtenidos de mapas escaneados, de fotografías aéreas y de imágenes satelitales.

**Figura 2.9: Operaciones y Funciones de los SIG**



Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2006 ]

### **2.7.2 Gestión de la Información**

Permite realizar búsquedas de información en la base de datos de acuerdo a diferentes criterios temáticos y espaciales.

### **2.7.3 Análisis de la Información**

Es el elemento característico de un SIG, posibilita el procesamiento de la base de datos inicial para obtener mayor información

### **2.7.4 Ventajas de los SIG**

- ✓ Capacidad de almacenamiento (varios niveles, público, institucional)
- ✓ Manejo de la información, ya sea para la elaboración de las investigaciones o en su defecto para la actualización de la información, empleando las metodologías usualmente manejadas en todo SIG
- ✓ Lo más importante radica en la habilidad del administrador para establecer la comunicación entre la información espacial y sus identificadores (ID) a fin de obtener su mejor utilización y manipulación.
- ✓ El desarrollo del análisis espacial, multidisciplinariamente nos permitirá elaborar diversos modelos de desarrollo a favor de nuestra gestión.

### **2.7.5 Aplicaciones de los SIG**

En la mayoría de los sectores los SIG pueden ser utilizados como una herramienta de ayuda a la gestión y toma de decisiones, 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 efectos que un proceso de la naturaleza o una acción que se 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 [Carrillo, 2003].

#### **a) Presentaciones y cartografía temática**

El SIG representa datos sobre un mapa para mostrar localizaciones de diferentes actividades o características, o para representar sus atributos.

#### **b) Consulta de datos**

Todas las instituciones recogen y mantienen extensas bases de datos, la mayoría con referencias espaciales. Requieren de tablas y listados. El SIG muestra todo esto por medio de un mapa.

#### **c) Consulta espacial**

El mapa como herramienta de consulta permite el acceso a la base de datos señalando una zona concreta y presentando los resultados en una tabla o resumen.

#### **d) Integración y actualización de bases de datos**

Una de las formas de llevar la organización de las bases de datos es por la localización. El SIG es un sistema versátil y flexible para introducir, mantener, actualizar y consultar bases de datos. La clave es el geocoding, que es la capacidad para asociar acontecimiento, actividad u observación a una característica espacial.

#### **e) Cálculo y optimización de rutas**

Muchas veces se quiere encontrar el camino más corto a lo largo de una red de transportes. Este recorrido debe ser legal, que los giros o transbordos sean correctos. Se busca la ruta más corta, más rápida y más apropiada entre un conjunto de alternativas. Algoritmos de cálculo y optimización de rutas del mundo real permiten que el SIG disponga de esta propiedad.

## **f) Análisis de distancias, adyacencia y proximidad**

El SIG permite calcular distancias sobre un mapa en línea recta o a lo largo de una red. Además, puede determinar las características de mapas adyacentes o cercanos.

## **2.8 Calidad del Software y Métricas**

### **2.8.1 Calidad de Software**

La calidad del software es el conjunto de cualidades que lo caracterizan y que determinan su utilidad y existencia. La calidad del software es medible y varía de un sistema a otro o de un programa a otro.

Es imprescindible tener en cuenta tanto la obtención de la calidad como de su control durante todas las etapas del ciclo de vida del software.

El objetivo que persigue la calidad en los sistemas está orientada a:

- ✓ Mejorar la calidad del producto del software
- ✓ Proveer técnicas aplicadas para automatizar el manejo de datos espaciales
- ✓ Realizar una planeación eficaz de los sistemas
- ✓ Documentar toda la información necesaria
- ✓ Validar y controlar formalmente la calidad del trabajo realizado
- ✓ Cumplir con los objetivos de la organización en cuanto a productividad de sus sistemas de cómputo

### **2.8.2 Métricas de Calidad de Software**

La medición de la calidad para medir aspectos del software se lo realiza a través de métricas de control de calidad. Para cada uno de los criterios de calidad se definen entonces un conjunto de métricas, que son medidas cuantitativas de ciertas características del producto que cuando están presentes dan una indicación de grado en que dicho producto posee un determinado atributo de calidad.

Aunque hay muchas medidas de la calidad de software, las métricas del software orientadas a la función utilizan una medida de la funcionalidad entregada por la aplicación como un valor de la normalización, que proporcionan indicadores útiles para el proyecto.

#### a) Funcionalidad

Permite proveer funciones que cumplen las necesidades explícitas e implícitas cuando es utilizado en condiciones específicas como:

- ✓ Procedencia
- ✓ Exactitud
- ✓ Compleción
- ✓ Consistencia Lógica
- ✓ Resolución

Cuando aludimos a la calidad de unos determinados datos espaciales o de otro tipo, estamos haciendo referencia al estado de los mismos para ser utilizados, es decir la calidad de los datos se mide en función de la adecuación para el uso que un grupo de personas se disponga a hacer de ellos.

**Procedencia:** Se trata de toda la información acerca de la fuente y origen de los datos, incluye información acerca de las características de los datos espaciales (escala, resolución, exactitud y precisión).

**Exactitud:** Se trata de la exactitud con la que se ha llevado a cabo la representación de una entidad o un fenómeno del mundo real, sus atributos, sus valores de los mismos (coordenadas x, y, z)

**Compleción:** Es la relación entre objetos de la base de datos y el universo abstracto de todos los objetos, su objetivo es determinar si todos los elementos que se quieren representar están en la Base de datos.

**Consistencia lógica:** Describe la compatibilidad de los datos en su conjunto, también a la composición y relación entre los distintos objetos, y que no exista redundancia.

**Resolución:** La cantidad de detalle que es posible discernir o el elemento más pequeño de la base de datos que puede ser visualizado o cartografiado.

## b) Usabilidad

Una característica importante que debe mostrar un sistema de software es la usabilidad ya que puede tener varias características de calidad, pero si no es fácil de usar no será bien empleado por sus usuarios y por lo tanto, nunca podrá ser aprovechado en su totalidad.

La Usabilidad determina hasta que punto un sistema puede ser empleado por los usuarios, de tal manera que los apoye en el desarrollo de sus actividades y en el logro de sus metas.

La usabilidad se puede definir en términos de cinco factores o propiedades del sistema con los cuales interactuará el usuario:

1. Comprensión, el usuario debe tener conocimientos básicos en Geodesia, para que pueda trabajar rápidamente con el Sistema.
2. Eficiencia, es decir que una vez que el usuario ha aprendido a usar el sistema, el pueda obtener un nivel alto de productividad
3. Operatividad, Las opciones y operaciones deben ser claras y sencillas para el manejo de la información.
4. Baja incidencia de errores o sea que el sistema tenga un bajo nivel de errores
5. Satisfacción. Debe ser agradable de usar de manera que los usuarios se sientan satisfechos al usarlo.

Los aspectos más importantes para la usabilidad son: las tareas de los usuarios, sus características individuales y sus diferencias. Por tanto para determinar la usabilidad del software se realizan encuestas a los usuarios finales.

### c) Flexibilidad

Representa el coste de modificación del producto cuando cambian sus especificaciones, y para ello se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Auto descripción, atributos del software que proporcionan explicaciones sobre la implementación de las funciones
2. Capacidad de expansión, atributos del software que posibilitan la expansión del software en cuanto a capacidades funcionales y datos
3. generalidad, atributos del software que proporciona amplitud a las funciones implementadas
4. Modularidad, atributos del software que proporciona una estructura de módulos altamente independientemente.

La flexibilidad se puede calcular de la siguiente manera:

$$F = 1 - 0.05 (\text{días} - \text{hombre})$$

Donde:

F → Flexibilidad  
Días – hombre → Número medio de días hombre por cambio

### d) Portabilidad

La portabilidad se refiere al esfuerzo necesario para ser transferido el programa de un ambiente (organizacional, hardware y software) a otro (facilidad para adaptarlo instalarlo, capacidad de coexistir, reemplazar y conformidad)

Para la portabilidad se deben tomar en cuenta cuatro aspectos fundamentales:



1. **Auto descripción:** Atributos del software que proporciona explicaciones sobre la implementación de las funciones
2. **Modularidad:** Atributos del software que proporcionan una estructura de módulos altamente independientes
3. **Independencia entre sistemas y software:** Atributos del software que determinan su independencia del entorno operativo
4. **Independencia del hardware:** Atributos del software que determinan su independencia del hardware

Se tiene la siguiente métrica para determinar la portabilidad del sistema

$$P = 1 - (EP/EI)$$

Donde:

P → Portabilidad

EP → Esfuerzo para portar

EI → Esfuerzo de implementar

El valor esperado de (EP/EI) debe ser entre  $0 \leq x \leq 1$  y GP entre  $0 < GP \leq 1$

**SI GP > 0** → Significa que la portabilidad del sistema es más rentable que el re- desarrollo.

**SI GP = 1** → Representa que la portabilidad es perfecta.

#### e) Instalación / Mantenibilidad

La mantenibilidad del sistema esta asociada a la detección y corrección de fallas, también a los cambios requeridos por el Usuario.

El tiempo de vida del sistema es indefinido, pero esta sujeto a las nuevas necesidades del usuario, renovación y expansión que él desee, además de mejoras o adaptaciones a cambios en el entorno, requerimientos o especificaciones funcionales (facilidad para ser analizado, cambiado, probado, estabilidad y conformidad)

# Capítulo 3

## Análisis y Diseño de Sistema

### 3.1 Especificación de Requerimientos

Una vez obtenido la información sobre las actividades que se realizan en el Instituto Geográfico Militar, en la sección de cálculos, Topografía y Geodesia se observa los siguientes requerimientos y cada uno de los eventos de referencia que se espera como respuesta.

Tabla 3.1 Especificaciones de Requerimientos de la Institución

| ESPECIFICACIONES  | REFERENCIAS   |
|---|---|
| 1. Se requiere proporcionar información acerca de los puntos GPS que se encuentran en el Territorio Nacional.                   | ✓ 137 puntos referenciales  |
| 2. Proporcionar al usuario consultas acerca de la información espacial de determinados puntos GPS y Gravimétricos.              | ✓ Nombre, Proyecto, Clase, Coordenadas, Departamento.   |
| 3. Visualizar la Información de cada Puntos GPS y gravimétrico de forma gráfica y visual mediante un Modelo Digital de Bolivia. | ✓ Puntos GPS<br>✓ Estaciones Continuas<br>✓ Escala 1:100000<br>✓ Escala 1:250000<br>✓ Poblaciones |
| 4. Visualiza la Información de las Redes de Nivelación  | ✓ Redes de Nivelación   |

|   |   |
|---|---|
| existentes en el Territorio nacional  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Poblaciones</li> <li>✓ Escala 1:100000</li> <li>✓ Escala 1:250000</li> </ul>   |
| 5. Proporciona información bajo que Proyecto y tipo fue creado cada punto.                                    | Proyectos: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ CARMINA</li> <li>✓ CATSAN</li> <li>✓ IGM</li> <li>✓ LA PAZ</li> <li>✓ LEONSNAPP</li> <li>✓ REDIGM</li> <li>✓ SETMIN</li> <li>✓ SIRGAS</li> <li>✓ SNAPP</li> </ul> |
| 6. Determinar cuantos puntos se encuentran cada departamento mediante consultas.                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La Paz, Beni, Oruro, Chuquisaca, Tarija Cochabamba, Pando, Santa Cruz, Potosí</li> </ul>   |
| 7. Realizar la búsqueda de un punto GPS mediante sus coordenadas  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Latitud</li> <li>✓ Longitud</li> </ul>   |
| 8. Generar la información completa de cada punto GPS  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Nombre, Coordenada, Altura Elipsoidal, Departamento, Tipo.</li> </ul>  |
| 9. Determinar que Estaciones Continuas se encuentran cada departamento  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ubicación de la Estación Continua</li> </ul>   |
| 10. Determinar que Estaciones Semi Continuas se encuentran cada departamento                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ubicación de la Semi Estación Continua</li> </ul>  |
| 11. Determinar que poblaciones hacen referencia a las Estaciones Continuas                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ubicación Geográfica</li> <li>✓ Coordenadas</li> </ul>   |
| 12. Determinar que poblaciones hacen referencia a las Semi Estaciones Continuas                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ubicación Geográfica</li> <li>✓ Coordenadas</li> </ul>   |
| 13. Los usuarios bajo convenios con la Institución deben tener sesiones exclusivas y autorización a recursos. | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Información referencial completa de cada Puntos GPS</li> </ul>   |

|  |  |
|--|--|
| 14. Mostrar información acerca de cada una de las Redes de Nivelación, los puntos que la conforman y bajo que proyecto se han desarrollado                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Proyecto</li> <li>✓ Puntos de enlace</li> </ul>                                 |
| 15. Visualizar que poblaciones esta cerca de cada una de las Redes de Nivelación, los puntos que la conforman y en que fronteras se hallan.                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ubicación Geográfica</li> <li>✓ Coordenadas</li> </ul>                          |
| 16. Implementar una galería de imágenes donde se muestre a los especialistas en topografía las diferentes expediciones en cada una de las misiones de campo realizadas     | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Galería de Imágenes de cada departamento</li> </ul>                             |
| 17. Identificar que poblaciones están cercanas a cada punto GPS o estación Continua.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ubicación Geográfica</li> <li>✓ Coordenadas</li> </ul>                          |
| 18. Utilizar Medios Interactivos para la enseñanza de conceptos básicos de Topografía y geodesia.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ayuda Visual para conceptos de cartografía básica</li> </ul>                    |
| 19. Mostrar las Actividades de Campo de cada Trimestre en el Años, donde se muestre Proyecto, Duración y participantes   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Calendario de Actividades Trimestrales.</li> </ul>                              |
| 20. Mostrar enlaces importantes que hacen Referencia a Instituciones que utilizan la Tecnología GPS  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instituciones similares que trabajen con la Tecnología GPS</li> </ul>           |
| 21. Permitir el acceso a Recursos descargables que ayuden a la Georeferenciación de los Puntos GPS.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Downloads</li> </ul>  |
| 22. Permitir las consultas básicas sobre un determinado Punto, solo al administrador del Sistema   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Adición y eliminación de un Punto GPS</li> </ul>                                |
| 23. Identificar cada punto GPS en escalas topográficas   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 1:250000</li> <li>✓ 1:100000</li> <li>✓ 1:50000</li> </ul>                      |
| 24. La Adquisición de los Puntos GPS en Mapas a escalas será en el Instituto Geográfico Militar, siendo que el sistema solo referenciará los datos generales de los mismos | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La venta de Cartas u hojas topográficas se realiza en la Institución</li> </ul> |

Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2007 ]

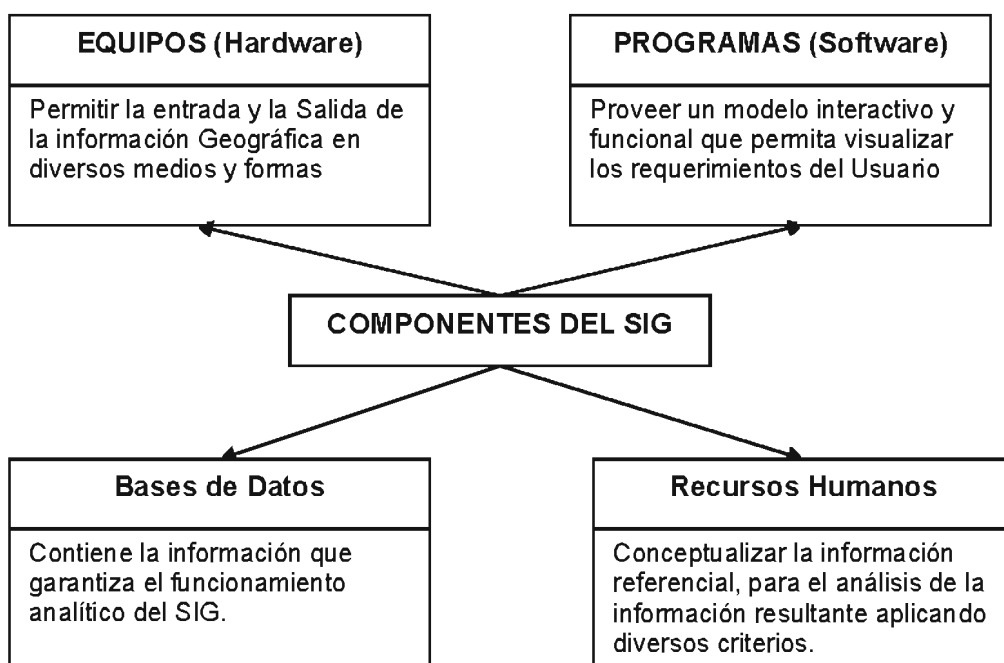
### 3.2 Funciones de los componentes del SIG

Dentro de las funciones básicas de el Sistema de Cartografía Digital, podemos describir la captura de la información, esta se logra mediante procesos de digitalización, procesamiento de imágenes de satélite, fotografías, videos, procesos aerofotogramétricos, entre otros.

Otra función básica de procesamiento del SIG hace referencia a la parte del análisis que se puede realizar con los datos gráficos y no gráficos, se puede especificar la función de contigüidad de objetos sobre un área determinada, del mismo modo, se puede especificar la función de coincidencia que se refiere a la superposición de objetos dispuestos sobre un mapa.

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

Figura 3.1: Funciones de los Componentes del SIG



Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2007 ]

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 a la superficie de la tierra), estos poseen atributos, y éstos últimos pueden ser de tipo gráfico o de tipo alfanumérico.

Los objetos para el modelo interactivo son: el punto GPS, las Estaciones Continuas, las Redes de Nivelación, escalas topográficas. Los objetos para la categoría catastro son: poblaciones, ríos, carreteras, los atributos para los objeto son: El código de identificación del Punto GPS, código del la Red de Nivelación.

### 3.3 Información que maneja el SIG

#### 3.3.1 Atributos Gráficos

El sistema de Cartografía Digital muestra 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.

**Figura 3.2: Atributos Gráficos**



**Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2007 ]**

### 3.3.1 Atributos No Gráficos

Son los atributos alfanuméricos que corresponden a las descripciones, calificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos que se utilizan en la construcción del SIG. En el siguiente gráfico se observan no gráficos que se encuentran asociados a los objetos representados en la Figura 3.2

Tabla 3.2: Atributos No Gráficos

| PUNTO | LAT_GG | LAT_MIN | LAT_SS      | LONG_GG | LONG_MIN | LONG_SS     | ALTURA_ELI |
|-------|--------|---------|-------------|---------|----------|-------------|------------|
| m3248 | -17    | 14      | 2,14937988  | -66     | 13       | 36,41343012 | 4360,8720  |
| m3249 | -17    | 43      | 34,13300004 | -66     | 41       | 7,03372992  | 4297,3470  |
| 383-A | -16    | 22      | 9,37076988  | -68     | 23       | 13,96685004 | 4010,7930  |

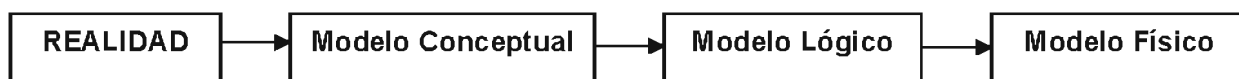
Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2007 ]

### 3.4 Modelo de Diseño del SIG

Al iniciar el estudio para diseñar un SIG, debe pensarse que se van a manejar objetos que existen en la realidad, tienen características que los diferencien y guardan ciertas relaciones espaciales que se deben conservar; por lo tanto, no se puede olvidar en ningún caso que se va a desarrollar en el computador un modelo de objetos y relaciones que se encuentran en el mundo real.

Normalmente se llevan a cabo tres etapas para pasar de la realidad del terreno al nivel de abstracción que se representa en el computador y se maneja en los SIG y que definen la estructura de los datos, de la cual dependerán los procesos y consultas que se efectuarán en la etapa de producción:

Figura 3.3: Modelo de Diseño el SIG



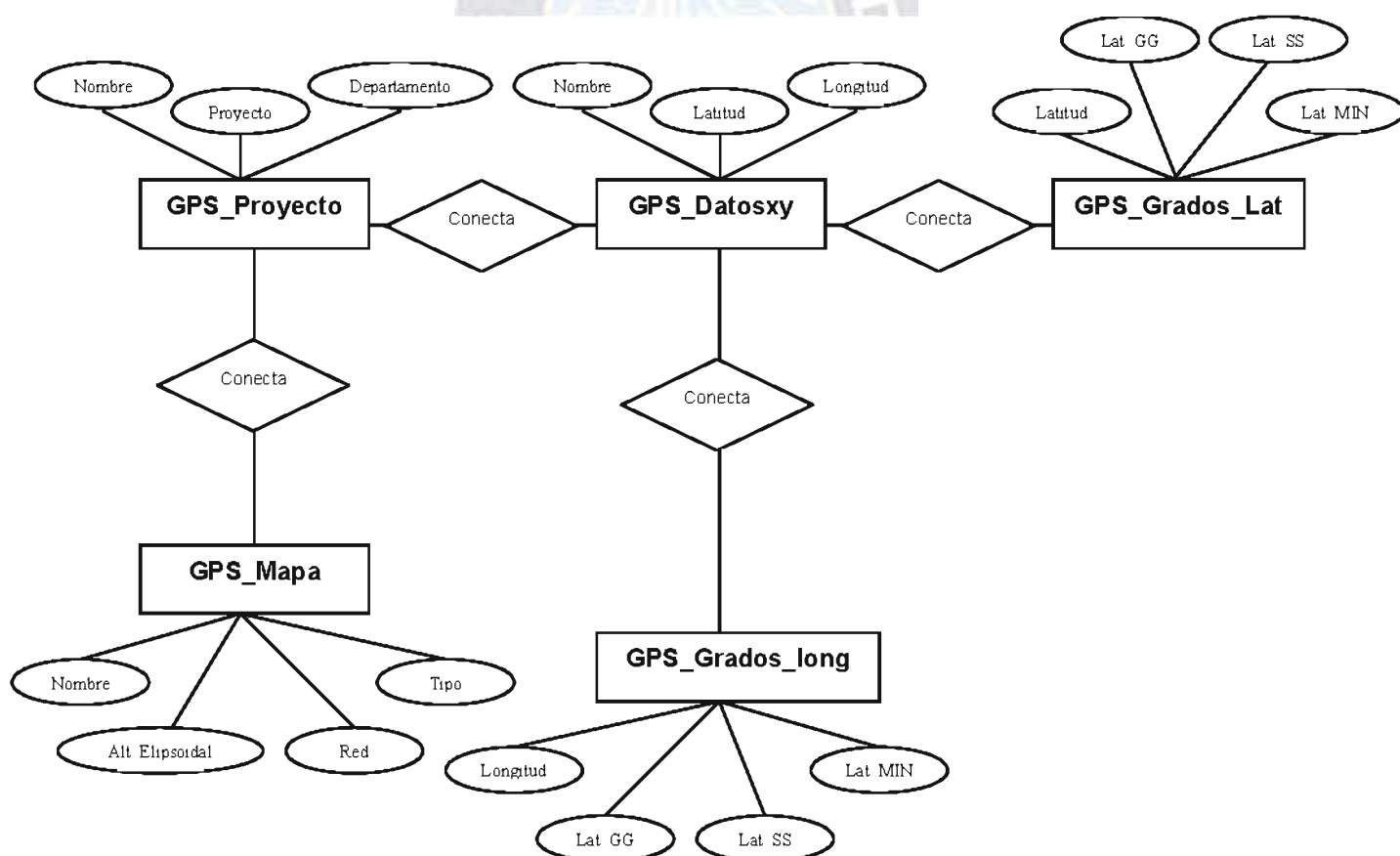
Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2007 ]

### 3.4.1 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, se realiza el análisis de la información y los datos que se usan y produce el Instituto Geográfico Militar; luego 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 Institución

Figura 3.4: Modelo Conceptual del SIG



Fuente: [Senn, Elaboración Propia, 2007 ]

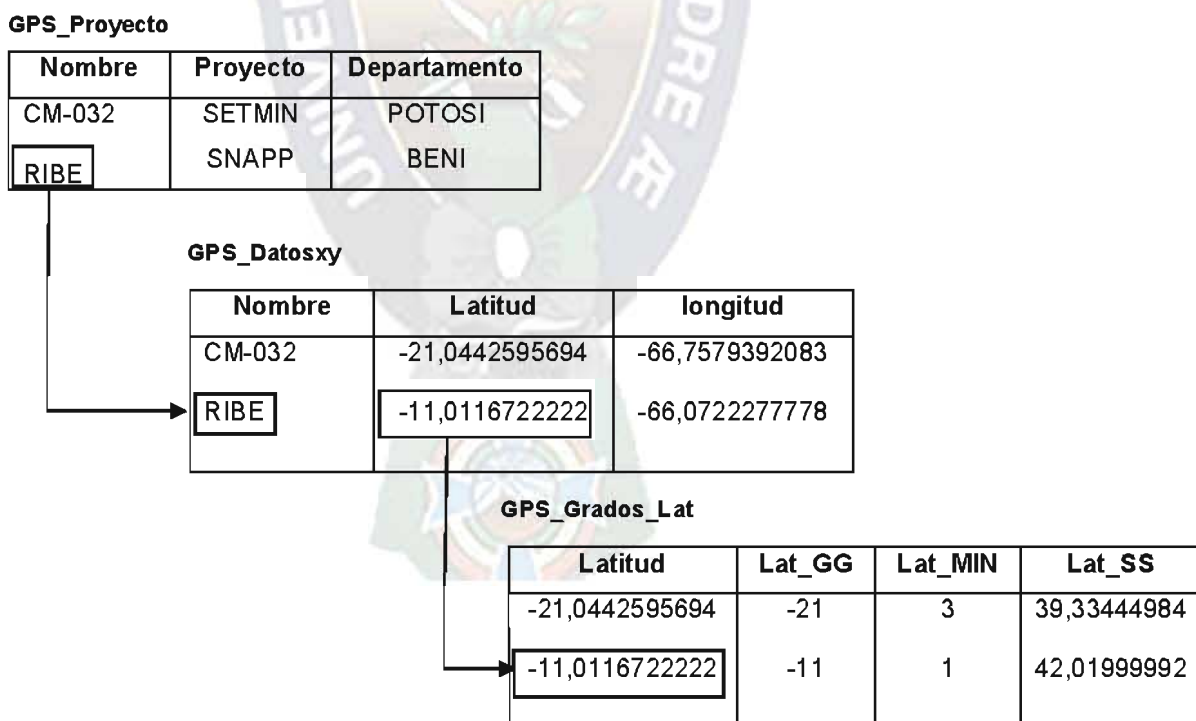


### 3.4.2 Modelo Lógico

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 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, esto por cuanto de la estructura de las bases de datos (gráficas y alfa – numéricas) dependen los resultados obtenidos al final; es por lo anterior, que en esta etapa, se hace un diseño detallado de lo que contendrá el SIG y de la presentación que tendrán los productos normalmente, definiendo los tipos de mapas con sus leyendas, contenido temático y demás, reportes o tablas que se espera satisfagan los principales requerimientos de los usuarios y clientes.

Figura 3.5: Modelo Lógico del SIG



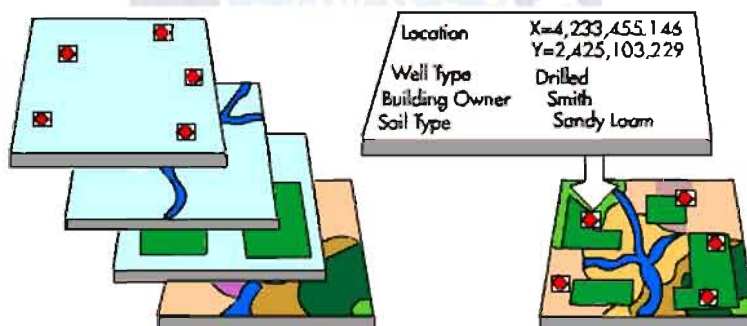
Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

### 3.4.3 Modelo Físico

Es la implementación de los anteriores modelos en el programa o software seleccionado y los equipos específicos en que se vaya a trabajar y por esto se realiza de acuerdo con sus propias especificaciones.

El modelo físico determina en que forma se debe almacenar los datos, cumpliendo con las restricciones y aprovechando las ventajas del sistema específico a utilizar como se describe a continuación.

**Figura 3.6: Modelo Físico del SIG**



Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2007 ]

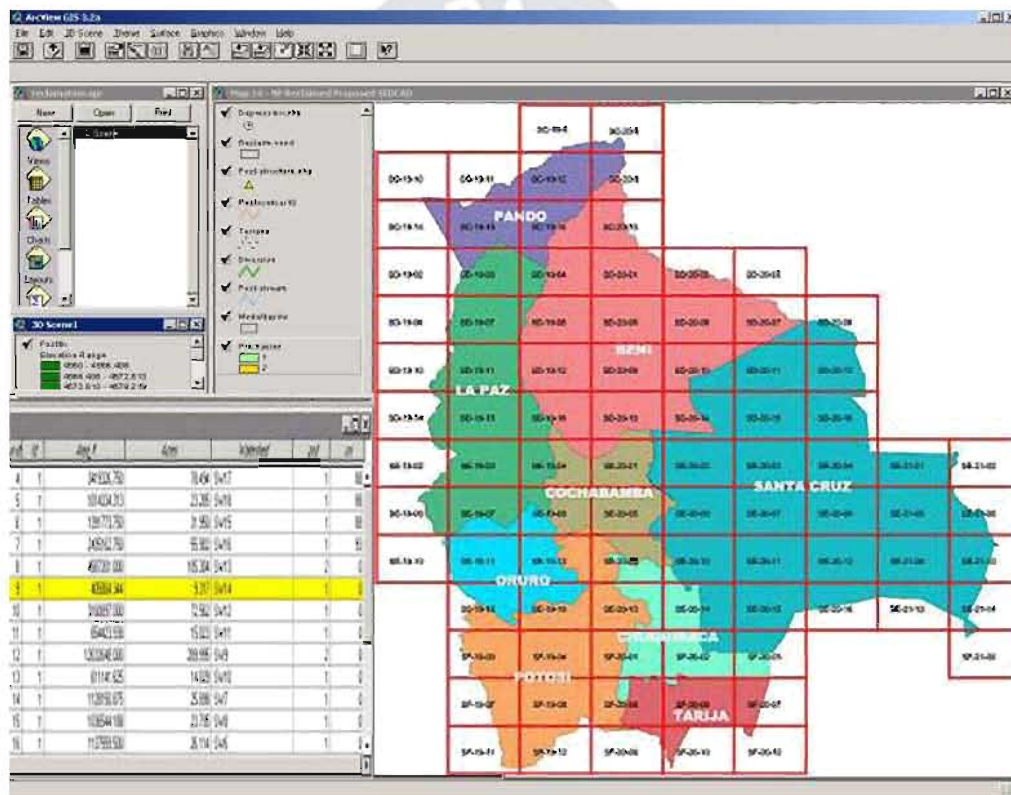
## 3.5 Diseño de la Interfaz Grafica

### 3.5.1 Herramienta ArcView 3.2

En el desarrollo del presente sistema se utilizó el Arc View 3.2, en donde se realizó el análisis espacial, haciendo uso del mapa cartográfico de Bolivia, además del almacenamiento espacial y la generación de capas temáticas y contenidos espaciales de datos geográficos de nuestro territorio, de las cuales se sirve el ArGIS que es un programa que trabaja con la interfaz estándar de Windows, lo cual nos permite administrar fácilmente el programa.

Los elementos principales de este programa son la barra de Menús, la barra de botones, la ventana de proyecto además de todos los atributos que cada uno de estos elementos posee en cada una de sus opciones de diseño, como también las vistas, tablas, gráficos, capas y escrituras las cuales se pueden observar en los siguientes gráficos.

**Figura 3.7: Interfaz Gráfica del Arc View 3.2**



**Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2007 ]**

### 3.5.2 Diseño de la Interfaz de Usuario

El diseño de interfaz es uno de los elementos principales en la realización del programa que define el conjunto de trabajos y pasos que seguirá el usuario durante todo el proceso que usuario requiera del programa, detallando lo que verá a cada momento y las acciones que realizará, asimismo las respuestas que el sistema le dará.

La ventana principal, presenta opciones de menú que permiten interactuar con el usuario, brindándole una serie de alternativas de consultas y visualizaciones como se muestra en la siguiente figura.

Figura 3.8: Interfaz del Menú Principal



Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

Otra manera de establecer el diálogo entre el sistema y el usuario es a través de señales de eventos, mensajes, interacciones multimedia cuando este requiera de consultas del sistema.

Con las ya anteriores características mencionadas se presenta una interfaz amigable que permite que el usuario trabaje de manera adecuada con el mismo.

Básicamente el sistema cuenta con seis módulos de interfaz para el usuario:

1. Una barra de Menú donde puede el usuario encontrar toda la información referente al sistema y sus contenidos conceptuales y también una gamma de Fotografías que describen visualmente expediciones de campo realizadas por los técnicos topógrafos del Instituto Geográfico Militar.
2. Una barra de Mapas, que le permite al usuario visualizar mapas de Bolivia en sus diferentes escalas topográficas 1:250000; 1:100000, Puntos GPS y gravimétricos, estaciones continuas, y las Redes de Nivelación con cada una de sus descripciones.
3. Una barra de consultas, la cual solo utilizar el administrador del sistema donde se encuentra las opciones de añadir, eliminar y modificar un determinado punto GPS o gravimétrico.
4. Una Barra de Búsquedas, que permite buscar un determinado punto GPS o gravimétrico utilizando los siguientes criterios: Nombre del Punto, Nombre del Proyecto, Departamento o Coordenadas.
5. Una barra de Actividades, donde se describe las actividades de campo que se realiza durante cada trimestre que corresponda en año, además que se adhiere como anexos informes de cada Operación de campo.
6. Una Barra de Recursos, donde se puede descargar un CD interactivo que explica conceptos fundamentales de Información Marginal y Simbología, Sistema de Coordenadas y Proyecciones Cartográficas, Escalas Topográficas, Orientación de la Carta y el Relieve del Terreno y su Representación en la Carta Topográfica.

### **3.5.3 Diseño de la Interfaz de Búsquedas**

Esta pantalla es muy importante porque nos permite referenciar información de un determinado Puntos GPS, y cuyas coordenadas pueden ser transformadas a Grados, Minutos y Segundos a partir de la referencia topográfica que se brinda como resultado de la búsqueda.

Además de brindar también datos de cuantos puntos contiene un departamento específico y bajo que proyecto fue creado cada Puntos GPS.

Figura 3.9: Interfaz del Modulo de Búsquedas



Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

### 3.5.4 Diseño del Módulo de Simulación

En las figuras a continuación se observa el diseño de cada una de las interfaces de la estructura de opciones del simulador del Modelo Digital de Bolivia para los Puntos GPS, estaciones Continuas y las Redes de Nivelación.

Figura 3.10: Interfaz del Modelo Digital de Bolivia



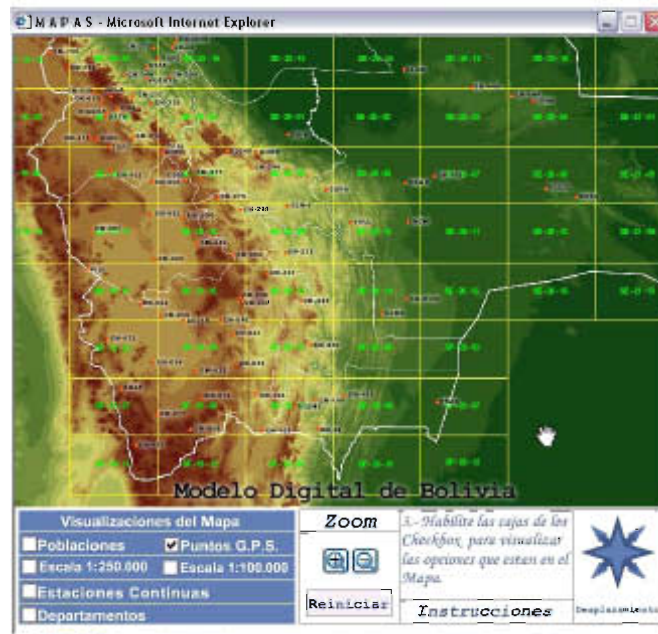
Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

Figura 3.11: Interfaz del Modelo Digital con sus departamentos



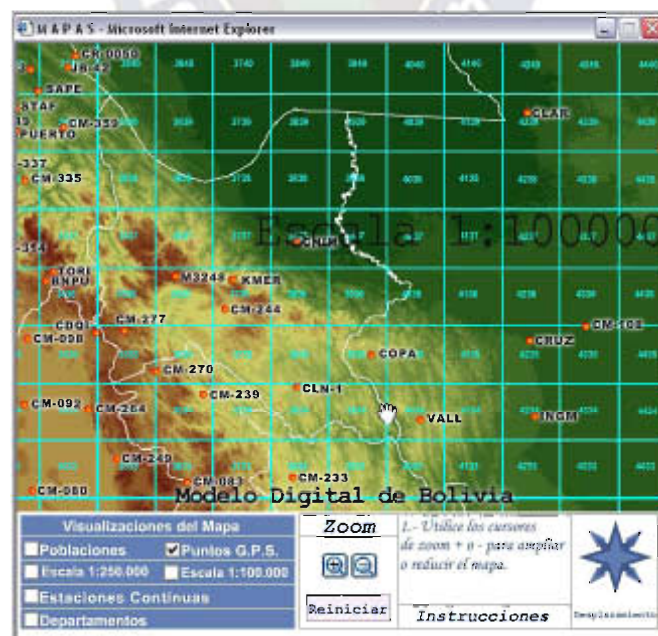
Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

Figura 3.12: Interfaz del Modelo Digital a escala 1:250000



Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

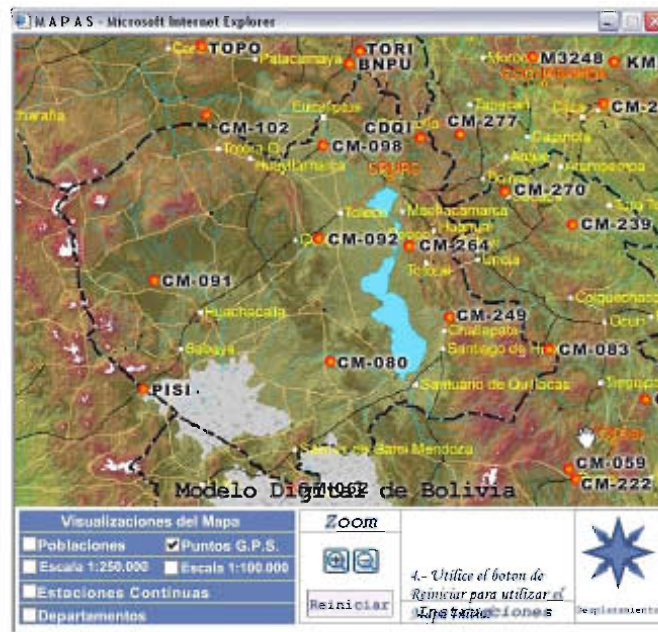
Figura 3.13: Interfaz del Modelo Digital a escala 1:100000



Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

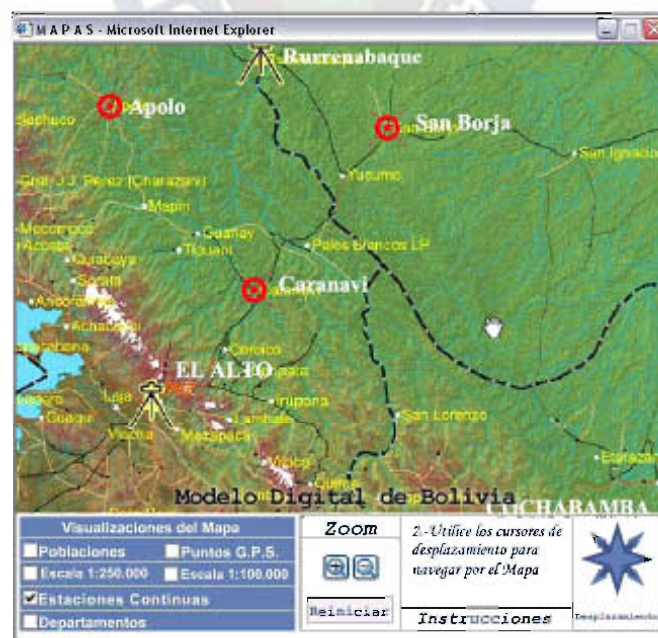


Figura 3.14: Interfaz del Modelo Digital de Bolivia y sus Poblaciones



Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

Figura 3.15: Interfaz del Modelo Digital y las Estaciones Continuas



Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

### 3.6 Análisis de Datos y Resultados Obtenidos

Dado que el sistema es una aplicación de Los Sistemas de Información Geográfica, debemos recordar que cada uno de los Modelos Digitales del simulador contiene una tabla llena de información espacial, y que el módulo es un modelo a escala 1:130000 y el cual beneficiará directamente a las Unidades que dependen de la Institución como ser:

#### 1) Geodesia y Topografía.

La sección de Geodesia y Topografía es la encargada de realizar todo el trabajo de apoyo de campo, tanto para la carta nacional como para proyectos especiales en favor de empresas e instituciones públicas y privadas, esta será beneficiada.

- ✓ Levantamiento de datos topográficos.
- ✓ Producción de mapas mediante procesos taquimétricos con Referencia GPS.
- ✓ Levantamiento de datos catastrales.
- ✓ Control y actualización de los límites de parcelas y otras informaciones catastrales.
- ✓ Replanteo de proyectos topográficos, viales y otros.
- ✓ Demarcación de los Departamentos, Provincias, Secciones, Cantones y Comunidades, mediante las Redes de Nivelación.

#### 2) Fotogrametría.

La fotogrametría es una técnica mediante la cual se realizan mediciones confiables en base a fotografías para determinar las características geométricas de tamaño, forma y posición del objeto fotografiado.

- ✓ Restitución de la cartografía básica nacional a diferentes escalas.
- ✓ Ajustes de aéreo triangulación para diferentes proyectos, mediante el uso de coordenadas y proyecciones Cartográficas.
- ✓ Dibujo de planos a diferentes escalas.
- ✓ Control de calidad a diferentes proyectos de restitución.
- ✓ Producción y actualización de mapas topográficos.

- ✓ Mapas catastrales para áreas rurales y urbanas.
- ✓ Mapeamiento de carreteras, vías férreas, oleoductos y otros
- ✓ Creación de Modelos digitales del terreno.
- ✓ Cálculo de curvas de nivel en las Redes de Nivelación.

### **3) Cartografía.**

La cartografía es la ciencia mediante la cual se realiza la representación gráfica de la superficie terrestre o parte de ella, sobre un plano a escala determinada.

- ✓ Producción de la cartografía básica nacional 1:50.000, 1:100.000 y 1:250.000.
- ✓ Actualización y mantenimiento de la cartografía básica nacional.
- ✓ Producción de mapas temáticos a escalas pequeñas (Políticos-Administrativos).
- ✓ Digitalización de la cartografía básica nacional a diferentes escalas.
- ✓ Establecimiento y actualización de base de datos gráficas.

### **4) Catastro.**

Dentro de la nueva concepción del Catastro, esta Sección formula las políticas catastrales y proyectos para las áreas urbanas y rurales; asimismo investiga y reglamenta las normas de aplicación de nuevos sistemas de catastro, registros inmobiliarios, actualización de valores, técnica de valuación, metodologías de mapas de valores y manual e instructiva para los Distritos Geográficos.

- ✓ Levantamientos Catastrales urbanos y rurales utilizando información libre, precisa y actualizada de Regiones Topográficas.
- ✓ Asesoramiento técnico catastral para la obtención de cartas y Hojas.
- ✓ Producción y actualización de mapas catastrales.
- ✓ Asesoría a instituciones en la instalación e implementación de Sistemas Catastrales.

### **5) Límites.**

El IGM tiene la atribución mediante Ley de la República de ejecutar la demarcación de los límites internacionales, trabajo que realiza a través de la Sección Límites, asimismo

planifica y ejecuta las demarcaciones de los límites entre Departamentos, Provincias, Secciones y Cantones, y cuya referencia será las Redes de Nivelación y la información que esta proporcione.

- ✓ Estudio y análisis legal-técnico de la situación limítrofe a nivel Comunidad, Cantón, Sección, Provincia y Departamento.
- ✓ Planificación y ejecución en la demarcación de los límites de las Comunidades, Cantones, Secciones, Provincias y Departamentos.
- ✓ Apoyo en la ejecución de la demarcación de los límites internacionales con los países vecinos en coordinación con la Cancillería de la República.

#### **6) Estudiantes de Topografía, Geodesia, Cartografía.**

El instituto Geográfico Militar no solo proporciona información geográfica a instituciones Públicas y Privadas, sino También ayuda en la contribución de la formación de profesionales en el área, para los Cuales será de mucha ayuda los recursos del Sistema como ser:

- ✓ Brinda Ayuda de manera textual, visual y audible de conceptos de cartografía, Geodesia, topografía, etc. En cinco módulos de aprendizaje.
- ✓ Información acerca de Operaciones de Campo en Diferentes departamentos de nuestro Territorio.

#### **3.7 Calidad de Software**

El objetivo de la calidad de software es proporcionar información adecuada sobre los datos necesarios referentes a la calidad del producto. En esta fase es deseable que las métricas técnicas proporcionen una visión interna a la calidad del modelo de análisis. Estas métricas examina el modelo de análisis con la intención de predecir el tamaño del sistema resultante.

La medición de la calidad sobre aspectos del software se los realiza a través de métricas de control de calidad, para medir aspectos del software como su funcionalidad, mantenibilidad y portabilidad.

### 3.7.1 Funcionabilidad

Para hallar la funcionabilidad del sistema se consideran los siguientes datos Para proveer funciones que cumplen las necesidades explícitas en implícitas cuando es utilizado en condiciones específicas como:

**a) Procedencia:** toda la información y origen de los datos es previamente ajustado utilizando cálculos de algebra lineal para corregir errores que contengan la información acerca de las características de los datos espaciales.

En la representación de un componente espacial de tipo cuantitativo, lo habitual es calcular el error medio cuadrático (RMS) mediante la siguiente fórmula.

$$RMS = \sqrt{\sum i(Xi - Xit)^2 / n - 1}$$

**Donde:**

Xi: es el valor de la muestra

Xit: el valor Real

N: el número de muestras

De esta manera aseguramos una aproximamos ideal de los datos espaciales para posteriores cálculos y aplicaciones de las mismas.

**b) Exactitud:** Es la exactitud con la que se ha llevado a cabo la representación de las entidades del mundo real, sus atributos, sus valores de los mismos (coordenadas x, y, z) como se muestra a continuación:

| Escala    | Representación           |
|-----------|--------------------------|
| 1:1300000 | 1 cm representa a 1,3 Km |
| 1:1000000 | 1 cm representa a 1,0 Km |

c) **Compleción:** Es la relación entre objetos de la base de datos y el universo abstracto de todos los objetos, el objetivo es determinar si todos los elementos que se quieren representar están en la Base de datos.

**Tabla 3.3 Relación entre objetos de la Base de Datos**

| PUNTO | LAT WGS84      | LONG WGS84     | Alt Elipsoidal |
|-------|----------------|----------------|----------------|
| m3248 | -17,2339303833 | -66,2101148417 | 4360,8720      |
| m3249 | -17,7094813889 | -66,6852871472 | 4297,3470      |
| 383-A | -16,3692696583 | -68,3872130139 | 4010,7930      |
| BNPU  | -17,2747703833 | -67,3370737306 | 4160,6270      |

| LAT_GG | LAT_MIN | LAT_SS_NN   | LONG_GG | LONG_MIN | LONG_SS_NN  | ALTURA_ELI |
|--------|---------|-------------|---------|----------|-------------|------------|
| -17    | 14      | 2,14937988  | -66     | 13       | 36,41343012 | 4360,8720  |
| -17    | 43      | 34,13300004 | -66     | 41       | 7,03372992  | 4297,3470  |
| -16    | 22      | 9,37076988  | -68     | 23       | 13,96685004 | 4010,7930  |
| -17    | 16      | 29,17337988 | -67     | 20       | 13,46543016 | 4160,6270  |

Fuente: [ Instituto Geográfico Militar, 2007 ]

d) **Consistencia lógica:** Describe la compatibilidad de los datos en su conjunto, también a la composición y relación entre los distintos objetos, y que no exista redundancia, para esto cada una de las tablas que se utilizó se encuentra correctamente normalizada y son identificables, bajo un mismo criterio.

e) **Resolución:** En nuestro modelo la cantidad de detalle es posible discernir hasta el elemento más pequeño de la base de datos que puede ser visualizado o cartografiado a diferentes escalas como ser 1:250000; y 1:100000, esto gracias que el modelo Vector nos permite una mejor representación de nuestros datos en cada uno de nuestros mapas.

### 3.7.2 Usabilidad

El grado en que el software es fácil de usar, esta referido por las siguientes características

- ✓ Facilidad de comprensión

- ✓ Facilidad de aprendizaje
- ✓ Facilidad de operatividad

Para medir la usabilidad del sistema de información se realizaron encuestas (**VER ANEXO A**) a los usuarios finales. Las preguntas que se realizaron están sujetas a las características de usabilidad mencionadas anteriormente.

**Tabla 3.4 Evaluación de Usabilidad**

| Pregunta | SI | NO | Resultado   |
|----------|----|----|---|
| 1        | 4  | 1  | El Sistema tiene un 80 % de facilidad de manejo   |
| 2        | 3  | 2  | El 60% pueden controlar las operaciones del Sistema   |
| 3        | 1  | 4  | El 80% de los usuarios recibe repuestas fáciles de entender   |
| 4        | 4  | 1  | El 80% de los usuario cree que el sistema es agradable a la vista                                     |
| 5        | 5  | 0  | El 100% están de acuerdos en que las repuestas del Sistema satisfacen sus requerimientos              |
| 6        | 3  | 2  | En las tareas usuales de Adición, Eliminación y Modificación de datos no hay complicaciones en un 60% |
| 7        | 4  | 1  | El manejo del Sistema tiene un 80% de personas que lo entiendan y no tiene problemas de manejo        |
| 8        | 4  | 1  | El 80% esta de acuerdo en que el Sistema realiza peticiones simples.                                  |

**Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]**

La Usabilidad se determina de la siguiente manera:

$$\text{Usabilidad} = \text{Respuestas positivas} / \text{Total de Preguntas}$$

$$\text{Usabilidad} = 710 / 8 = 89 \%$$

Se concluye que el sistema tiene un grado de usabilidad de 89% lo que indica que el software es fácil de usar.

### 3.7.3 Flexibilidad

El coste de modificación del producto cuando cambian sus especificaciones, se calcula de la siguiente manera:

$$F = 1 - 0.05 (\text{días} - \text{hombre})$$

Donde:

F → Flexibilidad  
Días – hombre → Número medio de días hombre por cambio

Tabla 3.5 Tipos de cambios dentro del software

| Cambios                           | Nº de Días – Hombre por cambio |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Cambio en la entrada de datos     | 3                              |
| Cambio en la salida de Datos      | 3                              |
| Cambio en los procesos            | 5                              |
| Cambio en los datos espaciales    | 6                              |
| Cambio en los datos alfanuméricos | 4                              |
| Promedio                          | $21/5=4.2$                     |

Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$F = 1 - 0.05 * (\text{numero medio de días} - \text{hombre por cambio})$$

$$F = 1 - 0.05 * (4.2) = 82$$

Por tanto se puede concluir que el sistema tiene un 82% de flexibilidad, es decir que en un promedio de 4 días se pueden realizar cambios en las especificaciones del sistema. Es decir que el software posee atributos de software con una estructura de módulos independientes los cuales pueden ampliarse de acuerdo a los nuevos requerimientos.



### 3.7.4 Portabilidad

Portabilidad es el esfuerzo necesario para transferir el programa de un entorno de un sistema de hardware y/o software a otro

#### a) Hardware

El Sistema de Cartografía Digital es portable a computadoras y PC portátiles

#### b) Software

El código del sistema no es portable a otros lenguajes de desarrollo de manera directa, por poseer características y especificaciones propias de compiladores.

#### c) Sistema Operativo

Es portable y adaptable a cualquier plataforma Windows, Linux, utilizando algunos plugins.

La ecuación para medir la portabilidad de un sistema es:

$$GP = 1 - (EP/EI)$$

Costo de Transportar = 235 \$us

Costo de Re desarrollo = 870 \$us

Reemplazando en la ecuación

$$GP = 1 - ( 235 / 870 ) = 0.83$$

Entonces  $GP > 0$ , indica que la portabilidad es mucho mejor que desarrollar el sistema

### 3.7.5 Instalación / Mantenibilidad

El Sistema de Cartografía Digital para el País, acorde con los estándares internacionales vigentes y haciendo uso de las tecnologías de posicionamiento Global disponibles utiliza una aplicaron orientada a una arquitectura Cliente / Servidor.

De acuerdo al estudio realizado se tiene en cuenta los siguientes requerimientos:

**Tabla 3.6 Requerimiento de Hardware y Software**

| <b>HARDWARE</b>   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Un Servidor de base de Datos SQL Versión 2000 o superior</li><li>• Capacidad en Disco Duro mínimo 20 GB</li><li>• Capacidad en memoria mínimo 256 Mb en RAM</li></ul>   |
| <b>SOFTWARE</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Arc View 3.2 (SIG que permite la creación de capas temáticas)</li><li>• SQL Server 2000 ( Gestor de Base de Datos)</li><li>• Macromedia Flash 8</li><li>• PHP y Apache</li></ul> <p><b>Sistemas Operativos</b><br/>* Windows XP o versiones iguales</p> |

**Fuente: [ Elaboración Propia, 2007 ]**

### 3.8 Seguridad del Sistema

La computadora es un instrumento que estructura una gran cantidad de información, la cual puede ser confidencial para individuos, empresas o instituciones y puede ser mal

utilizada o divulgada a personas que hagan mal uso de esta. También pueden ocurrir robos, fraudes o sabotajes que provoquen la destrucción total o parcial de la actividad computacional. Esta información puede ser de suma importancia y el no tenerla en el momento preciso puede provocar retrasos sumamente costosos.

El mal uso que se haga a las bases de datos puede ser intencionado o con propósitos fraudulentos. Para que no ocurra esto se desarrollo controles de acceso al sistema además de restringir el acceso a determinada información de acuerdo al tipo de usuario. También se genera reportes de las operaciones o consultas que se hacen al sistema en una determinada área de trabajo.

Por tanto el sistema cuenta con normas de seguridad exigidas de acuerdo a las necesidades de cada unidad. Los usuarios están clasificados con los siguientes niveles de acceso al sistema.

Nivel Administrativo, en este nivel se tiene acceso a todas las opciones del sistema sin restricciones, los cuales permite al administrador realizar todas las operaciones que vea conveniente para la mejor toma de decisiones.

Nivel Usuario con Permiso, en este nivel se tiene acceso a todos los recursos permitidos por la institución con la cual se tenga determinados convenios, y se realizará un seguimiento adecuado y oportuno de los proceso que se realice en este Nivel.

Nivel Usuario Libre, En este Nivel se tiene acceso únicamente a la información y registros o actividades encargadas por esta Unidad

De acuerdo a la implementación de la ISO 15408 y las clases, familias y componentes elegidos se verifican los niveles de seguridad del sistema

Aplicando la “Clase Identificación y Autenticación” y la “Clase Administración a la Seguridad”, se otorgan permisos a determinados usuarios y se realiza un seguimiento de las operaciones. A continuación se puede observar la ventana que nos permite introducir el login y password de la persona que esta ingresando al sistema asi de ese modo poder registrar datos, para luego poder verificar que el usuario hizo una determinada operación.

Se debe tomar en cuenta que la seguridad en la informática abarca los conceptos de seguridad física y seguridad lógica:

La Seguridad Lógica, que se refiere a la seguridad del uso del Software, a la protección de los datos, procesos y programas, así como la del ordenado y autorizado acceso a los usuarios a la información.

La Seguridad Física, que se refiere a la protección del hardware y de los soportes de datos, así como a la de los edificios e instalaciones que los albergan. Contempla las situaciones de incendios, sabotajes, robos, catástrofes naturales, etc. Por tanto se debe tener en cuenta los ambientes de instalación de los sistemas, tener un respaldo para los cortes de energía eléctrica, colocar extinguidotes contra incendios, etc.

### **3.9 Análisis Costo Beneficio del Sistema**

En este punto se desarrolla el cálculo del costo que implica el sistema "SISTEMA DE CARTOGRAFÍA DIGITAL" para el Instituto Geográfico Militar y se toman en cuenta los siguientes puntos:

- ✓ Costo de Análisis de programación
- ✓ Costo de Capacitación del usuario
- ✓ Costos del Software de desarrollo y Hardware
- ✓ Costo de Instalación

#### **a) Costo de Análisis de Programación**

El Costo de Análisis de Programación esta dada por la complejidad del trabajo y la utilización de Base de Datos en cada uno de los mapas utilizados de manera implícita, lo que supone que para la realización de una nueva versión del sistema deberá buscarse recursos de financiación de proyectos, para utilizar nuevas tecnologías y también recursos que faciliten el desarrollo de la misma.

## **b) Costos de Capacitación del Usuario**

La capacitación del Usuario se realizará durante un tiempo estimado de 2 horas diarias con un costo de 5 \$us cubriendo un tiempo estimado de 20 horas con un total de costo de 50 \$us.

## **c) Costo de Software de Desarrollo y Hardware**

La institución cuenta con las licencias de software necesarias para el desarrollo del proyecto, además de contar con los equipos necesarios para el funcionamiento del sistema.

Para el desarrollo del Sistema de Cartografía Digital del Instituto geográfico Militar se utilizó:

- PHP 5, Apache, MySQL
- Macromedia Flash 8
- Arc View 3.2 para el Manejo de los Datos espaciales y Cartográficos
- Arc GIS 9 para el desarrollo de Mapas en diferentes escalas

## **d) Costo de Instalación**

La instalación del sistema se realizará conjuntamente con el personal del Instituto Geográfico Militar, específicamente con la Sección Cálculos.

## Capítulo 4

# Conclusiones y Recomendaciones

### CONCLUSIONES

- ✓ La actualización del Marco Geocéntrico Nacional en un Sistema de Cartografía Digital en línea, que por consiguiente es la base cartográfica nacional, es una tarea que se aborda a corto plazo. Si bien, las exigencias técnicas y económicas para su establecimiento y puesta en marcha, son de gran envergadura, los beneficios que trae rebosarán ampliamente en un 85 % los objetivos propuestos y permitirán posicionar al IGM como una entidad altamente técnica y efectiva en cuanto a la generación de cartografía y Geodesia en todo el territorio nacional.
- ✓ Los esfuerzos del IGM, en el área de Geodesia, se centran en proporcionar la mejor referencia para el país utilizando todos los medios que se encuentren a su alcance a la par de la tecnología existente. El Diseño del Sistema de Cartografía Digital para referenciar los 137 Puntos Satelitales GPS, en su diseño y principios obedecen a las ventajas que resultan de su aplicación por parte de los usuarios, como topógrafos, cartógrafos, geodestas, así también a Instituciones públicas y privadas, permitiendo abrir nuevas brechas para el desarrollo de aplicaciones Geográficas y la intención de fortalecer los vínculos de cooperación entre los usuarios de la información Georeferenciada y el IGM.

- ✓ El cambio de sistema de referencia y sistematización de la misma no puede ser manera rápida, éste requiere de un período de transición razonable asociado a la aceptación y adopción por parte de los usuarios. En este sentido, es importante observar que no todos ellos tendrán iguales posibilidades de adaptación, bien sea por carencia de tecnología, por limitaciones o conveniencia.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Es evidente que el proceso de transición no podrá ser realizado en periodos de tiempo muy cortos, debiéndose definir plazos en tiempo por las secciones que manejan información Georeferenciada, adecuados para la ejecución del proceso de cambio al Sistema de Referencia Cartográfica Digital y para que además toda la futura información que vaya a ser generada sea adecuada al nuevo sistema en su totalidad de manera referenciada y también pueda visualizarse.
- ✓ El departamento de Operaciones de Campo a través de la sección Geodesia Topografía y Cálculos del Instituto Geográfico Militar cumple con la misión asignada por la superioridad al sugerir el presente cambio en el Sistema vía Web de Georeferencia Nacional, avizorando siempre que la Institución este a la vanguardia en temas que son de vital importancia para la vigencia técnica en temas Geodésicos y Cartográficos en el País utilizando para el desarrollo de la misma toda la tecnología necesaria y que este a su alcance.
- ✓ Será necesario realizar un cronograma para el proceso de Reproyección de la Información vectorial existente en formato DGN, puesto que es el que cuenta con mayor información en todas las escalas y puntos importantes que se van a sistematizar al Nuevo Sistema de Cartografía Digital vía Web, así también los recursos que se van a compartir con los Usuarios que tengan convenios con nuestra Institución.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**[Kendall, 1995]** Kendall, K. y Kendall J., Análisis y diseño de sistemas de información, Mexico, Pretince Hall, 1995

**[Pressman, 2003]** Pressman, R. S., Ingeniería de Software, España, McGraw-Hill, 2003

**[Yourdon, 1993]** Yourdon, E., Análisis estructurado moderno, España, McGraw-Hill, 2003

**[Senn, 1992]** Senn J., Análisis y diseño de sistemas de información, México, Pretince Hall, 1992

**[Oviedo, 2001]** Oviedo Fernando, Fundamentos de Geodesia IGM Bolivia, 1ra Edición, La Paz Bolivia, 2001.

**[Vásquez, 2002]** Vásquez E., Consideraciones y Técnicas para el establecimiento de Redes GPS para la IGM Bolivia., 1ra Edición, La Paz Bolivia, 2002.



**[Fernández, 2003]** Fernández Carlos, Determinación de los Parámetros de Transformación de la Red STMIN a la Red MARGEN, 1ra Edición, EMI, La Paz Bolivia, 2003.

**[Barredo, 2005]** Gómez Delgado M., Barreto Cano José, Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio, 2da edición, México, 2005.

**[Rodríguez, 1993]** Rodríguez Pascual, Proposición de una definición profunda de un SIG, Madrid, España, 1993

**[Bosque, 1999]** Bosque J., La Ciencia de la Información Geográfica y la Geografía, San Juan de Puerto Rico, 1999

**[Jensen, 1998]** Jensen J. R., Introducción al proceso digital de Imágenes con una perspectiva remota, New Jersey, Prentice Hall, 1998

**[Sancho, 2001]** Sancho Comins Jose, Cartografía Temática, Fundamentos y Aplicaciones, Madrid, España, 2001

**[Escobar, 2000]** Escobar Martines Francisco, Análisis y Diseño de un SIG, España, 2000

**[Carrillo, 2003]** Carrillo Daniel, Global Positioning System Overview, Monterrey, Mexico, 2003

# Anexo A



## Encuesta para métrica de calidad “USABILIDAD”

Encierre en un círculo su respuesta

1. ¿Usted puede usar con facilidad el Sistema?  
Si No
2. ¿Puede usted controlar las operaciones que el Sistema Pide?  
Si No
3. ¿Las respuestas del Sistemas son complicadas?  
Si No
4. ¿El sistema cuenta con interfaces dinámicas y agradables a la vista?  
Si No
5. ¿Las respuestas que el sistema le proporcionan son entendibles y satisfacen sus requerimientos?  
Si No
6. ¿Le parece complicadas las tareas de modificación y adición de datos?  
Si No
7. ¿Se le hace difícil ubicar alguna referencia al manejar el Sistema?  
Si No
8. ¿A primera vista puede entender las peticiones de datos que el sistema le pide para acceder a los módulos de simulación?  
Si No