

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PRECISIONES POSICIONALES  
OBTENIDAS EN TRABAJOS DE CAMPO DE INGENIERÍA CIVIL POR LOS  
DISTINTOS MÉTODOS CONOCIDOS**

**OSCAR JAVIER LEÓN JAIMES  
EDGAR LIBARDO ORTEGA TORRES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2009**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PRECISIONES POSICIONALES  
OBTENIDAS EN TRABAJOS DE CAMPO DE INGENIERÍA CIVIL POR LOS  
DISTINTOS MÉTODOS CONOCIDOS**

**OSCAR JAVIER LEÓN JAIMES  
EDGAR LIBARDO ORTEGA TORRES**

**Tesis en la modalidad de investigación  
Para optar al título de:  
Ingeniero Civil**

**Director:**

**JORGE GÓMEZ GÓMEZ  
Ingeniero en Vías y Transportes, M. Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2009**

A mi madre lo más importante y la mujer que más amaré en mi vida, a mi Padre gracias por su apoyo en todas las cosas que he querido hacer, a Cheyo y Marce mis hermanitos que tanto quiero.

Oscar Javier León Jaimes

A los tres seres más importantes en mi vida, mi Madre que me inculcó la pasión por el estudio y la alegría de la vida, mi Padre, mi inspiración, mi colega y amigo hasta la eternidad, a mi hermana, tierna, comprensiva y compañera de aventuras, a mi familia, a mis amigos y a todos los que de algún modo dieron su aporte a la consecución de este proyecto.

Edgar Libardo Ortega Torres

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean expresar sus agradecimientos a:

Ing. Jorge Gómez Gómez

Ing. Jorge Eduardo Pinto Valderrama

Ing. Guillermo Gutiérrez

Y a todos los que de una u otra manera colaboraron en la realización del presente trabajo.

## CONTENIDO

|   | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN.....   | 1    |
| OBJETIVOS .....   | 3    |
| I.    Objetivo General .....                              | 3    |
| II.   Objetivos Específicos .....                         | 3    |
| 1.    MARCO TEÓRICO .....                                 | 4    |
| 1.1. GEODESIA .....                                       | 4    |
| 1.1.1. Elipsoide .....                                    | 5    |
| 1.1.2. GEOIDE .....                                       | 8    |
| 1.1.3. Coordenadas geográficas .....                      | 12   |
| 1.1.4. Sistemas de Referencia Geodésicos.....             | 14   |
| 1.2. TOPOGRAFÍA.....                                      | 23   |
| 1.2.1. SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN EN TOPOGRAFÍA .....     | 25   |
| 1.2.2. DIVISIÓN DE LA TOPOGRAFÍA.....                     | 25   |
| 1.3. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) .....       | 44   |
| 1.3.1. Principios de funcionamiento del sistema GPS ..... | 44   |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.3.2. | Sección espacio.....  | 46 |
| 1.3.3. | Sección control.....  | 51 |
| 1.3.4. | Sección usuario.....  | 52 |
| 1.3.5. | Métodos de Posicionamiento .....                            | 53 |
| 1.3.6. | Geometría de los Satélites .....                            | 55 |
| 1.4.   | IMÁGENES SATELITALES.....                                   | 56 |
| 1.4.1. | Resolución espacial .....                                   | 61 |
| 1.4.2. | Resolución espectral .....                                  | 62 |
| 1.4.3. | Resolución radiométrica.....                                | 62 |
| 1.4.4. | Resolución temporal .....                                   | 62 |
| 1.5.   | MAGNA-SIRGAS .....  | 62 |
| 1.5.1. | INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM (ITRS).....      | 63 |
| 1.5.2. | INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE FRAME (ITRF).....       | 64 |
| 1.5.3. | SIRGAS .....  | 66 |
| 1.5.4. | MAGNA-SIRGAS: Marco Geocéntrico Nacional de Referencia..... | 67 |
| 1.5.5. | DATUM BOGOTÁ.....   | 69 |
| 2.     | METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....                       | 71 |
| 2.1.   | DESCRIPCIÓN .....   | 71 |
| 2.2.   | EQUIPOS UTILIZADOS .....                                    | 72 |

|  |     |
|--|-----|
| 2.2.1. GPS Thales Promark3 .....   | 72  |
| 2.2.2. Estación Total Topcon GTS-210 .....                                       | 73  |
| 2.2.3. Imagen Digital .....  | 75  |
| 2.3. ESTADÍSTICA APLICADA AL ESTUDIO .....                                       | 75  |
| 2.3.1. Diseño del Estudio .....  | 77  |
| 2.3.2. Procedimiento estadístico de distribución de la muestra en el campo ..... | 82  |
| 2.4. RED GEODÉSICA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER .....                     | 83  |
| 2.5. LEVANTAMIENTO POR GPS .....   | 84  |
| 2.5.1. Levantamiento Estático .....  | 85  |
| 2.5.2. Levantamiento Cinematico .....  | 99  |
| 2.6. LEVANTAMIENTO CON ESTACIÓN TOTAL .....                                      | 107 |
| 2.6.1. Método de Poligonal Cerrada .....   | 108 |
| 2.6.2. Método de Radiación .....   | 110 |
| 2.7. NUEVA TECNOLOGÍA, IMAGEN SATELITAL “QUICKBIRD” .....                        | 113 |
| 2.7.1. ESPECIFICACIONES DE LA IMAGEN .....                                       | 113 |
| 2.7.2. PROCESO DE GEORREFERENCIACIÓN .....                                       | 116 |
| 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS TRES MÉTODOS ESTUDIADOS .....                     | 131 |
| 3.1. Obtención del delta de error absoluto .....                                 | 131 |
| 3.2. Análisis general de los datos .....   | 137 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.3. Análisis detallado de los datos .....               | 138 |
| 3.3.1. Escalas de representación .....                   | 138 |
| 3.3.2. División de los datos para su análisis .....      | 141 |
| 3.4. Análisis detallado de los datos en altimetría ..... | 154 |
| 3.4.1. Diferencia en el valor de la cota .....           | 154 |
| 3.4.2. Diferencia de nivel en cada método .....          | 156 |
| 4. CONCLUSIONES .....                                    | 159 |
| 5. RECOMENDACIONES .....                                 | 161 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  | 162 |
| ANEXOS .....   | 165 |

## LISTA DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Figura 1.</b> Elipsoide .....  | 6    |
| <b>Figura 2.</b> Comparación Geoide-Elipsoide .....                         | 9    |
| <b>Figura 3.</b> Geoide del Hemisferio de Europa y Africa (Exagerado) ..... | 10   |
| <b>Figura 4.</b> Tipos de alturas.....                                      | 11   |
| <b>Figura 5.</b> Coordenadas Geográficas.....                               | 13   |
| <b>Figura 6.</b> Ejes coordenados.....                                      | 15   |
| <b>Figura 7.</b> Datum Geocéntrico y Datum Local.....                       | 16   |
| <b>Figura 8.</b> Proyección Cilíndrica.....                                 | 18   |
| <b>Figura 9.</b> Proyección Cónica .....                                    | 21   |
| <b>Figura 10.</b> Proyección Cenital .....                                  | 22   |
| <b>Figura 11.</b> Distancias en Topografía.....                             | 26   |
| <b>Figura 12.</b> Levantamiento por radiación .....                         | 28   |
| <b>Figura 13.</b> Levantamiento por intersección de visuales .....          | 29   |
| <b>Figura 14.</b> Poligonales Abiertas.....                                 | 30   |
| <b>Figura 15.</b> Nivelación de precisión .....                             | 35   |
| <b>Figura 16.</b> Nivelación Directa Simple.....                            | 36   |
| <b>Figura 17.</b> Nivelación Directa Compuesta .....                        | 39   |
| <b>Figura 18.</b> Curvas de nivel .....                                     | 40   |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 19.</b> Curvas de Nivel por Cuadrícula.....   | 41 |
| <b>Figura 20.</b> Cálculo de Posición.....  | 45 |
| <b>Figura 21.</b> Frecuencias de GPS .....  | 49 |
| <b>Figura 22.</b> Ubicación de Estación de Monitoreo .....  | 51 |
| <b>Figura 23.</b> Control del sistema GPS .....   | 52 |
| <b>Figura 24.</b> PDOP .....  | 56 |
| <b>Figura 25.</b> Organización de Datos en una Imagen Satelital .....   | 57 |
| <b>Figura 26.</b> PIXEL de una Imagen Satelital.....  | 58 |
| <b>Figura 27.</b> Ciudad de Brasilia, Imagen LANDSAT .....  | 60 |
| <b>Figura 28.</b> Campus Universidad Industrial de Santander Sensor, Imagen QUICKBIRD.....  | 60 |
| <b>Figura 29.</b> Diferencias entre ITRF y el sistema de referencia satelital .....   | 64 |
| <b>Figura 30.</b> ITRF 2000 y sus velocidades .....   | 65 |
| <b>Figura 31.</b> Estaciones de la Red SIRGAS .....   | 67 |
| <b>Figura 32.</b> Red MAGNA-SIRGAS.....   | 68 |
| <b>Figura 33.</b> Receptor GPS.....   | 73 |
| <b>Figura 34.</b> Estación Total Topcon GTS-210 .....   | 74 |
| <b>Figura 35.</b> Curvas características de operación para diferentes valores de n para la prueba t unilateral con nivel de significancia $\alpha = 0.05$ . ..... | 80 |
| <b>Figura 36.</b> Curva de distribución normal para la hipótesis planteada.....   | 82 |
| <b>Figura 37.</b> Ubicación en Campo de los Vértices Principales.....   | 86 |
| <b>Figura 38.</b> Nivelación Trípode .....  | 87 |
| <b>Figura 39.</b> Extensión para antena .....   | 88 |
| <b>Figura 40.</b> Instalación de la Antena .....  | 88 |

|                   |  |     |
|-------------------|--|-----|
| <b>Figura 41.</b> | Receptor y lectura de satélites .....                    | 89  |
| <b>Figura 42.</b> | Menú del levantamiento Estático .....                    | 90  |
| <b>Figura 43.</b> | Menú No2 del Levantamiento Estático .....                | 90  |
| <b>Figura 44.</b> | Menú 1 Postprocesado de Datos .....                      | 92  |
| <b>Figura 45.</b> | Menú 2 Postprocesado de Datos .....                      | 92  |
| <b>Figura 46.</b> | Menú 3 Postprocesado de Datos .....                      | 93  |
| <b>Figura 47.</b> | Menú 4 Postprocesado de Datos .....                      | 94  |
| <b>Figura 48.</b> | Menú 5 Postprocesado de Datos .....                      | 94  |
| <b>Figura 49.</b> | Menú 6 Postprocesado de Datos .....                      | 95  |
| <b>Figura 50.</b> | Menú 7 Postprocesado de Datos .....                      | 96  |
| <b>Figura 51.</b> | Menú 8 Postprocesado de Datos .....                      | 96  |
| <b>Figura 52.</b> | Menú 9 Postprocesado de Datos .....                      | 97  |
| <b>Figura 53.</b> | Ajuste de Red.....                                       | 98  |
| <b>Figura 54.</b> | Base en el Levantamiento Stop and Go .....               | 100 |
| <b>Figura 55.</b> | Menú 1 del Levantamiento Stop and Go .....               | 100 |
| <b>Figura 56.</b> | Inicialización con Punto Conocido.....                   | 102 |
| <b>Figura 57.</b> | Inicialización en Barra .....                            | 102 |
| <b>Figura 58.</b> | Inicialización sobre la marcha .....                     | 103 |
| <b>Figura 59.</b> | Toma de puntos por el método Stop and Go.....            | 104 |
| <b>Figura 60.</b> | Levantamiento Stop and Go (Luis A. Calvo).....           | 105 |
| <b>Figura 61.</b> | Imagen del satélite Quickbird .....                      | 115 |
| <b>Figura 62.</b> | Altitud del satélite Quickbird y tiempo de barrido ..... | 115 |
| <b>Figura 63.</b> | Introducción de datos en IMPIMA.....                     | 118 |

|                   |   |     |
|-------------------|---|-----|
| <b>Figura 64.</b> | Cuadro de dialogo proyecciones .....  | 119 |
| <b>Figura 65.</b> | Cuadro de dialogo Proyectos .....   | 120 |
| <b>Figura 66.</b> | Ilustración del proceso de registro de la imagen.....                               | 121 |
| <b>Figura 67.</b> | Formulas para el cálculo del sistema coordenado .....                               | 122 |
| <b>Figura 68.</b> | Cuadro de dialogo registro de imagen.....   | 123 |
| <b>Figura 69.</b> | Cuadro de dialogo importar imágenes registradas .....                               | 124 |
| <b>Figura 70.</b> | Curvas de nivel introducidas a SPRING .....   | 126 |
| <b>Figura 71.</b> | Retícula triangular generada con SPRING .....                                       | 127 |
| <b>Figura 72.</b> | Retícula rectangular generada con SPRING .....                                      | 127 |
| <b>Figura 73.</b> | Ejemplo de medición de distancias y coordenadas planas con SPRING                   | 128 |
| <b>Figura 74.</b> | Ciclo de un proyecto de carreteras .....  | 139 |
| <b>Figura 75.</b> | Distribución de la muestra .....  | 141 |
| <b>Figura 76.</b> | Comparación de los promedios de delta de error según la distancia medida            | 149 |
| <b>Figura 77.</b> | Error en la medición de objetos pequeños en una imagen digital a escala 1:200 ..... | 150 |

## LISTA DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Tabla 1.</b> Parámetros de Elipsoides.....   | 7    |
| <b>Tabla 2.</b> Parámetros Elipsoide WGS84.....   | 8    |
| <b>Tabla 3.</b> Valores de N.....   | 12   |
| <b>Tabla 4.</b> Tolerancias en levantamiento de poligonal cerrada.....  | 33   |
| <b>Tabla 5.</b> Coordenadas Red Geodésica Universidad Industrial Santander.....   | 84   |
| <b>Tabla 6.</b> Coordenadas de los Vértices Primarios.....  | 98   |
| <b>Tabla 7.</b> Coordenadas y cotas obtenidas mediante el levantamiento por GPS.....  | 106  |
| <b>Tabla 8.</b> Resultados de la poligonal.....   | 110  |
| <b>Tabla 9.</b> Coordenadas y cotas obtenidas con la estación total.....  | 111  |
| <b>Tabla 10.</b> Tabla comparativa de deltas de error con la red geodésica de la UIS antes de hacer la georreferenciación.....  | 123  |
| <b>Tabla 11.</b> Coordenadas y cotas obtenidas de la imagen satelital.....  | 129  |
| <b>Tabla 12.</b> Deltas de error entre el GPS y la estación total.....  | 132  |
| <b>Tabla 13.</b> Deltas de error entre el GPS y la imagen satelital.....  | 133  |
| <b>Tabla 14.</b> Deltas de error entre la estación total y la imagen satelital.....   | 135  |
| <b>Tabla 15.</b> Resultados de la prueba de hipótesis realizada para la totalidad de la muestra con $\mu_0$ igual a 0.0045..... | 137  |
| <b>Tabla 16.</b> Tipos de estudios en la etapa de preinversión.....   | 139  |
| <b>Tabla 17.</b> Comparación entre escalas y errores aceptables.....  | 140  |

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Tabla 18.</b> | Comparación GPS vs Estación total para distancias mayores a 100m                                      | 142 |
| <b>Tabla 19.</b> | Comparación GPS vs Estación total para distancias entre 20m y 100m                                    | 142 |
| <b>Tabla 20.</b> | Comparación GPS vs Estación total para distancias menores a 20m                                       | 143 |
| <b>Tabla 21.</b> | Comparación GPS vs Imagen satelital para distancias mayores a 100m                                    | 144 |
| <b>Tabla 22.</b> | Comparación GPS vs Imagen satelital para distancias entre 20m y 100m                                  | 144 |
| <b>Tabla 23.</b> | Comparación GPS vs Imagen satelital para distancias menores a 20m                                     | 145 |
| <b>Tabla 24.</b> | Comparación Imagen satelital vs Estación total para distancias mayores a 100m.....                    | 146 |
| <b>Tabla 25.</b> | Comparación Imagen satelital vs Estación total para distancias entre 20m y 100m.....                  | 147 |
| <b>Tabla 26.</b> | Comparación Imagen satelital vs Estación total para distancias menores a 20m.....                     | 147 |
| <b>Tabla 27.</b> | Análisis estadístico para el intervalo de medidas mayor a 100m.....                                   | 151 |
| <b>Tabla 28.</b> | Análisis estadístico para el intervalo de medidas entre 20m y 100m                                    | 151 |
| <b>Tabla 29.</b> | Análisis estadístico para el intervalo de medidas menor a 20m.....                                    | 151 |
| <b>Tabla 30.</b> | Valores para los cuales la hipótesis nula fue aceptada obtenida por el método de ensayo y error ..... | 152 |
| <b>Tabla 31.</b> | Error de cada grupo de medidas .....  | 153 |
| <b>Tabla 32.</b> | Sugerencias para el uso de la imagen digital Quickbird según la escala de precisión requerida .....   | 154 |
| <b>Tabla 33.</b> | Diferencia de Nivel entre vértices primarios .....  | 156 |

## LISTA DE ANEXOS

|  | Pág. |
|--|------|
| ANEXO A. ESPECIFICACIONES DEL RECEPTOR GPS .....           | 165  |
| ANEXO B. INFORME SOFTWARE GNSS SOLUTIONS (GPS) .....       | 166  |
| ANEXO C. INFORME SOFTWARE TOPOGRAPH (ESTACIÓN TOTAL) ..... | 186  |
| ANEXO D. DATOS DE LA RED GEODÉSICA DE LA UIS .....         | 198  |

## RESUMEN

### TITULO:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PRECISIONES OBTENIDAS EN TRABAJOS DE CAMPO DE INGENIERÍA CIVIL POR LOS DISTINTOS MÉTODOS CONOCIDOS.\*

### AUTOR(ES):

LEÓN JAIMES, Oscar Javier  
ORTEGA TORRES, Edgar Libardo \*\*

### PALABRAS CLAVES

Georreferenciación, teledetección, coordenadas, sistema de posicionamiento global, imagen digital de satélite, satélite artificial, pixel, magna sirgas, estación total.

## DESCRIPCIÓN

Este proyecto nace de la necesidad de impulsar la implementación de nuevas tecnologías en los trabajos de campo en ingeniería civil mediante el análisis comparativo de las precisiones obtenidas de los métodos en uso actualmente (estación total) y de los métodos provenientes de los avances tecnológicos de última generación como el sistema de posicionamiento global y las imágenes digitales captadas desde satélites artificiales. Demostrando así la compatibilidad técnica del empleo de nuevas tecnologías en los trabajos en ingeniería.

El análisis consta de cuatro partes esenciales, la primera parte es un marco teórico el cual brinda al lector información acerca de las tecnologías estudiadas, su procedencia y aplicación. La segunda parte es descripción ampliada de la forma como fueron elaborados los levantamientos, el procesamiento de la información en campo y el uso de software en oficina para instruir acerca de la correcta aplicación de cada método. La tercera parte es una comparación estadística de los métodos entre sí que brinda una herramienta matemática de análisis y por último un análisis teórico y técnico de las precisiones posibles y aplicaciones viables de cada levantamiento dependiendo de la escala requerida.

Todo el análisis está enfocado al campo de proyectos de infraestructura vial pues se siguen las pautas emanadas por el Instituto Nacional de Vías.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Ing. Ms. C. GÓMEZ GÓMEZ, Jorge Hernando

## ABSTRAC

### TITLE:

COMPARATIVE ANALYSIS OF PRECISENESS OBTAINED IN OUTFIELD WORK OF CIVIL ENGINEERING BY DIFFERENTS KNOWN METHODS\*

### AUTHOR(S):

LEÓN JAIMES, Oscar Javier  
ORTEGA TORRES, Edgar Libardo \*\*

### KEY WORDS:

Georeference, Remote Sensing, Coordinate, Global Positioning System, Satellite Imagery, Total Station, Píxel.

## DESCRIPTION

This project was born of the necessity to impeler the implemetation of new technologies in the outfield work in civil engineering through comparative analysis of preciseness obtained by the methods used in the present day (Total Station) and the methods coming from the technological advance of last generation as the global positioning system and the digital imagery captured from the artificial satellite. showing the technical compatibility in use of new technology in the engineering projects.

The analysis has four important chapter, the firts chapter is a theoretical framework, it which give to reader an information about technologis studied, its source and aplication. The second chapter is a especific description of surveying methods, the processing of the information obtained outfield and the software use at office to guide about the right application of each method. The third chapter is a statistical comparison between each method that offer an important mathematical tool of analysis and the last cheapter is an theoretical and technical analysis of the possible preciseness and workable applications of each surveying, dependig of scale required.

All analysis is guided to roadway infrastructure, because we follow all the requirements demands by Instituto Nacional de Vías-INVIAS

---

\* Degree Thesis

\*\* Faculty of Physical - Mechanical Engineering. Civil Engineering College. Manager Engineer. Ms. C. GOMÉZ GOMÉZ, Jorge Hernando

## INTRODUCCIÓN

En nuestro medio existe poco conocimiento acerca de nuevas tecnologías para la ubicación de proyectos de obras civiles como es el uso de instrumentos de ubicación geográfica tales como sistemas de posicionamiento global (GPS) y en mayor grado de desconocimiento el uso de imágenes digitales obtenidas desde satélites artificiales, el problema aumenta teniendo en cuenta que continuamente se presentan avances tecnológicos en un mundo cada vez más globalizado y por ende competitivo.

Con este análisis se pretende demostrar la viabilidad técnica del uso de herramientas de última generación que brindan los avances tecnológicos en trabajos de campo de ingeniería civil, de igual manera brindar una guía acerca de la aplicabilidad de los mencionados avances según el grado de precisión requerida.

En la presente investigación se realizó como levantamiento planimétrico fundamental el **método de poligonal cerrada**, con los dos instrumentos más óptimos para ejecutar este:

- ESTACIÓN TOTAL
- SISTEMA GPS MONO-FRECUENCIA

Como campo de prueba se utilizó el campus de la Universidad Industrial de Santander, tomando como parámetros de comparación inicial los puntos geodésicos ubicados en este, certificados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC.

A partir de las precisiones obtenidas en cada uno de los levantamientos planimétricos se realizó un análisis estadístico con el fin de establecer el tamaño

de la muestras necesaria para avalar el estudio y realizar el levantamiento de los puntos necesarios, con base en estos georreferenciar una imagen satelital, en nuestro caso una imagen tipo QUICKBIRD.

Basados en este estudio y de acuerdo al tipo de proyecto a realizar se puede decidir que método utilizar (no es igual el nivel de precisión necesario en la ejecución de un proyecto de edificación al necesario en un proyecto vial o de alcantarillado), ya que dependiendo del método se hace necesario un trabajo en campo singular, el cual puede resultar inapropiado teniendo en cuenta la topografía y condiciones climáticas que presenta un país tropical como Colombia donde se pueden encontrar regiones inaccesibles.

Además se busca infundir el desarrollo de nuevas tecnologías y que este conocimiento se encuentre a alcance de cualquier ingeniero con el fin de facilitar y mejorar el rendimiento en la planificación y ejecución de proyectos en la ingeniería civil.

Es importante resaltar que a medida que transcurra el tiempo se tendrá más posibilidades de adquirir mejores equipos y es posible encontrar imágenes satelitales como una resolución más alta, lo que mejorará sustancialmente la precisión que es el objetivo principal en la ubicación de cualquier obra o proyecto civil.

## **OBJETIVOS**

### **I. Objetivo General**

Deducir el mejor método de precisión existente en la ubicación planimétrica y altimétrica de un punto y verificar la exactitud que se puede obtener utilizando los distintos medios que aplica la ingeniería civil moderna.

### **II. Objetivos Específicos**

- Determinar el número apropiado de la muestra de puntos a trabajar mediante aplicaciones estadísticas que garanticen su confiabilidad.
- Establecer de forma aleatoria, la ubicación de los puntos (pero que sean íntervisible el mayor número de puntos posibles) en las inmediaciones de la Universidad.
- Consecución de información secundaria de la zona elegida: cartografía, fotografía aérea, imágenes de satélite, etc.
- Realizar los distintos levantamientos de la zona de estudio siguiendo las especificaciones del IGAC.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos con las ubicaciones que se obtienen con imágenes satelitales.
- Determinar la confiabilidad comparativa entre los distintos levantamientos.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. GEODESIA

“Es la ciencia que trata la determinación de la forma y dimensiones de la Tierra, así como también los métodos de medición y cálculo para la ubicación relativa de los puntos de la superficie terrestre en su totalidad o en grandes extensiones, utilizando una superficie de referencia (elipsoide de revolución, geoide) para referir la superficie física del terreno”<sup>1</sup>.

El problema de la Geodesia es la determinación de la figura de la Tierra y de su campo gravitatorio externo en función del tiempo, así como también la determinación del elipsoide medio terrestre a partir de parámetros observados sobre la superficie o desde el exterior.

El geoide es la superficie que adopta el nivel medio del mar en equilibrio, supuestamente prolongado a través de los continentes. Cumple la condición de ser perpendicular a la vertical en cualquier punto de su superficie.

La Geodesia coloca marcas convenientemente distribuidas sobre la superficie terrestre de manera que formen los vértices de triángulos ligados entre sí, determinando sus posiciones relativas. Construye además marcas altimétricas con sus alturas con respecto a la superficie de referencia, que es el nivel medio del mar. Ambos tipos de marcas son los puntos de apoyo de la Topografía.

El impacto de la Geodesia se observa en campos del conocimiento y la tecnología, con efectos directos en el terreno económico-social. Posibilita una mayor y mejor información sobre el territorio, lo cual permite mejorar diversos aspectos de la

---

<sup>1</sup>DIEZ, Javier A. Unicen, Geodesia y Cartografía. En: [www.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/](http://www.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/) [en línea]. [consultado 10 de Agosto de 2008]. Disponible en: <<http://www.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/links/cstierra/apuntes/unidad9.pdf>>

producción de cartografía, la actualización catastral, el manejo de aguas superficiales y subterráneas, la producción agropecuaria, el desarrollo de infraestructura (camino, represas, etc.) entre otros.

Las mediciones geodésicas dependen de la exactitud y precisión de los métodos matemáticos que ella utiliza.

Durante los últimos años la geodesia ha avanzado de forma considerable, incorporando el progreso de los resultados obtenidos de mediciones actuales de la Tierra. Estos resultados nos llevan a desarrollar nuevos modelos matemáticos de la figura terrestre, los cuales se asemejan de mejor manera a la forma real de nuestro planeta. Estos resultados posibilitan hoy en día generar modelos globales de referencia terrestre, los cuales posibilitan obtener una alta precisión en la determinación de parámetros en cualquier parte del planeta

### **1.1.1. Elipsoide**

Para facilitar los cálculos y obtener una buena aproximación a la condición real, se debe suponer que la forma de La Tierra es una **esfera**, a pesar que la condición real de La Tierra es achatada a los polos y abultada en el Ecuador también es más voluminoso en el sur que en el norte y con rugosidad propia del relieve del terreno.

Debido a lo anteriormente mencionado es más fácil trabajar la forma de La Tierra como si fuera un *elipsoide*, sin tener en cuenta las condiciones topográficas del terreno. Esta condición se asume a la facilidad matemática que presenta el elipsoide para trabajar coordenadas en el plano: Latitud y Longitud y su similitud con la forma de La Tierra.

Existen varios modelos de elipsoides utilizados en geodesia llamados *elipsoides de referencia*, la diferencia entre estos se da en los parámetros de cada uno, los cuales son:

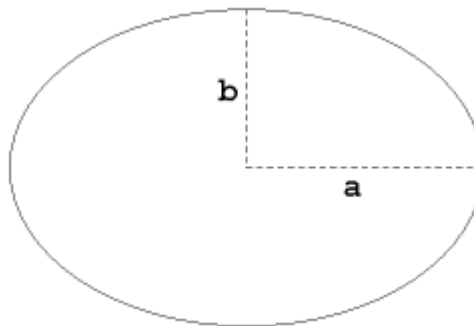
- **Semieje ecuatorial (a) o semieje mayor**

Corresponde a la longitud desde el centro de masa a la superficie terrestre a nivel del ecuador.

- **Semieje polar (b) o semieje menor**

Longitud desde el centro de masa hasta uno de los polos. Alrededor este eje se realiza la rotación del elipsoide.

**Figura 1.** Elipsoide



Fuente: <http://nacc.upc.es/tierra/node10.html#SECTION00621000000000000000>

La ecuación matemática correspondiente al elipsoide es la siguiente:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

El factor de achatamiento que corresponde a que tan diferentes son los semiejes, lo expresa la siguiente ecuación:

$$f = 1 - \frac{b}{a}$$

Debido a que el factor  $f$  es muy pequeño, se acostumbra a denominarlo  $\frac{1}{f}$ , por esta razón en ocasiones se utiliza una esfera en vez del elipsoide por facilidades de cálculo. Otra manera de indicar  $f$  es a través de la excentricidad de la elipse transversal, mediante la siguiente expresión:

$$e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2}$$

La siguiente tabla muestra las características de los elipsoides de referencia utilizados en la geodesia:

**Tabla 1.** Parámetros de Elipsoides

| <b>Parámetros de elipsoides de referencia</b> |               |               |            |
|---|---------------|---------------|------------|
| <b>Nombre</b>                                 | <b>a (m)</b>  | <b>b (m)</b>  | <b>1/f</b> |
| <i>Australian Nacional</i>                    | 6.378.160,000 | 6.356.774,719 | 298,250    |
| <i>Bessel 1841</i>                            | 6.377.397,155 | 6.356.078,963 | 299,153    |
| <i>Clarke 1866</i>                            | 6.378.206,400 | 6.356.583,800 | 294,978698 |
| <i>Clarke 1880</i>                            | 6.378.249,145 | 6.356.514,870 | 293,465    |
| <i>Everest 1956</i>                           | 6.377.301,243 | 6.356.100,228 | 300,8017   |
| <i>Fischer 1968</i>                           | 6.378.150,000 | 6.356.768,337 | 298,300    |
| <i>GRS 1980</i>                               | 6.378.137,000 | 6.356.752,314 | 298,257222 |
| <i>International 1924 (Hayford)</i>           | 6.378.388,000 | 6.356.911,946 | 297,000    |
| <i>SGS 85</i>                                 | 6.378.136,000 | 6.356.751,302 | 298,257    |
| <i>South American 1969</i>                    | 6.378.160,000 | 6.356.774,719 | 298,250    |
| <i>WGS 72</i>                                 | 6.378.135,000 | 6.356.750,520 | 298,260    |
| <i>WGS 84</i>                                 | 6.378.137,000 | 6.356.752,314 | 298,257224 |

Fuente: <http://nacc.upc.es/tierra/node10.html#SECTION00621000000000000000>

En la actualidad el Elipsoide de Referencia más utilizado mundialmente es el desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, denominado **World Geodetic System 84 (WGS84)**, ya que es elipsoide utilizado en los Sistemas de Posicionamiento Global GPS.

A continuación se presenta las características de este:

**Tabla 2.** Parámetros Elipsoide WGS84

| <b>Nombre</b>                         | <b>Símbolo</b> | <b>Valor</b>              | <b>Unidad</b> |
|---------------------------------------|----------------|---------------------------|---------------|
| <i>Semieje mayor de la elipse</i>     | a              | 6378,1370                 | km            |
| <i>Semieje menor de la elipse</i>     | b              | 6356,752314               | km            |
| <i>Factor de achatamiento</i>         | $f=(b-a)/b$    | 1/298,257223563           |               |
| <i>Velocidad angular de la Tierra</i> | Wc             | $7292115 \times 10^{-15}$ | rad/s         |

Fuente: <http://nacc.upc.es/tierra/node10.html#SECTION00621000000000000000>

### 1.1.2. GEOIDE

Con base en lo mencionado anteriormente el elipsoide es la figura matemática ideal para realizar el cálculo de coordenadas en el plano, es decir latitud y longitud, pero no es la figura ideal para el cálculo de altitudes.

Debido a que la tierra está cubierta en 70.8% de su superficie por océanos<sup>2</sup>, la superficie ideal de referencia para las altitudes es el nivel medio del mar, además se presenta una forma más cercana a la verdadera condición de La Tierra.

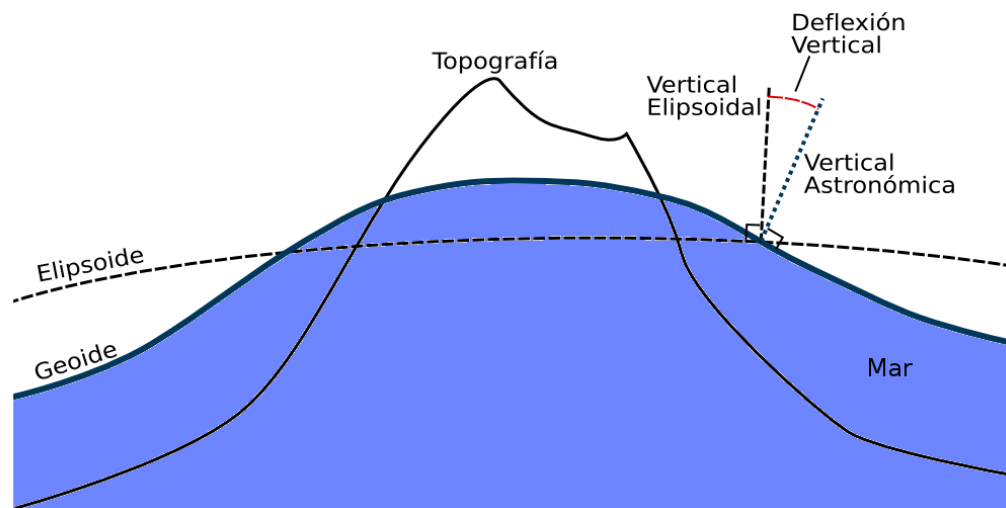
<sup>2</sup> WIKIPEDIA. Tierra. En <http://es.wikipedia.org/wiki/>. / [en línea]. [consultado 10 de Agosto de 2008]. Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Oc%C3%A9ano>. >

A su vez el nivel medio del mar depende de las irregularidades en el campo gravitatorio que varían su posición. “El agua de los océanos busca estar en equilibrio por ello tiende a seguir una superficie gravitatoria equipotencial”<sup>3</sup>.

Con el fin de cubrir todas estas características, se introduce una figura denominada **geoide** que se define como: “La superficie equipotencial del campo gravitatorio de la tierra que mejor se ajusta (en el sentido de mínimos cuadrados), al nivel medio global del mar”<sup>4</sup>.

De acuerdo con la definición anterior, el geoide es siempre perpendicular al vector gravedad local en cada punto.

**Figura 2.** Comparación Geoide-Elipsoide



Fuente: Seeber, 1993

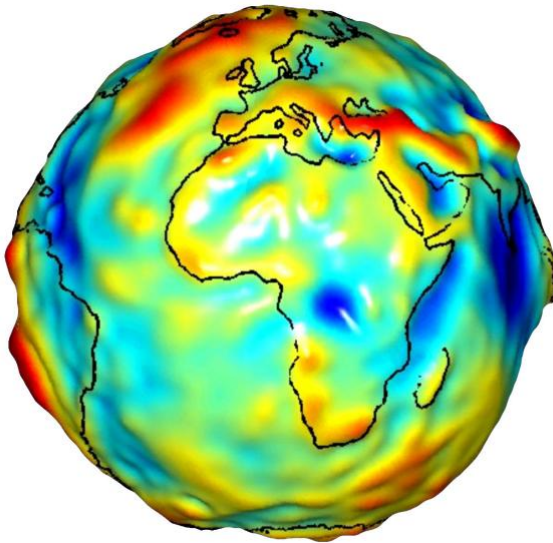
Al calcularse la diferencia vertical entre el elipsoide y el geoide puede llegar a encontrarse diferencias hasta de 150 m, en el nivel medio del mar.

<sup>3</sup>En <http://nacc.upc.es>[en línea]. [consultado 10 de Agosto de 2008]. Disponible en:< <http://nacc.upc.es/tierra/node10.html#SECTION0062100000000000000000>>

<sup>4</sup> NATIONAL GEODETIC SURVEY, 2006. What is the geoid?. En: <http://www.ngs.noaa.gov>. [en línea]. [consultado 10 de Agosto de 2008]. Disponible en:< [http://www.ngs.noaa.gov/geoid/geoid\\_def.html](http://www.ngs.noaa.gov/geoid/geoid_def.html)>

La forma del geoide es totalmente irregular debido a que la corteza terrestre no es homogénea, es decir tiene densidades totalmente diferentes, lo que ocasiona cambios en la fuerza de gravedad en un punto cualquiera, al igual que grandes masas como cordilleras, volcanes, etc., alteran también el vector de gravedad local.

**Figura 3.** Geoide del Hemisferio de Europa y Africa (Exagerado)



Fuente: <http://nacc.upc.es/tierra/node10.html#SECTION00621000000000000000>

“A pesar que la superficie del geoide es muy compleja, se puede aproximar al potencial gravitatorio de La Tierra a través de un desarrollo en serie en esféricos armónicos”<sup>5</sup>.

El geoide y elipse se pueden relacionar mediante la siguiente expresión matemática:

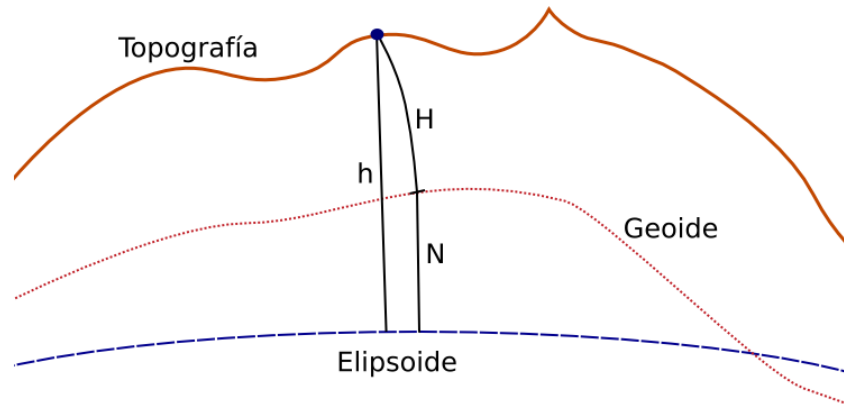
$$h = H + N$$

---

<sup>5</sup> WIKIPEDIA. Tierra. En <http://es.wikipedia.org/wiki/>. / [en línea]. [consultado 10 de Agosto de 2008]. Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Tierra.>>

Donde  $h$  es la altura de un punto cualquiera con respecto al elipsoide,  $N$  es la altura del geoide con respecto al elipsoide y  $H$  es la altura del mismo punto con respecto al geoide (Altura Ortométrica).

**Figura 4.** Tipos de alturas



Fuente: <http://nacc.upc.es/tierra/node10.html#SECTION00621000000000000000>

Al analizar la figura se puede detallar que  $h$  y  $N$  son perpendiculares al elipsoide de referencia y  $H$  sigue la línea de la plomada. Mediante esta relación y la serie en esféricos armónicos es posible que software aproximen los valores del geoide al elipsoide. El programa NGA relaciona el geoide con el elipsoide WGS84.

La siguiente tabla presenta los valores de  $N$  (ondulación del geoide) para ciertas ciudades calculado con el software NGA.

**Tabla 3.** Valores de N

| <b>Ciudad</b> | <b>N (m)</b> |
|---------------|--------------|
| Barcelona     | 48,61        |
| Berlín        | 39,79        |
| Buenos Aires  | 14,34        |
| Lahore        | -43,6        |
| Londres       | 47,37        |
| Madrid        | 53,44        |
| Quito         | 26,13        |
| Seattle       | -19,38       |
| Singapur      | 7,03         |

Fuente: <http://nacc.upc.es/tierra/node10.html#SECTION00621000000000000000>

### **1.1.3. Coordenadas geográficas**

“Se entiende por coordenadas aquellas líneas que sirven de referencia para determinar la posición de un punto. Las líneas a partir de las cuales se localizan puntos de la superficie terrestre, o en su representación cartográfica, se denominan meridianos y paralelos y constituyen las coordenadas geográficas”<sup>6</sup>.

Siguiendo el movimiento general de la rotación terrestre, cada punto del planeta describe circunferencias cuyos círculos son perpendiculares al eje de los polos. Entre todas estas circunferencias hay una que traza el círculo máximo de la esfera, cuyo plano pasa por el centro de la Tierra y divide a la misma en dos mitades o hemisferios, es la línea del Ecuador. Los demás círculos disminuyen de tamaño desde el ecuador hasta los polos, formando líneas paralelas. Por esta razón, estos círculos se conocen como paralelos. Sobre la esfera terrestre se pueden trazar también otra serie de círculos, perpendiculares a los anteriores, de tal modo que pasen todos por el eje de los polos. Cada una de estas líneas se conoce como meridiano. Todos los meridianos tienen idéntica longitud.

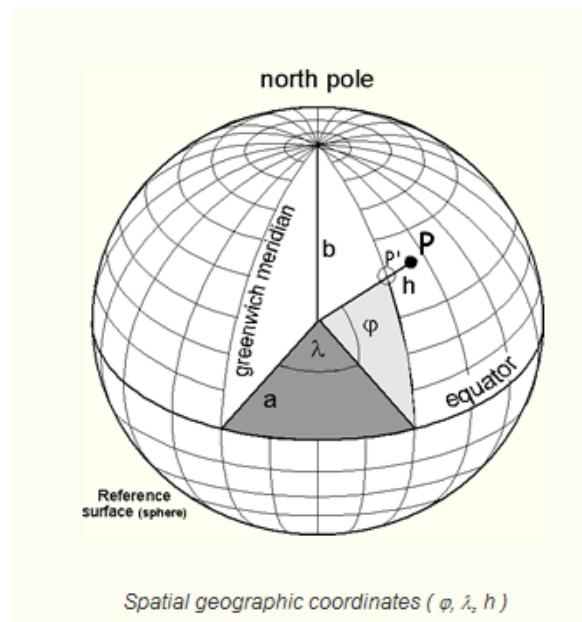
---

<sup>6</sup>DIEZ, Óp. cit. Disponible en: <<http://www.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/links/cstierra/apuntes/unidad9.pdf>>

El sistema de referencia universalmente aceptado está formado por el Ecuador, como paralelo cero y el meridiano de Greenwich (pequeña ciudad ubicada al sudeste de Londres) como meridiano cero. Con esta disposición reticular, cada punto del globo queda determinado por dos distancias angulares, una al ecuador y otra al meridiano cero. El ángulo formado por el plano del meridiano de referencia y el plano correspondiente a cualquier otro meridiano se denomina longitud geográfica y se mide en grados, minutos y segundos. Todos los puntos situados en el mismo meridiano tienen idéntica longitud. Aunque esta puede abarcar la totalidad de un círculo, en la práctica se cuentan 180° al Este (E) y 180° al Oeste (W).

Asimismo, el ángulo formado por la vertical de cualquier punto de la superficie terrestre con el plano del ecuador se denomina latitud geográfica y se mide también en grados, minutos y segundos. La extensión de la latitud oscila entre 0° en el ecuador y 90° en los polos. Debe distinguirse entre latitud norte (N) o Sur (S) según el hemisferio en que esté situado el punto que se quiere localizar.

**Figura 5.** Coordenadas Geográficas



Fuente: <http://kartoweb.itc.nl/geometrics/coordinate%20systems/body.htm>

#### 1.1.4. Sistemas de Referencia Geodésicos

Los sistemas de referencia geodésicos definen la forma y dimensión de la Tierra, así como el origen y orientación de los sistemas de coordenadas. “Los sistemas de referencia geodésicos pueden ser descritos en base a dos modelos matemáticos: el esférico y el elipsoidal, los cuales son obtenidos en base a parámetros físicos medidos sobre la superficie terrestre, tales como la aceleración de gravedad”<sup>7</sup>.

Los sistemas globales de coordenadas nos permiten definir posiciones sobre la superficie de la Tierra. El más comúnmente usado sistema es el de la latitud, longitud y altura. El primer meridiano y el ecuador son los planos que definen la latitud y la longitud.

La latitud geodésica de un punto, es el ángulo desde el plano ecuatorial a la dirección vertical de la línea normal al elipsoide de referencia.

La longitud geodésica de un punto es el ángulo que forma el meridiano que pasa por el punto con el meridiano origen en sentido dextrógiro.

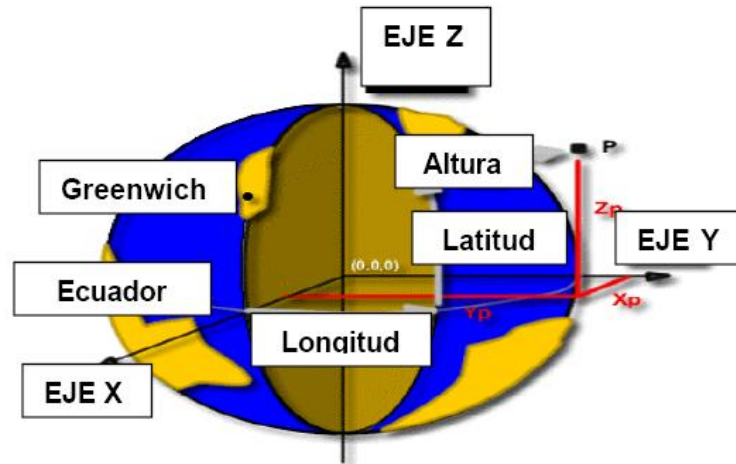
La altura elipsoidal de un punto es la distancia desde el elipsoide de referencia al punto en dirección normal al elipsoide.

Dentro de un sistema cartesiano global las coordenadas están expresadas en función de los ejes X Y Z, del cual su origen es el centro de masas de la Tierra. El eje Z es paralelo al eje de rotación terrestre, el eje X a su vez es paralelo al meridiano de Greenwich y por último el eje Y es perpendicular al plano **XZ**.

---

<sup>7</sup> GARAFULIC, Pedro. Geodesia teórica y práctica. En: [www.cartografia.cl](http://www.cartografia.cl) [en línea][Consultado el 5 de Diciembre de 2008] Disponible en <<http://www.cartografia.cl/download/geodesiateorica.pdf>>

**Figura 6.** Ejes coordenados



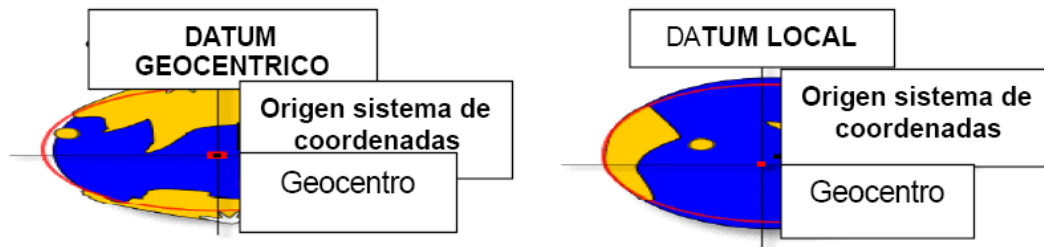
Fuente:[http://www.cartografia.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=96&Itemid=9](http://www.cartografia.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=96&Itemid=9)

- **Sistemas Clásicos de Referencia**

Uno de los problemas clásicos de los geodestas ha sido la determinación de sistemas de referencia sobre los cuales realizar los cálculos de las posiciones tanto planimétricas como altimétricas, con la precisión requerida. Las redes geodésicas nacionales o locales, (X, Y, Z) o latitud, longitud y altura ortométrica están calculadas sobre sistemas de referencia consistente en la definición de:

- Un elipsoide de referencia
- Un punto fundamental
- Origen de longitudes
- Origen de latitudes

**Figura 7.** Datum Geocéntrico y Datum Local



Fuente:

[http://www.cartografia.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=96&Itemid=9](http://www.cartografia.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=96&Itemid=9)

- **Elección y descripción del geoide**

“Las medidas exactas de la Tierra son imprescindibles para la correcta localización de un punto e incluyen distintos pasos, que comienzan con la *determinación del geoide* o medida exacta de las dimensiones terrestres, con datos obtenidos por medios astronómicos, geofísicos y geodésicos”<sup>8</sup>.

Como se había mencionado anteriormente, las coordenadas geográficas asumen que la tierra es una esfera, sin embargo, sabemos que se asemeja a un elipsoide de revolución cuyo eje mayor se encuentra en el plano del Ecuador.

Debido a que el cálculo de las magnitudes de los semiejes puede efectuarse con distintas técnicas que conllevan errores, existen diferentes valores de los mismos lo que ocasiona que estén definidos varios esferoides.

La definición del esferoide seleccionado junto con la ubicación, el azimut inicial (ángulo medido desde un meridiano en la dirección norte-este) y la distancia entre el geoide y el esferoide, se conoce como Datum. A continuación se establece la *localización del punto* con respecto a la red de meridianos y paralelos. La medida de la latitud se comenzó a obtener midiendo la altura de ciertos astros de referencia

<sup>8</sup>DIEZ, Óp. cit. Disponible en:<<http://www.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/links/cstierra/apuntes/unidad9.pdf>>

sobre el horizonte con la ayuda del teodolito; las medidas de longitud se realizaron calculando el tiempo exacto transcurrido en el desplazamiento de un punto de la Tierra, para lo que se emplearon en principio relojes de péndulo, pasando después a los cronómetros de precisión y señales horarias emitidas por radio.

El proceso de triangulación fija la posición relativa de los puntos fundamentales o vértices geodésicos, para lo que se establece una cadena de triangulación cuyos lados se miden con toda precisión con respecto a un punto de referencia que es el **Datum**. Aunque los principios teóricos de triangulación eran conocidos desde el siglo XVI, sólo el perfeccionamiento de los instrumentos ópticos en el siglo XVII permitió establecer las primeras redes de triangulación.

Finalmente, mediante la *nivelación* se fija altitud de los puntos con referencia a la superficie del geoide, tomando para ello el nivel medio de los mares que, por ejemplo, en la cartografía colombiana viene referida al cero de la escala en Mar de Buenaventura. Para obtener este dato se han venido utilizando mareógrafos, nivelaciones trigonométricas y barométricas, pasando en la actualidad al radar aerotransportado.

Una vez obtenidos los datos de referencia con respecto a la superficie terrestre, el paso siguiente es la *determinación de las altitudes* y su representación cartográfica. En la actualidad, esta información se realiza íntegramente a partir de la restitución fotogramétrica de las imágenes obtenidas desde aviones (fotografía aérea) y desde satélites (imágenes satelitales).

- **Proyecciones**

“En lo que respecta a las *proyecciones*, la dificultad surge en adaptar la superficie esférica de la Tierra al plano bidimensional del mapa, para lo que existen soluciones muy diversas”<sup>9</sup>.

---

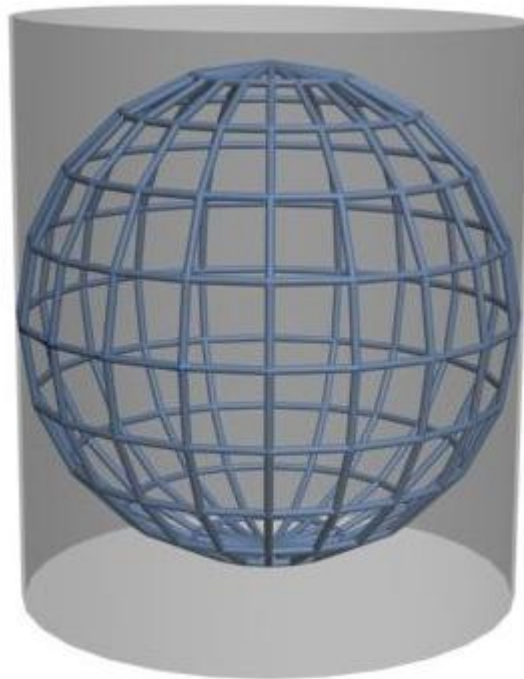
<sup>9</sup>DIEZ, Óp. cit. Disponible en: <<http://www.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/links/cstierra/apuntes/unidad9.pdf>>

Se han desarrollado muchos y diferentes tipos de proyecciones, en general basados en las familias de proyecciones geométricas que se describen a continuación:

- **Proyección cilíndrica.**

Proyección en la que los paralelos y los meridianos aparecen rectos y separados de forma regular. Se obtiene intersectando la superficie del globo con un cilindro, el cual es luego cortado y desenrollado. La línea central de la proyección puede ser el Ecuador (regular), un meridiano (transverso) o ninguno de los dos (oblicuo). Entre dichas líneas existe equidistancia.

**Figura 8.** Proyección Cilíndrica



Fuente: [es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n\\_cil%C3%ADndrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n_cil%C3%ADndrica)

## ▪ **Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)**

“Las coordenadas geodésicas (latitud y longitud) son representadas sobre mapas o cartas, por proyecciones matemáticas conformes, que permiten llevar las mediciones geodésicas al plano”<sup>10</sup>.

El sistema de proyección de Mercator es un sistema cilíndrico transversal conforme, tangente al elipsoide de referencia a lo largo de un meridiano origen. Ahora bien, este sistema aplicado a grandes extensiones en longitud, hace que, según se va alejando del meridiano de tangencia, las deformaciones alcancen valores considerables. Por esta razón se subdivide la superficie terrestre en 60 husos iguales de 6° de amplitud, que constituyen 60 proyecciones iguales, pero referida cada una al meridiano central del huso respectivo y al Ecuador. Las fórmulas de transformación que definen el sistema, se adecúan para cualquier huso, así como todos sus parámetros son válidos para representar la superficie de la Tierra en base a un elipsoide de revolución cuyo eje es el terrestre.

La proyección UTM es conforme, siendo el meridiano central de cada huso automecico y representado según una línea recta. La utilidad que tiene esta proyección, por su conformidad como aplicación a los problemas geodésicos, la hace recomendable para la representación de casi todos los países del globo, exceptuando aquellas zonas situadas a + 80° de latitud en donde debe complementarse con una proyección estereográfica. Las condiciones que se imponen a esta proyección son:

- La proyección será conforme.
- El meridiano central será automecico (no se deforma al proyectarlo).
- El Ecuador y el meridiano central de cada huso se representarán por líneas rectas.

---

<sup>10</sup> GARAFULIC, Op. cit., Disponible en: < <http://www.cartografia.cl/download/geodesiateorica.pdf> >

- El origen de coordenadas en la proyección será el correspondiente a la intersección del Ecuador y el Meridiano Central del Huso.

Los parámetros que definen la proyección UTM son:

- Primer meridiano central (huso 1) =  $177^\circ$  longitud oeste
- Separación entre husos =  $6^\circ$
- Factor central de escala = 0.9996
- Este Falso = 500 000 m
- Norte Falso = 10 000 000 m

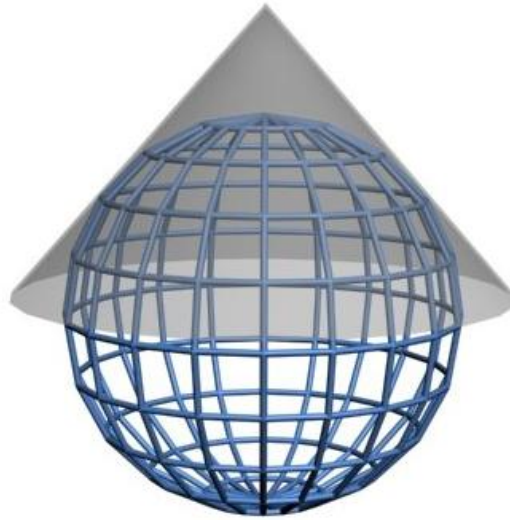
Los problemas que se presentan al analizar esta proyección son:

- Transformación de coordenadas geográficas en UTM y viceversa,
- Cálculo de convergencia de meridianos.
- Determinación del Coeficiente de deformación lineal.
- Cálculo de reducción a la cuerda.
- Cálculo de azimut UTM y geodésico.
- Cálculo de distancia y cota geodésica.
- Transformación de distancia geodésica a plana UTM.
- Obtención de Coordenadas geográficas y UTM.

- **Proyección cónica**

Proyección en la que los paralelos son circulares y los meridianos radiales. La intersección del cono con la superficie del globo forma un círculo sobre el cual no hay errores y existe equidistancia.

**Figura 9.** Proyección Cónica

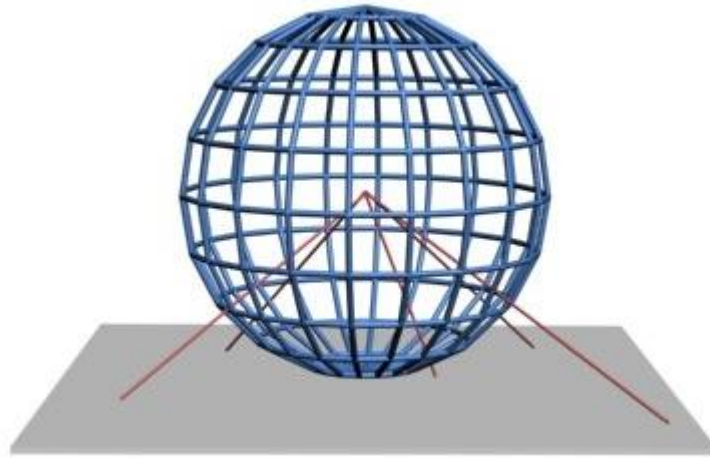


Fuente: [es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n\\_c%C3%B3nica](https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n_c%C3%B3nica)

- **Proyección cenital**

Proyección en la que la disposición de la red de coordenadas geográficas varía según la posición de la luz imaginaria o los diferentes ángulos de visión con respecto a un plano tangente al globo. El plano tangente intersecta a la superficie del globo sólo en un punto y es perpendicular a la línea que pasa por el centro de la esfera. Pueden estar centradas en los polos (polar), en un punto del ecuador (ecuatorial) o en un punto arbitrario (oblicuo). El origen de las líneas de proyección puede estar ubicado en el centro de la tierra (gnomónica), en un punto indefinido de su parte posterior (ortográfica) o en la parte opuesta de la esfera con respecto a la superficie proyectada (estereográfica).

**Figura 10.** Proyección Cenital



Fuente: [es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n\\_azimutal](https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n_azimutal)

La primera proyección moderna fue la utilizada por el cartógrafo holandés Gerardus Mercator, quien en 1569 utilizó como plano de proyección un cilindro tangente al ecuador, sistema que mantiene los ángulos de intersección de la red de meridianos y paralelos, pero que introduce graves distorsiones de escala, especialmente en latitudes elevadas. En la actualidad se ha adoptado con carácter general la proyección UTM (Universal Transversa Mercator), que requiere complicados sistemas de medición, pero que resulta válida para cualquier latitud, conservando correctamente las dimensiones en cuanto a distancias, superficies y ángulos.

Debido a que se realiza una transformación de una superficie esférica a una superficie plana, cualquiera sea la proyección que se utilice, poseerá errores y distorsiones. Idealmente, un mapa sin distorsiones será:

- Conforme, cuando mantiene la forma real.
- Equivalente, cuando mantiene área real.

- Equidistante, cuando mantiene una distancia real.

Con dirección real, cuando la línea de dirección entre dos puntos que cruzan líneas de referencia (por ejemplo meridianos), lo hacen con un ángulo constante o azimut.

Los mapas no pueden cumplir con todas esas propiedades conjuntamente y al momento de elegir la proyección que se utilizará se tendrá en cuenta prioritariamente una u otra en función del objetivo buscado.

## 1.2. TOPOGRAFÍA

Cuando se habla de Topografía, se encuentra ante una disciplina de vital importancia en todos los procesos relacionados en la ingeniería en general. Para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto o estudio, será necesario disponer de un modelo, a escala reducida, del terreno sobre el que vamos a plasmar nuestras ideas, es decir, a diseñar. Posteriormente este modelo deberá ser materializado en el terreno para ejecutar todo aquello que se ha proyectado.

Debido a lo anteriormente mencionado, adquirir el conocimiento de los métodos disponibles para modelar el terreno es necesario e imprescindible para todos los futuros ingenieros civiles.

Según Jorge Franco Rey:

*“Tradicionalmente se define la **topografía** como "el conjunto de métodos e instrumentos necesarios para representar el terreno con todos sus detalles naturales o artificiales". Esta definición, sin embargo, resulta hoy en día un tanto parcial, debido principalmente al desarrollo experimentado por otras disciplinas anexas, como es el caso de la **Fotogrametría**. Este desarrollo ha venido marcado básicamente por la rapidez y precisión que ha supuesto la generación de planos topográficos y mapas a partir de fotografías aéreas mediante los aparatos*

denominados restituidores. Asimismo, es de gran interés la información complementaria que aportan estas fotografías, muy difícil de obtener mediante la utilización de otras técnicas”<sup>11</sup>.

Uno de los mayores avances que ha beneficiado la ciencia de la topografía ha sido la revolución de la informática y de la electrónica en los últimos años. La combinación de equipos informáticos e instrumentos topográficos, el desarrollo de avanzados programas de cálculos topográficos y modelado digital de terrenos, la utilización ya generalizada de estaciones totales que permiten combinar una toma de datos automática con programas de cálculo topográfico y de CAD (Computer Aided Design, o diseño asistido por ordenador), así como la gran revolución que ha supuesto el sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System), han aumentado mucho el campo abarcado por la topografía, permitiendo unas precisiones antes sólo alcanzables por métodos geodésicos, pero que son imprescindibles para las nuevas exigencias que plantea la ingeniería en general.

Debe estar claro que la Topografía centra su estudio en superficies de extensión limitada, de manera que sea posible prescindir de la esfericidad terrestre sin cometer errores apreciables.

Para trabajar con grandes superficies será necesario recurrir a la Geodesia y a la Cartografía. Se podría decir que la Topografía acaba donde comienza la Geodesia, aunque hoy día, con el empleo de aparatos cada vez más sofisticados, también es difícil precisar estos límites de una forma clara. En todo caso, en la mayor parte de trabajos, la Topografía tendrá que apoyarse en la Geodesia y en la Cartografía para obtener resultados correctos.

La Topografía no es una ciencia que se desarrolle sola, sino que necesita ser apoyada por otras ciencias que la complementan y amplían.

---

11. FRANCO R, Jorge. Nociones de Topografía. En: [www.cartesia.org/top.php](http://www.cartesia.org/top.php). [en línea]. [consultado el 3 de diciembre de 2008]. Disponible en: < [http://www.cartesia.org/data/apuntes/nociones/Nociones\\_de\\_Topografia.pdf](http://www.cartesia.org/data/apuntes/nociones/Nociones_de_Topografia.pdf) >

### **1.2.1. SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN EN TOPOGRAFÍA**

El problema que se intentará resolver es el de representar sobre un plano una serie de entidades tridimensionales o espaciales, como es el caso de la superficie terrestre. Para ello, la Geometría Descriptiva brinda una serie de sistemas de representación para diferentes aplicaciones prácticas. De entre todos ellos, se elige el sistema de planos acotados. En éste, cada punto de la superficie puede representarse mediante su proyección sobre el plano y su altura o elevación (cota).

Por lo tanto, puede observarse que la representación podría reducirse a una serie de puntos aleatorios del terreno, usualmente denominados "*puntos sueltos*", cada uno de ellos con su cota respectiva. Un número de puntos pequeño ocasionará imprecisiones a veces inadmisibles, mientras que un elevado número de ellos dificultará en gran medida la lectura e interpretación del plano final, aparte de necesitar cálculos más complejos.

Con el fin de evitar estos problemas, suelen trazarse curvas que pasen por puntos de igual cota. A estas curvas se las denomina curvas de nivel.

### **1.2.2. DIVISIÓN DE LA TOPOGRAFÍA**

Se puede dividir la topografía en dos grandes ramas que son:

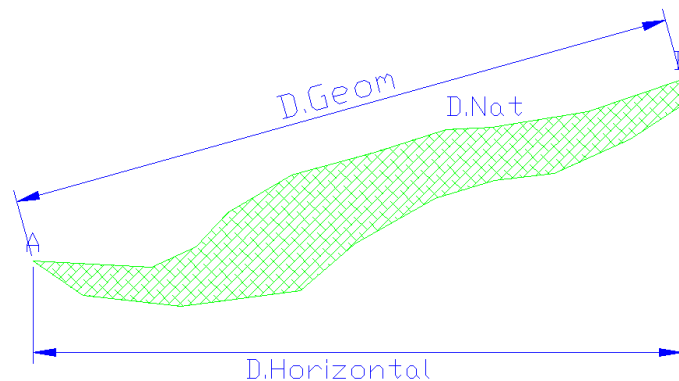
- **PLANIMETRÍA**

Tiene en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario. Mide distancia y ángulos más no altura entre puntos.

“La Planimetría considera la proyección del terreno sobre un plano horizontal. Esta proyección se denomina "base productiva" y es la que se considera cuando se habla del área de un terreno”<sup>12</sup>.

Las distancias se toman sobre esta proyección. Nunca se miden distancias inclinadas en topografía

**Figura 11.** Distancias en Topografía



Fuente: Topografía, Jorge Álvaro Castellanos.

La topografía se basa en la geometría y la trigonometría para plasmar en un mapa las condiciones reales del terreno. Se determinan líneas rectas y ángulos para formar figuras geométricas. El terreno se considera como un polígono y se trata de calcular su área.

Para lograr este objetivo se localizan puntos sobre el terreno" (que pueden ser los vértices del lote). Estos puntos pueden ser:

- Puntos Instantáneos

Solo se utilizan por un momento para ubicar un detalle en ángulo y distancia y luego pueden desaparecer, se usa para esto un jalón o un pin.

---

12. CASTELLANOS R, Jorge A. Topografía. Segunda Edición. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2002.

- Puntos Transitorios

Deben permanecer mientras se hace el trabajo y son estacas de manera generalmente.

- Puntos Definitivos

Son aquellos que no deben desaparecer cuando se ha terminado el trabajo de campo, se materializan mediante mojones o estacas. Son además fijos y determinados; hay dos clases de estos puntos:

- Punto Natural.

Es un punto propio del terreno y fácil de identificar.

- Punto Artificial

Es generalmente un mojón (paralelepípedo de concreto de más o menos 10 cm x10 cm y altura 60 cm) que se entierra y sobresale unos 5 cm sobre el terreno.

Una vez localizado los puntos se procede a medir la distancia entre ellos por medio de una cinta métrica o por cualquier otro método.

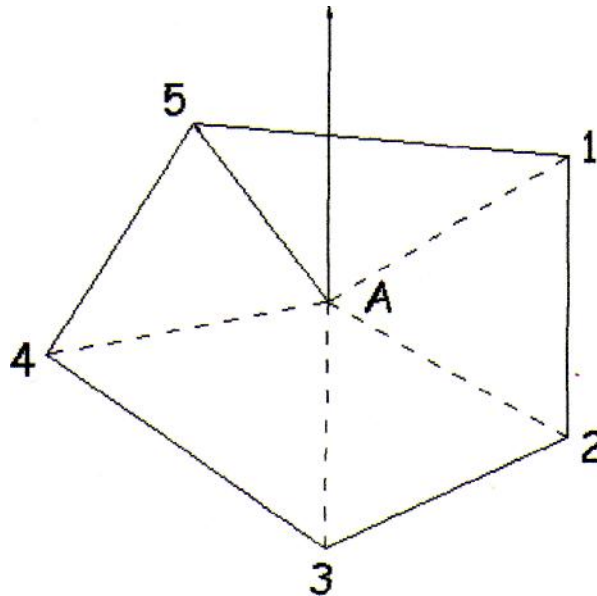
En topografía se pueden desarrollar los siguientes levantamientos:

- **Levantamiento por radiación**

Este tipo de levantamiento consiste en establecer un punto cualquiera (interno o externo) del lote a levantar desde el cual puedan verse todos los límites del terreno para luego proceder a armar el teodolito o la estación total en dicho punto y desde ahí radiar con visuales hacia los detalles que se consideren necesarios para el posterior dibujo del terreno.

Desde ese punto central fijamos la norte y tomamos el ángulo y la distancia hacia cada punto escogido en el perímetro del lote en cuestión colocando ceros en la norte y barriendo de esta manera directamente el azimut hacia cada punto.

**Figura 12.** Levantamiento por radiación



Fuente: Topografía, Jorge Álvaro Castellanos.

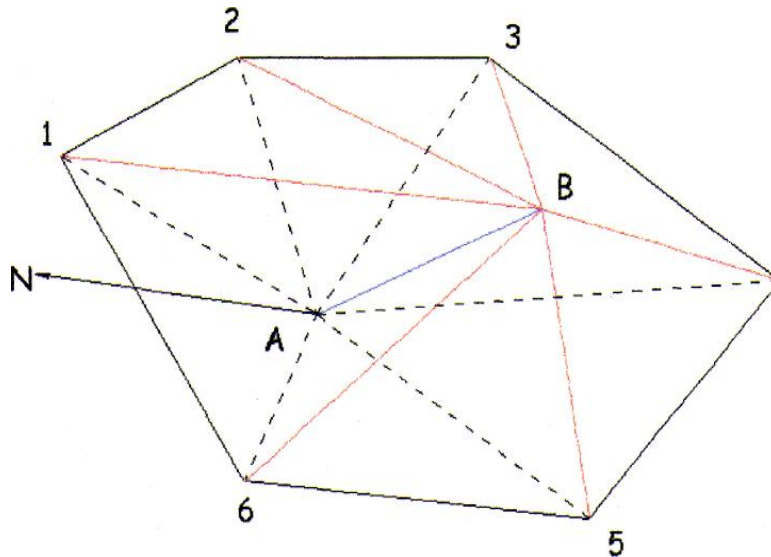
○ **Levantamiento por intersección de visuales**

Se localizan dos puntos A y B, los cuales deben cumplir los siguientes requisitos:

- Que sean intervisibles.
- Que todos los vértices del polígono y puntos que se deben localizar sean visibles desde A y desde B.
- Que la distancia AB sea fácil de medir y de magnitud proporcional al tamaño del lote.

- Que la orientación de la línea AB sea tal que los ángulos BA4 y AB4 no sean demasiados agudos.

**Figura 13.** Levantamiento por intersección de visuales



Fuente: Topografía, Jorge Álvaro Castellanos.

- **Levantamiento por Poligonal Abierta**

Existen dos tipos de levantamiento por poligonal cerrada:

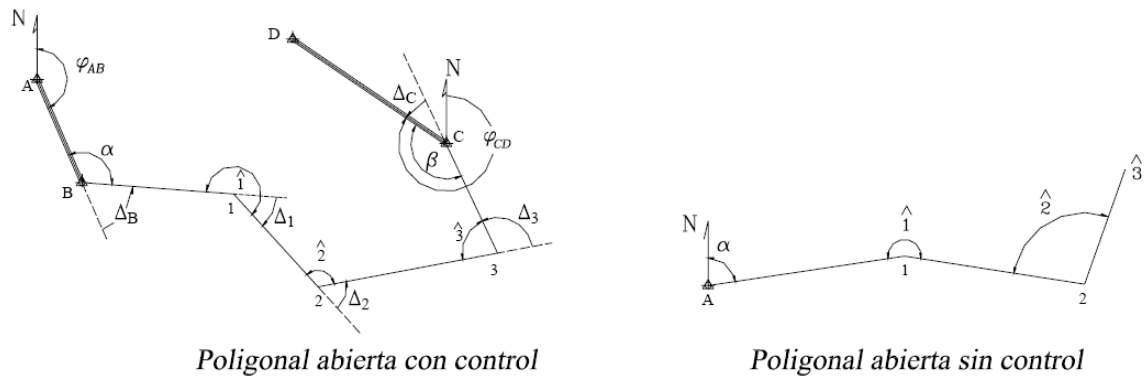
- **Poligonal abierta con control de cierre**

Es aquel levantamiento donde se conocen las coordenadas de los puntos inicial y final y la orientación de las alineaciones inicial y final, siendo también posible efectuar los controles de cierre angular y lineal.

- **Poligonal abierta sin control**

Es aquel tipo de levantamiento en el cual no es posible establecer los controles de cierre, ya que no se conocen las coordenadas del punto inicial y/o final o no se conocen la orientación de los alineamientos inicial y/o final.

**Figura 14.** Poligonales Abiertas



Fuente: <http://www.fing.edu.uy/ia/deptogeo/elemtopo/CAP-5.pdf>

○ **Poligonal Cerrada**

El método de Poligonal Cerrada consiste en el levantamiento de una poligonal. Una poligonal es una línea quebrada, constituida por vértices (estaciones de la poligonal) y lados que unen dichos vértices. Los vértices adyacentes deben ser intervisibles. El levantamiento de la poligonal comprende la medición de los ángulos que forman las direcciones de los lados adyacentes (o los rumbos de estos lados) y las distancias entre los vértices.

Una poligonal cerrada tiene controles angulares y lineales y por lo tanto los errores de las mediciones pueden corregirse o compensarse, pero no se pueden eliminar por completo.

Conociendo las coordenadas cartesianas del primer vértice y el rumbo del primer alineamiento, se pueden obtener las coordenadas de todos los puntos sucesivos. Si no se conocen las coordenadas del primer punto ni el rumbo del primer lado, pueden asignarse coordenadas y rumbo arbitrario. De esta manera se puede representar la posición relativa de las estaciones.

El ajuste de la poligonal se realiza de la siguiente manera:

- Cuando se miden los ángulos internos de una poligonal cerrada es posible efectuar un control de cierre angular, dado que la suma de los ángulos interiores de un polígono es igual a  $180^\circ \times (n - 2)$ .
- El error de cierre angular es la diferencia entre la sumatoria de los ángulos interiores del polígono y el valor teórico de estos ángulos, es decir:

$$e = 180 \times (n - 2) - \sum \alpha$$

donde,  $n$  = número de lados

$\alpha$  = ángulos internos

El error del cierre angular debe ser menor a la tolerancia permitida. La tolerancia depende del equipo utilizado y del método utilizado para el levantamiento.

La tolerancia puede ser:

$$Ta = a \times \sqrt{n}$$

donde,  $a$  = aproximación del instrumento

$n$  = número de estaciones

Si el error es mayor a la tolerancia permitida se debe proceder a medir nuevamente los ángulos de la poligonal.

Cuando el error es menor a la tolerancia permitida se procede a la corrección de los ángulos repartiendo por igual el error entre todos los ángulos, asumiendo que el error es independiente del ángulo medido.

$$Ca = -\frac{Ea}{n}$$

Ya corregido el error angular, se procede a la corrección del cierre lineal, de la siguiente manera:

Las proyecciones de los lados de una poligonal se calculan en función de la azimut y las distancias de los lados, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\Delta N_{1-2} &= D_{1-2} \times \text{COS} \phi_{1-2} \\ \Delta E_{1-2} &= D_{1-2} \times \text{SEN} \phi_{1-2}\end{aligned}$$

En una poligonal cerrada, la suma de las proyecciones Norte-Sur al igual que las proyecciones Este-Oeste deben tener un valor aproximadamente de cero.

Debido a los errores en los equipos al realizar la medición en las distancia, se debe realizar este tipo de corrección.

Al realizar la suma de las proyecciones obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\varepsilon \Delta N_{1-2} &= \Sigma \Delta_{N-S} \\ \varepsilon \Delta E_{1-2} &= \Sigma \Delta_{E-O}\end{aligned}$$

donde,  $\varepsilon \Delta N_{1-2}$  es la diferencia existente en las proyecciones Norte y Sur  
 $\varepsilon \Delta E_{1-2}$  es la diferencia existente en las proyecciones Este y Oeste

El error lineal se calcula con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon L = \sqrt{\varepsilon \Delta N^2 + \varepsilon \Delta E^2}$$

El error lineal, al igual que el error angular debe ser menor a la tolerancia lineal permitida.

La precisión de la poligonal se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\varepsilon L}{\Sigma L}$$

En donde:

P = Precisión de la poligonal

$\Sigma L$  = Suma de los lados de la poligonal en m.

El error relativo  $n$ , se expresa en términos 1:n, donde  $n$  se calcula de la siguiente manera:

$$n = \frac{1}{P}$$

La siguiente tabla de Torres y Villate es una guía para la selección de la tolerancia lineal en función del error relativo

**Tabla 4.** Tolerancias en levantamiento de poligonal cerrada

| <b>Tolerancia Lineal</b> | <b>Tipo de Levantamiento</b>  |
|--------------------------|---|
| 1:800                    | Levantamiento de terrenos accidentados, de poco valor, levantamiento de reconocimiento, colonizaciones, etc |
| 1:1000 – 1:1500          | Levantamiento de terreno de poco valor por taquimetría con doble lectura a la mira.                         |
| 1:1500 – 1:2500          | Levantamiento de terrenos agrícolas de valor medio con cinta,   |
| 1:2500 – 1:5000          | Levantamientos urbanos y rurales, de mediano a alto valor, uso de distanciómetro electrónico.               |
| 1:10000 - +              | Levantamientos geodésicos   |

Fuente: Topografía, Torres y Villate.

La tolerancia lineal también puede considerarse en función del terreno:

Terreno llano:  $TL = 0.015 \times \sqrt{\Sigma L}$

Terreno Ondulado:  $TL = 0.025 \times \sqrt{\Sigma L}$

La compensación lineal se realiza de la siguiente manera, asumiendo las siguientes condiciones:

- Los ángulos y las distancias son medidos con igual precisión.
- El error ocurre en proporción directa a la distancia.
- Las proyecciones se corrigen proporcionalmente a la longitud de los lados.

$$CpNi = -\left(\frac{\varepsilon\Delta N}{\Sigma Li}\right) \times Li$$

$$CpEi = -\left(\frac{\varepsilon\Delta E}{\Sigma Li}\right) \times Li$$

Donde:

CpNi = Corrección parcial de la proyección norte-sur del lado i

CpEi = Corrección parcial de la proyección Este-Oeste del lado i

Li = Longitud del lado i

Después de compensadas las proyecciones se calculan los vértices de la poligonal, aplicando la siguiente ecuación:

$$Ni = N_{i-1} \pm \Delta N_{i-1}$$

$$Ei = E_{i-1} \pm \Delta E_{i-1}$$

## • ALTIMETRÍA

Considera las diferencias de nivel existentes entre puntos de un terreno o construcción. Para conocer estas diferencias de nivel hay que medir distancias verticales. Esta operación se llama nivelación, las distancias verticales se miden a partir de una superficie de nivel o plano de referencia arbitrario que debe ser normal a la dirección de la plomada, “la altura de un punto referida a dicho plano se llama cota.”<sup>13</sup>

- **BM:** Es un punto de carácter mas o menos permanente del cual se conoce su localización y elevación. A partir de el se procede a obtener cotas de otros

---

<sup>13</sup> CASTELLANOS, Op. cit.

puntos mediante el proceso de nivelación o calcular coordenadas mediante un amarre topográfico.

- *MIRA*: Es una regla vertical de longitud 5m que se utiliza para leer en ella la altura sobre un punto del terreno.
- *NIVEL*: Es un aparato que mantiene su anteojo a 90° respecto a la línea vertical, es decir que al centrarlo y nivelarlo su visual es siempre horizontal permitiendo así mantener planos de referencia paralelos en todos los puntos donde se arme que permitan establecer relaciones entre las alturas de un punto y otro para conocer su cota.

**Figura 15.** Nivelación de precisión



Fuente: <http://farm4.static.flickr.com/3051/2656762630>

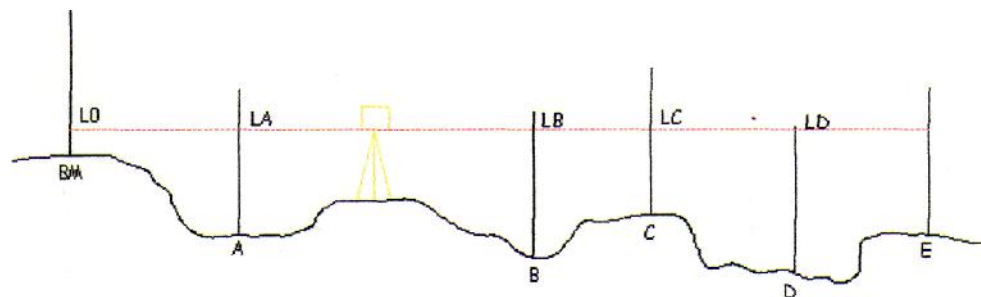
La nivelación puede ser:

- **Nivelación Directa Simple**: Es un procedimiento muy utilizado puesto que permite conocer rápidamente diferencias de nivel por medio de lectura directa de distancias verticales. Se le llama simple porque desde una sola posición del aparato se pueden conocer las cotas de todos los puntos del terreno que se desea nivelar.

## Procedimiento

- Se sitúa y arma el nivel de precisión en el punto más conveniente; es decir en un punto desde el cual se pueda divisar todos los puntos a nivelar.
- Se toma un punto como punto de partida o de referencia (BM) y se le da una cota ya sea arbitraria o real.
- Se coloca la mira sobre el BM y desde el punto donde está el aparato se da vista a la mira sobre el BM para hacer sobre ella una lectura. Esta lectura sumada a la cota del BM nos da la altura instrumental del aparato. La lectura hecha en la mira sobre un punto de cota conocida la llamamos Vista Atrás o Vista (+).  
$$h_{instrumental} = Cotabm + Lo$$
- Hecho esto se procede a colocar la mira sobre cada punto que se desee nivelar y se toma nota de las lecturas hechas en la mira en cada punto. Estas lecturas se llaman Vistas Intermedias. La cota de cada punto será entonces la altura instrumental del aparato ( $h_{instrumental}$ ) menos la lectura en la mira en el respectivo punto (vista intermedia).

**Figura 16.** Nivelación Directa Simple



Fuente: Topografía, Jorge Álvaro Castellanos.

### ○ **Nivelación Directa o Compuesta**

Este sistema se utiliza usando desde una sola posición del aparato no es posible nivelar todos los puntos del terreno; ya sea por que el terreno sea muy quebrado o por que parte de los puntos a nivelar estén a más de 300 metros del aparato lo cual dificulta la observación de la mira.

El aparato se debe trasladar a diversos puntos desde los cuales se van haciendo nivelaciones simples que se amarran entre si por puntos llamados puntos de cambio. El punto de cambio se debe escoger de tal forma que sea estable y de fácil identificación. Es un BM de carácter transitorio.

En esta nivelación se efectúan tres clases de lectura:

- **Vista Atrás:** Es la que se hace sobre el BM o cambio para conocer la altura instrumental.
- **Vista Intermedia:** Es la que se hace sobre los puntos que se quieren nivelar para conocer la respectiva cota.
- **Vista Adelante:** Es la que se hace para hallar la cota del punto de cambio o BM provisional.

### **Procedimiento**

- Se arma y nivela el aparato en un punto favorable (1), desde donde se pueda leer al BM y al máximo número de puntos posibles, (de acuerdo con la pendiente del terreno y la longitud de la mira de que se disponga).
- Se toma la lectura  $Lo$  (Vista atrás) con la mira sobre el BM para encontrar la altura del aparato.

$$h_{instrumental} = Cotabm + Lo$$

- Se toman lecturas de la mira sobre los diferentes puntos, tales como A, B, etc.; (Vistas Intermedias), las cuales sirven para hallar las cotas respectivas, así:

$$Cotaa = h_{instrumental} - La$$

$$Vb = h_{instrumental} - Lb$$

- Cuando ya no se puedan hacer lecturas desde esta primera posición del aparato se busca un punto de cambio (c-1) sobre el cual se lee la mira (Vista adelante).

$$Cotac\#1 = h_{instrumental} - L_{c-1,1}$$

Donde, Lc-1,1 es lectura al cambio 1 desde la posición 1

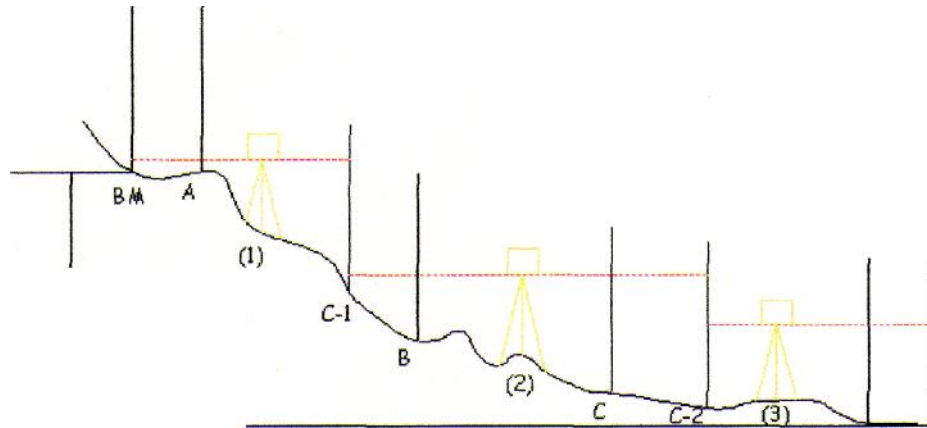
- Se lleva el aparato a una segunda posición (2) desde la cual se pueda leer al cambio # 1 y al máximo número de puntos posibles. Se arma y nivela el aparato y luego se lee la mira (Vista atrás), con lo cual se halla la nueva altura del aparato.

$$h_{instrumental2} = Cotac\#1 + (L_{c-1,2})$$

Donde, Lc-1,2 es lectura al cambio 1 desde la posición 2

- Se prosigue nuevamente así en los demás puntos de cambio.

**Figura 17.** Nivelación Directa Compuesta



Fuente: Topografía, Jorge Álvaro Castellanos.

- **Perfil del terreno**

Como se vió en los gráficos anteriores si se nivela un alineamiento dado es factible que se pueda dibujar un perfil de la variación del terreno a los largo de dicho alineamiento; es decir un diagrama cartesiano de cotas vs distancia Este tipo de perfiles son básicos para el diseño vial.

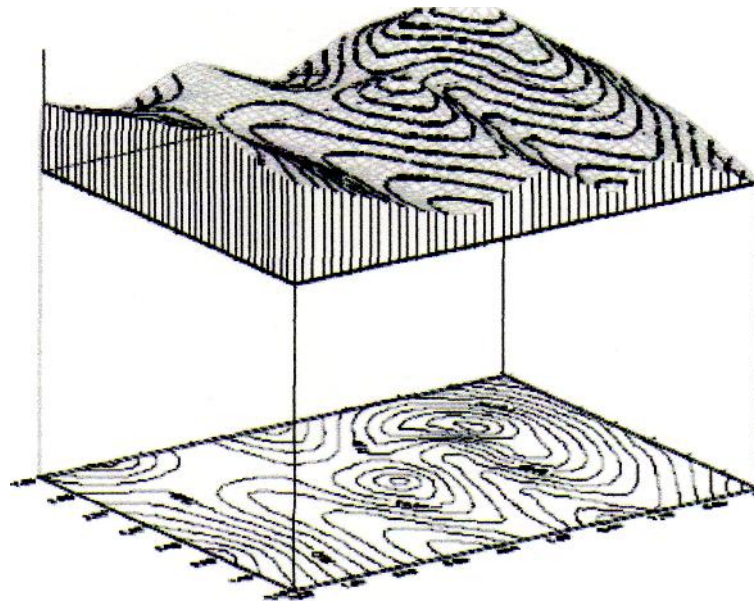
- **Curvas de Nivel**

Se conoce con el nombre de curva de nivel a una curva plana cerrada que une puntos de igual cota es decir puntos sobre el terreno que están a la misma altura La nivelación es el proceso que nos permite dibujar las curvas de nivel de un terreno. Es importante para el diseño preliminar de cualquier tipo de obra civil conocer las curvas de nivel del terreno. Basado en estas podemos calcular movimientos de tierra en explanaciones y excavaciones y así valorar los metros cúbicos de material a remover y su costo.

- **Obtención de Curvas de nivel**

Primero que todo se hace el levantamiento planimétrico del lote para conocer su forma geométrica y luego decidir que método es más conveniente utilizar para la obtención de sus curvas de nivel.

**Figura 18.** Curvas de nivel



Fuente: <http://www.cartesia.org/top.php>

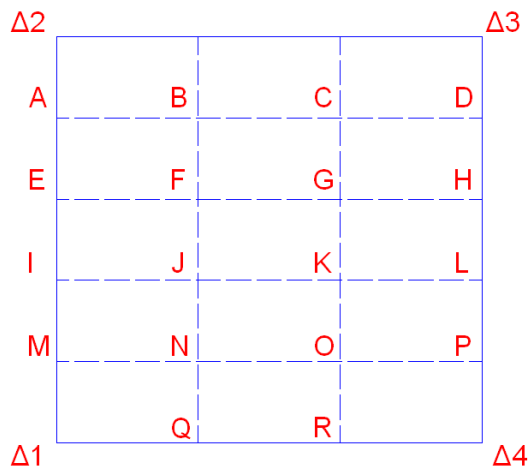
- **Curvas de Nivel por Radiación**

Si el terreno es tal que permita desde un punto cualquiera dar vista a todos sus vértices y nivelar dichas líneas entonces se dice que radiando desde este punto hacia los vértices se pueden calcular las curvas de nivel del lote. Las curvas de nivel que se dibujan son las que corresponden a valores enteros de cota es decir no con decimales a este proceso se le llama redondear cotas. Como las obtenidas por nivelación no son enteras se procede a hallar la posición de las enteras por interpolación lineal.

- **Curvas de Nivel por Cuadrícula**

Cuando el terreno es bastante extenso y no es posible desde una posición del aparato radiar a los vértices se procede a localizar ejes paralelos entre si y paralelos y normales al lado mas largo del lote el cual se le quieren dibujar curvas de nivel como se muestra en la figura 19:

**Figura 19.** Curvas de Nivel por Cuadrícula



Fuente: Topografía, Jorge Álvaro Castellanos.

Se procede estacando los puntos a, b, c, d, etc. de toda la cuadrícula; se nivelan y se hallan sus cotas y luego por interpolación se hallan las cotas redondas de todo el lote y se procede a dibujar las curvas de nivel uniendo los puntos de igual cota como se vio anteriormente.

- **Causas de errores al hacer mediciones**

Existen tres causas debido a las cuales se cometen errores al efectuar mediciones, y se clasifican de la siguiente manera:

- **Errores naturales**

Son causados por variaciones del viento, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la refracción atmosférica, la gravedad y la declinación magnética. Un ejemplo es una cinta de acero cuya longitud varía con los cambios de temperatura

- **Errores instrumentales**

Estos se deben a imperfecciones en la construcción o ajuste de los instrumentos y del movimiento de sus partes individuales. Por ejemplo, las graduaciones sobre una escala pueden no estar perfectamente espaciadas o la escala puede estar torcida El producto de muchos errores instrumentales puede reducirse, e incluso eliminarse, adoptando procedimientos topográficos adecuados o aplicando correcciones calculadas.

- **Errores personales**

Estos tienen su origen principalmente en las limitaciones propias de los sentidos humanos, tales como la vista y el tacto. Por ejemplo, “existe un error pequeño en el valor medido de un ángulo horizontal cuando el hilo vertical de la retícula del anteojo de un teodolito no queda perfectamente alineado sobre el objetivo, o cuando la parte superior de una mira no está a plomo al ser leída”<sup>14</sup>.

- **Tipos de errores**

Los errores en las mediciones son de dos tipos: *sistemáticos* y *aleatorios*.

---

<sup>14</sup> WOLF, Paul R, y BRINKER, Russel C. Topografía. Bogotá D.C.: Alfaomega Editores, 1997.

- **Errores sistemáticos**

Estos resultan de factores que comprenden el "sistema de medición" e incluyen el medio ambiente, los instrumentos y el observador. Siempre que las condiciones del sistema se mantengan constantes, los errores sistemáticos se mantendrán asimismo constantes. Si las condiciones cambian, las magnitudes de los errores sistemáticos también cambian. Debido a que los errores sistemáticos tienden a acumularse, en ocasiones se les llama **errores acumulativos**.

Las condiciones que ocasionan errores sistemáticos se deben a leyes físicas que se pueden representar matemáticamente. Por tanto, si se conocen las condiciones y se pueden medir, es posible calcular una corrección y aplicarla a los valores observados.

- **Errores aleatorios**

Estos son los errores que quedan después de haber eliminado los errores sistemáticos. Son ocasionados por factores que quedan fuera del control del observador, obedecen las leyes de la probabilidad y se les llama también *errores accidentales*. Estos errores están presentes en todas las mediciones topográficas.

Las magnitudes y los signos algebraicos de los errores aleatorios son consecuencia del azar. No existe una manera absoluta de calcularlos ni de eliminarlos, pero pueden estimarse usando un procedimiento de ajuste conocido como el método de *mínimos cuadrados*. Los errores aleatorios se conocen también con el nombre de *errores compensatorios*, porque tienden a cancelarse parcialmente entre sí en una serie de mediciones.

- **Precisión y exactitud**

Una *discrepancia* es la diferencia entre dos valores medidos de la misma cantidad. Una discrepancia pequeña indica que probablemente no hay equivocaciones y que los errores aleatorios son pequeños. Sin embargo, las discrepancias pequeñas no impiden la presencia de los errores sistemáticos.

La *precisión* se refiere al grado de refinamiento o consistencia de un grupo de mediciones y se evalúa con base en la magnitud de las discrepancias. Si se hacen mediciones múltiples de la misma cantidad y surgen pequeñas discrepancias, esto refleja una alta precisión. El grado de precisión alcanzable depende de la sensibilidad del equipo empleado y de la habilidad del observador.

La *exactitud* denota una absoluta aproximación a sus verdaderos valores de las cantidades medidas.

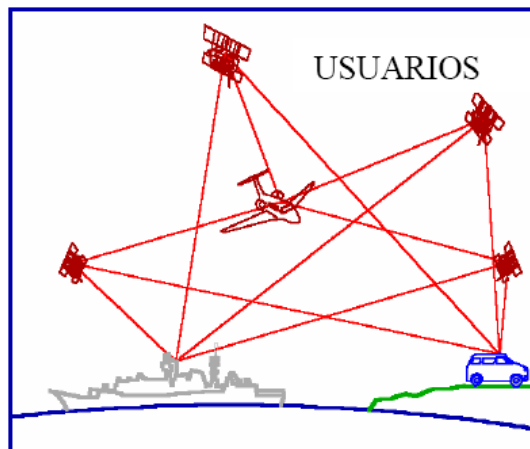
### **1.3. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)**

#### **1.3.1. Principios de funcionamiento del sistema GPS**

El sistema GPS tiene por objetivo calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas  $(x, y, z)$  partiendo del cálculo de las distancias del punto a un mínimo de tres satélites cuya localización es conocida. La distancia entre el usuario (receptor GPS) y un satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida desde el satélite por su velocidad de propagación. Para medir el tiempo de vuelo de la señal de radio es necesario que los relojes de los satélites y de los receptores estén sincronizados, pues deben generar simultáneamente el mismo código. Ahora bien, mientras los relojes de los satélites son muy precisos los de los receptores son osciladores de cuarzo de bajo costo y por tanto imprecisos. Las distancias con errores debidos al sincronismo se denominan

*pseudodistancias*. La desviación en los relojes de los receptores añade una incógnita más que hace necesario un mínimo de cuatro satélites para estimar correctamente las posiciones.

**Figura 20.** Cálculo de Posición



Fuente: <http://fcf.unse.edu.ar/lpr/apuntes-lpr.htm>

En un lenguaje un poco mas coloquial, podemos decir que cada satélite transmite un mensaje que expresa: "Soy el GPS N° X, mi posición actual es Y, esta información fue enviada en la hora de zona horaria Z". La unidad de GPS lee el mensaje, guarda las efemérides y la información de almanaque para el uso continuo. Luego, para determinar la posición, el GPS compara la hora en que la señal fue transmitida por un satélite, con la hora en que esa señal fue recibida por la unidad. La diferencia de tiempo comunica al GPS la distancia en que ese satélite se encuentra. Si a esto se suman mediciones de distancias con otros satélites, podemos triangular nuestra posición. Es esto precisamente lo que hace una unidad de GPS. Con un mínimo de tres o más satélites, una unidad de GPS puede determinar la posición latitud/longitud, (Posición 2D). Con señal de 4 o más satélites, el GPS puede brindar la ubicación 3D de la unidad, brindando datos de latitud/longitud y altitud. Actualizando continuamente su posición, una unidad de GPS puede además proveer datos precisos de velocidad y dirección de viaje ("ground speed" y "ground track").

El sistema GPS se descompone en tres segmentos básicos, los dos primeros de responsabilidad militar: segmento espacio, segmento control y el segmento usuarios.

### **1.3.2. Sección espacio.**

Envuelve los satélites con sus señales transmitidas, formado por 24 satélites GPS con una órbita de 26.560 Km. de radio. La sección Espacial del GPS, proporciona una cobertura mundial, garantizando por lo menos 4 satélites con elevación por encima de 15° del horizonte. De hecho, en algunas regiones de la Tierra es posible la obtención de 8 ó más satélites visibles al mismo tiempo, principalmente en regiones ecuatoriales. Los satélites GPS, son un total de veinticuatro activos, circundan la Tierra en órbitas elípticas (casi circulares), con inclinación de 55° con respecto al Ecuador, a intervalos longitudinales de 60". Cada órbita soporta cuatro satélites, desfasados entre sí a 90' en la órbita, con una altitud media de 20,200 Km. Los satélites GPS no son geoestacionarios y poseen un periodo orbital (tiempo en que un satélite realiza una vuelta completa a la Tierra) de aproximadamente 12 horas siderales.

Los sistemas satelitales utilizados para geoposicionamiento a través del desarrollo esta tecnología han sido los siguientes:

- **Sistema Transit**

Es una constelación de satélites artificiales puesta en órbita con la finalidad específica de geoposicionamiento por ondas electromagnéticas emitidas por satélites, denominado NNSS/TRANSIT (Navy Navigation System Satellite) que utilizó los satélites de la constelación TRANSIT (operativo desde 1964).

Este sistema nació con un diseño de la Universidad John Hopkins para la U.S. Navy en 1958, para la ayuda de navegación a navíos y sobre todo, para poder ser utilizados por submarinos atómicos lanzadores de misiles. Para hacer un lanzamiento con éxito es esencial que el submarino lanzador conozca su posición exactamente.

También fue ampliamente utilizado para aplicaciones geodésicas en el mundo entero. Estaba compuesto por 8 satélites activos con un peso de 61 kg. En órbitas polares elípticas, con una altitud media de 1100 km. con un período orbital de 107 minutos.

El sistema poseía dos grandes problemas:

- No proporcionaba una cobertura mundial
- Había un lapso de tiempo considerable entre las pasadas sucesivas de los satélites para un mismo punto en la tierra.

Para obtener una posición precisa se necesitaba de dos a tres días estacionado en un mismo punto para poder obtener la ubicación exacta de este con un desvío promedio de 3 a 10 m.

- **Sistema Navstar**

El Sistema NAVSTAR-GPS es la unión de dos ambiciosos proyectos. El primero desarrollado por la fuerza aérea de los Estados Unidos en 1963, conocido por "Proyecto 621B" para desarrollar un sistema de navegación tridimensional basado en satélites artificiales, el segundo proyecto conocido como "Timation" desarrollado por la marina de los Estados Unidos.

El objetivo inicial era la obtención de un sistema exclusivamente militar, pero el excesivo costo obliga que se permitiera el uso civil del sistema para que fuera

aprobado el presupuesto por el Congreso Norteamericano (10.000 millones de dólares).

El sistema Navstar fue desarrollado para sustituir el Sistema Transit. Esta sustitución debía corregir dos grandes problemas de su predecesor, ofrecer en cualquier punto de la tierra y a cualquier hora del día la posición, el tiempo en que se está trabajando, la dirección y la velocidad, la respuesta precisa, en tiempo real debía ser decodificadas por los receptores para aplicaciones militares.

La serie se inició con el lanzamiento de un solo satélite, el 22 de febrero de 1978. En 1986 se dio luz verde al desarrollo completo del sistema y aunque en 1991 el sistema NAVSTAR-GPS aún no estaba operativo al 100% demostró su potencial en la Guerra de Golfo Pérsico. El enorme éxito que tuvo el sistema (precisión en los misiles) aceleró el desarrollo del proyecto.

Los satélites de este sistema se dividieron en tres bloques:

- Satélites Bloque I

Todos estos satélites ya fueron sustituidos.

- Satélites Bloque II

Fueron construidos de un modo que permitía la degradación de la precisión obtenida por el código de acceso libre (C/A) y la limitación de acceso al código de precisión (P).

- Satélites Bloque IIR

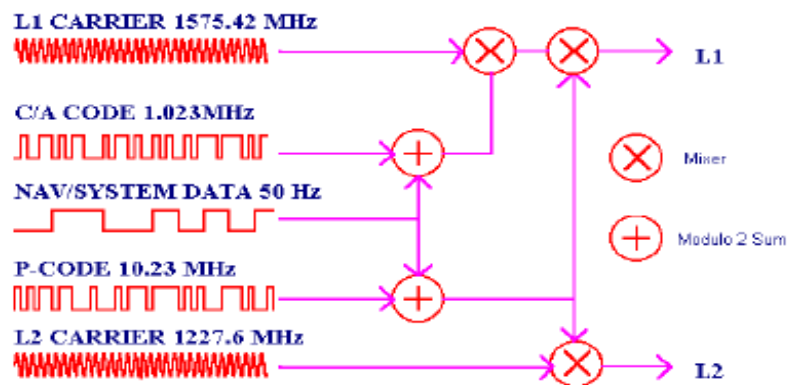
Comenzaron a ser lanzados a partir de 1995 por el trasbordador espacial y se encuentran operando actualmente.

Los satélites GPS transmiten en dos frecuencias portadoras de la banda L. El grupo de frecuencias de radio de esta banda oscila de 1000 Mhz a 3000 Mhz. Estas frecuencias son obtenidas de una frecuencia fundamental (t) de 10,23 Mhz que multiplicada por 154 ofrece la L1 y multiplicada por 120 produce la L2. La portadora L1 es modulada por tres códigos (C/A, P y D), mientras que la L2 es modulada por los códigos P y D.

- El código C/A (Coarse/Acquisition) con frecuencia 1.023 Mhz, es utilizado por los usuarios civiles.
- El código P (Precision Code), de uso militar, con una frecuencia 10 veces superior al código C/A.

El código P, se envía encriptado (Código Y) cuando está activo el modo de operación antiengaños que impide que fuerzas hostiles generen y transmitan una señal igual a la de los satélites GPS.

**Figura 21.** Frecuencias de GPS



Fuente: [tp://fcf.unse.edu.ar/lpr/apuntes-lpr.htm](http://fcf.unse.edu.ar/lpr/apuntes-lpr.htm)

- **Degradación de la precisión**

Existen básicamente dos métodos de degradación de la precisión, obtenida en el cálculo de las coordenadas por los receptores GPS, introducidos por las señales transmitidas por los satélites e impuestos por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD):

- S/A ("Selective Availability"- Disponibilidad Selectiva)

Existen dos formas de hacer efectivo la S/A:

- Variación directa de la frecuencia generadora del Código C/A por el oscilador de a bordo, lo cual, causa una imprecisión en la medida de la pseudo-distancia, entre la antena del receptor y el satélite, y se refleja en la precisión de la coordenada calculada por el receptor.
- Introducción en el "buffer" (polígono que encierra el área de influencia resultante de una determinada distancia entorno a un punto) del satélite, de efemérides erradas. De esta forma, el satélite Informa vía Código D, su posición con un error, lo cual se refleja en la imprecisión de la coordenada calculada por el receptor. Estos errores de la localización exacta del satélite también son Seudo-aleatorios, evitando que el cálculo de la posición por medias disminuya la imprecisión sin eliminarlos totalmente.

La técnica de posicionamiento diferencial en tiempo real o post-Procesada, elimina casi completamente el efecto del S/A, en sus dos formas de aplicación.

- A/S ("Anti- Spoofing = Antifraude).

Es el encriptamiento del código de distancia precisa P, generando en sustitución el Código Y, comúnmente se designa el Código P por P (Y). De esta manera los receptores del Código P, dejan de reconocer el referido código como una señal transmitida por el GPS. En esta situación el transmisor interrumpe el cálculo de la

posición o pasa a ofrecerla con resultados absurdos.

### 1.3.3. Sección control

Comprende el Sistema de Control Operacional, el cual consiste en una estación de control maestra, estaciones de monitoreo mundial y estaciones de control de campo. Las principales tareas de este Sistema de Control son: determinar de forma precisa la órbita de cada satélite; determinar por medio de modelos matemáticos la predicción de estas órbitas; sincronización permanente de los sistemas de relojes de los satélites; transferencia de datos actualizados de efemérides de los satélites; control de la degradación de la señal (S/A y A/S); corrección del posicionamiento de los satélites por comandos desde tierra; control de lanzamiento de nuevos satélites para la manutención de la constelación.

Las estaciones de control a nivel mundial son:

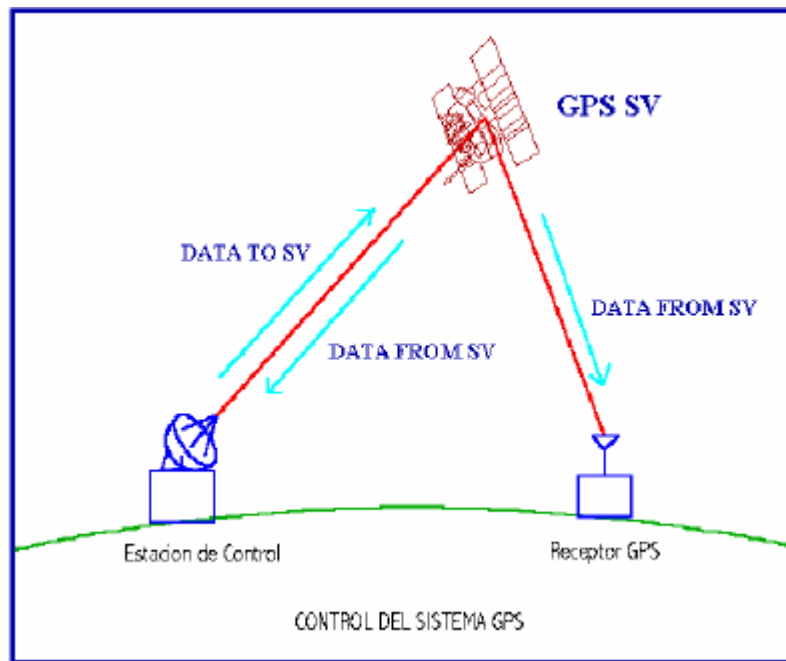
- HAWAI-Pacífico Oriental
- COLORADO SPRING
- ISLA DE LA ASCENSION-Atlántico Sur
- DIEGO GARCÍA-Océano Indico
- KWAJALEIN-Océano Pacifico Occidental

**Figura 22.** Ubicación de Estación de Monitoreo



Fuente: <http://fcf.unse.edu.ar/lpr/apuntes-lpr.htm>

**Figura 23.** Control del sistema GPS



Fuente: <http://fcf.unse.edu.ar/lpr/apuntes-lpr.htm>

#### **1.3.4. Sección usuario**

Envuelve todos los tipos de aplicaciones, métodos de posicionamiento, formas de recepción, procesamiento de las señales y todos los tipos de receptores. Formado por las antenas y los receptores pasivos situados en tierra. Los receptores, a partir de los mensajes que provienen de cada satélite visible, calculan distancias y proporcionan una estimación de posición y tiempo. El GPS proporciona dos servicios de posicionamiento en tiempo real:

- El SPS ("Standard Positioning Service"), que utiliza el Código C/A y ofrece precisiones del orden de 100 metros.
- El PPS ("Private Positioning Service"), que utiliza el Código Y (Código P encriptado), sujeto al encriptamiento y proporciona precisiones mejores a 10

metros, de uso Privativo de personas autorizadas por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD).

### 1.3.5. Métodos de Posicionamiento

- **Método Absoluto**

Se obtiene a partir de los códigos de pseudo-distancia ("Ranging Codes") C/A y P. Estos códigos binarios son transmitidos por los satélites y también generados en el receptor, para posteriormente ser comparados, de esta manera, se puede medir fácilmente la distancia entre los satélites rastreados y la antena del receptor. Además se presupone que exista sincronismo entre el reloj del satélite y el reloj del receptor.

Los relojes a bordo de los satélites son relojes atómicos, ya que son relojes cuyos metrónomos son pulsos de cristales radioactivos (Cesio o Rubidio). Estos relojes ofrecen precisiones del orden de 10<sup>-12</sup> segundos (pico segundos) Debido a su calidad son excesivamente caros (en el orden de 200.000,00 US\$).

Los receptores para el posicionamiento utilizados en tierra, no poseen naturalmente relojes tan precisos como los satélites, hecho que de ser cierto inviabilizaría económicamente toda la sección de usuarios. Por este motivo los relojes de los receptores son de cristales de cuarzo, que a pesar de ser de buena calidad, ofrecen precisiones mil veces menores que la de los relojes de los satélites, o sea, del orden de 10<sup>-9</sup> segundos (nanosegundo).

Con el S/A activado (lo que se tomó una constante desde la guerra del Golfo hasta mayo de 2000), el sistema GPS ofrecía precisiones cercanas a 100 metros cuando se rastrean 4 satélites (Posición 3D), con un PDOP (Dilución de la Precisión Tridimensional) inferior a 7, en un 90% del día. Esta precisión empeora en el caso

de posiciones 2D (200 metros). Y con el S/A desconectado 30 m (media).

- **Método Diferencial**

El método de Posicionamiento Diferencial, es aquel en que las posiciones absolutas obtenidas por un receptor móvil, son corregidas por otro receptor fijo, estacionado en un punto de coordenadas de referencia. En este proceso, son eliminados casi totalmente los errores. Así las posiciones corregidas con un DOP menor que 5 se sitúan en el rango de precisión de 5 a 0,5 metros.

- **DGPS (GPS diferencial) en tiempo real**

En esta variante las correcciones diferenciales son transmitidas al receptor remoto por un enlace radial de datos, utilizando, el protocolo RTCM-SC-104 que especifica el modo de transmisión de datos GPS (por "link" de radio) para estas correcciones. El receptor "móvil", podrá entonces grabar sus datos en archivos en el propio receptor, para su posterior descarga en software CAD o GIS. Este Proceso ofrece precisiones de 1 a 10 metros, en dependencia del DOP (Dilución de la Precisión).

- **Método Relativo**

Hasta el momento se describió el posicionamiento GPS utilizando los códigos de pseudo-distancia C/A y P como elementos para el cálculo de las distancias receptor - satélites capaces de resolver las ecuaciones de trilateración espacial, ya descritas. Con este procedimiento las precisiones alcanzadas eran métricas y por tanto inapropiadas para aplicaciones geodésicas de precisión, que son del orden centimétrico o subcentimétrico.

Este método es por amplio margen el más preciso de todas las técnicas de geoposicionamiento GPS. Se basa en la medida de las distancias receptor

satélite, no por la comparación de los "ranging-codes", sino por el cúmulo de las distancias a través de la propia onda portadora mediante procesos interferométricos. Los cálculos interferométricos se basan en las diferencias de fase de portadoras L1 y L2, dejando el satélite y llegando a la antena del receptor. Modelando estas diferencias de fase se calcula el número entero de longitudes de onda entre el receptor y el satélite, conocido como "ambigüedad entera". Calculando las ambigüedades para cada satélite, basta multiplicar estos enteros por la longitud de onda, de cada portadora, sumándose a continuación las diferencias de fase, para obtener entonces no las pseudo-distancias, sino la verdadera distancia ( $\rho$ ) entre el receptor y el satélite, para cada instante.

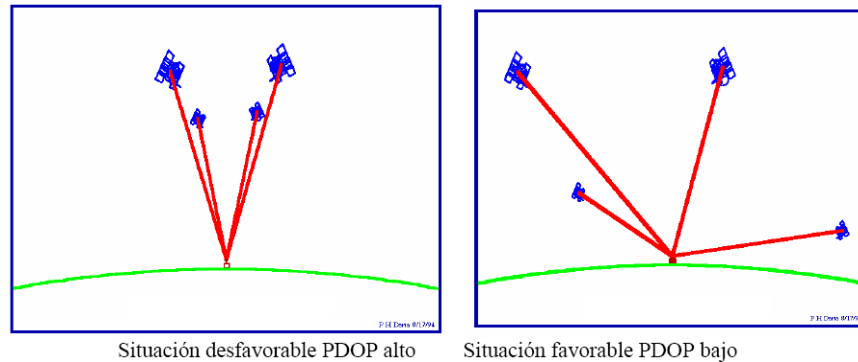
### 1.3.6. Geometría de los Satélites

La precisión o el grado de exactitud de la posición calculada depende del volumen del cuerpo sólido generado por los satélites rastreados y el punto donde se encuentra el receptor.

- **PDOP** = Dilución de la Precisión Tridimensional.
- **HDOP** = Dilución de la precisión en las coordenadas planas (Lat. long.).
- **VDOP** = Dilución de la precisión altimétrica

Estos números DOP son inversamente proporcionales al volumen del cuerpo sólido generado por los satélites y el punto a determinar. De esta forma cuanto mayor el volumen, menor el número DOP y como consecuencia mejor la precisión.

**Figura 24.** PDOP



Fuente: <http://fcf.unse.edu.ar/lpr/apuntes-lpr.htm>

#### 1.4. IMÁGENES SATELITALES

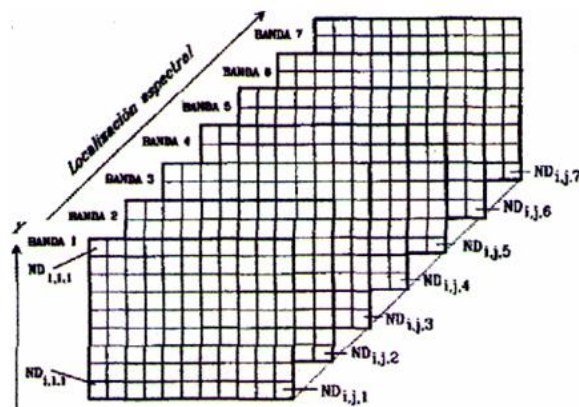
La energía electromagnética que emite un objeto geográfico como respuesta a un rayo incidente de luz, puede registrarse fotográficamente o electrónicamente. El proceso fotográfico usa unas reacciones químicas sobre la superficie de la película, ocasionadas por la emisión de un rayo luminoso que permite de esta manera descubrir y grabar las variaciones de energía en la película. Es importante distinguir entre las condiciones de las fotografías y las imágenes de percepción remota. Una fotografía se refiere a cualquier representación pictórica, sin tener en cuenta qué longitudes de onda o el dispositivo que se ha usado para descubrir y grabar la energía electromagnética en la película. Por el contrario las imágenes de satélite aparte de efectuar el registro gráfico del objeto de interés, centran su atención en el registro y almacenamiento de la emisión de energía electromagnética por parte del objeto geográfico. Normalmente se graban las imágenes de satélite en un rango de longitud de onda entre 0.3 micras hasta 0.9 micras (1 micra =  $1 \times 10^{-6}$ ), intervalo que comprende el dominio visible y parte del infrarrojo. Basado en estas definiciones, podemos decir que todas las

imágenes de satélite son fotografías, pero no podemos afirmar lo contrario, es decir que las fotografías son imágenes de satélite.

En un sentido estricto de definición, podemos decir que una imagen de satélite es un conjunto sistemático de medidas cuantitativas sobre la superficie terrestre, con un nivel de resolución espacial inalcanzable en muestreos de terreno. (Chuvieco, 1996).

La radiancia producto de la energía solar o del mismo objeto, es almacenada por la imagen de satélite de forma cuantitativa y matemática en un medio magnético por parte del sensor para su posterior manipulación. La organización de los datos en una imagen digital se realiza con el eje de coordenadas en la esquina superior izquierda; esto debido a la secuencia de la adquisición de la imagen, de norte a sur, de acuerdo a la traza del satélite. Y una tercera dimensión correspondiente a la resolución espectral del sensor. (Chuvieco, 1996).

**Figura 25.** Organización de Datos en una Imagen Satelital

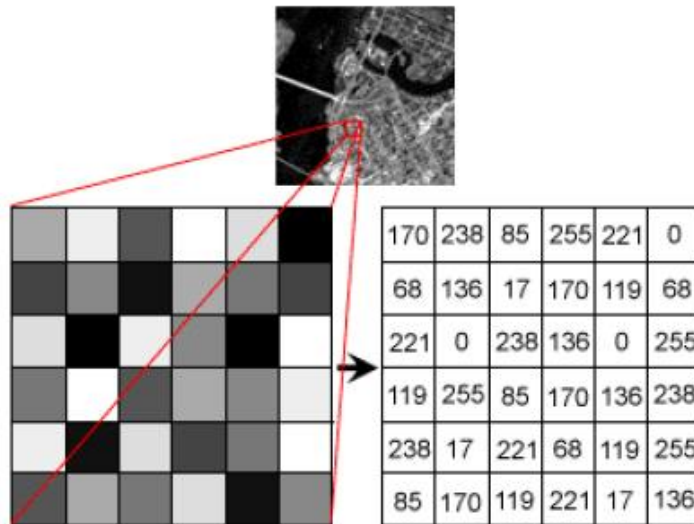


Fuente: <http://www.profc.udec.cl/gabriel/tutoriales/curso.htm>

En otras palabras, una imagen digital puede representarse y desplegarse en un formato digital subdividiendo la imagen en pequeñas regiones de igual tamaño y

área; dichos elementos cuadrados son llamados píxeles y representan el brillo de cada área con un valor numérico denominado nivel digital (ND).

**Figura 26.** PIXEL de una Imagen Satelital



Fuente: [http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundamentals\\_e.pdf](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundamentals_e.pdf)

Un dato particular representa un elemento en la escena sobre la superficie de la tierra, llamado elemento imagen y representado como un píxel (Picture element).

Un píxel es un elemento que tiene propiedades espaciales y espectrales. La propiedad espacial define en la tierra el ancho de la zona a ser captado. La propiedad espectral define la intensidad de la respuesta espectral de cada celda por cada banda en particular.

Una fila de píxeles representa una línea de captura recogida por el sensor cuando este se mueve de izquierda a derecha o recogida a través del uso de una matriz lineal de fotodetectores.

En la manipulación de la imagen satelital, el computador despliega los niveles digitales como los niveles de brillo diferentes. Los sensores que graban la energía electromagnética, electrónicamente graban la energía como una serie de números que pueden ser interpretados en el archivo digital de salida.

En función de los parámetros de la toma de la imagen por los captores, las imágenes de satélite poseen diferentes tipos de firmas espectrales. Las firmas monobanda, en las cuales la respuesta de los objetos geográficos es almacenada en un solo canal dentro de un intervalo parcial del ancho de onda total.

Las firmas multibanda, a diferencia de las restituciones espectrales monobanda, la respuesta del objeto geográfico esta contenida en varios canales caracterizados individualmente por la cobertura de un intervalo del ancho de onda total; por ejemplo en el caso del satélite SPOT multibanda, caracterizado por tres tomas en tres intervalos: el canal XS1 (0.50 hasta 0.59 mieras), el canal XS2 (0.61 hasta 0.68 mieras) y el canal XS3 (0.79 hasta 0.89 mieras). Otros satélites pueden ofrecer bastante más canales y los casos extremos son algunas tomas en hiperefrecuencias activas alcanzando mas de cien canales.

Una imagen multibanda o multiespectral como también se le conoce, esta compuesta de 'n' filas y 'n' columnas de píxeles en cada una de las bandas espectrales. Existe en realidad más de una agrupación de datos que conforman una imagen de satélite.

**Figura 27.** Ciudad de Brasilia, Imagen LANDSAT



Fuente: Apuntes del laboratorio de corrección geométricas, Jorge Pinto

**Figura 28.** Campus Universidad Industrial de Santander Sensor, Imagen QUICKBIRD



Fuente: [http:// googleearth.com](http://googleearth.com)

Existen también las firmas de origen opcional las cuales obedecen en su lógica de toma a algunos factores fijados por el usuario para el tratamiento de una información variable en función de los mismos factores. Dentro de ellas podemos mencionar los siguientes:

- Las firmas de toma multiangular.
- Las firmas de toma multitemporal.

Por otro lado, la resolución de un sistema sensor puede ser definida como la habilidad de registrar información de detalle. El concepto de resolución implica, al menos, cuatro manifestaciones:

- Espacial
- Espectral
- Radio métrica
- Temporal;

Las cuales determinan en cierta forma las características fundamentales de las imágenes de satélite para ser tenidas en cuenta para cada trabajo particular. Así, la calidad y la utilidad de la imagen pueden estar definidas por su resolución.

#### **1.4.1. Resolución espacial**

Concepto designado al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen, en un sistema. Se mide en unidades de longitud sobre el terreno y depende de la apertura focal de la cámara (resolución angular) y de su altura sobre la superficie. En los sensores ópticos electrónicos, se prefiere utilizar el concepto de IFOV (Instantaneous Field Of View). El que se define como la sección angular, medida en radianes, observada en un momento determinado. En resumen corresponde al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, que se denomina píxel.

#### **1.4.2. Resolución espectral**

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede detectar un sensor. Un sensor será "mejor" mientras más bandas proporcione y mientras más estrechas sean éstas.

#### **1.4.3. Resolución radiométrica**

Hace mención a la sensibilidad del sensor, esto es, a la capacidad de detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. El número máximo de niveles digitales que puede detectar un sensor óptico-electrónico es lo que recibe el nombre de resolución radiométrica. Los primeros sensores ofrecían 64 o 128 niveles digitales, actualmente ofrecen más de 1024.

#### **1.4.4. Resolución temporal**

Se refiere a la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor, es decir, a la periodicidad con que éste adquiere datos de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura es función de la órbita del satélite (altura, velocidad, inclinación), así como del diseño del sensor, principalmente al ángulo de observación y de abertura.

### **1.5. MAGNA-SIRGAS**

Antes del posicionamiento por satélite no era posible la utilización de un sistema geocéntrico de coordenadas. En su lugar, se usaban y aún se usan, sistemas coordinados locales cuyos elipsoides asociados se ajustaban mejor a la forma real de la Tierra en determinada región. La orientación y ubicación de estos sistemas locales también se conocen como *Datum Horizontal*. Dado que la

determinación de la altura de los puntos se hace independientemente de sus coordenadas horizontales (Vanicek and Steeves 1996). La posición y orientación de estos datum se define por el sistema astronómico local de un punto cualquiera, el cual convencionalmente, le proporcionaba el nombre al datum correspondiente, por ejemplo el Datum BOGOTÁ, tenía su origen en el Observatorio Astronómico de Bogotá, como elipsoide asociado el Internacional (Hayford) y se encuentra desplazado del geocentro 530 m aproximadamente.

Como se había explicado anteriormente (Capítulo 1.1) las coordenadas horizontales están referidas al elipsoide y la coordenada Z esta referida al geoide, lo cual indica que no deben combinarse para generar posiciones 3-D, ya que puede ocasionar distorsiones hasta de varios metros.

Antes del desarrollo de GPS cada país establecía a su conveniencia el Datum Horizontal para la definición de sus coordenadas y a pesar de que muchas veces se utilizaba el mismo elipsoide, las coordenadas en regiones fronterizas variaban cientos de metros como consecuencia de la diferente ubicación del elipsoide con respecto al centro de la Tierra.

Con el propósito de unificar la plataforma de referencia para la definición de coordenadas a nivel mundial, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos implementó la serie WGS (World Geodetic System) hasta llegar al WGS84 (elipsoide de referencia actualmente en Colombia), cuya característica primordial es que su origen cartesiano es geocéntrico.

#### **1.5.1. INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM (ITRS)**

Es el sistema de referencia adoptado por el IERS (Internacional Earth Rotation and Referente Systems Service). Se define con origen en el centro de masa terrestre. Su polo coincide con el polo definido por el CIO (Convencional

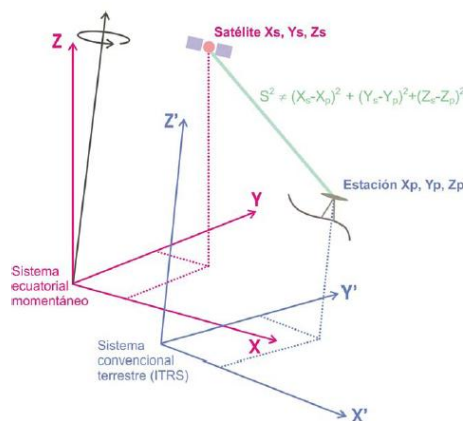
Intenatioanl Origin). El eje X es orientado hacia el meridiano de Greenwich, llamado también meridiano de referencia, el eje Z está orientado hacia el polo del CIO y el eje Y forma un sistema coordenado de mano derecha.

La aplicación práctica del ITRS, es decir su materialización, se da a través de la definición de su marco ITRF (Internacional Terrestrial Referente Frame).

### 1.5.2. INTERNATIONAL TERRESTRIAL REFERENCE FRAME (ITRF)

El ITRF está conformado por las coordenadas cartesianas geocéntricas (X,Y,Z) y las velocidades (Vx, Vy, Vz) de un conjunto de estaciones observadas con los diferentes métodos de radio interferometría astronómica. Las velocidades son incluidas ya que el movimiento de las placas tectónicas y sus deformaciones también alteran sus coordenadas, pero estos movimientos no afectan las órbitas de los satélites. Esto traduce en que para una observación instantánea sobre la superficie de la Tierra, el marco de referencia terrestre ITRF diverge del sistema de referencia satelital, lo que obliga que las coordenadas ITRF sean trasladadas en el tiempo de acuerdo a la variación por la presencia dinámica terrestre.

**Figura 29.** Diferencias entre ITRF y el sistema de referencia satelital

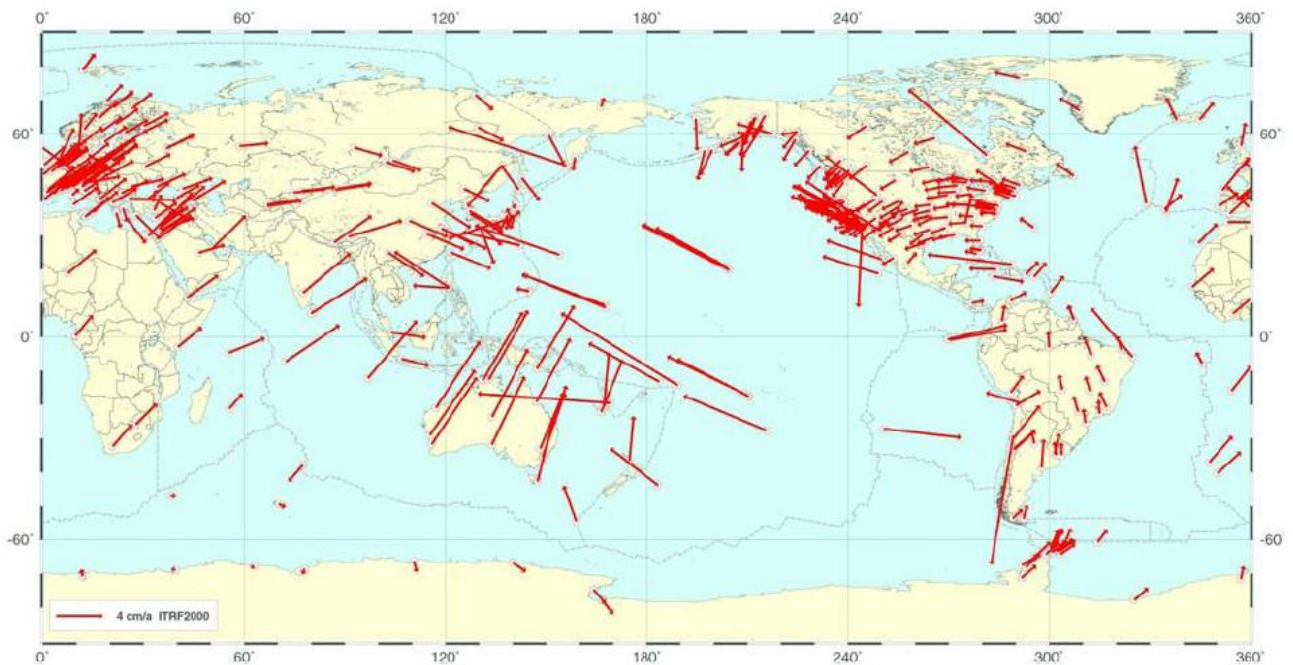


Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Dada la dependencia de las coordenadas geodésicas con respecto al tiempo, el ITRF es complementado indicando la época para la cual las posiciones de sus estaciones son vigentes. Por ejemplo, la denominación ITRF94 indica que las coordenadas de esta red están definidas para el 1 de Enero de 1993. Su traslado a fechas diferentes, implica la aplicación de velocidades. El marco de referencia mas reciente calculado es el ITRF2000.

La principal utilidad del ITRF es que, a partir de su definición se calculan las efemérides precisas de los satélites GPS, lo que garantiza, que cualquier punto sobre la superficie terrestre que haya sido ligado al ITRF vigente está en el mismo sistema de referencia utilizado por los satélites.

**Figura 30.** ITRF 2000 y sus velocidades



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

### **1.5.3. SIRGAS**

Las estaciones que conforman el ITRF ofrecen un cubrimiento mundial, pero resultan insuficientes para su utilización práctica por parte de generadores y consumidores de información georreferenciada. Por tanto, es necesario establecer densificaciones continentales, nacionales y regionales que permitan el acceso directo al marco global de referencia.

Debido a esto, en América del Sur, se decidió establecer una red de estaciones GPS de alta precisión con la densidad suficiente de puntos para el cubrimiento homogéneo de la zona y además, garantizar la participación de cada uno de los países de esta parte del continente. De esta manera surge el proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur).

En el proyecto SIRGAS se determinó como datum geocéntrico un sistema de ejes coordenados basados en el sistema de referencia SIRGAS, equivalente al ITRF94 y con los parámetros del elipsoide WGS84. Para densificar las estaciones en esta parte del continente, se obtuvo como resultado una red de 58 estaciones GPS que conforma el sistema de referencia SIRGAS y esta ligado a ITRF 94.

En 1995 se incluyeron estaciones de Norteamérica, Centroamérica y mareógrafos que definen los sistemas de alturas en los países de América del Sur, por tal razón se dio una nueva definición a SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrica para Las Américas). El resultado final es una red conformada por 183 estaciones cuyas coordenadas están calculadas al ITRF2000.

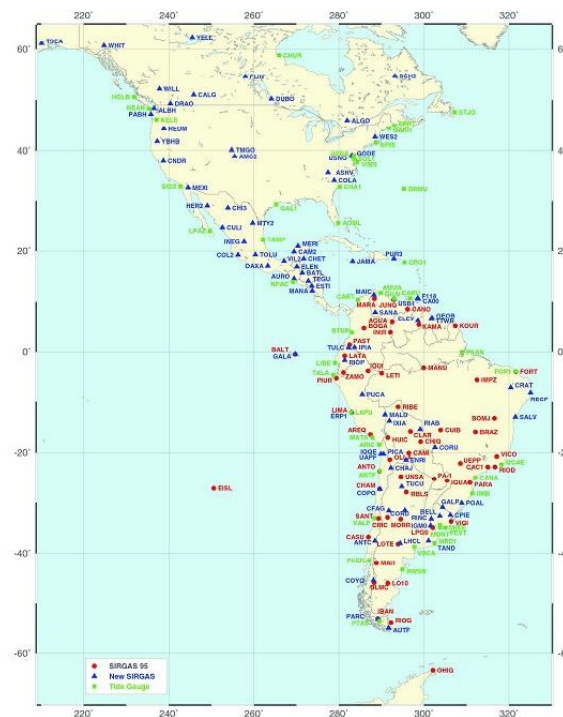
También se adoptó un sistema de referencia vertical único para todas América del Sur con dos tipos de altitudes: Alturas elipsoidales para definir el marco de referencia y otro tipo de alturas físicas (preferiblemente normales), obtenidas a partir de los números neopotenciales a fin de satisfacer las necesidades prácticas

de los usuarios comunes y la materialización del sistema de referencia vertical mediante el establecimiento de un conjunto de estaciones niveladas geométricamente, con los valores de gravedad conocidos y coordenadas referidas en el sistema SIRGAS, incluyendo los mareógrafos que definen los diferentes datum verticales existentes.

#### 1.5.4. MAGNA-SIRGAS: Marco Geocéntrico Nacional de Referencia

SIRGAS es la extensión del ITRF en América, pero esta debe densificarse aún mas, por esta razón el Directorio de Directores de Institutos Geográficos de América del Sur, España y Portugal (DIGSA) se acordó que todos los sistemas nacionales de referencia en América del Sur están definidos sobre SIRGAS y serán una densificación del mismo.

**Figura 31.** Estaciones de la Red SIRGAS

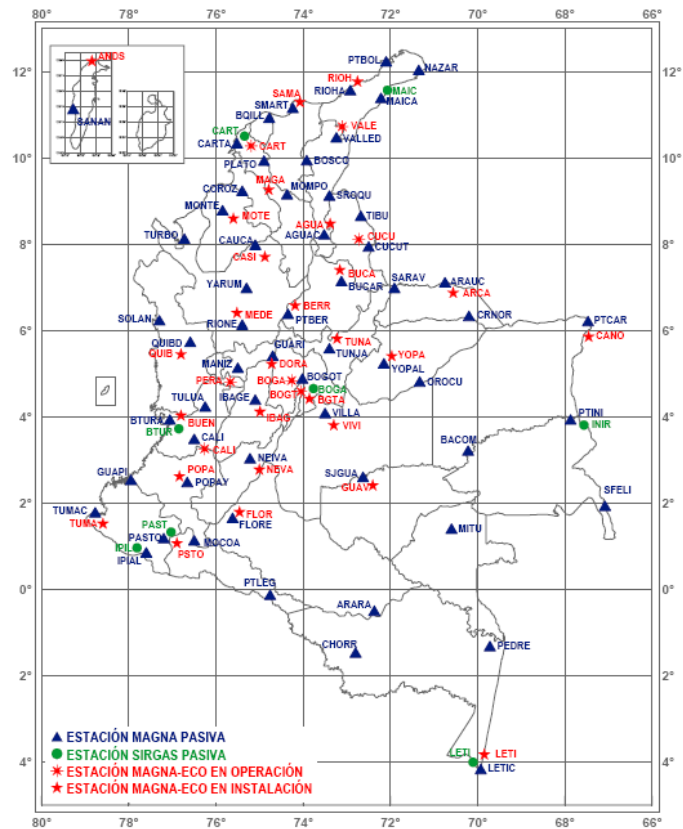


Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

En Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, organismo encargado de determinar, establecer, mantener y proporcionar los sistemas de referencia geodésico, gravimétrico y magnético, inició a partir de la red SIRGAS la determinación de la Red Básica GPS, denominada MAGNA (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia). Esta red esta conformada por 60 estaciones GPS de cubrimiento nacional de los cuáles 8 son vértices SIRGAS.

Uno de los objetivos principales en el procesamiento de los datos GPS al estar ligada a la red SIRGAS y por consiguiente al ITRF2000 es garantizar que las coordenadas de la red básica nacional estén definidas sobre el mismo sistema que sirve como base para cálculo de las órbitas de los satélites GPS.

**Figura 32.** Red MAGNA-SIRGAS



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

### 1.5.5. DATUM BOGOTÁ

La antigua plataforma de referencia nacional estaba constituida por un datum horizontal geodésico, adoptado en 1941, cuyo elipsoide corresponde al Internacional de 1924 (Hayford) y cuyo punto datum se encuentra en el Observatorio Astronómico de Bogotá.

A partir de este marco, el IGAC inició hace 60 años el establecimiento de la red geodésica de control horizontal (ARENA: Antigua Red Nacional), la cual estaba conformada por once mil puntos aproximadamente que constituían los vértices de primer, segundo y tercer orden.

El Datum BOGOTÁ y su red ARENA constituyeron una obra de excelente calidad, gracias a ellos se cuenta actualmente con cubrimiento nacional de planchas topográficas que han sido un gran apoyo para el desarrollo de los proyectos ejecutados en el país. No obstante debido a las desventajas de las técnicas geodésicas clásicas en relación con las tecnologías modernas estos presentan ciertas incompatibilidades con los usuarios GPS, las cuales pueden resumirse en:

- El Datum BOGOTÁ materializa al ITRF con un error sistemático de aproximadamente 250 m ya que su origen se encuentra desplazado del geocentro 530 m. Esto significa que las posiciones definidas sobre el Datum BOGOTÁ aparecen desplazadas en una cantidad similar con respecto a las posiciones definidas sobre MAGNA-SIRGAS.
- El error relativo de la red ARENA varía de acuerdo con la región del país, lo que no permite un control apropiado para levantamientos GPS precisos.
- A diferencia de MAGNA-SIRGAS, que es un sistema de referencia tridimensional, el Datum BOGOTÁ es un marco bidimensional en el dispone

de coordenadas curvilíneas y altura sobre el nivel medio del mar (H). No se conoce la altura con respecto al elipsoide (altura elipsoidal).

Debido a lo anteriormente mencionado, la red ARENA se encuentra en desuso y debe ser reemplazada por la red MAGNA-SIRGAS.

Es aconsejable todo que tipo de levantamiento (planimétrico y altimétrico) sea georreferenciado a puntos de la Red MAGNA-SIRGAS certificados por el IGAC.

Para realizar la conversión del datum BOGOTÁ al MAGNA-SIRGAS se debe realizar una conversión de coordenadas, lo cual está siendo promovido por el IGAC con el fin de actualizar la carta catastral colombiana.

## 2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. DESCRIPCIÓN

En la presente investigación se desarrollaron los siguientes pasos para llevarla a cabo:

**Documentación:** Esta es la etapa preliminar de la investigación, se buscó en textos para mejorar un poco nuestras bases en topografía y en estadística. La información sobre GPS e imágenes satelitales fue buscada en páginas web a nivel mundial, debido a que estos temas se pueden considerar como nuevas tecnologías.

**Estudio y Análisis estadístico:** Como primera medida se recurrió a la ayuda de varios profesores de la universidad especializados en estadística, específicamente en técnicas de muestreo los cuales nos dieron asesoría y encaminándonos por el camino a seguir. Luego se procedió a la búsqueda de información en textos y plantear hipótesis para solucionar el problema planteado.

**Levantamiento Topográfico:** Se contaba con el equipo necesario para realizar el levantamiento, el cual se realizó basado en conocimientos propio y con asesoría de un topógrafo.

**Levantamiento estático (GPS):** El levantamiento se realizó basado en la experiencia adquirida por los autores quienes han trabajado con este equipo, al igual que se corroboró el procediendo hecho en los manuales que trae el equipo.

**Georreferenciación de imagen satelital:** En este paso de la investigación se

acudió a la asesoría de profesores. Pero sobretodo los manuales obtenidos en Internet del software Spring fueron una ayuda muy valiosa para realizar esta tarea.

**Comparación de las precisiones obtenidas:** El análisis de estos son los que conllevan a la elección del mejor método.

## **2.2. EQUIPOS UTILIZADOS**

### **2.2.1. GPS Thales Promark3**

La siguiente son las especificaciones del GPS:

- Características del GPS
  - 14 canales paralelos
  - Portadora y código C/A L1
  - WAAS/EGNOS en tiempo real integrado
  - Velocidad de actualización 1 Hz
  - Protocolo: NMEA0183
  - RTCM SC-104 versión 2.1
  
- Especificaciones de precisión
  - Levantamiento estático
    - Horizontal: 0,005 m + 1 ppm
    - Vertical: 0,01 m + 2 ppm
    - Azimut:  $\leq 1$  arco segundo
    - Tiempo de observación: Entre 4 a 40 minutos en función de la distancia y las condiciones ambientales.
  - Levantamiento cinemático

- Horizontal: 0,012 m + 2,5 ppm
- Vertical: 0,015 m + 2,5 ppm
- Tiempo de observación: Se recomienda mínimo 15 segundos por punto.
- Observación de barra inicializadora: Mínimo 5 minutos.

(Ver anexo A)

**Figura 33.** Receptor GPS



Fuente: Manual Receptor GPS

### 2.2.2. Estación Total Topcon GTS-210

La siguiente son las especificaciones de la GPS:

- Telescopio
  - Longitud: 153 mm
  - Diámetro del objetivo: 40 mm

- Aumentos: 26 x
- Imagen: Directa
- Campo de visión: 1° 30´
- Potencia de Resolución: 3”
- Distancia mínima de enfoque: 0,9 m
- Medición de Distancia
  - 1 mini prisma: 550 m
  - 1 prisma: 1100 m
  - 3 prismas: 1600 m
  - Campo de visión: 1° 30´
  - Potencia de Resolución: 3”
  - Distancia mínima de enfoque: 0,9 m
  - Exactitud: (3mm +- 2ppm)
  - Exactitud angular: 5”

**Figura 34.** Estación Total Topcon GTS-210



Fuente: Tomada por los autores

### 2.2.3. Imagen Digital

Imagen Digital QuickBird de un área aproximadamente de 1 km<sup>2</sup>.

## 2.3. ESTADÍSTICA APLICADA AL ESTUDIO

Al iniciar el estudio se encuentra un gran problema asociado al tamaño de la población pues es difícil determinar si una muestra es representativa o no de una población cuando esta es infinita tal y como es el caso objeto de estudio, también representa un gran reto la necesidad de fijar el parámetro de medición que representaría de mejor manera el objetivo del estudio comparativo y permitiera concluir mas acertadamente. Para entender más a fondo el proceso llevado a cabo para obtener el tamaño muestral y los parámetros a medir es necesario repasar conceptos fundamentales acerca de la estadística enfatizando en el muestreo.

“El campo de la estadística tiene que ver con la recopilación, presentación, análisis y uso de datos para tomar decisiones y resolver problemas”<sup>15</sup> y la estadística “es la ciencia encargada de la recolección, organización, análisis e interpretación de datos que conduzca a una conclusión probablemente cierta sobre una situación en la que hay incertidumbre”<sup>16</sup>, estas dos definiciones pueden ser complementadas explicando que es la parte de la ciencia que relaciona los números con las características apoyando las conclusiones, siendo una herramienta esencial para que un investigador pueda presentar su trabajo con fundamentación y respaldo en el tratamiento matemático de los datos recolectados y los resultados obtenidos,

---

<sup>15</sup> MONTGOMERY, Douglas C. y RUNGER, George C. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. México, D.F.: McGraw-Hill, 1994. p 1.

<sup>16</sup> OROZCO, Giovanni. Estadística para ingenieros. Medellín: Universidad pontificia bolivariana, 1996. p 7.

otorgando puntos de comparación objetivos con estudios similares en cuanto a precisiones, errores, y demás y validando de cierto modo su trabajo.

En la terminología básica para el muestreo estadístico se encuentra en primer lugar el parámetro y en segundo lugar el estadístico, que tratan sobre las características de la población y la muestra respectivamente, el primero “es la medida o datos que se obtienen sobre la distribución de probabilidades de la población, tales como la media, la varianza, la proporción, [y demás]”<sup>17</sup>, mientras que el otro trata “los datos o medidas que se obtienen sobre una muestra y por lo tanto una estimación de los parámetros”<sup>18</sup>. Existe diferencia entre el estadístico y el parámetro llamado error de muestreo, se presenta cuando se trabaja con un subconjunto de la población o sea la muestra y es medido por el error estadístico usando la probabilidad bajo la curva normal, el resultado de la media indica la precisión de estimación de la muestra, debido a que entre más pequeño el error más precisa es la muestra, también se conoce el error estándar y se refiere a los valores calculados mientras que la desviación estándar trata los valores originales.

Volviendo al problema del tamaño de la muestra se toca un concepto fundamental que es el significado de representatividad el cual obliga a que la muestra tenga las mismas propiedades de la población y las características estadísticas que se van a cuantificar y tratar en el estudio, en otras palabras que la distribución de la característica en la población debe ser similar a la distribución de la característica en la muestra, demostrando en efecto que es un subconjunto del universo poblacional, siendo una población “el conjunto de todos los individuos que presentan una característica determinada”<sup>19</sup>, un conjunto homogéneo universal de

---

<sup>17</sup> SÁNCHEZ, Arsenio C. Muestreo y tamaño de muestra. En: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). [en línea]. [consultado 5 de sep. de 2008]. Disponible en <<http://www.monografias.com/trabajos12/muestam/muestam.shtml>>

<sup>18</sup> Ibid.

<sup>19</sup> OROZCO, Op. cit., p. 7.

elementos, cuyas características tangibles son objeto del estudio, para garantizar esa representatividad se debe emplear la técnica de muestreo adecuada al estudio en ejecución que provea aleatoriedad en la selección de los elementos que se van a incluir en la muestra aunque estos elementos solo provean una representatividad muy probable mas no del todo cien por ciento segura.

El tamaño de la muestra es quizá la parte más importante al momento de iniciar en estudio debido a que define en gran parte el cronograma de trabajo y el flujo de recursos técnicos, económicos y programación de tiempos que se debe planear para ejecutar el estudio, por esta razón se convierte en un análisis muy importante para el siguiente estudio convirtiéndose prácticamente en un hito del cual parten todos los caminos posibles a seguir y otorgando un soporte matemático muy interesante que le confiere credibilidad y validez a las conclusiones a las que se llegue.

### **2.3.1. Diseño del Estudio**

Para poder hallar el tamaño de la muestra es necesario hacer uso de la estadística inferencial, la cual según Montgomery<sup>20</sup> permite tomar una decisión acerca de una población en particular considerando la probabilidad y la variabilidad. “Al proceso de seleccionar la muestra de entre una población se le conoce como muestreo (...) puede hacerse mediante varias metodologías dependiendo de los objetivos que se tengan y el tipo de información manejada. Se tendrán entonces muestreos aleatorios, aleatorios estratificados, sistemáticos y por conglomerados”<sup>21</sup>. De acuerdo con el tamaño de la muestra se pueden agrupar las poblaciones en dos clases: las finitas, cuyo tratamiento estadístico es sencillo y las infinitas donde se complica la obtención de los parámetros, pues es imposible dado su tamaño; de

---

<sup>20</sup> MONTGOMERY y RUNGER, Op. cit., p. 3.

<sup>21</sup> OROZCO, Op. cit., p. 8.

manera pues que se debe recurrir a lo estimación de parámetros a partir de muestras de la población.

La población del estudio comprenderá el conjunto infinito de todos los puntos con posibilidad real de ser materializados en un área no muy grande dentro de los predios del campus universitario de la Universidad Industrial de Santander ó en terrenos aledaños a este, el parámetro a controlar estadísticamente es el delta de error de la medida de la distancia que presentan los puntos levantados por cada uno de los métodos, para lo cual se asume que dicho parámetro se comporta aproximadamente como una distribución normal si el tamaño de la muestra supera los 30 elementos, de lo contrario su comportamiento se asimila al de una distribución t–student , como la varianza y la media de la población es desconocida se plantea una prueba de hipótesis adecuada a las características del universo.

- **Tamaño de la muestra**

El tamaño de la muestra se puede hallar usando la siguiente ecuación:

$$d = \frac{\mu_0 - \mu}{\sigma} = \frac{\delta}{\sigma} \quad (1)$$

Donde la media esperada ( $\mu_0$ ), la media poblacional ( $\mu$ ) y la desviación estandar ( $\sigma$ ) son tomadas con base en experiencias similares donde ya se han estimado, otra forma puede ser tomar “un tamaño de muestra preliminar de n (deltas de error) observaciones y de esta estimar un s (desviación estándar muestral) el cual servirá como una aproximación valida de  $\sigma$  (desviación estándar poblacional)”<sup>22</sup>,

---

<sup>22</sup> MONTGOMERY y RUNGER, Op. cit., p. 338.

de igual modo de esta muestra sacar la media de que servirá para hallar  $d$  (Diferencia de medias).

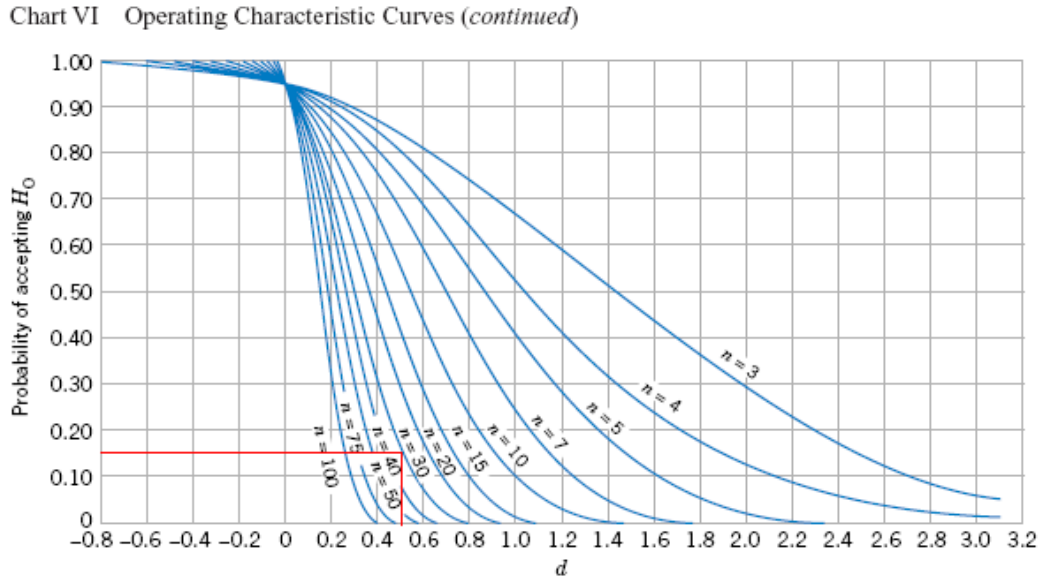
Como “no hay ninguna experiencia previa con la cual sea posible estimar  $\sigma^2$  (varianza), entonces se define la diferencia en la media ( $d$ ) que se desea detectar respecto a  $\sigma$  (desviación estándar)”<sup>23</sup>, esto quiere decir que se selecciona un valor de  $d$  de acuerdo con el tamaño de la diferencia de la media ( $\mu_0 - \mu$ ) que se desee obtener, significa que para que la muestra sea más representativa de la población  $d$  tiene que ser más pequeño, por otra parte entre menor sea el tamaño de  $d$  mayor va a ser la probabilidad de que la hipótesis nula sea rechazada. Siguiendo con este orden de ideas se plantea coger un valor de  $d = 0.5$ , un nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0.05 y una posibilidad de aceptar la hipótesis nula del 15%, todos estos estándares muy exigentes que derivaran en una muestra de un tamaño suficientemente confiable como para avalar el estudio.

El paso a seguir es hallar el tamaño de la muestra de acuerdo con los parámetros fijados, para lo cual se puede hacer uso de diagramas de curvas características de operación (figura 35) del libro de Montgomery que proporciona aproximaciones muy exactas del número de muestras requeridas sin tener que plantear un extenso análisis de la probabilidad de la ocurrencia del error tipo II dentro de la prueba, lo cual arroja un  **$n=30$**  que es el tamaño mínimo de muestra que se tomará para cada uno de los métodos de medición analizados en el estudio, la aproximación se hizo gráficamente y se puede observar siguiendo las líneas rojas de la figura 35.

---

<sup>23</sup>Ibid., p. 410.

**Figura 35.** Curvas características de operación para diferentes valores de  $n$  para la prueba  $t$  unilateral con nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .<sup>24</sup>



(g) O.C. curves for different values of  $n$  for the one-sided  $t$ -test for a level of significance  $\alpha = 0.05$ .

Fuente: Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Douglas C. Montgomery y George C. Runger.

- **Planteamiento de la prueba**

Teniendo en cuenta que se desconoce la varianza y la media de la población a continuación se plantea una prueba de hipótesis siguiendo las recomendaciones que sobre este particular hace Montgomery<sup>25</sup> de la siguiente manera:

- Se plantea una hipótesis nula ( $H_0$ ) y una hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

$$H_0 \rightarrow \mu_x = \mu_0 \quad (2)$$

$$H_1 \rightarrow \mu_x < \mu_0 \quad (3)$$

<sup>24</sup>Ibid., Apéndice A-18.

<sup>25</sup>Ibid., p. 385-388.

Donde  $\mu_x$  es igual al promedio del porcentaje del delta de error absoluto de la longitud de los vectores existentes entre un levantamiento y otro, a su vez  $\mu_0$  es el parámetro de comparación estadístico o media esperada.

- Como la muestra es igual o superior a 30 elementos se trabaja con la distribución normal para el cual se usa el siguiente estadístico

$$Z_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}} \quad (4)$$

Donde:

X = media muestral.

$\mu_0$  = media esperada.

S = desviación estándar muestral.

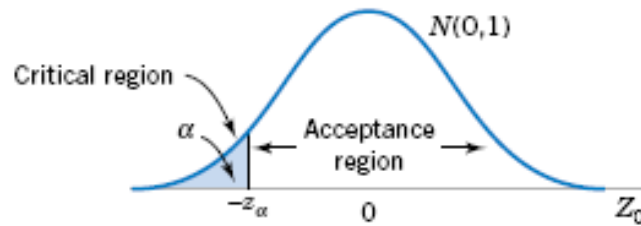
n = tamaño de la muestra.

- Se calculan el punto crítico superior correspondientes a la distribución normal el cual delimita el intervalo de aceptación o rechazo de la hipótesis nula, y se halla de la siguiente forma:

$$Z_0 < -Z_\alpha \quad (6)$$

En términos más amigables, en el siguiente grafico se observa la curva de distribución normal, la parte final de la cola negativa en color azul sería la zona de aceptación de la hipótesis nula, o sea si  $Z_0$  (evaluación del parámetro de la curva normal) resulta menor que el  $-Z_\alpha$  (Parametro de comparación en la curva) la hipótesis nula se acepta, de lo contrario se rechaza.

**Figura 36.** Curva de distribución normal para la hipótesis planteada



Fuente: Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Douglas C. Montgomery y George C. Runger.

### 2.3.2. Procedimiento estadístico de distribución de la muestra en el campo

Como ya se tiene el número de puntos a materializar en el campo ahora se debe encontrar la manera de distribuirlos en el campo en objetos cuya característica principal sea la potencialidad de ser visibles desde una imagen satelital *Quickbird*, la cual tiene una resolución de 0.6m lo cual obliga a definir objetos cuya dimensión sea mayor a este valor, de posible acceso, sin obstáculos con el satélite en el caso del levantamiento con GPS e intervisibles con un delta de la poligonal principal para el levantamiento con la estación total.

Los objetos cuyas características se acercan más a las descritas anteriormente son las esquinas de las cubiertas de los edificios, terrazas de los edificios a las cuales un ser humano puede acceder sin poner en riesgo su integridad personal y sin ocasionar daños en la planta física del inmueble objeto del levantamiento en el campus, ahora bien, cada edificio elegido debe ser intervisible con el otro a fin de poder realizar el levantamiento por estación total ó en su defecto mirando la posibilidad de materializar deltas intermedios para cerrar la poligonal principal, también se debe tener en cuenta que se deben incluir los edificios sobre los cuales están materializados los puntos levantados en el marco del "Proyecto Red

Geodésica Universidad Industrial de Santander” debido a que estos están certificados por el IGAC, por ende permitirá el amarre del levantamiento a la red geodésica nacional.

El uso de los edificios imprime una dificultad en la obtención de la muestra pues es imposible que está se encuentre uniformemente distribuida en el área de estudio que es el campus, lo cual sugiere tratar de escoger los edificios que estén distribuidos de la forma más conveniente posible, obteniendo de esta manera una muestra de forma irregular pero sin sacrificar la aleatoriedad del muestreo.

#### **2.4. RED GEODÉSICA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

El campus central de la Universidad Industrial de Santander cuenta con su propia red geodésica, la cual puede ser utilizada para Georreferenciación (en este caso) y para control topográfico de toda la infraestructura de la universidad, además de ser apoyo para los diferentes proyectos de ingeniería que se lleven a cabo.

En esta red geodésica se materializaron 6 vértices distribuidos de la siguiente manera:

- 2 vértices de primer orden
- 4 vértices de segundo orden

Todos los vértices de la red fueron determinados y ligados a la red MAGNA-SIRGAS, siguiendo los exigencias establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (tiempo de lectura de datos, materialización, etc.), lo que nos garantiza que la investigación tiene un parámetro de comparación con 100% de seguridad en el origen de estos puntos.

Además de lo anteriormente mencionado, los vértices de primer orden cuentan

con nivelación y contra nivelación a partir de las líneas de nivelación Geodésica de Primer Orden del IGAC, asegurando que estos valores tiene altura ortométrica.

En la siguiente tabla se muestran los datos de los vértices

**Tabla 5.** Coordenadas Red Geodésica Universidad Industrial Santander

| PUNTO     | COORDENADAS   |               |          | UBICACIÓN   | RED        |
|-----------|---------------|---------------|----------|---|------------|
|           | NORTE         | ESTE          | ALTURA   |   |            |
| GPS-UIS-1 | 1.281.577,229 | 1.105.938,129 | 990,21   | Extremo Norte Cancha 1º de Marzo                      | Primaria   |
| GPS-UIS-2 | 1.281.439,213 | 1.105.895,552 | 991,20   | Extremo Sur Cancha 1º de Marzo                        | Primaria   |
| GPS-UIS-3 | 1.281.387,942 | 1.105.799,135 | 1.018,21 | Terraza del Auditorio Luis A. Calvo                   | Secundaria |
| GPS-UIS-4 | 1.281.393,509 | 1.105.547,197 | 1.003,77 | Terraza del edificio de livianos                      | Secundaria |
| GPS-UIS-5 | 1.281.322,773 | 1.105.638,490 | 1.016,99 | Costado N-E de la Terraza del edificio de humanidades | Secundaria |
| GPS-UIS-6 | 1.281.645,887 | 1.105.632,629 | 997,77   | Terraza edificio de Eléctrica                         | Secundaria |

Fuente: Proyecto Red Geodésica Universidad Industrial de Santander

## 2.5. LEVANTAMIENTO POR GPS

Los tipos de levantamientos con GPS ejecutado en esta investigación para obtener la precisión necesaria fue ESTÁTICO en los puntos primarios y STOP AND GO (cinemático) en los puntos secundarios.

Después de realizar el análisis estadístico se determinó que el número necesario de puntos para que la muestra fuera representativa para escoger el mejor método de precisión y con la cual se pudiera georreferenciar una imagen satelital es de 30 puntos o más.

Inicialmente se contaba con 6 puntos para realizar esta comparación los cuales eran insuficientes, además no eran puntos los cuales fueran fáciles de ubicar en una imagen satelital, por esta razón se tomó la decisión de ubicar las esquinas de los edificios ya que son puntos fáciles de referenciar.

Debido a su localización y complejidad para armar los equipos, el levantamiento se dividió en dos secciones:

**Levantamiento estático** para los puntos primarios (deltas), los cuales se localizaban en los puntos de la red geodésica de la universidad y en puntos internos de terraza de edificios (laboratorio de posgrados , biblioteca y diseño industrial). Estos puntos son intervisibles.

**Levantamiento stop and go** para los puntos secundarios, es decir las esquinas de los edificios para georreferenciar la imagen satelital.

A continuación se describe el procedimiento realizado en cada uno de los tipos de levantamiento.

### **2.5.1. Levantamiento Estático**

- **Trabajo en campo**

Como medida inicial se debía planificar el orden a seguir en la ubicación de cada punto con el fin que el trabajo se realizara con el mejor rendimiento posible.

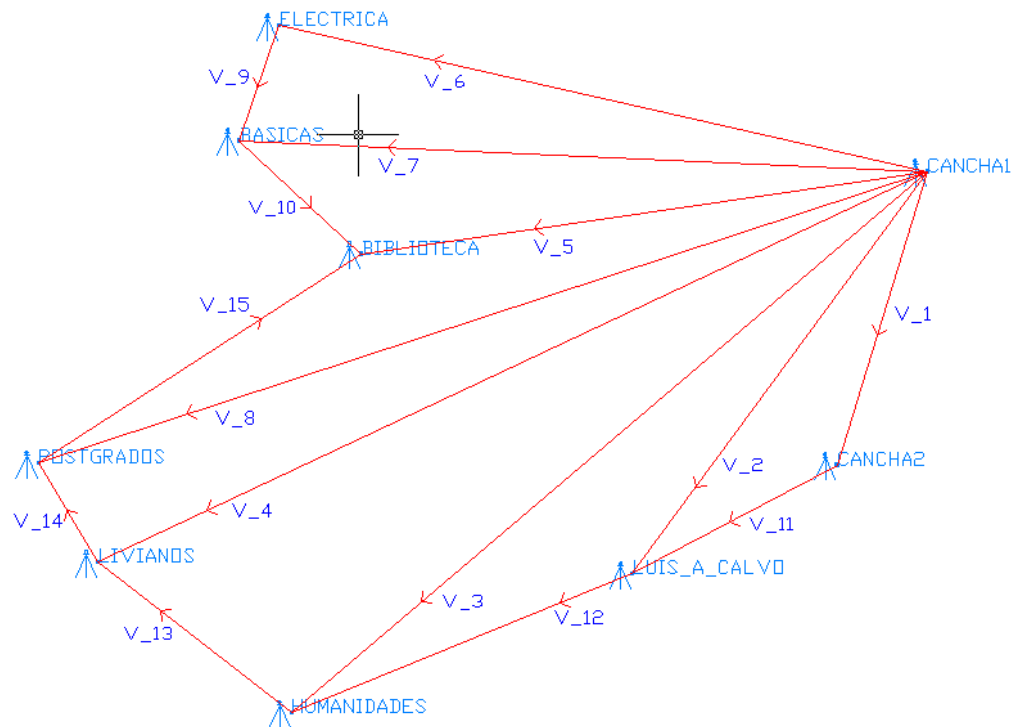
Para obtener los mejores resultados posibles se debía realizar un levantamiento GPS por el **Método Estático Diferencial** y realizar triangulaciones para el cálculo de cada punto a partir de una coordenada conocida. En este caso el punto GPS-UIS-1 el cual ya ha sido ajustado y garantiza precisiones de primer orden

geodésico.

A continuación se muestra la imagen del orden de la toma de datos en cada punto, cabe resaltar que se contaba con dos receptores GPS.

Debido a que solo se contaba con 2 receptores la figura geométrica mas regular que se podía formar era el triángulo, por esta razón el levantamiento estático fue tedioso y lento aún mas debido a los tiempos de toma de datos en cada punto y la dificultad que se presentaba para tener acceso a cada una de las terrazas de los edificios.

**Figura 37.** Ubicación en Campo de los Vértices Principales



Fuente: Los Autores

El siguiente procedimiento es el realizado en la toma de datos en cada uno de los puntos.

- Armar y nivelar el trípode donde se ajustará la antena del receptor de GPS. Este paso es muy importante, ya que la antena debe quedar totalmente nivelada horizontalmente y verticalmente del punto donde se van a tomar los datos. Se debe verificar que el sitio donde se va a instalar el GPS para la toma de datos esté lo más despejado posible, en lo posible un ángulo de elevación superior a  $10^{\circ}$ , a condiciones óptimas de horizonte de  $360^{\circ}$ , libre de obstrucciones permanentes y en lo posible lejos de construcciones y cuerpos de agua que puedan producir multitrayectoria.

- 

**Figura 38.** Nivelación Trípode



Fuente: Tomada por los autores

**Figura 39.** Extensión para antena



Fuente: Tomada por los autores

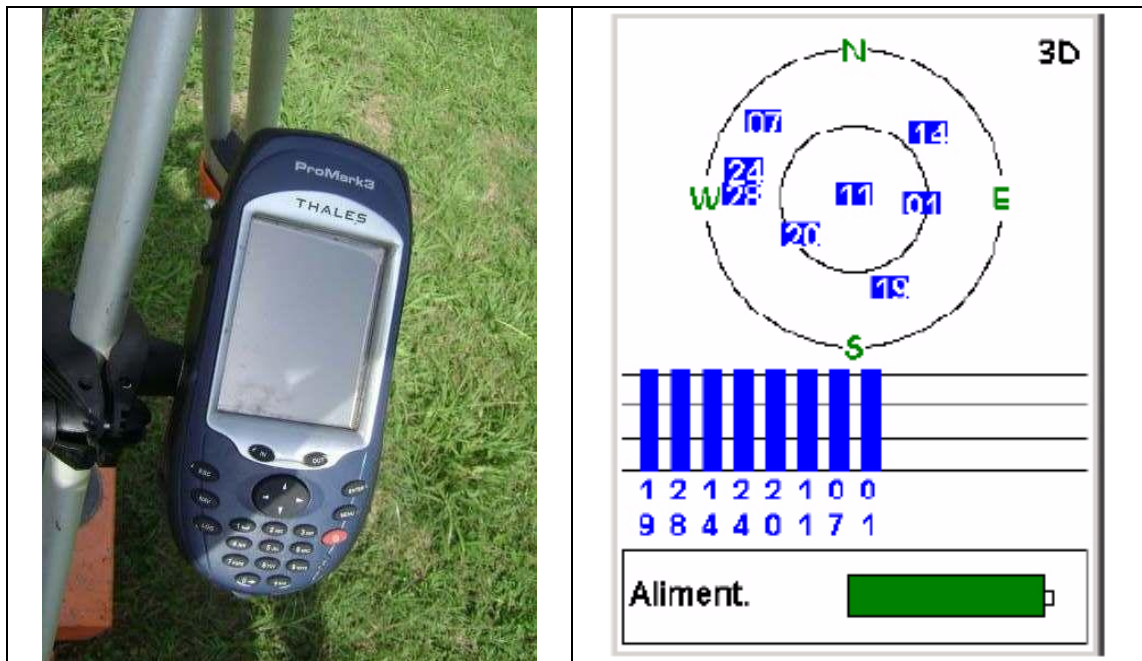
**Figura 40.** Instalación de la Antena



Fuente: Tomada por los autores

- Ahora se debe conectar el receptor GPS con la antena, encender este y dejar que realice lecturas aproximadamente por 5 minutos (en la instalación inicial luego esto no es necesario).

**Figura 41.** Receptor y lectura de satélites



Fuente: Tomada por los autores

- En el menú principal de el GPS se selecciona el ícono “Surveying” donde aparece las siguientes opciones:
  - ID Sitio: Se escribe el nombre del punto al cual se le van a realizar la toma de datos
  - Modo de medición: En este caso Estático
  - Descripción del sitio
  - Altura Antena: Se mide y se escribe el valor (Desde el borde externo de la antena).
  - Unidades: En este caso metros
  - Tipo de altura: Puede ser inclinada o vertical, dependiendo de cómo se midió.
  - Intervalo de Datos Brutos: Es el tiempo en el cual el receptor va tomando datos de los satélites, este intervalo debe ser el mismo en los dos receptores para que exista sincronización en los relojes internos de estos.
  - Al terminar de llenar estos datos se pulsa la tecla LOG.

- Se puede escoger si el punto en que se están tomando lectura de datos sea Punto de Control o no.

**Figura 42.** Menú del levantamiento Estático

| Opciones de levantamiento                            |                |
|--|----------------|
| ID Sitio   | Modo Medición  |
| 0125   | Estática       |
| Descripción Sitio                                    |                |
| ST500  |                |
| Altura Antena  | Unidades       |
| 1.730  | Metros         |
| Tipo Altura  | Interv de Grab |
| Vertical   | 1 seg          |
| <input checked="" type="checkbox"/> Punto de control |                |
| Log  |                |

Fuente: Manual del Receptor GPS

- Después de completar la información requerida para iniciar la toma de datos del punto en cuestión, en el receptor se muestra la siguiente pantalla, la cual se va a mantener durante todo el tiempo en se almacenen datos.

**Figura 43.** Menú No2 del Levantamiento Estático

| Levantamiento estático |                 |
|------------------------|-----------------|
| ID Sitio               | Nombre de archi |
| 0125                   | R4469D05.294    |
| Rango obs.             | Transcur.       |
| 0.0 M                  | 00:00:15        |
| # Sats                 | PDOP            |
| 8                      | 2.2             |
| Aliment.               | Memoria libre   |
|                        | Tarjeta SD      |
| Listo                  |                 |

Fuente: Manual del Receptor GPS

En la pantalla se observa una casilla con el nombre **Rango de Observación** a medida que transcurre el tiempo de toma de datos esta distancia va aumentando, se puede decir que se tienen el número de datos suficiente cuando esta distancia es más o menos la distancia real entre los dos puntos donde se han instalado los receptores. El IGAC establece que se deben realizar toma de datos por 15 minutos más 5 minutos por kilometro.


Después de realizar la toma de datos en cada uno de los puntos se procede al postprocesado de esta información en el software GNSS Solutions.

- **Trabajo en oficina**

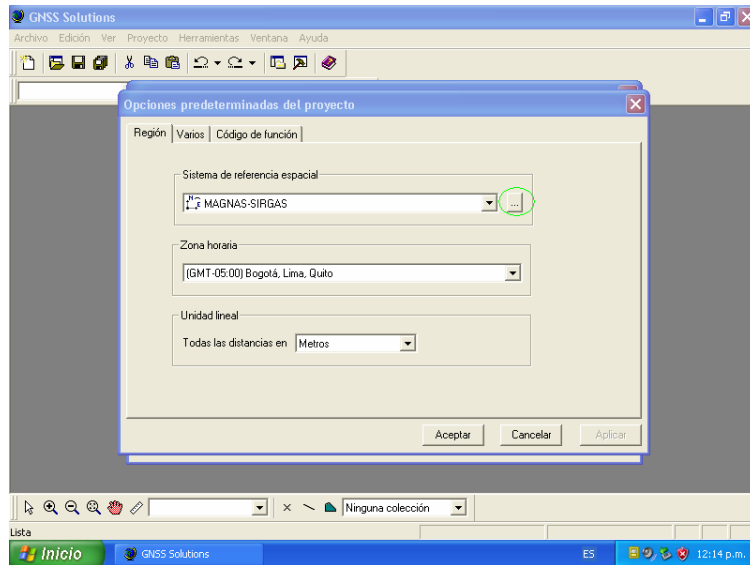
Los datos brutos recogidos por un receptor deben ser procesados para determinar la relación diferencial existente entre los puntos ocupados durante la recogida de datos. El resultado del procesado de datos brutos GPS es un vector que define esta relación. El cálculo de estos vectores constituye la tarea del postproceso. A continuación se describe el proceso desarrollado para la obtención final de las coordenadas en cada punto.

- Se descargan los archivos creado por el receptor GPS al computador para procesar los datos en el software.
- Se procede a importar los datos de su lugar de almacenamiento en el computador (carpeta “Mis Proyectos”, creada por el software por defecto). Antes de realizar este paso se debe definir el Marco de Referencia.

En este menú se define la zona horaria, la unidad lineal y se define el nombre, en este caso se designó MAGNA-SIRGAS, debido a que es la Red Geodésica Nacional.

Para definir los parámetros del Marco de Referencia, se debe pulsar el botón que tiene el siguiente símbolo 

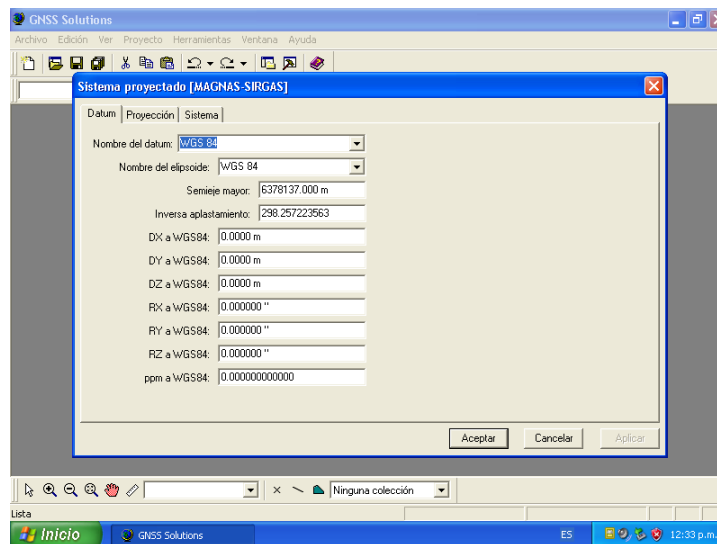
**Figura 44.** Menú 1 Postprocesado de Datos



Fuente: Software GNSS Solutions

- En el siguiente menú se define el elipsoide de referencia con cada uno de sus parámetros. El elipsoide de referencia para MAGNA-SIRGAS es el WGS84

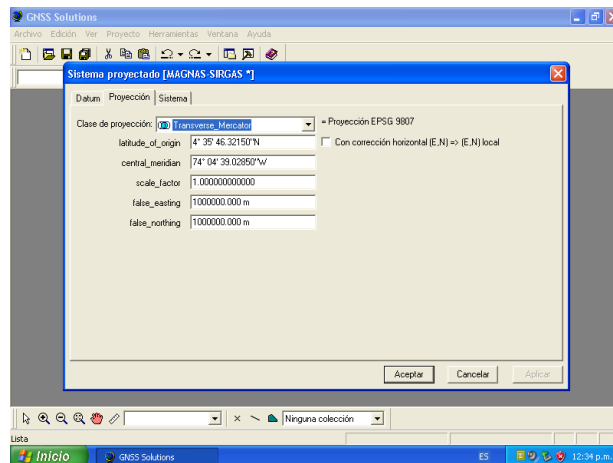
**Figura 45.** Menú 2 Postprocesado de Datos



Fuente: Software GNSS Solutions

- En el siguiente menú se define el tipo de proyección. El IGAC estableció como sistema de proyección nacional TRANSVERSE MERCATOR. En este tipo de proyección cilíndrica toca definir un punto de origen, el cuál se encuentra en el Observatorio Astronómico de Bogotá con sus respectivas coordenadas, también se debe definir un Norte y un Este falso (como origen para la proyección)..

**Figura 46.** Menú 3 Postprocesado de Datos

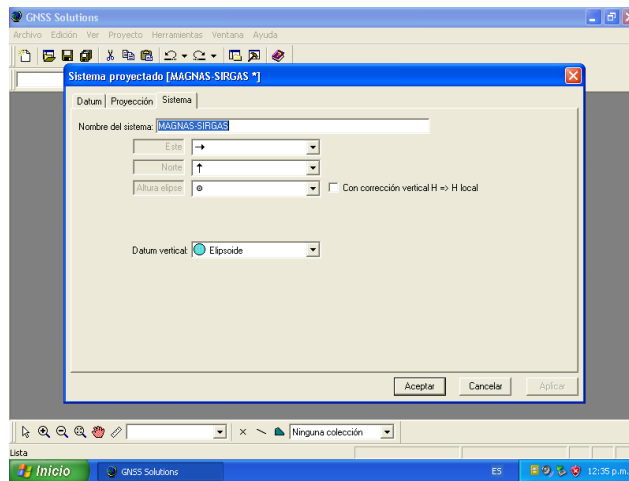


Fuente: Software GNSS Solutions

En el último menú, se define el parámetro vertical. Debido a que los sistemas GPS no manejan alturas ortométrica, es decir alturas con respecto al Geoide, se escoge como Datum Vertical cualquier elipsoide.

Al momento de calcular las alturas, se debe hacer por medio de nivelación y contra nivelación, referenciados desde cualquier punto vertical certificado por el IGAC.

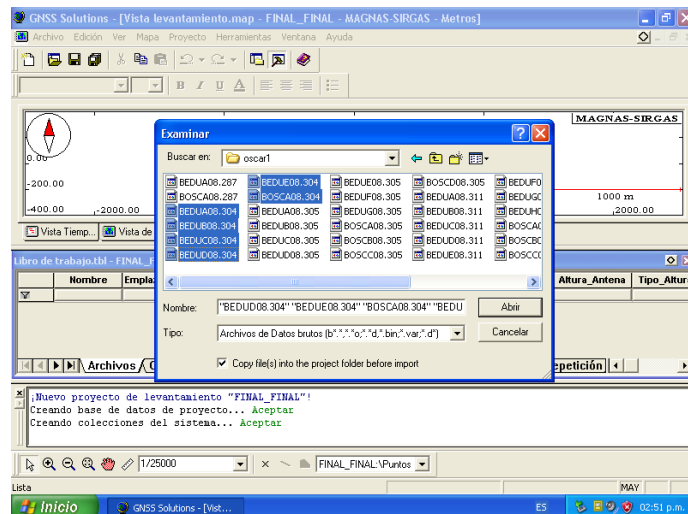
**Figura 47.** Menú 4 Postprocesado de Datos



Fuente: Software GNSS Solutions

- Se importan los datos de la carpeta de almacenamiento del computador al software GNSS Solutions. En este paso se deben importar todos los datos que tomaron en el trabajo de campo.

**Figura 48.** Menú 5 Postprocesado de Datos

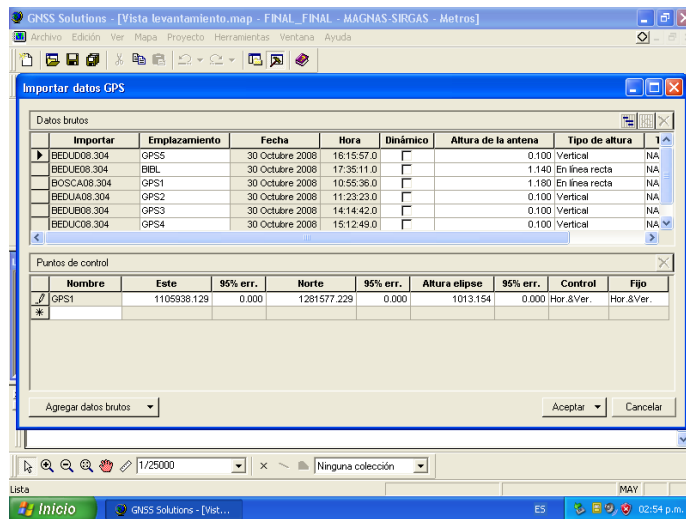


Fuente: Software GNSS Solutions

- Después de importar los datos al software este pide por lo menos un punto de control, el cual fue GPS-UIS-1, a partir de este se generan los vectores que darán como resultado las coordenadas del punto en análisis.

Al establecer el punto de control se puede introducir las coordenadas de este si se conocen. En nuestro caso esto era lo ideal, aprovechar al máximo la información real que se tenía de la red geodésica interna de la universidad.

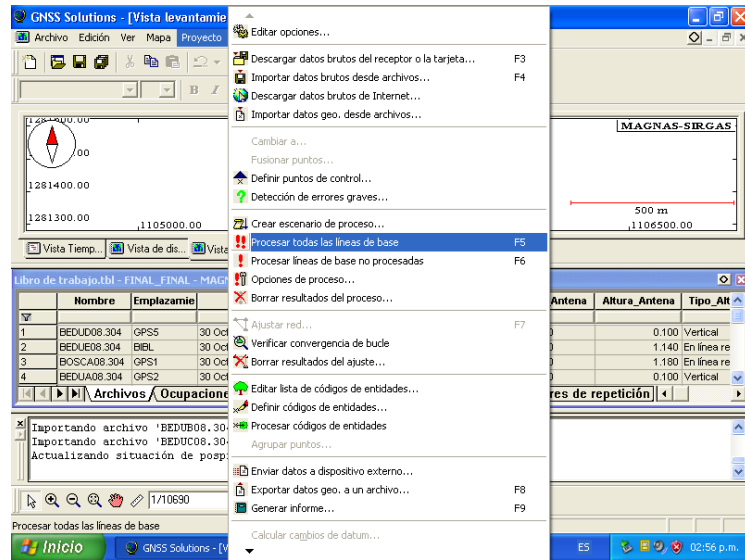
**Figura 49.** Menú 6 Postprocesado de Datos



Fuente: Software GNSS Solutions

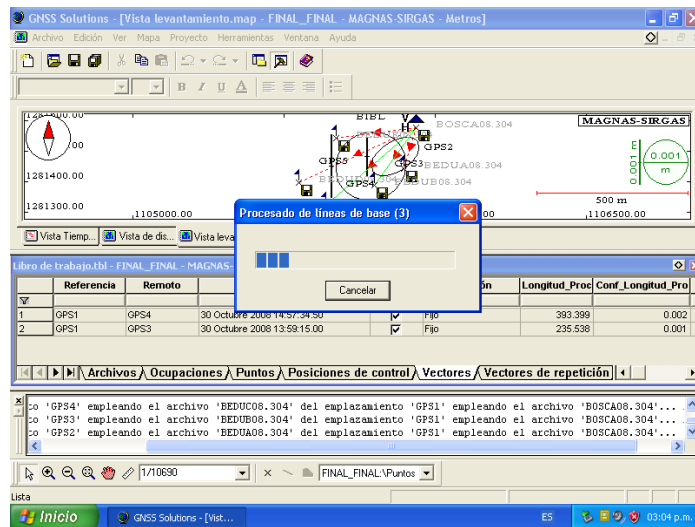
- Ya realizado todo lo anterior se procesan todas las líneas de base. A partir de esta acción se generan las coordenadas de los puntos. Cuando se realiza un levantamiento estático por triangulación.

**Figura 50.** Menú 7 Postprocesado de Datos



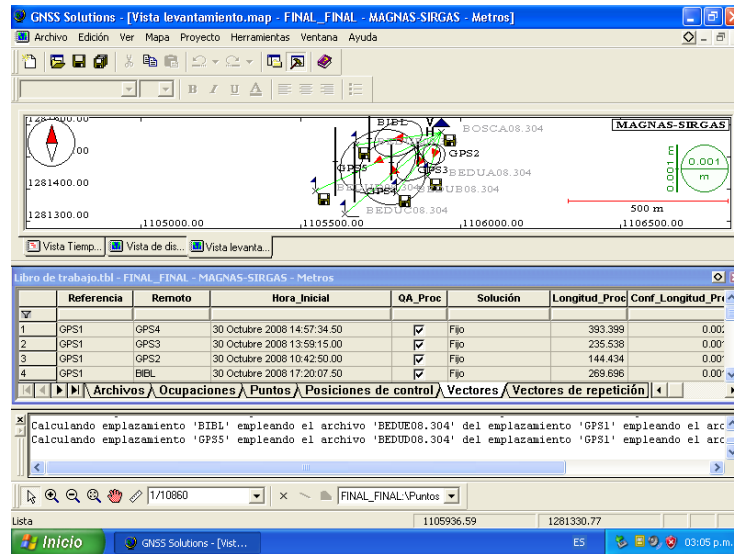
Fuente: Software GNSS Solutions

**Figura 51.** Menú 8 Postprocesado de Datos



Fuente: Software GNSS Solutions

Figura 52. Menú 9 Postprocesado de Datos



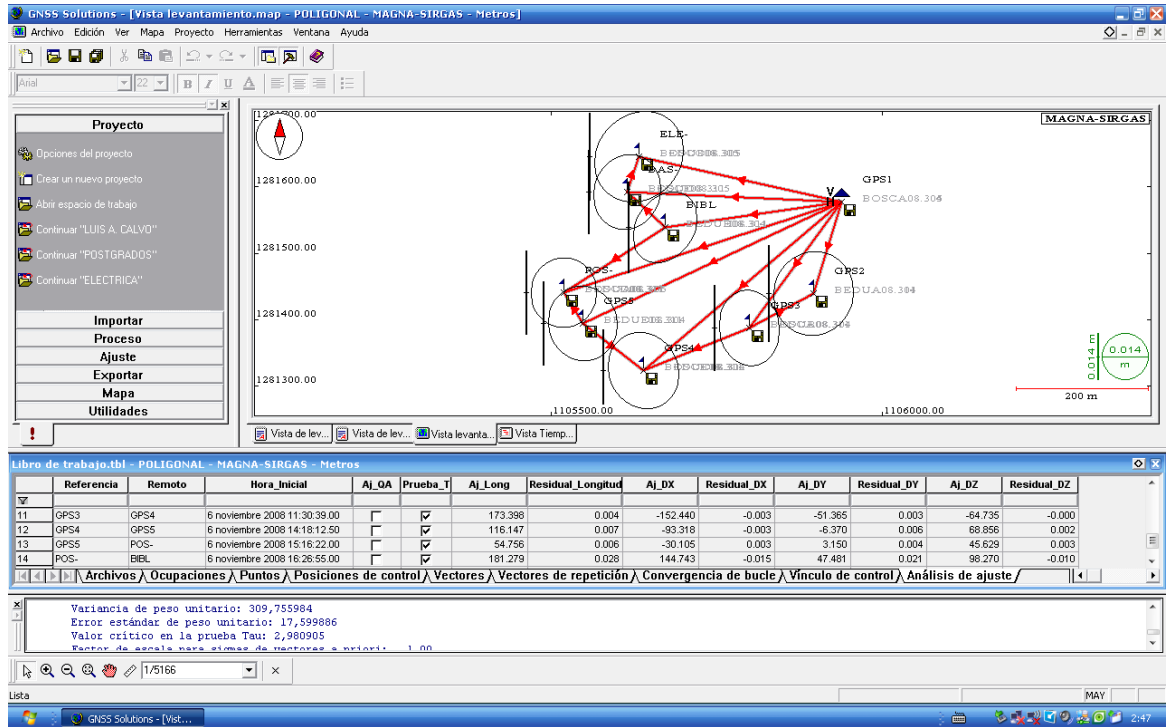
Fuente: Software GNSS Solutions

○ Para finalizar el postprocesado de los datos se realiza el ajuste de la red, en la cual el software obtiene los residuales, realiza las pruebas estadísticas respectivas para determinar las incertidumbre en la toma de datos (Prueba chi cuadrado) y la calidad de los vectores (Prueba Tau). Después de realizar lo anterior, calcula los valores finales de las coordenadas.

Estos valores obtenidos de los vértices primarios, van a ser las coordenadas de los puntos “base” en los levantamientos cinemáticos (Stop and Go)

A continuación se muestra el “ajuste de red” y la “convergencia del bucle” que realiza el software GNSS Solutions a la poligonal levantada para ajustar los valores obtenidos y verificar que la poligonal levantada no contenga errores graves.

**Figura 53. Ajuste de Red**



Fuente: Software GNSS Solutions

**Tabla 6. Coordenadas de los Vértices Primarios**

| PUNTO        | COORDENADAS GPS |               |           | UBICACIÓN   | RED        |
|--------------|-----------------|---------------|-----------|---|------------|
|              | NORTE           | ESTE          | ALTURA    |   |            |
| CANCHA1      | 1,281,577.229   | 1,105,938.129 | 1,013.158 | Extremo Norte Cancha 1º de Marzo                      | Primaria   |
| CANCHA2      | 1,281,439.212   | 1,105,895.552 | 1,013.243 | Extremo Sur Cancha 1º de Marzo                        | Primaria   |
| LUIS A CALVO | 1,281,387.938   | 1,105,799.144 | 1,031.259 | Terraza del Auditorio Luis A. Calvo                   | Secundaria |
| LIVIANOS     | 1,281,393.507   | 1,105,547.204 | 1,015.787 | Terraza del edificio de livianos                      | Secundaria |
| HUMANIDADES  | 1.281.322,766   | 1.105.638,496 | 1.028,065 | Costado N-E de la Terraza del edificio de humanidades | Secundaria |
| POSTGRADO    | 1,281,440.184   | 1,105,519.214 | 1,009.795 | Terraza del edificio de Postgrados                    | Secundaria |
| BIBLIOTECA   | 1,281,538.430   | 1,105,671.301 | 1,018.626 | Terraza de la Biblioteca                              | Secundaria |
| BASICAS      | 1,281,591.693   | 1,105,613.880 | 1,008.880 | Terraza del edificio de Diseño Industrial             | Secundaria |

|           |               |               |           |                               |            |
|-----------|---------------|---------------|-----------|-------------------------------|------------|
| ELECTRICA | 1,281,645.875 | 1,105,632.626 | 1,007.890 | Terraza edificio de Eléctrica | Secundaria |
|-----------|---------------|---------------|-----------|-------------------------------|------------|

Fuente: Los autores

## 2.5.2. Levantamiento Cinematico

- **Trabajo en campo**

Después de calculado los vértices primarios de nuestra investigación, se procede al levantamiento cinemático. Se decidió realizar este levantamiento porque es físicamente imposible instalar el GPS en las esquinas de los edificios (debido al trípode) para un levantamiento estático y son éstos puntos los que presenta mas facilidad para georreferenciar en una imagen satelital, debido a que estos puntos se pueden tomar colocando solo un bastón durante aproximadamente 15 a 20 segundos.

A continuación se describe el procedimiento realizado en campo.

- Se instala el receptor GPS que cumplirá la función de base. El procedimiento para la instalación del equipo es el mismo que se describió en el levantamiento estático.

**Figura 54.** Base en el Levantamiento Stop and Go



Fuente: Tomada por los autores

(En este punto no hubo necesidad de instalar el trípode debido a que se pudo instalar la antena solo con el acople).

- El siguiente paso es inicializar el Levantamiento Cinemático a continuación se muestra la pantalla que en el receptor de GPS (recordemos que se debe dejar aproximadamente 5 minutos mientras el receptor actualiza datos).

**Figura 55.** Menú 1 del Levantamiento Stop and Go

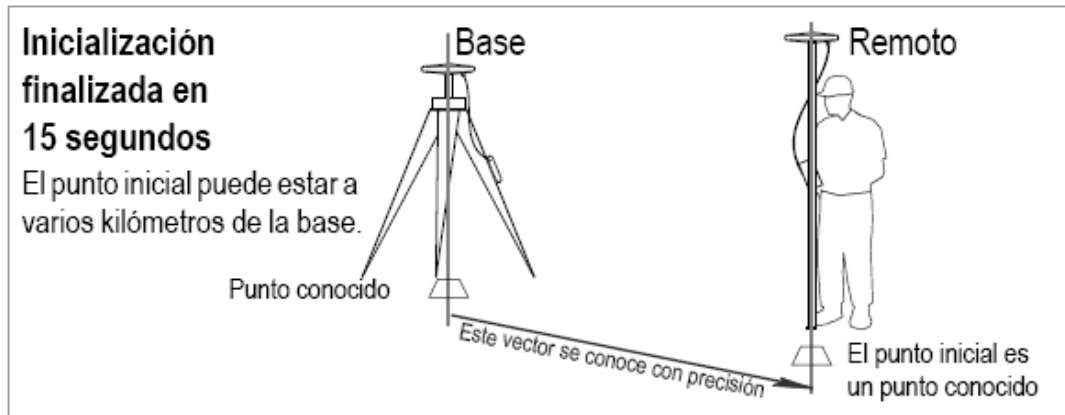
A screenshot of a software menu titled "Opciones de levantamiento". The menu contains several fields and dropdown menus for configuring surveying options. The fields are: ID Sitio (0023), Modo Medición (Stop-and-go), Descripción Sitio (ST500), Altura Antena (1.730), Unidades (Metros), Tipo Altura (Vertical), Interv de Grab (1 seg), and Inicializar (Barra). The Tpo en Sitio (seg) field is set to 300. A "Log" button is located at the bottom of the menu.

| Opciones de levantamiento |                    |
|---------------------------|--------------------|
| ID Sitio                  | Modo Medición      |
| 0023                      | Stop-and-go        |
| Descripción Sitio         |                    |
| ST500                     |                    |
| Altura Antena             | Unidades           |
| 1.730                     | Metros             |
| Tipo Altura               | Interv de Grab     |
| Vertical                  | 1 seg              |
| Inicializar               | Tpo en Sitio (seg) |
| Barra                     | 300                |

Fuente: Manual del Receptor GPS

- ID Sitio: Se escribe el nombre del punto al cual se le van a realizar la toma de datos
- Modo de medición: Stop and Go
- Descripción del sitio
- Altura Antena: Se mide y se escribe el valor.
- Unidades: En este caso metros
- Tipo de altura: Puede ser inclinada o vertical, dependiendo de cómo se midió.
- Intervalo de Datos Brutos: Es el tiempo en el cual el receptor va tomando datos de los satélites, este intervalo debe ser el mismo en los dos receptores para que exista sincronización en los relojes internos de estos.
- Inicializar: La fase de inicialización es muy importante para garantizar que los levantamientos cinemáticos den un precisión centimétrica. Los modos de inicialización pueden ser:
  - ✓ **Punto Conocido:** Esta inicialización se realiza cuando se tiene el ID del emplazamiento del punto (levantado de un trabajo anterior o cuando se tienen las coordenadas del punto en cuestión). Con este método se puede empezar el levantamiento a distancia bastante alejada de la base. El tiempo de toma de datos es de 15 segundos.

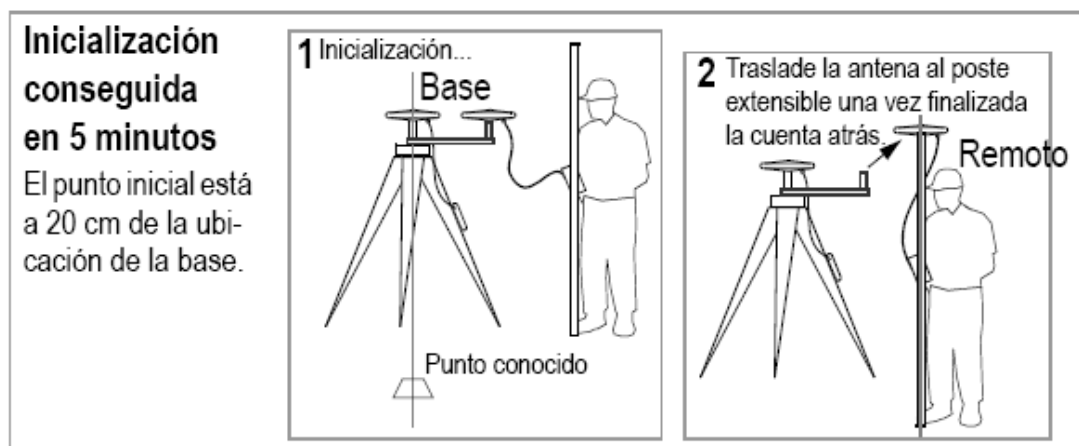
**Figura 56.** Inicialización con Punto Conocido



Fuente: Guía Básica de utilización de Promark3

- ✓ **Barra:** En la inicialización en barra el levantamiento empezará necesariamente en la base y los puntos que se vayan a levantar no deben estar demasiado lejos de la base. Con este método se inicia el levantamiento sin conocer las coordenadas del punto inicial, pero se generará el primer punto con una distancia conocida desde la base (20 cm). Este es el método recomendado por el fabricante del receptor. El tiempo de toma de datos es 5 minutos.

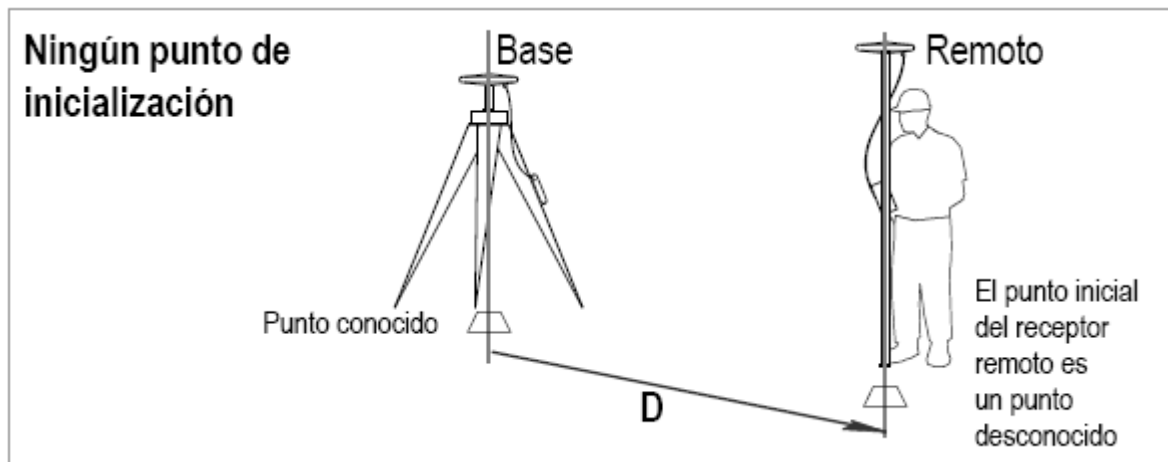
**Figura 57.** Inicialización en Barra



Fuente: Guía Básica de utilización de Promark3

- ✓ **Inicialización sobre la marcha:** Con este método el punto inicial del levantamiento puede ser cualquier punto, pero se debe tener una idea aproximada de la distancia desde su lugar de trabajo a la base, para poder calcular el tiempo que se debe dedicar a la recogida de datos (entre 15 y 30 minutos).

**Figura 58.** Inicialización sobre la marcha



Fuente: Guía Básica de utilización de Promark3

De acuerdo a lo anterior, el mejor método para inicializar el levantamiento cinemático Stop and Go es el de Barra, ya que se tomaron datos de puntos cercanos a la base.

- Ahora se procede a la toma de datos en las esquinas de los edificios que serán los puntos para georreferenciar la imagen. El tiempo en sitio en cada punto es de 15 segundos, lo que demuestra el rendimiento con que se puede realizar un levantamiento cinemático con GPS.

**Figura 59.** Toma de puntos por el método Stop and Go



Fuente: Tomada por los autores

En el momento en que se esta realizando el levantamiento es posible que se caiga la señal de los satelites en un momento dado, si esto sucede se debe volver a inicializar el levantamiento.

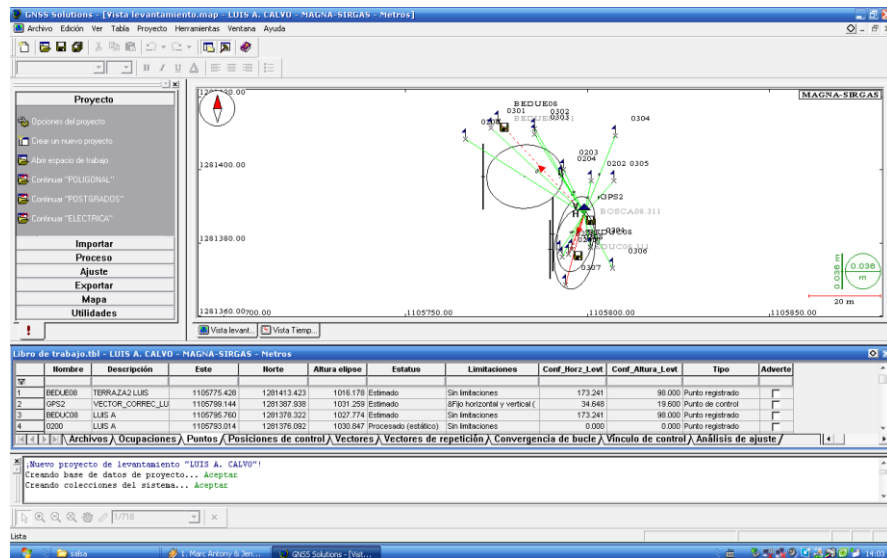
- **Trabajo en oficina**

A continuación se describe el proceso desarrollado para la obtención final de las coordenadas en cada punto.

- Se descargan los archivos creado por el receptor GPS al computador para procesar los datos en el software.
- Se procede a importar los datos de su lugar de almacenamiento en el computador (carpeta “Mis Proyectos”, creada por el software por defecto). Antes de realizar este paso se debe definir el Marco de Referencia.

- Se importan los datos al software GNSS Solutions. Al realizar este paso el software solicita determinar el punto de control, el cual es la base (se debe introducir las coordenadas de este punto que ya fueron calculadas anteriormente, para que los puntos que se “radiaron” en el levantamiento cinemático queden bien referenciados en el proyecto.
- Como paso final del postprocesado de datos, en el menú Proyecto se da “click” en la opción Procesar todas las líneas de base” y el software empieza a hacer los cálculos correspondientes. Como resultado se obtienen las coordenadas de todos los puntos. El software muestra cual fue el error máximo en el cálculo de los vectores.

**Figura 60.** Levantamiento Stop and Go (Luis A. Calvo)



Fuente: Software GNSS Solutions

**Tabla 7.** Coordenadas y cotas obtenidas mediante el levantamiento por GPS

| UNIDAD | metros  | TEÓRICO       |               |           | VECTOR       |          |
|--------|---------|---------------|---------------|-----------|--------------|----------|
|        |         | GPS           |               |           | NOMBRE       | MAGNITUD |
| NUMERO | PUNTO   | N             | E             | Z         |              |          |
| 1      | GPS1    | 1,281,577.229 | 1,105,938.129 | 1,013.158 |              |          |
| 2      | GPS2    | 1,281,439.212 | 1,105,895.552 | 1,013.243 | GPS1_GPS2    | 144.435  |
| 3      | GPS3    | 1,281,387.938 | 1,105,799.144 | 1,031.259 | GPS1_GPS3    | 234.836  |
| 4      | GPS3.1  | 1,281,376.092 | 1,105,793.014 | 1,030.847 | GPS3_GPS3.1  | 13.338   |
| 5      | GPS3.2  | 1,281,378.760 | 1,105,800.794 | 1,030.857 | GPS3_GPS3.2  | 9.325    |
| 6      | GPS3.3  | 1,281,397.127 | 1,105,801.108 | 1,030.848 | GPS3_GPS3.3  | 9.397    |
| 7      | GPS3.4  | 1,281,400.175 | 1,105,793.378 | 1,030.847 | GPS3_GPS3.4  | 13.527   |
| 8      | GPS3.5  | 1,281,398.304 | 1,105,792.819 | 1,030.848 | GPS3_GPS3.5  | 12.143   |
| 9      | GPS3.6  | 1,281,408.372 | 1,105,766.536 | 1,029.030 | GPS3_GPS3.6  | 38.482   |
| 10     | GPS3.7  | 1,281,411.238 | 1,105,785.486 | 1,018.717 | GPS3_GPS3.7  | 27.008   |
| 11     | GPS3.8  | 1,281,409.745 | 1,105,785.444 | 1,018.717 | GPS3_GPS3.8  | 25.753   |
| 12     | GPS3.9  | 1,281,409.410 | 1,105,807.623 | 1,019.417 | GPS3_GPS3.9  | 23.085   |
| 13     | GPS3.10 | 1,281,373.138 | 1,105,807.005 | 1,018.689 | GPS3_GPS3.10 | 16.758   |
| 14     | GPS3.11 | 1,281,368.500 | 1,105,794.047 | 1,018.680 | GPS3_GPS3.11 | 20.095   |
| 15     | GPS3.12 | 1,281,376.865 | 1,105,794.740 | 1,018.329 | GPS3_GPS3.12 | 11.917   |
| 16     | GPS5    | 1,281,393.507 | 1,105,547.204 | 1,015.787 | GPS1_GPS5    | 431.945  |
| 17     | GPS6    | 1,281,440.184 | 1,105,519.214 | 1,009.795 | GPS1_GPS6    | 440.762  |
| 18     | GPS6.1  | 1,281,446.044 | 1,105,536.217 | 1,007.854 | GPS6_GPS6.1  | 17.984   |
| 19     | GPS6.2  | 1,281,446.445 | 1,105,506.730 | 1,007.480 | GPS6_GPS6.2  | 13.966   |
| 20     | GPS6.3  | 1,281,418.733 | 1,105,506.255 | 1,008.812 | GPS6_GPS6.3  | 25.062   |
| 21     | GPS7    | 1,281,538.430 | 1,105,671.301 | 1,018.626 | GPS1_GPS7    | 269.634  |
| 22     | GPS7.1  | 1,281,511.112 | 1,105,649.092 | 1,015.012 | GPS7_GPS7.1  | 35.207   |
| 23     | GPS7.2  | 1,281,545.067 | 1,105,649.634 | 1,015.004 | GPS7_GPS7.2  | 22.661   |
| 24     | GPS7.3  | 1,281,544.364 | 1,105,692.165 | 1,015.006 | GPS7_GPS7.3  | 21.691   |
| 25     | GPS7.4  | 1,281,510.614 | 1,105,691.802 | 1,015.692 | GPS7_GPS7.4  | 34.555   |
| 26     | GPS8    | 1,281,591.693 | 1,105,613.880 | 1,008.880 | GPS1_GPS8    | 324.571  |
| 27     | GPS8.1  | 1,281,600.568 | 1,105,639.187 | 1,009.189 | GPS8_GPS8.1  | 26.818   |
| 28     | GPS8.2  | 1,281,601.153 | 1,105,602.495 | 1,009.141 | GPS8_GPS8.2  | 14.802   |
| 29     | GPS8.3  | 1,281,590.767 | 1,105,602.278 | 1,009.100 | GPS8_GPS8.3  | 11.639   |
| 30     | GPS8.4  | 1,281,590.695 | 1,105,606.149 | 1,009.111 | GPS8_GPS8.4  | 7.795    |
| 31     | GPS8.5  | 1,281,579.459 | 1,105,606.024 | 1,009.105 | GPS8_GPS8.5  | 14.539   |
| 32     | GPS8.6  | 1,281,579.529 | 1,105,602.154 | 1,009.067 | GPS8_GPS8.6  | 16.896   |
| 33     | GPS8.7  | 1,281,569.128 | 1,105,601.994 | 1,009.125 | GPS8_GPS8.7  | 25.504   |
| 34     | GPS8.8  | 1,281,582.670 | 1,105,620.652 | 1,009.109 | GPS8_GPS8.8  | 11.282   |
| 35     | GPS8.9  | 1,281,587.000 | 1,105,620.708 | 1,009.115 | GPS8_GPS8.9  | 8.285    |

|    |         |               |               |           |              |         |
|----|---------|---------------|---------------|-----------|--------------|---------|
| 36 | GPS8.10 | 1,281,586.790 | 1,105,635.947 | 1,009.130 | GPS8_GPS8.10 | 22.605  |
| 37 | GPS8.11 | 1,281,582.468 | 1,105,635.923 | 1,009.132 | GPS8_GPS8.11 | 23.895  |
| 38 | GPS8.12 | 1,281,578.214 | 1,105,638.866 | 1,009.166 | GPS8_GPS8.12 | 28.390  |
| 39 | GPS8.13 | 1,281,578.112 | 1,105,642.548 | 1,009.125 | GPS8_GPS8.13 | 31.722  |
| 40 | GPS8.14 | 1,281,590.280 | 1,105,642.701 | 1,009.154 | GPS8_GPS8.14 | 28.856  |
| 41 | GPS8.15 | 1,281,568.652 | 1,105,638.701 | 1,009.114 | GPS8_GPS8.15 | 33.867  |
| 42 | GPS9    | 1,281,645.875 | 1,105,632.626 | 1,007.890 | GPS1_GPS9    | 313.120 |
| 43 | GPS9.1  | 1,281,641.211 | 1,105,614.405 | 1,006.054 | GPS9_GPS9.1  | 18.808  |
| 44 | GPS9.2  | 1,281,650.291 | 1,105,614.830 | 1,006.009 | GPS9_GPS9.2  | 18.336  |
| 45 | GPS9.3  | 1,281,648.389 | 1,105,664.223 | 1,006.069 | GPS9_GPS9.3  | 31.697  |
| 46 | GPS9.4  | 1,281,640.744 | 1,105,632.926 | 1,007.794 | GPS9_GPS9.4  | 5.140   |
| 47 | GPS9.5  | 1,281,640.923 | 1,105,627.639 | 1,007.775 | GPS9_GPS9.5  | 7.028   |
| 48 | GPS9.6  | 1,281,647.686 | 1,105,627.973 | 1,006.348 | GPS9_GPS9.6  | 4.993   |
| 49 | GPS9.7  | 1,281,647.499 | 1,105,633.237 | 1,007.776 | GPS9_GPS9.7  | 1.735   |
| 50 | GPS9.8  | 1,281,639.312 | 1,105,663.763 | 1,006.052 | GPS9_GPS9.8  | 31.821  |

Fuente: Los Autores

## 2.6. LEVANTAMIENTO CON ESTACIÓN TOTAL

Al igual que en el levantamiento por GPS, en el levantamiento con Estación Total, (método convencional en esta investigación) se realizan dos tipos de levantamientos:

**Los vértices primarios** (lo mismos puntos que en el levantamiento estático de GPS) son levantados por el método de Poligonal Cerrada.

**Los puntos secundarios**, es decir los puntos de las esquinas de los edificios (los mismos puntos que en el levantamiento cinemático de GPS) son levantados por el método de radiación, a partir de un vértice primario.

### 2.6.1. Método de Poligonal Cerrada

A continuación se describe el procedimiento seguido en el levantamiento de la poligonal de la red geodésica de la Universidad Industrial de Santander.

- Se instala la Estación Total en el punto de inicio del levantamiento (se instaló en el punto GPS-UIS-2, para realizar lectura atrás, es decir determinar  $0^{\circ}$  en el punto GPS-UIS-1).
- Después de nivelar (horizontal y verticalmente) el equipo y de cerciorarse que se encuentra en el punto exacto, se enciende la Estación Total Topcon GTS-210. Se siguen los siguientes pasos en la Estación.
  - Ingresar Datos del Punto.
    - Presiona el botón Menú
    - Después se presiona el botón F1, escogiendo “Colección de Datos” que va a ser el tipo de memoria interna con la cual se va a trabajar la Estación.
    - Se vuelve a presionar el botón F1, escogiendo ahora “Ingresar Datos Punto”. En este menú se despliega Número de Punto, Identidad, Altura Instrumental.
    - Después de llenar cada característica, se presiona el botón F3 en el cual se Registra el punto.
    - Para finalizar se presiona el botón ESC.
  - Definir  $0^{\circ}$  en el ángulo horizontal.
    - Se enfoca el punto de atrás, mirando la cuerda de la plomada para garantizar que no haya errores en la lectura del ángulo.
    - En la pantalla inicial de la Estación (solo moviendo el anteojo aparece este menú), se presiona el botón F1, escogiendo la opción  $0^{\circ}$ .
    - Se registra esta posición como el ángulo  $0^{\circ}$ , a partir de este se empiezan a realizar las lecturas de los ángulos internos de la poligonal.

- Lectura de Distancia.
  - Se presiona la tecla Menú.
  - Después se presiona el botón F1, escogiendo “Colección de Datos”.
  - Ahora se presiona el botón F2, escogiendo Referencia Atrás. En este menú se despliega Referencia Atrás (se debe tener cuidado de colocar el número correcto del punto), Descripción, Altura Prisma.
  - Después de llenar todo el menú, se presiona la tecla F3, escogiendo la opción Medir, luego se debe pulsar la tecla que indica DH (Distancia Horizontal). Este procedimiento se debe realizar mínimo tres veces para obtener un promedio, debido a que en la nivelación se pueden producir pequeños errores en la distancia al no permanecer totalmente estático el prisma.
  
- Almacenamiento de un nuevo vértice.
  - Se presiona la tecla Menú.
  - Después se presiona el botón F1, escogiendo “Colección de Datos”.
  - Se presiona el botón F3, escogiendo Pto Adel/Rad. Se despliega el siguiente menú Punto No, Descripción, Altura Prisma, se llena toda esta información.
  - Ahora se presiona el botón F4, escogiendo “Todo” y se almacena la información del siguiente vértice. Antes de realizar esta acción la Estación debe estar 100% enfocada al punto.

Este mismo procedimiento se debe realizar en cada uno de los vértices de la poligonal. La poligonal se cierra realizando la lectura desde el último punto al punto inicial donde instaló por primera vez la Estación.

Cabe resaltar que con este método se está realizando control de ángulos de la poligonal y lecturas de distancia. A partir de las coordenadas conocidas del punto

inicial de la poligonal se generarán las coordenadas de los siguientes puntos, que son los vértices de la poligonal.

El cálculo del cierre de la poligonal, el ajuste del error y el cálculo de coordenadas de los vértices de la poligonal se realizará con el Software TOPOGRAPH (Además de esta función, el software descarga la información de la Estación al computador, genera curvas de nivel, calcula volúmenes, etc).

Estos fueron los valores obtenidos con el Software después de hacer los respectivos cálculos de la poligonal

**Tabla 8.** Resultados de la poligonal

| <b>ERRORES</b> |                          |
|----------------|--------------------------|
| ANGULAR        | 0° 02' 13"               |
| LINEAL         | 0.1052 m                 |
| EJE NORTE      | 0.1051 m                 |
| EJE ESTE       | 0.0054 m                 |
| AZIMUT         | 2° 55' 33"               |
| RELATIVO       | 1 : 11680                |
| ALTIMETRICO    | 0.064 m                  |
| PERIMETRO      | 1229.169 m               |
| AREA           | 70641.357 m <sup>2</sup> |

Fuente: Software Topograph

### 2.6.2. Método de Radiación

El método de radiación se podría decir que es método que normalmente se realiza dentro de una poligonal cerrada, debido que a partir de los vértices de esta es que se realiza la radiación de los puntos que se necesite obtener su ubicación.

A continuación se describe el procedimiento realizado en campo.

Para radiar un nuevo punto en un levantamiento se debe realizar el mismo procedimiento que al almacenar la información para un nuevo vértice de la poligonal. Se debe tener cuidado con la nomenclatura, ya que es posible que al dar lectura atrás en un vértice se introduzca erróneamente un punto.

El único problema en este tipo de levantamiento es que no existe control alguno, es decir no hay cierre ni ajuste de los puntos. Solo se puede corregir el vértice de donde se generarán las coordenadas de los puntos fueron “radiados”. Por esta razón debe nivelarse lo mejor posible los prismas en el momento en que se están realizando la lectura de datos.

Al igual que en el método de poligonal cerrada, las coordenadas de los puntos radiados se calcularán a través del software TOPOGRAPH.

Estos puntos deberán compararse con los puntos calculados por el método cinemático (Stop and Go) levantado con GPS.

**Tabla 9.** Coordenadas y cotas obtenidas con la estación total

| UNIDAD  | metros | TECNOLOGIA TRADICIONAL |               |           | VECTOR      |           |
|---------|--------|------------------------|---------------|-----------|-------------|-----------|
|         |        | ESTACIÓN TOTAL         |               |           | NOMBRE      | MAGNITU D |
| NUMER O | PUNTO  | N                      | E             | Z         |             |           |
| 1       | GPS1   | 1,281,577.246          | 1,105,938.127 | 997.138   |             |           |
| 2       | GPS2   | 1,281,439.213          | 1,105,895.552 | 997.193   | GPS1_GPS2   | 144.450   |
| 3       | GPS3   | 1,281,387.933          | 1,105,799.128 | 1,015.208 | GPS1_GPS3   | 234.862   |
| 4       | GPS3.1 | 1,281,376.224          | 1,105,792.916 | 1,014.752 | GPS3_GPS3.1 | 13.255    |
| 5       | GPS3.2 | 1,281,378.815          | 1,105,800.653 | 1,014.748 | GPS3_GPS3.2 | 9.245     |
| 6       | GPS3.3 | 1,281,397.224          | 1,105,801.010 | 1,014.735 | GPS3_GPS3.3 | 9.479     |
| 7       | GPS3.4 | 1,281,400.224          | 1,105,793.310 | 1,014.753 | GPS3_GPS3.4 | 13.598    |
| 8       | GPS3.5 | 1,281,397.277          | 1,105,792.348 | 1,014.742 | GPS3_GPS3.5 | 11.544    |
| 9       | GPS3.6 | 1,281,408.374          | 1,105,766.495 | 1,013.059 | GPS3_GPS3.6 | 38.507    |
| 10      | GPS3.7 | 1,281,411.314          | 1,105,785.393 | 1,002.516 | GPS3_GPS3.7 | 27.116    |
| 11      | GPS3.8 | 1,281,409.665          | 1,105,785.271 | 1,002.590 | GPS3_GPS3.8 | 25.774    |
| 12      | GPS3.9 | 1,281,409.021          | 1,105,807.535 | 1,003.312 | GPS3_GPS3.9 | 22.702    |

|    |         |               |               |           |              |         |
|----|---------|---------------|---------------|-----------|--------------|---------|
| 13 | GPS3.10 | 1,281,373.267 | 1,105,806.899 | 1,002.673 | GPS3_GPS3.10 | 16.598  |
| 14 | GPS3.11 | 1,281,368.668 | 1,105,793.978 | 1,002.661 | GPS3_GPS3.11 | 19.942  |
| 15 | GPS3.12 | 1,281,376.681 | 1,105,794.427 | 1,002.613 | GPS3_GPS3.12 | 12.196  |
| 16 | GPS5    | 1,281,393.528 | 1,105,547.180 | 999.805   | GPS1_GPS5    | 431.963 |
| 17 | GPS6    | 1,281,440.197 | 1,105,519.207 | 993.895   | GPS1_GPS6    | 440.769 |
| 18 | GPS6.1  | 1,281,445.935 | 1,105,536.055 | 994.264   | GPS6_GPS6.1  | 17.799  |
| 19 | GPS6.2  | 1,281,446.441 | 1,105,506.712 | 994.236   | GPS6_GPS6.2  | 13.968  |
| 20 | GPS6.3  | 1,281,418.849 | 1,105,506.337 | 994.244   | GPS6_GPS6.3  | 24.927  |
| 21 | GPS7    | 1,281,538.450 | 1,105,671.301 | 1,002.696 | GPS1_GPS7    | 269.632 |
| 22 | GPS7.1  | 1,281,511.182 | 1,105,649.200 | 1,000.198 | GPS7_GPS7.1  | 35.100  |
| 23 | GPS7.2  | 1,281,544.969 | 1,105,649.667 | 1,000.199 | GPS7_GPS7.2  | 22.595  |
| 24 | GPS7.3  | 1,281,544.320 | 1,105,692.165 | 1,000.187 | GPS7_GPS7.3  | 21.674  |
| 25 | GPS7.4  | 1,281,510.488 | 1,105,691.586 | 1,000.129 | GPS7_GPS7.4  | 34.545  |
| 26 | GPS8    | 1,281,591.689 | 1,105,613.870 | 992.989   | GPS1_GPS8    | 324.579 |
| 27 | GPS8.1  | 1,281,600.559 | 1,105,639.147 | 993.217   | GPS8_GPS8.1  | 26.788  |
| 28 | GPS8.2  | 1,281,601.036 | 1,105,602.594 | 993.172   | GPS8_GPS8.2  | 14.647  |
| 29 | GPS8.3  | 1,281,590.783 | 1,105,602.330 | 993.121   | GPS8_GPS8.3  | 11.576  |
| 30 | GPS8.4  | 1,281,590.706 | 1,105,606.150 | 993.124   | GPS8_GPS8.4  | 7.782   |
| 31 | GPS8.5  | 1,281,579.389 | 1,105,606.022 | 993.151   | GPS8_GPS8.5  | 14.590  |
| 32 | GPS8.6  | 1,281,579.521 | 1,105,602.246 | 993.120   | GPS8_GPS8.6  | 16.828  |
| 33 | GPS8.7  | 1,281,569.149 | 1,105,602.024 | 993.183   | GPS8_GPS8.7  | 25.463  |
| 34 | GPS8.8  | 1,281,582.715 | 1,105,620.607 | 993.143   | GPS8_GPS8.8  | 11.222  |
| 35 | GPS8.9  | 1,281,586.984 | 1,105,620.702 | 993.140   | GPS8_GPS8.9  | 8.296   |
| 36 | GPS8.10 | 1,281,586.806 | 1,105,635.912 | 993.155   | GPS8_GPS8.10 | 22.576  |
| 37 | GPS8.11 | 1,281,582.490 | 1,105,635.922 | 993.166   | GPS8_GPS8.11 | 23.894  |
| 38 | GPS8.12 | 1,281,578.212 | 1,105,638.865 | 993.185   | GPS8_GPS8.12 | 28.397  |
| 39 | GPS8.13 | 1,281,578.110 | 1,105,642.513 | 993.142   | GPS8_GPS8.13 | 31.699  |
| 40 | GPS8.14 | 1,281,590.249 | 1,105,642.615 | 993.161   | GPS8_GPS8.14 | 28.781  |
| 41 | GPS8.15 | 1,281,568.654 | 1,105,638.644 | 993.159   | GPS8_GPS8.15 | 33.829  |
| 42 | GPS9    | 1,281,645.872 | 1,105,632.606 | 991.901   | GPS1_GPS9    | 313.134 |
| 43 | GPS9.1  | 1,281,641.265 | 1,105,614.403 | 990.109   | GPS9_GPS9.1  | 18.777  |
| 44 | GPS9.2  | 1,281,650.206 | 1,105,614.813 | 990.066   | GPS9_GPS9.2  | 18.313  |
| 45 | GPS9.3  | 1,281,648.396 | 1,105,664.155 | 990.116   | GPS9_GPS9.3  | 31.650  |
| 46 | GPS9.4  | 1,281,640.743 | 1,105,632.895 | 991.876   | GPS9_GPS9.4  | 5.138   |
| 47 | GPS9.5  | 1,281,640.922 | 1,105,627.624 | 991.858   | GPS9_GPS9.5  | 7.023   |
| 48 | GPS9.6  | 1,281,647.696 | 1,105,627.935 | 991.869   | GPS9_GPS9.6  | 5.014   |
| 49 | GPS9.7  | 1,281,647.492 | 1,105,633.193 | 991.872   | GPS9_GPS9.7  | 1.723   |
| 50 | GPS9.8  | 1,281,639.349 | 1,105,663.745 | 990.133   | GPS9_GPS9.8  | 31.815  |

Fuente: Los Autores

## 2.7. NUEVA TECNOLOGÍA, IMAGEN SATELITAL “QUICKBIRD”

Para la realización del estudio se utilizó un recorte de imagen satelital de 1 km<sup>2</sup> facilitado por la empresa Prosis Procálculo S.A. seccional Bucaramanga, el área mostrada por la imagen abarca la parte correspondiente al campus central de la universidad industrial de Santander y sus territorios aledaños tales como la villa olímpica, barrio San Alonso, La universidad, Comuneros, el batallón, y demás; la decisión final de acoger este satélite para realizar el estudio se basó en la facilidad de acceso para cualquier persona residente en el área metropolitana y en el país, a través de diversas compañías especializadas en la venta de imágenes satelitales radicadas en la ciudad de Bucaramanga o con filiales o sedes en la misma, particularmente se hizo por medio de la ya mencionada empresa la cual amablemente cedió el recorte necesario para realizar el estudio.

### 2.7.1. ESPECIFICACIONES DE LA IMAGEN<sup>26</sup>

- **Información de lanzamiento:**
  - Fecha: 18 de octubre de 2001
  - Hora de lanzamiento: 1851-1906GMT
  - Vehículo utilizado: Delta II
  - Sitio de lanzamiento: SLC-2W, Vanderberg Air Force Base, California, E.E.U.U.
  
- **Orbita:**
  - Altitud: 450 km
  - Inclinación: 98° sincronización solar

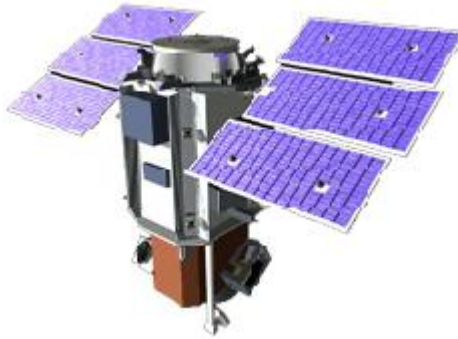
---

<sup>26</sup> DIGITALGLOBE. Quickbird. En: [www.digitalglobe.com](http://www.digitalglobe.com). [en línea]. [consultado 6 de enero de 2009]. Disponible en <[http://www.digitalglobe.com/file.php/515/QuickBird\\_Datasheet\\_web.pdf](http://www.digitalglobe.com/file.php/515/QuickBird_Datasheet_web.pdf)>

- Frecuencia de revisión: 3-7 días dependiendo de la altitud para precisión de 60 cm
- Tiempo de orbita: 93.4 minutos
- **Capacidad de recolección por orbita:** 128 gigabytes
- **Ancho de franja y tamaño de área:**
  - Ancho de franja nominal: 16.5 kilómetros al Nadir
  - Territorio de barrido: 544 kilómetros centrados en la pista de tierra por el satélite.
  - Anchura de ringlera: 16.5 km x 16.5 km
  - Área de Franja: 16.5 km x 115 km
- **Resolución del sensor y ancho de banda espectral**
  - Pancromático: 60 cm al nadir
  - Blanco y negro: 445 a 900 nanómetros
  - Digitación: 11 bytes por pixel
- **Comunicaciones**
  - Carga útil de datos: 320 Mbps por banda
  - Comunicación con tierra: 4, 16 y 256 Kbps por banda.
  - Enlace ascendente: 2 Kbps en banda sencilla
- **Enfoque ADSC**
  - 3 ejes estabilizadores
- **Precisión de enfoque**
  - Precisión: menos de 0.5 mili radianes absolutos por eje
  - Reconocimiento. Menos de 15 micro radianes por eje
  - Estabilidad: menos de 10 micro radianes por segundo

- **Capacidad de almacenamiento a bordo**
  - 128 gigabytes
  - Cargado con combustible para 7 años, pesa 2400 libras, y mide 10 metros de largo

**Figura 61.** Imagen del satélite Quickbird



Fuente: [http://www.csc.noaa.gov/crs/rs\\_apps/sensors/images/quickbird\\_satellite.gif](http://www.csc.noaa.gov/crs/rs_apps/sensors/images/quickbird_satellite.gif)

**Figura 62.** Altitud del satélite Quickbird y tiempo de barrido



Fuente: [http://www.digitalglobe.com/file.php/515/QuickBird\\_Datasheet\\_web.pdf](http://www.digitalglobe.com/file.php/515/QuickBird_Datasheet_web.pdf)

## 2.7.2. PROCESO DE GEORREFERENCIACIÓN

Una imagen digital solo proporciona un registro de la intensidad de la luz emitida o reflejada desde la tierra, en pixeles que toman colores de acuerdo a una escala de grises que es proporcional a la intensidad de luz reflejada, por lo tanto es necesario lograr que la imagen además de proporcionar una vista de águila de un lugar proporcione información geográfica de la misma tendiente a elaborar diferentes trabajos de campo en ingeniería civil sin tener que visitar el área objeto del proyecto o estudio a elaborar.

El proceso por el cual se dota a la imagen de coordenadas amarradas a un sistema coordenado estandarizado en el área de trabajo se llama georreferenciación y se hace mediante software especializado, el grupo investigador determinó que el programa que mejor se acomodaba a las características económicas, técnicas y académicas del estudio era el desarrollado por el instituto nacional de investigaciones espaciales de Brasil llamado Spring<sup>27</sup>, el cual por provenir de una agencia estatal es gratuito y puede estar al alcance de todos los interesados en trabajar en esta área de la ingeniería civil, ya sea profesionales, estudiantes, investigadores, docentes, y demás, la utilización de software de igual calidad o mejor disponibles en el mercado comercial implica la adquisición de licencias lo cual aumenta el costo de cualquier investigación o trabajo realizado a diferentes grados de profundización desembocando en la razón más poderosa y concluyente para adoptar Spring como la plataforma digital dentro de la cual la imagen será amarrada a la red geodésica nacional, ahora bien es sabido que Digitalglobe<sup>28</sup> recomienda que las imágenes provenientes de su satélite sean tratadas digitalmente con Arcgis<sup>29</sup> dada la amigabilidad de la interfaz

---

<sup>27</sup> ["SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling" Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: \(3\) 395-403, May-Jun 1996.](#)

<sup>28</sup> Empresa privada Norteamericana propietaria del satélite artificial Quickbird, residenciada en Longmont, Colorado.

<sup>29</sup> Grupo de software diseñado para sistemas de información geográfica producido y comercializado por la empresa norteamericana ESRI.

gráfica del programa, pero el uso de este software le quitaría universalidad a la aplicación de los resultados del análisis por las razones económicas anteriormente expuestas.

- **Georeferenciación con Spring**

Spring es un GIS (**S**istema de **I**nformación **G**eográfica) y al mismo tiempo un sistema de tratamiento de imágenes obtenidas mediante percepción remota que realiza la integración de las representaciones de datos matriciales ("estructura raster") y datos con estructura vectorial en un único ambiente<sup>30</sup> creado por el INPE (Instituto Nacional de Investigaciones Especiales) para proveer al gobierno brasileño de una herramienta de control de su vasto territorio en cuestiones ambientales, saneamiento básico, catastrales, infraestructura, en fin casi todas las aplicaciones de la ingeniería civil como topología, altimetría, topografía, generación de modelos de terreno a partir de retículas planas y triangulares, redes de cualquier tipo como viales, sanitarias, inventarios de proyectos de infraestructura, control de la deforestación, diseño de distritos de riego, y muchas otras aplicaciones tales que se salen del campo profesional de grupo investigador. Cabe subrayar que la característica más importante para el análisis en proceso es la capacidad de hacer teledetección de imágenes satelitales provenientes del satélite americano Quickbird con todas sus características digitales tales como resolución, número de bandas, bits por pixel, y todas la ya mencionadas anteriormente, además de la capacidad de generar retículas tridimensionales e isoclinas a partir de información importada de otros formatos comerciales (dxf, shp, y demás).

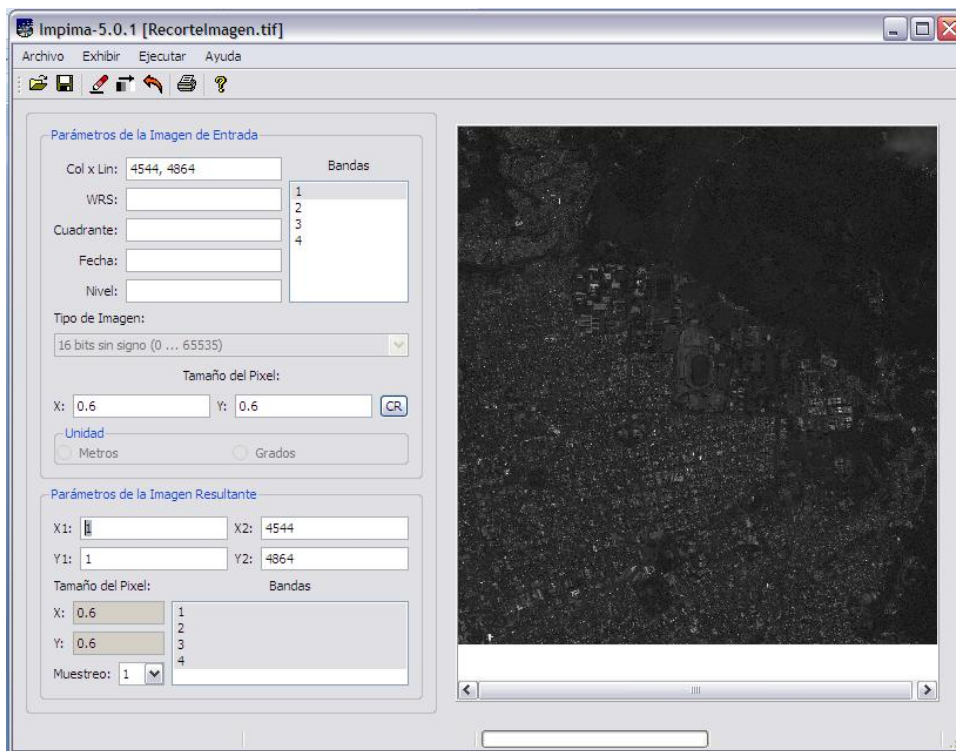
---

<sup>30</sup> Sistema de procesamiento de información georreferenciada. En: [www.dpi.inpe.br](http://www.dpi.inpe.br). [en línea]. [consultado 5 de enero de 2009]. Disponible en <<http://www.dpi.inpe.br/spring/espanol/index.html>>

- **Pasos para georreferenciar con SPRING**

En primer lugar se debe hacer la lectura de la imagen a través del modulo IMPIMA que hace parte del paquete completo de SPRING, en este modulo inicial la imagen es sometida al recorte e introducción de las características necesarias para su conversión al formato que usa SPRING (.spg), como se muestra a continuación:

**Figura 63.** Introducción de datos en IMPIMA



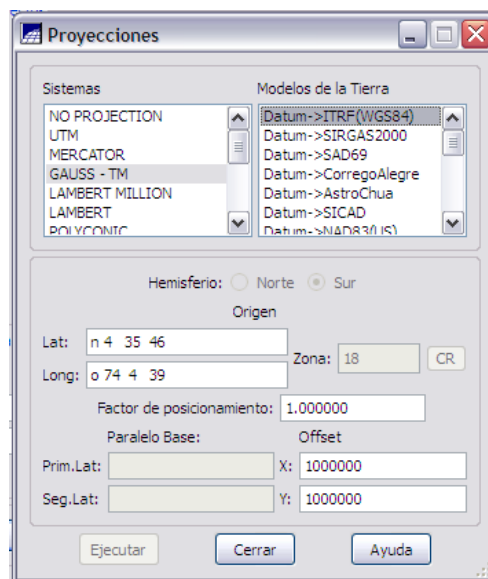
Fuente: Imagen del software SPRING

Después del recorte y transformación de la imagen en IMPIMA se procede a usar la misma en SPRING siguiendo unos pasos necesarios que serán descritos a continuación con los respectivos datos introducidos por el grupo investigador mostrado en las figuras.

- Creación de la base de datos: Esta base de datos es la que alojara todos los datos introducidos y generados por el programa durante su ejecución.

- Activación Proyecto: Es donde se introducen los datos geográficos preliminares de la imagen como el sistema de proyección cilíndrica de trasverso de Mercator que para el caso de Colombia tiene que ser concordante con el Magna Sirgas, o sea, se debe trabajar con el Datum ITRF(WGS84), además se define el hemisferio sur, y los valores de la latitud y longitud del origen del sistema coordenado con los falsos este y norte que utiliza la proyección elegida.

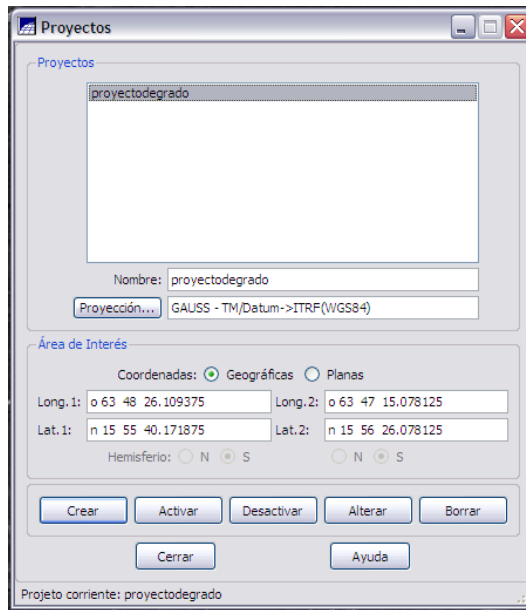
**Figura 64.** Cuadro de dialogo proyecciones



Fuente: Imagen del software SPRING

En la figura 64 ilustra cómo se introducen los valores de las coordenadas de los puntos de las esquinas inferior izquierda y superior derecha del área a tratar, se pueden poner en coordenadas planas o geográficas.

**Figura 65.** Cuadro de dialogo Proyectos

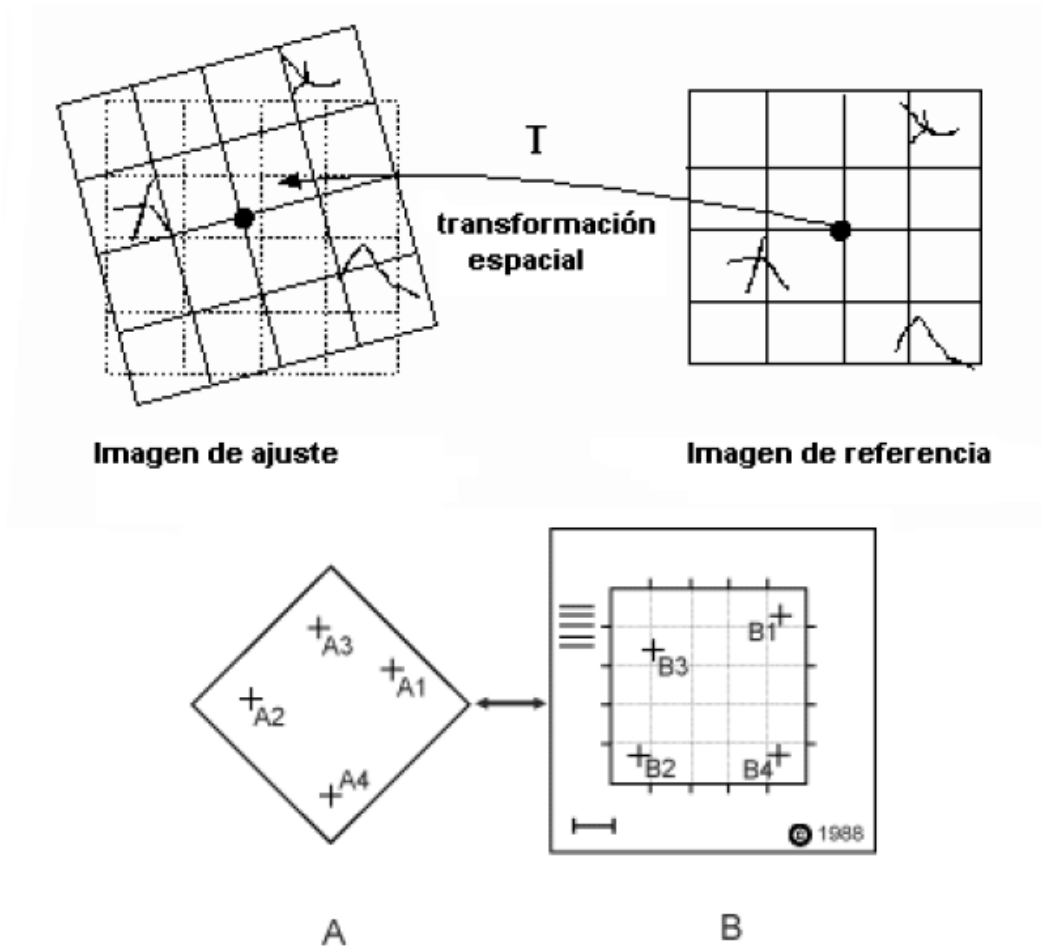


Fuente: Imagen del software SPRING

- Ejecución de los modelos de datos: Cuadro de dialogo que sirve para definir la categoría y el tipo de modelo de datos que se van a introducir y generar.
- Registro de la imagen: “es una transformación geométrica que relaciona coordenadas de la imagen con coordenadas geográficas de un mapa. Esa transformación elimina distorsiones existentes en la imagen, causadas durante el proceso de formación de la imagen, por el sistema sensor y por imprecisión de los datos de posicionamiento de la plataforma”<sup>31</sup>.

<sup>31</sup> PINTO, Jorge E. Laboratorio 16 Correcciones Geométricas, Teledetección. En: [pterodactylus.uis.edu.co/moodle](http://pterodactylus.uis.edu.co/moodle). [en línea]. [consultado el 1 de diciembre de 2008]. Disponible en < [pterodactylus.uis.edu.co/moodle](http://pterodactylus.uis.edu.co/moodle) >

**Figura 66.** Ilustración del proceso de registro de la imagen



Fuente: Laboratorio 16 Correcciones Geométricas, Teledetección. Jorge Eduardo Pinto

Este es el paso en el cual se definen los puntos de control de la imagen con sus respectivas coordenadas y ubicación dentro de una imagen preliminar cargada en una ventana auxiliar del programa, además se eligen cuales y cuantos puntos de control van a ser utilizados por el programa para realizar la corrección del sistema según el grado del polinomio de acuerdo a una ecuación de mapeo definida por el usuario entre ecuación polinómica de primer, segundo ó tercer grado.

**Figura 67.** Formulas para el cálculo del sistema coordinado

| <b>Formulas para el calculo del sistema coordinado</b> |  |
|--|--|
| <b>Primer Grado:</b>                                   | $x' = a_1x + b_1y + d_1,$ $y' = a_2x + b_2y + d_2.$  |
| <b>Segundo Grado:</b>                                  | $x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$ $y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2.$ |
| <b>Puntos de control:</b>                              | $N_{pc} = (N + 1)(N + 2) / 2$  |

En donde si el grado N = 1, entonces se requieren mínimo 3 puntos, si N = 2, entonces se requieren 6 puntos, etc.

Fuente: Laboratorio 16 Correcciones Geométricas, Teledetección. Jorge Eduardo Pinto

La entrada de los puntos se puede hacer vía teclado siempre y cuando se tengan levantamientos con GPS ó topográficos del área objeto del estudio, de lo contrario se hace por medio de una mesa digitalizadora o imágenes ya referenciadas, para este caso el grupo investigador realizó dos levantamiento de los mismos puntos, uno por sistema GPS y otro con estación total, se realizó una comparación de los dos métodos con los datos de la red geodésica de la Universidad Industrial de Santander<sup>32</sup> para determinar cuál de los dos levantamientos tenía menos delta de error comparado con los puntos de la red, en la tabla 9 se puede observar que el promedio de las porcentajes de los deltas de error en el levantamiento por GPS dio menor al hecho por estación total lo cual origino la decisión de adoptar las coordenadas obtenidas por GPS como las coordenadas de los puntos de control usados para referenciar la imagen.

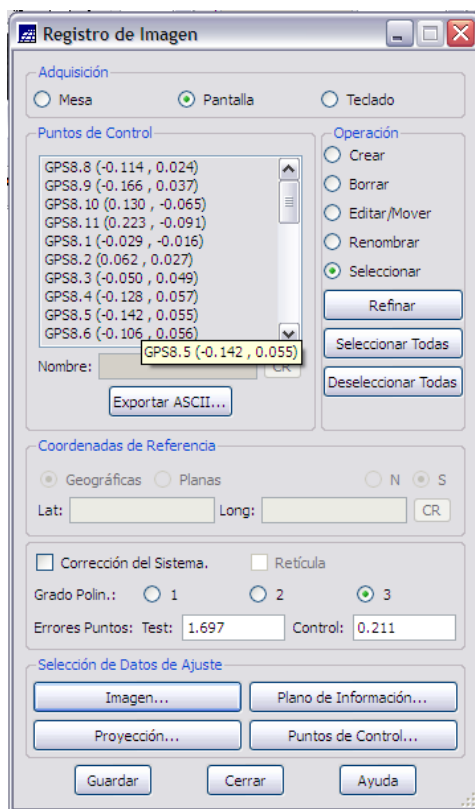
<sup>32</sup> Proyecto Red Geodésica Universidad Industrial de Santander 2006. Consistió en dotar al campus universitario de una red geodésica conformada por un punto geodésico de primer orden y cinco de segundo orden referenciados con el sistema Magna Sirgas, el objetivo de estos puntos es proveer a los alumnos de las escuelas de Geología e Ingeniería Civil de los mismos para ser usados en sus investigaciones.

**Tabla 10.** Tabla comparativa de deltas de error con la red geodésica de la UIS antes de hacer la georreferenciación

| VECTOR    | TEORICO           | EXPERIMENTAL |                | COMPARACIONES |                |
|-----------|-------------------|--------------|----------------|---------------|----------------|
|           | RED GEODESICA UIS | GPS          | ESTACIÓN TOTAL | GPS           | ESTACIÓN TOTAL |
| NOMBRE    | MAGNITUD          |              |                | % ERROR       |                |
| GPS1_GPS2 | 144.434           | 144.435      | 144.450        | 0.00066%      | 0.01092%       |
| GPS1_GPS3 | 234.838           | 234.836      | 234.862        | 0.00090%      | 0.01015%       |
| GPS1_GPS5 | 431.950           | 431.945      | 431.963        | 0.00127%      | 0.00310%       |
| GPS1_GPS9 | 313.120           | 313.120      | 313.134        | 0.00009%      | 0.00452%       |
|           |                   |              | PROMEDIO       | 0.00073%      | 0.00717%       |

Fuente: Los Autores

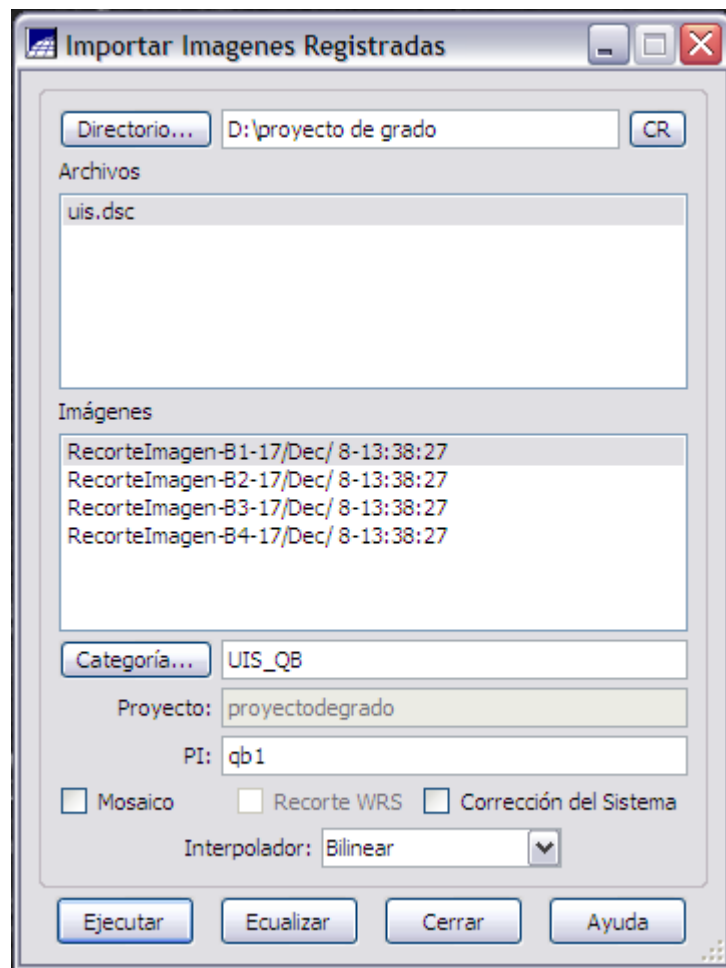
**Figura 68.** Cuadro de dialogo registro de imagen



Fuente: Imagen del software SPRING

- Importación de imágenes: en este punto es donde se introduce la imagen, eligiendo el nombre, el tipo, y el interpolador usado. Se elige la banda uno que es la más adecuada para trabajar con imágenes pancromáticas del satélite Quickbird con presencia notable de áreas urbanas debido a que es la que se toma a menor altura y es recomendable usar el interpolador bilineal debido a que busca de una manera más exacta y confiable la coordenada no entera del pixel.

**Figura 69.** Cuadro de dialogo importar imágenes registradas



Fuente: Imagen del software SPRING

Cabe anotar que los puntos de control se adquirieron en campo con el empleo de receptores del sistema de posicionamiento global, en total se adquirieron 50 de estos puntos de los cuales se usaron la mayor cantidad posible que el sistema admite para hacer la corrección del sistema coordinado (ver tablas en anexo 1).

- **Georreferenciación en altimetría**

La determinación de cotas en SPRING a partir de una imagen satelital QUICKBIRD demanda la obtención de toda la cartografía existente que contenga el área total de análisis, esta cartografía tiene que estar amarrada al nivel de referencia colombiano ubicado sobre el pacifico colombiano a la altura de las playas del municipio de Buenaventura en el Valle del Cauca, esta cartografía preferiblemente debe provenir del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), estar digitalizada con líneas y polilíneas con su respectiva altura.

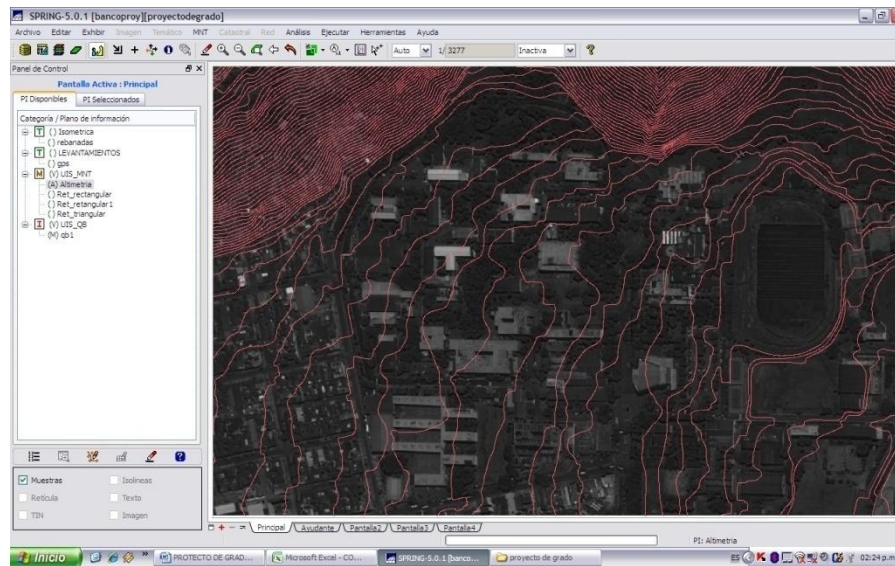
El grupo investigador en su recolección de cartografía necesaria para La ejecución del proyecto halló un levantamiento de curvas de nivel cada dos metros de la ciudad de Bucaramanga, de allí extractó las curvas ubicadas en el área perteneciente al campus central de la Universidad Industrial de Santander a fin de hacer menos pesado el archivo para disminuir tiempos de procesamiento en el ordenador.

- **Entrada de la cartografía al programa**

La cartografía debe ser estar digitalizada en formato de dibujo de intercambio DXF (Drawing X-change File) pues este el único formato que permite SPRING para la entrada de datos altimétricos, como curvas de nivel, puntos de referencia con alturas (cotas) y demás, razón por la cual se hizo necesario la conversión del plano obtenido en formato de dibujo DWG (Drawing ) al formato DXF, acto seguido

se introdujeron las curvas de nivel al software con la creación de una capa tipo MNT (Modelo Numérico del Terreno).

**Figura 70.** Curvas de nivel introducidas a SPRING



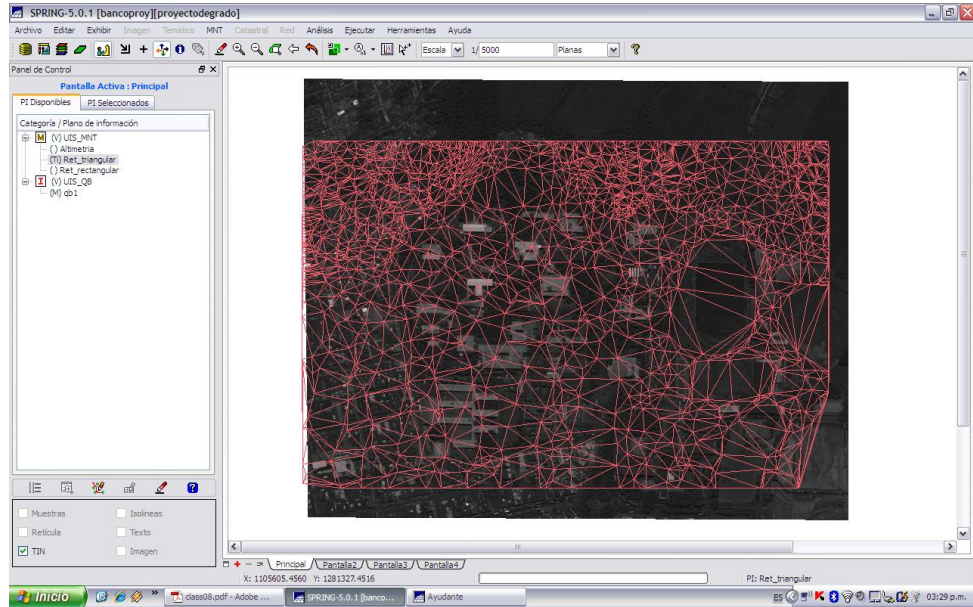
Fuente: Imagen del software SPRING

- **Procesamiento de la cartografía y lectura de cotas**

Con la información de las curvas de nivel se generó una retícula triangular que sirve como base para hacer una interpolación cada centímetro necesario para generar una retícula rectangular con valores de cotas hasta de dos decimales, capa que debe estar activa para leer las alturas de los puntos que hacen parte del estudio comparativo.

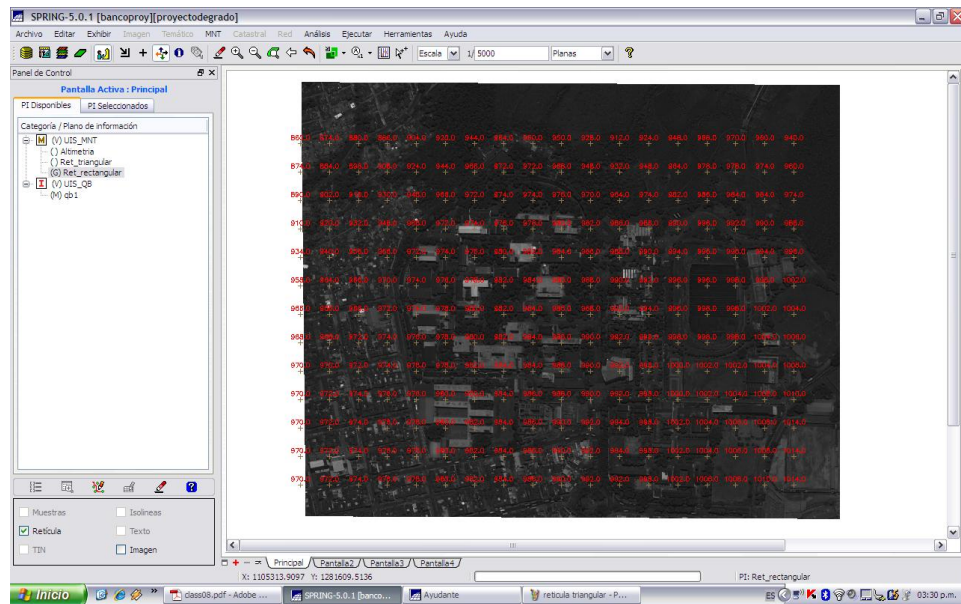
Todos los datos cargados en el programa se visualizan por capas las cuales deben estar encendidas al momento de tomar una lectura para obtener la medida deseada debido a que el software crea un sistema de información geográfica para su funcionamiento lo cual obliga a tener la capa requerida visualizada al momento de trabajar con ellas.

**Figura 71.** Retícula triangular generada con SPRING



Fuente: Imagen del software SPRING

**Figura 72.** Retícula rectangular generada con SPRING



Fuente: Imagen del software SPRING

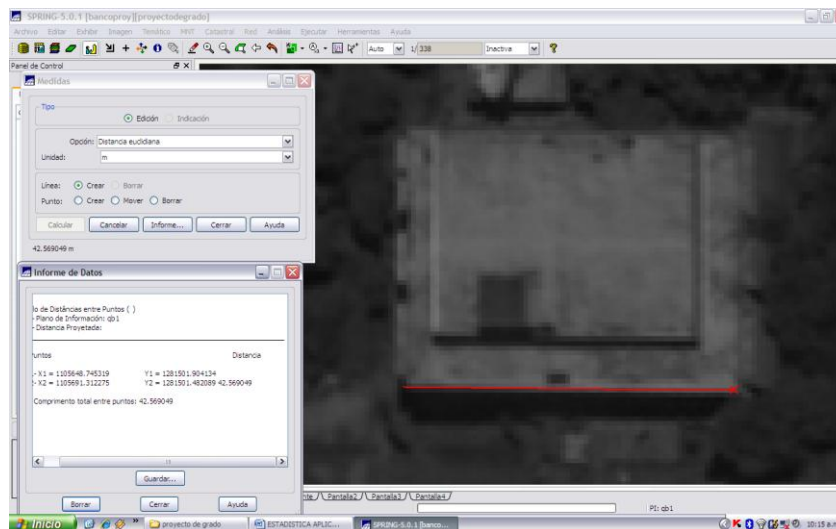
Después de que se cargan las capas necesarias para la lectura de las cotas de los puntos en estudio simplemente se ubica el objeto en la imagen, se puntea el pixel

correspondiente y el dato de salida del software contiene la altura y las coordenadas planas y geodésicas.

- **Trabajo con la imagen georreferenciada**

Después de georreferenciada la imagen digital se procede a medir las mismas distancias medidas en campo en la imagen, o sea, hacer las mediciones de los mismos vectores levantados por los métodos tradicionales en la imagen satelital con el fin de comparar los valores que arrojan y determinar si el margen de error alcanzado en la medición con la imagen es aceptable y para que tipos de trabajos de ingeniería civil es aceptable. De igual manera es necesario determinar las alturas de los puntos con la imagen para comparar estos resultados con los obtenidos por medio de los otros métodos de trabajo de campo con el fin de determinar cuál de estas tecnologías brinda más exactitud altimétrica y complementa mejor los resultados obtenidos del análisis planimétrico.

**Figura 73.** Ejemplo de medición de distancias y coordenadas planas con SPRING



Fuente: Imagen del software SPRING

**Tabla 11.** Coordenadas y cotas obtenidas de la imagen satelital

| UNIDAD | metros  | NUEVA TECNOLOGIA    |               |         | VECTOR       |          |
|--------|---------|---------------------|---------------|---------|--------------|----------|
|        |         | IMAGEN (QUICK BIRD) |               |         | NOMBRE       | MAGNITUD |
| NUMERO | PUNTO   | N                   | E             | Z       |              |          |
| 1      | GPS1    | 1,281,577.246       | 1,105,938.103 | 996.442 |              |          |
| 2      | GPS2    | 1,281,439.228       | 1,105,895.613 | 997.201 | GPS1_GPS2    | 144.411  |
| 3      | GPS3    | 1,281,388.478       | 1,105,795.842 | 992.811 | GPS1_GPS3    | 236.372  |
| 4      | GPS3.1  | 1,281,377.218       | 1,105,788.875 | 992.706 | GPS3_GPS3.1  | 13.241   |
| 5      | GPS3.2  | 1,281,379.681       | 1,105,796.107 | 993.037 | GPS3_GPS3.2  | 8.800    |
| 6      | GPS3.3  | 1,281,397.888       | 1,105,796.900 | 992.818 | GPS3_GPS3.3  | 9.470    |
| 7      | GPS3.4  | 1,281,400.616       | 1,105,789.317 | 992.543 | GPS3_GPS3.4  | 13.781   |
| 8      | GPS3.5  | 1,281,398.504       | 1,105,788.964 | 992.529 | GPS3_GPS3.5  | 12.159   |
| 9      | GPS3.6  | 1,281,408.620       | 1,105,763.037 | 991.239 | GPS3_GPS3.6  | 38.495   |
| 10     | GPS3.7  | 1,281,411.435       | 1,105,786.054 | 992.197 | GPS3_GPS3.7  | 24.957   |
| 11     | GPS3.8  | 1,281,409.851       | 1,105,786.054 | 992.222 | GPS3_GPS3.8  | 23.508   |
| 12     | GPS3.9  | 1,281,409.411       | 1,105,809.070 | 993.124 | GPS3_GPS3.9  | 24.763   |
| 13     | GPS3.10 | 1,281,373.348       | 1,105,807.570 | 993.474 | GPS3_GPS3.10 | 19.143   |
| 14     | GPS3.11 | 1,281,369.302       | 1,105,795.401 | 993.011 | GPS3_GPS3.11 | 19.181   |
| 15     | GPS3.12 | 1,281,376.866       | 1,105,795.666 | 993.061 | GPS3_GPS3.12 | 11.613   |
| 16     | GPS5    | 1,281,393.715       | 1,105,547.367 | 980.900 | GPS1_GPS5    | 431.692  |
| 17     | GPS6    | 1,281,440.439       | 1,105,519.454 | 980.000 | GPS1_GPS6    | 440.435  |
| 18     | GPS6.1  | 1,281,446.234       | 1,105,536.378 | 980.114 | GPS6_GPS6.1  | 17.889   |
| 19     | GPS6.2  | 1,281,446.589       | 1,105,506.789 | 979.193 | GPS6_GPS6.2  | 14.079   |
| 20     | GPS6.3  | 1,281,418.925       | 1,105,506.433 | 979.190 | GPS6_GPS6.3  | 25.147   |
| 21     | GPS7    | 1,281,538.539       | 1,105,671.514 | 985.072 | GPS1_GPS7    | 269.385  |
| 22     | GPS7.1  | 1,281,511.703       | 1,105,648.566 | 984.022 | GPS7_GPS7.1  | 35.310   |
| 23     | GPS7.2  | 1,281,545.149       | 1,105,648.664 | 983.357 | GPS7_GPS7.2  | 23.787   |
| 24     | GPS7.3  | 1,281,544.754       | 1,105,692.187 | 985.167 | GPS7_GPS7.3  | 21.587   |
| 25     | GPS7.4  | 1,281,511.407       | 1,105,691.395 | 986.000 | GPS7_GPS7.4  | 33.636   |
| 26     | GPS8    | 1,281,591.717       | 1,105,613.847 | 978.862 | GPS1_GPS8    | 324.579  |
| 27     | GPS8.1  | 1,281,600.103       | 1,105,639.466 | 979.707 | GPS8_GPS8.1  | 26.957   |
| 28     | GPS8.2  | 1,281,600.793       | 1,105,603.263 | 978.055 | GPS8_GPS8.2  | 13.943   |
| 29     | GPS8.3  | 1,281,591.124       | 1,105,603.362 | 978.624 | GPS8_GPS8.3  | 10.502   |
| 30     | GPS8.4  | 1,281,591.223       | 1,105,606.626 | 978.704 | GPS8_GPS8.4  | 7.238    |
| 31     | GPS8.5  | 1,281,579.679       | 1,105,607.022 | 979.413 | GPS8_GPS8.5  | 13.838   |
| 32     | GPS8.6  | 1,281,579.680       | 1,105,603.263 | 979.316 | GPS8_GPS8.6  | 16.028   |
| 33     | GPS8.7  | 1,281,569.321       | 1,105,602.867 | 979.907 | GPS8_GPS8.7  | 24.942   |
| 34     | GPS8.8  | 1,281,572.640       | 1,105,621.067 | 979.601 | GPS8_GPS8.8  | 20.397   |
| 35     | GPS8.9  | 1,281,587.080       | 1,105,621.166 | 979.362 | GPS8_GPS8.9  | 8.664    |

|    |         |               |               |         |              |         |
|----|---------|---------------|---------------|---------|--------------|---------|
| 36 | GPS8.10 | 1,281,586.981 | 1,105,636.894 | 980.130 | GPS8_GPS8.10 | 23.528  |
| 37 | GPS8.11 | 1,281,582.640 | 1,105,636.795 | 980.276 | GPS8_GPS8.11 | 24.678  |
| 38 | GPS8.12 | 1,281,578.299 | 1,105,639.861 | 980.662 | GPS8_GPS8.12 | 29.270  |
| 39 | GPS8.13 | 1,281,578.595 | 1,105,643.818 | 980.885 | GPS8_GPS8.13 | 32.717  |
| 40 | GPS8.14 | 1,281,590.237 | 1,105,643.719 | 980.478 | GPS8_GPS8.14 | 29.908  |
| 41 | GPS8.15 | 1,281,568.926 | 1,105,638.872 | 980.951 | GPS8_GPS8.15 | 33.848  |
| 42 | GPS9    | 1,281,645.881 | 1,105,632.739 | 975.435 | GPS1_GPS9    | 312.983 |
| 43 | GPS9.1  | 1,281,640.751 | 1,105,614.638 | 975.070 | GPS9_GPS9.1  | 18.814  |
| 44 | GPS9.2  | 1,281,649.828 | 1,105,615.627 | 973.941 | GPS9_GPS9.2  | 17.561  |
| 45 | GPS9.3  | 1,281,648.249 | 1,105,665.777 | 976.581 | GPS9_GPS9.3  | 33.122  |
| 46 | GPS9.4  | 1,281,640.159 | 1,105,633.531 | 976.016 | GPS9_GPS9.4  | 5.777   |
| 47 | GPS9.5  | 1,281,640.356 | 1,105,628.189 | 975.529 | GPS9_GPS9.5  | 7.157   |
| 48 | GPS9.6  | 1,281,647.558 | 1,105,628.486 | 974.938 | GPS9_GPS9.6  | 4.572   |
| 49 | GPS9.7  | 1,281,647.460 | 1,105,633.926 | 975.371 | GPS9_GPS9.7  | 1.975   |
| 50 | GPS9.8  | 1,281,638.777 | 1,105,665.579 | 977.682 | GPS9_GPS9.8  | 33.600  |

Fuente: Los Autores

### 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS TRES MÉTODOS ESTUDIADOS

Una vez procesados en oficina todos los datos obtenidos en campo se procedió a realizar el análisis estadístico de los mismos siguiendo las pautas que se definieron en el capítulo sobre estadística aplicada al estudio tratado en este libro, se trabajo con 49 puntos de errores de vector, superando en gran número el valor del tamaño mínimo de la muestra definido inicialmente el cual era de 30 puntos, lo cual aumenta en gran medida el grado de aceptación del estudio pues incrementa la probabilidad de rechazo de la hipótesis nula generando más confiabilidad y dándole una buena cimentación a las conclusiones del estudio.

#### 3.1. Obtención del delta de error absoluto

En el afán de tener un parámetro de comparación sencillo, objetivo, mas cualitativo que cuantitativo se procesaron los datos a partir de un coeficiente porcentual de error absoluto el cual permite tener un estadístico independiente de uno de los parámetros más incisivos en la exactitud de la medición el cual es la distancia horizontal entre los puntos medidos o en términos geométricos la magnitud del vector, cabe resaltar que este delta de error absoluto definido por el grupo investigador es referido solo a plano XY, la parte de alturas ó Z será tratada más adelante en el presente trabajo. El planteamiento matemático expuesto no es más que el error usado en cualquier experimento de laboratorio para determinar la exactitud de la medición, tal y como reza la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}}{\text{Valor teórico}} \times 100 \quad (7)$$

Siempre se tomaron como valores experimentales los arrojados mediante el empleo de la nueva tecnología, es decir la imagen digital Quickbird debido a que en este estudio se enfatiza en la posibilidad de empezar a emplear las mediciones de la imagen en proyectos de ingeniería civil más a menudo mirando si la medida es igual a la obtenida por los métodos tradicionales.

**Tabla 12.** Deltas de error entre el GPS y la estación total

| UNIDAD | metros       | TEORICO<br>ADOPTADO | EXPERIMENTAL      | COMPARACIONES |       |
|--------|--------------|---------------------|-------------------|---------------|-------|
|        | VECTOR       | GPS                 | ESTACIÓN<br>TOTAL |               |       |
|        | NOMBRE       | MAGNITUD            |                   | ERROR         | %     |
| 1      | GPS1_GPS2    | 144.435             | 144.450           | 0.0001        | 0.01% |
| 2      | GPS1_GPS3    | 234.836             | 234.862           | 0.0001        | 0.01% |
| 3      | GPS3_GPS3.1  | 13.338              | 13.255            | 0.0062        | 0.62% |
| 4      | GPS3_GPS3.2  | 9.325               | 9.245             | 0.0086        | 0.86% |
| 5      | GPS3_GPS3.3  | 9.397               | 9.479             | 0.0088        | 0.88% |
| 6      | GPS3_GPS3.4  | 13.527              | 13.598            | 0.0052        | 0.52% |
| 7      | GPS3_GPS3.5  | 12.143              | 11.544            | 0.0494        | 4.94% |
| 8      | GPS3_GPS3.6  | 38.482              | 38.507            | 0.0007        | 0.07% |
| 9      | GPS3_GPS3.7  | 27.008              | 27.116            | 0.0040        | 0.40% |
| 10     | GPS3_GPS3.8  | 25.753              | 25.774            | 0.0008        | 0.08% |
| 11     | GPS3_GPS3.9  | 23.085              | 22.702            | 0.0166        | 1.66% |
| 12     | GPS3_GPS3.10 | 16.758              | 16.598            | 0.0095        | 0.95% |
| 13     | GPS3_GPS3.11 | 20.095              | 19.942            | 0.0076        | 0.76% |
| 14     | GPS3_GPS3.12 | 11.917              | 12.196            | 0.0234        | 2.34% |
| 15     | GPS1_GPS5    | 431.945             | 431.963           | 0.0000        | 0.00% |
| 16     | GPS1_GPS6    | 440.762             | 440.769           | 0.0000        | 0.00% |
| 17     | GPS6_GPS6.1  | 17.984              | 17.799            | 0.0103        | 1.03% |
| 18     | GPS6_GPS6.2  | 13.966              | 13.968            | 0.0002        | 0.02% |
| 19     | GPS6_GPS6.3  | 25.062              | 24.927            | 0.0054        | 0.54% |
| 20     | GPS1_GPS7    | 269.634             | 269.632           | 0.0000        | 0.00% |
| 21     | GPS7_GPS7.1  | 35.207              | 35.100            | 0.0030        | 0.30% |
| 22     | GPS7_GPS7.2  | 22.661              | 22.595            | 0.0029        | 0.29% |
| 23     | GPS7_GPS7.3  | 21.691              | 21.674            | 0.0008        | 0.08% |
| 24     | GPS7_GPS7.4  | 34.555              | 34.545            | 0.0003        | 0.03% |

|    |              |         |         |                   |        |       |
|----|--------------|---------|---------|-------------------|--------|-------|
| 25 | GPS1_GPS8    | 324.571 | 324.579 | 0.0000            | 0.00%  |       |
| 26 | GPS8_GPS8.1  | 26.818  | 26.788  | 0.0011            | 0.11%  |       |
| 27 | GPS8_GPS8.2  | 14.802  | 14.647  | 0.0105            | 1.05%  |       |
| 28 | GPS8_GPS8.3  | 11.639  | 11.576  | 0.0054            | 0.54%  |       |
| 29 | GPS8_GPS8.4  | 7.795   | 7.782   | 0.0017            | 0.17%  |       |
| 30 | GPS8_GPS8.5  | 14.539  | 14.590  | 0.0035            | 0.35%  |       |
| 31 | GPS8_GPS8.6  | 16.896  | 16.828  | 0.0040            | 0.40%  |       |
| 32 | GPS8_GPS8.7  | 25.504  | 25.463  | 0.0016            | 0.16%  |       |
| 33 | GPS8_GPS8.8  | 11.282  | 11.222  | 0.0053            | 0.53%  |       |
| 34 | GPS8_GPS8.9  | 8.285   | 8.296   | 0.0012            | 0.12%  |       |
| 35 | GPS8_GPS8.10 | 22.605  | 22.576  | 0.0013            | 0.13%  |       |
| 36 | GPS8_GPS8.11 | 23.895  | 23.894  | 0.0000            | 0.00%  |       |
| 37 | GPS8_GPS8.12 | 28.390  | 28.397  | 0.0003            | 0.03%  |       |
| 38 | GPS8_GPS8.13 | 31.722  | 31.699  | 0.0007            | 0.07%  |       |
| 39 | GPS8_GPS8.14 | 28.856  | 28.781  | 0.0026            | 0.26%  |       |
| 40 | GPS8_GPS8.15 | 33.867  | 33.829  | 0.0011            | 0.11%  |       |
| 41 | GPS1_GPS9    | 313.120 | 313.134 | 0.0000            | 0.00%  |       |
| 42 | GPS9_GPS9.1  | 18.808  | 18.777  | 0.0017            | 0.17%  |       |
| 43 | GPS9_GPS9.2  | 18.336  | 18.313  | 0.0013            | 0.13%  |       |
| 44 | GPS9_GPS9.3  | 31.697  | 31.650  | 0.0015            | 0.15%  |       |
| 45 | GPS9_GPS9.4  | 5.140   | 5.138   | 0.0004            | 0.04%  |       |
| 46 | GPS9_GPS9.5  | 7.028   | 7.023   | 0.0007            | 0.07%  |       |
| 47 | GPS9_GPS9.6  | 4.993   | 5.014   | 0.0042            | 0.42%  |       |
| 48 | GPS9_GPS9.7  | 1.735   | 1.723   | 0.0070            | 0.70%  |       |
| 49 | GPS9_GPS9.8  | 31.821  | 31.815  | 0.0002            | 0.02%  |       |
|    |              |         |         | PROMEDIO          | 0.0045 | 0.45% |
|    |              |         |         | DESVIACIÓN<br>STD | 0.0080 | 0.80% |

Fuente: Los Autores

**Tabla 13.** Deltas de error entre el GPS y la imagen satelital

| UNIDAD | metros    | TEORICO<br>ADOPTADO | EXPERIMENTAL        | COMPARACIONES |       |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|---------------|-------|
|        | VECTOR    | GPS                 | IMAGEN<br>SATELITAL |               |       |
|        | NOMBRE    | MAGNITUD            |                     | ERROR         | %     |
| 1      | GPS1_GPS2 | 144.435             | 144.411             | 0.00          | 0.02% |
| 2      | GPS1_GPS3 | 234.836             | 236.372             | 0.01          | 0.65% |

|    |              |         |         |      |        |
|----|--------------|---------|---------|------|--------|
| 3  | GPS3_GPS3.1  | 13.338  | 13.241  | 0.01 | 0.73%  |
| 4  | GPS3_GPS3.2  | 9.325   | 8.800   | 0.06 | 5.63%  |
| 5  | GPS3_GPS3.3  | 9.397   | 9.470   | 0.01 | 0.78%  |
| 6  | GPS3_GPS3.4  | 13.527  | 13.781  | 0.02 | 1.87%  |
| 7  | GPS3_GPS3.5  | 12.143  | 12.159  | 0.00 | 0.13%  |
| 8  | GPS3_GPS3.6  | 38.482  | 38.495  | 0.00 | 0.04%  |
| 9  | GPS3_GPS3.7  | 27.008  | 24.957  | 0.08 | 7.60%  |
| 10 | GPS3_GPS3.8  | 25.753  | 23.508  | 0.09 | 8.72%  |
| 11 | GPS3_GPS3.9  | 23.085  | 24.763  | 0.07 | 7.27%  |
| 12 | GPS3_GPS3.10 | 16.758  | 19.143  | 0.14 | 14.23% |
| 13 | GPS3_GPS3.11 | 20.095  | 19.181  | 0.05 | 4.55%  |
| 14 | GPS3_GPS3.12 | 11.917  | 11.613  | 0.03 | 2.55%  |
| 15 | GPS1_GPS5    | 431.945 | 431.692 | 0.00 | 0.06%  |
| 16 | GPS1_GPS6    | 440.762 | 440.435 | 0.00 | 0.07%  |
| 17 | GPS6_GPS6.1  | 17.984  | 17.889  | 0.01 | 0.53%  |
| 18 | GPS6_GPS6.2  | 13.966  | 14.079  | 0.01 | 0.81%  |
| 19 | GPS6_GPS6.3  | 25.062  | 25.147  | 0.00 | 0.34%  |
| 20 | GPS1_GPS7    | 269.634 | 269.385 | 0.00 | 0.09%  |
| 21 | GPS7_GPS7.1  | 35.207  | 35.310  | 0.00 | 0.29%  |
| 22 | GPS7_GPS7.2  | 22.661  | 23.787  | 0.05 | 4.97%  |
| 23 | GPS7_GPS7.3  | 21.691  | 21.587  | 0.00 | 0.48%  |
| 24 | GPS7_GPS7.4  | 34.555  | 33.636  | 0.03 | 2.66%  |
| 25 | GPS1_GPS8    | 324.571 | 324.579 | 0.00 | 0.00%  |
| 26 | GPS8_GPS8.1  | 26.818  | 26.957  | 0.01 | 0.52%  |
| 27 | GPS8_GPS8.2  | 14.802  | 13.943  | 0.06 | 5.81%  |
| 28 | GPS8_GPS8.3  | 11.639  | 10.502  | 0.10 | 9.77%  |
| 29 | GPS8_GPS8.4  | 7.795   | 7.238   | 0.07 | 7.15%  |
| 30 | GPS8_GPS8.5  | 14.539  | 13.838  | 0.05 | 4.82%  |
| 31 | GPS8_GPS8.6  | 16.896  | 16.028  | 0.05 | 5.13%  |
| 32 | GPS8_GPS8.7  | 25.504  | 24.942  | 0.02 | 2.20%  |
| 33 | GPS8_GPS8.8  | 11.282  | 20.397  | 0.81 | 80.80% |
| 34 | GPS8_GPS8.9  | 8.285   | 8.664   | 0.05 | 4.57%  |
| 35 | GPS8_GPS8.10 | 22.605  | 23.528  | 0.04 | 4.08%  |
| 36 | GPS8_GPS8.11 | 23.895  | 24.678  | 0.03 | 3.27%  |
| 37 | GPS8_GPS8.12 | 28.390  | 29.270  | 0.03 | 3.10%  |
| 38 | GPS8_GPS8.13 | 31.722  | 32.717  | 0.03 | 3.14%  |
| 39 | GPS8_GPS8.14 | 28.856  | 29.908  | 0.04 | 3.65%  |
| 40 | GPS8_GPS8.15 | 33.867  | 33.848  | 0.00 | 0.06%  |
| 41 | GPS1_GPS9    | 313.120 | 312.983 | 0.00 | 0.04%  |

|    |             |        |        |                |        |        |
|----|-------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| 42 | GPS9_GPS9.1 | 18.808 | 18.814 | 0.00           | 0.03%  |        |
| 43 | GPS9_GPS9.2 | 18.336 | 17.561 | 0.04           | 4.22%  |        |
| 44 | GPS9_GPS9.3 | 31.697 | 33.122 | 0.04           | 4.50%  |        |
| 45 | GPS9_GPS9.4 | 5.140  | 5.777  | 0.12           | 12.39% |        |
| 46 | GPS9_GPS9.5 | 7.028  | 7.157  | 0.02           | 1.84%  |        |
| 47 | GPS9_GPS9.6 | 4.993  | 4.572  | 0.08           | 8.44%  |        |
| 48 | GPS9_GPS9.7 | 1.735  | 1.975  | 0.14           | 13.84% |        |
| 49 | GPS9_GPS9.8 | 31.821 | 33.600 | 0.06           | 5.59%  |        |
|    |             |        |        | PROMEDIO       | 0.05   | 5.18%  |
|    |             |        |        | DESVIACIÓN STD | 0.12   | 11.64% |

Fuente: Los Autores

**Tabla 14.** Deltas de error entre la estación total y la imagen satelital

| UNIDAD | metros       | TEORICO<br>ADOPTADO | EXPERIMENTAL        | COMPARACIONES |        |
|--------|--------------|---------------------|---------------------|---------------|--------|
|        | VECTOR       | ESTACIÓN TOTAL      | IMAGEN<br>SATELITAL |               |        |
|        | NOMBRE       | MAGNITUD            |                     | ERROR         | %      |
| 1      | GPS1_GPS2    | 144.450             | 144.411             | 0.00          | 0.03%  |
| 2      | GPS1_GPS3    | 234.862             | 236.372             | 0.01          | 0.64%  |
| 3      | GPS3_GPS3.1  | 13.255              | 13.241              | 0.00          | 0.11%  |
| 4      | GPS3_GPS3.2  | 9.245               | 8.800               | 0.05          | 4.81%  |
| 5      | GPS3_GPS3.3  | 9.479               | 9.470               | 0.00          | 0.10%  |
| 6      | GPS3_GPS3.4  | 13.598              | 13.781              | 0.01          | 1.35%  |
| 7      | GPS3_GPS3.5  | 11.544              | 12.159              | 0.05          | 5.33%  |
| 8      | GPS3_GPS3.6  | 38.507              | 38.495              | 0.00          | 0.03%  |
| 9      | GPS3_GPS3.7  | 27.116              | 24.957              | 0.08          | 7.96%  |
| 10     | GPS3_GPS3.8  | 25.774              | 23.508              | 0.09          | 8.79%  |
| 11     | GPS3_GPS3.9  | 22.702              | 24.763              | 0.09          | 9.08%  |
| 12     | GPS3_GPS3.10 | 16.598              | 19.143              | 0.15          | 15.33% |
| 13     | GPS3_GPS3.11 | 19.942              | 19.181              | 0.04          | 3.82%  |
| 14     | GPS3_GPS3.12 | 12.196              | 11.613              | 0.05          | 4.78%  |
| 15     | GPS1_GPS5    | 431.963             | 431.692             | 0.00          | 0.06%  |
| 16     | GPS1_GPS6    | 440.769             | 440.435             | 0.00          | 0.08%  |
| 17     | GPS6_GPS6.1  | 17.799              | 17.889              | 0.01          | 0.51%  |
| 18     | GPS6_GPS6.2  | 13.968              | 14.079              | 0.01          | 0.79%  |
| 19     | GPS6_GPS6.3  | 24.927              | 25.147              | 0.01          | 0.88%  |
| 20     | GPS1_GPS7    | 269.632             | 269.385             | 0.00          | 0.09%  |

|    |              |         |         |                |        |        |
|----|--------------|---------|---------|----------------|--------|--------|
| 21 | GPS7_GPS7.1  | 35.100  | 35.310  | 0.01           | 0.60%  |        |
| 22 | GPS7_GPS7.2  | 22.595  | 23.787  | 0.05           | 5.27%  |        |
| 23 | GPS7_GPS7.3  | 21.674  | 21.587  | 0.00           | 0.40%  |        |
| 24 | GPS7_GPS7.4  | 34.545  | 33.636  | 0.03           | 2.63%  |        |
| 25 | GPS1_GPS8    | 324.579 | 324.579 | 0.00           | 0.00%  |        |
| 26 | GPS8_GPS8.1  | 26.788  | 26.957  | 0.01           | 0.63%  |        |
| 27 | GPS8_GPS8.2  | 14.647  | 13.943  | 0.05           | 4.81%  |        |
| 28 | GPS8_GPS8.3  | 11.576  | 10.502  | 0.09           | 9.28%  |        |
| 29 | GPS8_GPS8.4  | 7.782   | 7.238   | 0.07           | 6.99%  |        |
| 30 | GPS8_GPS8.5  | 14.590  | 13.838  | 0.05           | 5.16%  |        |
| 31 | GPS8_GPS8.6  | 16.828  | 16.028  | 0.05           | 4.75%  |        |
| 32 | GPS8_GPS8.7  | 25.463  | 24.942  | 0.02           | 2.04%  |        |
| 33 | GPS8_GPS8.8  | 11.222  | 20.397  | 0.82           | 81.77% |        |
| 34 | GPS8_GPS8.9  | 8.296   | 8.664   | 0.04           | 4.44%  |        |
| 35 | GPS8_GPS8.10 | 22.576  | 23.528  | 0.04           | 4.22%  |        |
| 36 | GPS8_GPS8.11 | 23.894  | 24.678  | 0.03           | 3.28%  |        |
| 37 | GPS8_GPS8.12 | 28.397  | 29.270  | 0.03           | 3.08%  |        |
| 38 | GPS8_GPS8.13 | 31.699  | 32.717  | 0.03           | 3.21%  |        |
| 39 | GPS8_GPS8.14 | 28.781  | 29.908  | 0.04           | 3.92%  |        |
| 40 | GPS8_GPS8.15 | 33.829  | 33.848  | 0.00           | 0.06%  |        |
| 41 | GPS1_GPS9    | 313.134 | 312.983 | 0.00           | 0.05%  |        |
| 42 | GPS9_GPS9.1  | 18.777  | 18.814  | 0.00           | 0.20%  |        |
| 43 | GPS9_GPS9.2  | 18.313  | 17.561  | 0.04           | 4.10%  |        |
| 44 | GPS9_GPS9.3  | 31.650  | 33.122  | 0.05           | 4.65%  |        |
| 45 | GPS9_GPS9.4  | 5.138   | 5.777   | 0.12           | 12.44% |        |
| 46 | GPS9_GPS9.5  | 7.023   | 7.157   | 0.02           | 1.91%  |        |
| 47 | GPS9_GPS9.6  | 5.014   | 4.572   | 0.09           | 8.82%  |        |
| 48 | GPS9_GPS9.7  | 1.723   | 1.975   | 0.15           | 14.65% |        |
| 49 | GPS9_GPS9.8  | 31.815  | 33.600  | 0.06           | 5.61%  |        |
|    |              |         |         | PROMEDIO       | 0.05   | 5.38%  |
|    |              |         |         | DESVIACIÓN STD | 0.12   | 11.79% |

Fuente: Los Autores

### 3.2. Análisis general de los datos

Para el análisis total el grupo investigador decidió que las medidas hechas en la imagen no debían superar delta de error porcentual promedio hallado de la comparación entre el levantamiento por GPS y la Estación total que es igual a 0.45% basado en que para aprobar un sistema nuevo de medición este debe tener una precisión menor ó igual a la de los métodos que desea reemplazar, así mismo se tomó como desviación estándar 0.80%, valor arrojado entre la misma comparación. Los resultados se ven reflejados en el siguiente cuadro:

**Tabla 15.** Resultados de la prueba de hipótesis realizada para la totalidad de la muestra con  $\mu_0$  igual a 0.0045

| PRUEBA DE HIPOTESIS |                      |                           |
|---------------------|----------------------|---------------------------|
|                     | GPS-IMAGEN QUICKBIRD | ESTACIÓN-IMAGEN QUICKBIRD |
| $\mu_0$             | 0.0045               | 0.0045                    |
| $\mu_x$             | 0.0518               | 0.0538                    |
| S                   | 0.0080               | 0.0080                    |
| n                   | 49                   | 49                        |
| Zo                  | 41.3102              | 42.9977                   |
| Z $\alpha$          | 1.64                 | 1.64                      |
| -Z $\alpha$         | -1.64                | -1.64                     |
| La Ho               | se rechaza           | se rechaza                |

Fuente: Los Autores

Donde:

$\mu_0$  = Diferencia de error tomada como marco de referencia, en este caso estimada por la comparación entre el levantamiento por GPS y por estación.

$\mu_x$  = Promedio de los deltas de error obtenidos de la respectiva comparación.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Tamaño de la muestra de deltas de error.

$Z_0$  = Posición de evaluación de los parámetros dentro de la curva de distribución normal.

$Z_\alpha$  = Punto de evaluación del punto de comparación.

$H_0$  = Hipótesis nula.

En la tabla se observa que el promedio de los delta de error ( $\mu_x$ ) se encuentra entre el 5% el 5.5% estando muy alejado de la zona de aceptación de la hipótesis nula teniendo en cuenta que se requiere un 0.45% de diferencia de error ( $\mu_0$ ), por lo tanto la hipótesis nula se rechaza llevando a concluir que el método de las imágenes satelitales no brinda la misma exactitud que los métodos tradicionales para todo tipo de escalas de precisión, estadísticamente el rechazo de la hipótesis nula es suficientemente concluyente por lo tanto el método de mediciones de distancias y levantamientos planimétricos usando una imagen digital no brinda la misma o mejor exactitud que los métodos existentes.

### **3.3. Análisis detallado de los datos**

#### **3.3.1. Escalas de representación**

Con el fin de mirar si es viable el uso de la imagen digital en fases preliminares de proyectos cuyos planos sean representados a una escala mayor que 1:1000 se determinaron los errores aceptables en la imagen según la escala en la que se desee trabajar “por ejemplo: para un mapeo en la escala 1:50.000, el error aceptable en el registro es la mitad del valor de la escala, o sea 25 metros. Así un error de 2 pixeles para una resolución de 10 metros, o sea, 20 metros, sería aceptable para esta escala de trabajo”<sup>33</sup>.

---

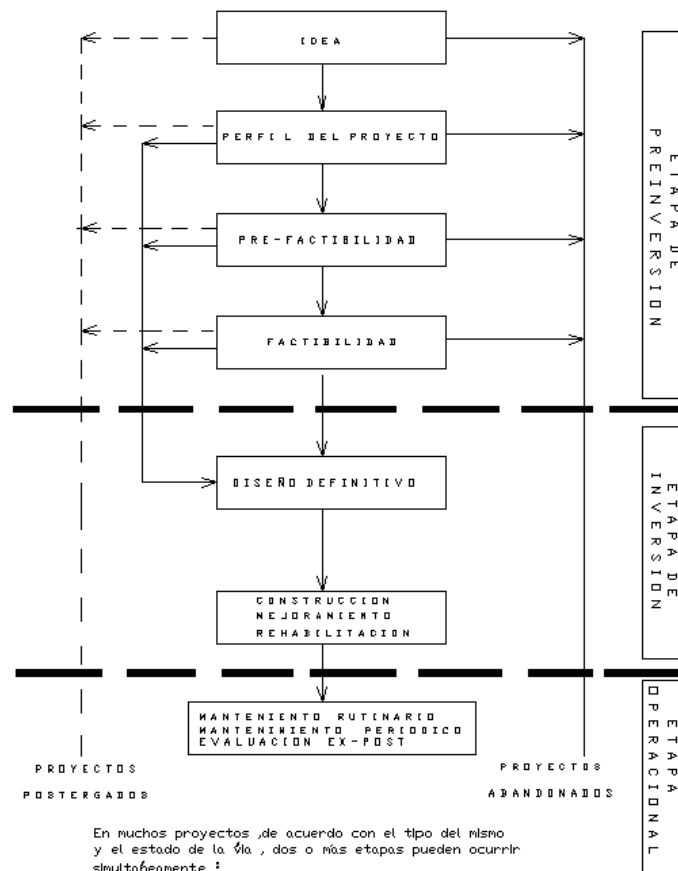
<sup>33</sup> PINTO, Op. cit., p.28-29.

**Tabla 16.** Tipos de estudios en la etapa de preinversión

| Tipo de estudio     | Nivel de los estudios técnicos | Grado de exactitud de las cuantificaciones | Escala de precisión |
|---------------------|--------------------------------|--|---------------------|
| Perfil del proyecto | Bosquejos                      | 55 a 60%                                   |                     |
| Prefactibilidad     | Anteproyecto preliminar        | 65 a 70%                                   | 1:50000             |
| Factibilidad        | Anteproyecto definitivo        | 75 a 80%                                   | 1:10000             |

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras. Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de la República de Colombia

**Figura 74.** Ciclo de un proyecto de carreteras



Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras. Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de la República de Colombia

En la tabla 17 podemos observar la escala de precisión exigida para etapas de prefactibilidad y factibilidad en trazados viales, como complemento se puede añadir que según el INVIAS en la etapa de inversión la escala mínima de diseño será de 1:2000 con precisión de 1:1000. Conocidas las escalas de precisión requerida por INVIAS el grupo investigador procedió a determinar los errores aceptables para la imagen digital Quickbird.

**Tabla 17.** Comparación entre escalas y errores aceptables

| Escala de precisión | Errores aceptables en el registro (m) | Errores aceptables en pixeles para una resolución de 0.60m |
|---------------------|---------------------------------------|--|
| 1:50000             | 25.00                                 | 41.67  |
| 1:10000             | 5.00                                  | 8.33   |
| 1:2000              | 1.00                                  | 1.67   |
| 1:1000              | 0.50                                  | 0.83   |
| 1:500               | 0.25                                  | 0.42   |

Fuente: Los Autores

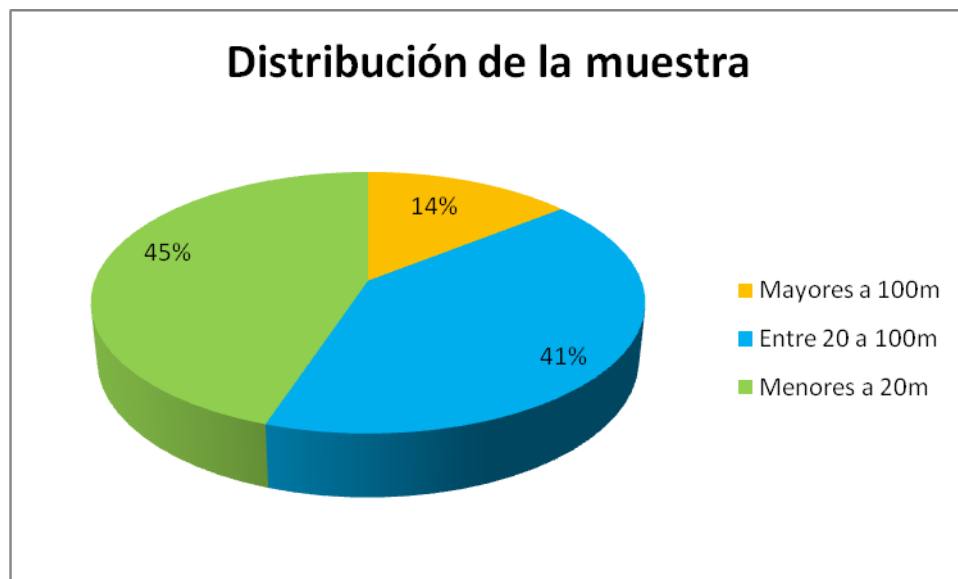
La tercera columna de errores aceptables en pixeles muestra cuantos pixeles de error se permiten como máximo al momento de definir un punto de control con coordenadas y ubicación en la imagen con el software usado para hacer la teledetección, por ejemplo, para la escala 1:10000 se aceptaría un error de 5m en el registro, o sea 8.33 pixeles de una imagen de resolución de 0.60m, lo cual quiere decir que un milímetro representado en el papel equivaldría a 10 metros en el campo y a 8.33 pixeles en la imagen, en el caso de la escala 1:1000 se acepta solo un error de 0.5m en el registro, 0.83 pixeles, dicho en otras palabras un milímetro en papel es igual a un metro en el terreno y 0.83 pixeles en la imagen, indicando que a este nivel de precisión el uso de la imagen sigue siendo viable siempre y cuando el error en pixeles en cada punto de control en la georreferenciación y el error total de registro sean menores a 0.5 pixeles confirmando la viabilidad técnica del uso de la imagen satelital para levantar terrenos que van a ser usados en el campo vial en ingeniería civil, pues como ya

se evidencio la escala límite para el uso de la imagen es 1:1000 siendo esta la máxima exigida por el INVIAS en la etapa de diseño geométrico de la vía, ya para levantamientos que requieran una precisión menor a 1:1000 tendrán que ser levantados al detalle en campo con métodos tradicionales como la GPS y estación total.

### 3.3.2. División de los datos para su análisis

El grupo investigador decidió dividir la muestra en tres partes para su análisis detallado debido a la diversidad de tamaños de las distancias medidas con el fin de observar el comportamiento del delta de error a medida que la distancia aumenta o disminuye, se crearon tres grandes grupos con medidas de longitud relativamente larga, mediana y pequeña.

**Figura 75.** Distribución de la muestra



Fuente: Los Autores

La división se realizó buscando formar grandes grupos de medidas similares en cuanto al tamaño a fin de poder aplicar la hipótesis nula planteada de una forma más coherente con la variación del error según la distancia medida, por ejemplo,

se dijo que el parámetro de aceptación estaría en el 0.45%, pero este porcentaje en 100 metros es diferente al de 10 metros. Otro factor que condujo a la decisión de dividir la muestra en tres partes fue la necesidad darle un soporte al análisis de las escalas de precisión requeridas para las diferentes etapas de un proyecto vial.

**Tabla 18.** Comparación GPS vs Estación total para distancias mayores a 100m

| UNIDAD | metros    | TEORICO ADOPTADO | EXPERIMENTAL   | COMPARACIONES  |        |       |
|--------|-----------|------------------|----------------|----------------|--------|-------|
|        | VECTOR    | GPS              | ESTACIÓN TOTAL |                |        |       |
|        | NOMBRE    | MAGNITUD         |                | ERROR          | %      |       |
| 1      | GPS1_GPS2 | 144.430          | 144.450        | 0.0001         | 0.01%  |       |
| 2      | GPS1_GPS3 | 234.836          | 234.862        | 0.0001         | 0.01%  |       |
| 15     | GPS1_GPS5 | 431.948          | 431.963        | 0.0000         | 0.00%  |       |
| 16     | GPS1_GPS6 | 440.763          | 440.769        | 0.0000         | 0.00%  |       |
| 20     | GPS1_GPS7 | 269.636          | 269.632        | 0.0000         | 0.00%  |       |
| 25     | GPS1_GPS8 | 324.564          | 324.579        | 0.0000         | 0.00%  |       |
| 41     | GPS1_GPS9 | 313.115          | 313.134        | 0.0001         | 0.01%  |       |
|        |           |                  |                | PROMEDIO       | 0.0001 | 0.01% |
|        |           |                  |                | DESVIACIÓN STD | 0.0000 | 0.00% |

Fuente: Los Autores

**Tabla 19.** Comparación GPS vs Estación total para distancias entre 20m y 100m

| UNIDAD | metros       | TEORICO ADOPTADO | EXPERIMENTAL   | COMPARACIONES |       |
|--------|--------------|------------------|----------------|---------------|-------|
|        | VECTOR       | GPS              | ESTACIÓN TOTAL |               |       |
|        | NOMBRE       | MAGNITUD         |                | ERROR         | %     |
| 8      | GPS3_GPS3.6  | 38.482           | 38.507         | 0.0006        | 0.06% |
| 9      | GPS3_GPS3.7  | 27.008           | 27.116         | 0.0040        | 0.40% |
| 10     | GPS3_GPS3.8  | 25.753           | 25.774         | 0.0008        | 0.08% |
| 11     | GPS3_GPS3.9  | 23.085           | 22.702         | 0.0166        | 1.66% |
| 13     | GPS3_GPS3.11 | 20.095           | 19.942         | 0.0076        | 0.76% |
| 19     | GPS6_GPS6.3  | 25.062           | 24.927         | 0.0054        | 0.54% |
| 21     | GPS7_GPS7.1  | 35.207           | 35.100         | 0.0030        | 0.30% |
| 22     | GPS7_GPS7.2  | 22.661           | 22.595         | 0.0029        | 0.29% |

|    |              |        |        |                           |               |              |
|----|--------------|--------|--------|---------------------------|---------------|--------------|
| 23 | GPS7_GPS7.3  | 21.691 | 21.674 | 0.0008                    | 0.08%         |              |
| 24 | GPS7_GPS7.4  | 34.555 | 34.545 | 0.0003                    | 0.03%         |              |
| 26 | GPS8_GPS8.1  | 26.818 | 26.788 | 0.0011                    | 0.11%         |              |
| 32 | GPS8_GPS8.7  | 25.504 | 25.463 | 0.0016                    | 0.16%         |              |
| 35 | GPS8_GPS8.10 | 22.605 | 22.576 | 0.0013                    | 0.13%         |              |
| 36 | GPS8_GPS8.11 | 23.895 | 23.894 | 0.0000                    | 0.00%         |              |
| 37 | GPS8_GPS8.12 | 28.390 | 28.397 | 0.0003                    | 0.03%         |              |
| 38 | GPS8_GPS8.13 | 31.722 | 31.699 | 0.0007                    | 0.07%         |              |
| 39 | GPS8_GPS8.14 | 28.856 | 28.781 | 0.0026                    | 0.26%         |              |
| 40 | GPS8_GPS8.15 | 33.867 | 33.829 | 0.0011                    | 0.11%         |              |
| 44 | GPS9_GPS9.3  | 31.621 | 31.650 | 0.0009                    | 0.09%         |              |
| 49 | GPS9_GPS9.8  | 31.790 | 31.815 | 0.0008                    | 0.08%         |              |
|    |              |        |        | <b>PROMEDIO</b>           | <b>0.0026</b> | <b>0.26%</b> |
|    |              |        |        | <b>DESVIACIÓN<br/>STD</b> | <b>0.0038</b> | <b>0.38%</b> |

Fuente: Los Autores

**Tabla 20.** Comparación GPS vs Estación total para distancias menores a 20m

| UNIDAD | metros       | TEORICO<br>ADOPTADO | EXPERIMENTAL      | COMPARACIONES |       |
|--------|--------------|---------------------|-------------------|---------------|-------|
|        | VECTOR       | GPS                 | ESTACIÓN<br>TOTAL |               |       |
|        | NOMBRE       | MAGNITUD            |                   | ERROR         | %     |
| 3      | GPS3_GPS3.1  | 13.338              | 13.255            | 0.0062        | 0.62% |
| 4      | GPS3_GPS3.2  | 9.325               | 9.245             | 0.0086        | 0.86% |
| 5      | GPS3_GPS3.3  | 9.397               | 9.479             | 0.0088        | 0.88% |
| 6      | GPS3_GPS3.4  | 13.527              | 13.598            | 0.0052        | 0.52% |
| 7      | GPS3_GPS3.5  | 12.143              | 11.544            | 0.0494        | 4.94% |
| 12     | GPS3_GPS3.10 | 16.758              | 16.598            | 0.0095        | 0.95% |
| 14     | GPS3_GPS3.12 | 11.917              | 12.196            | 0.0234        | 2.34% |
| 17     | GPS6_GPS6.1  | 17.984              | 17.799            | 0.0103        | 1.03% |
| 18     | GPS6_GPS6.2  | 13.966              | 13.968            | 0.0002        | 0.02% |
| 27     | GPS8_GPS8.2  | 14.802              | 14.647            | 0.0105        | 1.05% |
| 28     | GPS8_GPS8.3  | 11.639              | 11.576            | 0.0054        | 0.54% |
| 29     | GPS8_GPS8.4  | 7.795               | 7.782             | 0.0017        | 0.17% |
| 30     | GPS8_GPS8.5  | 14.539              | 14.590            | 0.0035        | 0.35% |
| 31     | GPS8_GPS8.6  | 16.896              | 16.828            | 0.0040        | 0.40% |
| 33     | GPS8_GPS8.8  | 11.282              | 11.222            | 0.0053        | 0.53% |
| 34     | GPS8_GPS8.9  | 8.285               | 8.296             | 0.0012        | 0.12% |
| 42     | GPS9_GPS9.1  | 18.808              | 18.777            | 0.0017        | 0.17% |

|    |             |        |        |                   |        |       |
|----|-------------|--------|--------|-------------------|--------|-------|
| 43 | GPS9_GPS9.2 | 18.337 | 18.313 | 0.0013            | 0.13%  |       |
| 45 | GPS9_GPS9.4 | 5.150  | 5.138  | 0.0023            | 0.23%  |       |
| 46 | GPS9_GPS9.5 | 7.053  | 7.023  | 0.0042            | 0.42%  |       |
| 47 | GPS9_GPS9.6 | 5.111  | 5.014  | 0.0190            | 1.90%  |       |
| 48 | GPS9_GPS9.7 | 1.701  | 1.723  | 0.0132            | 1.32%  |       |
|    |             |        |        | PROMEDIO          | 0.0089 | 0.89% |
|    |             |        |        | DESVIACIÓN<br>STD | 0.0108 | 1.08% |

Fuente: Los Autores

**Tabla 21.** Comparación GPS vs Imagen satelital para distancias mayores a 100m

| UNIDAD | metros    | TEORICO<br>ADOPTADO | EXPERIMENTAL        | COMPARACIONES     |        |       |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|-------------------|--------|-------|
|        | VECTOR    | GPS                 | IMAGEN<br>SATELITAL |                   |        |       |
|        | NOMBRE    | MAGNITUD            |                     | ERROR             | %      |       |
| 1      | GPS1_GPS2 | 144.430             | 144.411             | 0.00              | 0.01%  |       |
| 16     | GPS1_GPS6 | 440.763             | 440.435             | 0.00              | 0.07%  |       |
| 15     | GPS1_GPS5 | 431.948             | 431.692             | 0.00              | 0.06%  |       |
| 25     | GPS1_GPS8 | 324.564             | 324.579             | 0.00              | 0.00%  |       |
| 41     | GPS1_GPS9 | 313.115             | 312.983             | 0.00              | 0.04%  |       |
| 20     | GPS1_GPS7 | 269.636             | 269.385             | 0.00              | 0.09%  |       |
| 2      | GPS1_GPS3 | 234.836             | 236.372             | 0.01              | 0.65%  |       |
|        |           |                     |                     | PROMEDIO          | 0.0013 | 0.13% |
|        |           |                     |                     | DESVIACIÓN<br>STD | 0.0021 | 0.21% |

Fuente: Los Autores

**Tabla 22.** Comparación GPS vs Imagen satelital para distancias entre 20m y 100m

| UNIDAD | metros       | TEORICO<br>ADOPTADO | EXPERIMENTAL        | COMPARACIONES |       |
|--------|--------------|---------------------|---------------------|---------------|-------|
|        | VECTOR       | GPS                 | IMAGEN<br>SATELITAL |               |       |
|        | NOMBRE       | MAGNITUD            |                     | ERROR         | %     |
| 8      | GPS3_GPS3.6  | 38.482              | 38.495              | 0.00          | 0.03% |
| 21     | GPS7_GPS7.1  | 35.207              | 35.310              | 0.00          | 0.29% |
| 24     | GPS7_GPS7.4  | 34.555              | 33.636              | 0.03          | 2.66% |
| 40     | GPS8_GPS8.15 | 33.867              | 33.848              | 0.00          | 0.06% |

|    |              |        |        |                |        |       |
|----|--------------|--------|--------|----------------|--------|-------|
| 49 | GPS9_GPS9.8  | 31.790 | 33.600 | 0.06           | 5.69%  |       |
| 38 | GPS8_GPS8.13 | 31.722 | 32.717 | 0.03           | 3.14%  |       |
| 44 | GPS9_GPS9.3  | 31.621 | 33.122 | 0.05           | 4.75%  |       |
| 39 | GPS8_GPS8.14 | 28.856 | 29.908 | 0.04           | 3.65%  |       |
| 37 | GPS8_GPS8.12 | 28.390 | 29.270 | 0.03           | 3.10%  |       |
| 9  | GPS3_GPS3.7  | 27.008 | 24.957 | 0.08           | 7.60%  |       |
| 26 | GPS8_GPS8.1  | 26.818 | 26.957 | 0.01           | 0.52%  |       |
| 10 | GPS3_GPS3.8  | 25.753 | 23.508 | 0.09           | 8.72%  |       |
| 32 | GPS8_GPS8.7  | 25.504 | 24.942 | 0.02           | 2.20%  |       |
| 19 | GPS6_GPS6.3  | 25.062 | 25.147 | 0.00           | 0.34%  |       |
| 36 | GPS8_GPS8.11 | 23.895 | 24.678 | 0.03           | 3.27%  |       |
| 11 | GPS3_GPS3.9  | 23.085 | 24.763 | 0.07           | 7.27%  |       |
| 22 | GPS7_GPS7.2  | 22.661 | 23.787 | 0.05           | 4.97%  |       |
| 35 | GPS8_GPS8.10 | 22.605 | 23.528 | 0.04           | 4.08%  |       |
| 23 | GPS7_GPS7.3  | 21.691 | 21.587 | 0.00           | 0.48%  |       |
| 13 | GPS3_GPS3.11 | 20.095 | 19.181 | 0.05           | 4.55%  |       |
|    |              |        |        | PROMEDIO       | 0.0337 | 3.37% |
|    |              |        |        | DESVIACIÓN STD | 0.0264 | 2.64% |

Fuente: Los Autores

**Tabla 23.** Comparación GPS vs Imagen satelital para distancias menores a 20m

| UNIDAD | metros       | TEORICO ADOPTADO | EXPERIMENTAL     | COMPARACIONES |        |
|--------|--------------|------------------|------------------|---------------|--------|
|        | VECTOR       | GPS              | IMAGEN SATELITAL |               |        |
|        | NOMBRE       | MAGNITUD         |                  | ERROR         | %      |
| 42     | GPS9_GPS9.1  | 18.808           | 18.814           | 0.00          | 0.03%  |
| 43     | GPS9_GPS9.2  | 18.337           | 17.561           | 0.04          | 4.23%  |
| 17     | GPS6_GPS6.1  | 17.984           | 17.889           | 0.01          | 0.53%  |
| 31     | GPS8_GPS8.6  | 16.896           | 16.028           | 0.05          | 5.13%  |
| 12     | GPS3_GPS3.10 | 16.758           | 19.143           | 0.14          | 14.23% |
| 27     | GPS8_GPS8.2  | 14.802           | 13.943           | 0.06          | 5.81%  |
| 30     | GPS8_GPS8.5  | 14.539           | 13.838           | 0.05          | 4.82%  |
| 18     | GPS6_GPS6.2  | 13.966           | 14.079           | 0.01          | 0.81%  |
| 6      | GPS3_GPS3.4  | 13.527           | 13.781           | 0.02          | 1.87%  |
| 3      | GPS3_GPS3.1  | 13.338           | 13.241           | 0.01          | 0.73%  |
| 7      | GPS3_GPS3.5  | 12.143           | 12.159           | 0.00          | 0.13%  |

|    |              |        |        |                |        |        |
|----|--------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| 14 | GPS3_GPS3.12 | 11.917 | 11.613 | 0.03           | 2.55%  |        |
| 28 | GPS8_GPS8.3  | 11.639 | 10.502 | 0.10           | 9.77%  |        |
| 33 | GPS8_GPS8.8  | 11.282 | 20.397 | 0.81           | 80.80% |        |
| 5  | GPS3_GPS3.3  | 9.397  | 9.470  | 0.01           | 0.78%  |        |
| 4  | GPS3_GPS3.2  | 9.325  | 8.800  | 0.06           | 5.63%  |        |
| 34 | GPS8_GPS8.9  | 8.285  | 8.664  | 0.05           | 4.57%  |        |
| 29 | GPS8_GPS8.4  | 7.795  | 7.238  | 0.07           | 7.15%  |        |
| 46 | GPS9_GPS9.5  | 7.053  | 7.157  | 0.01           | 1.48%  |        |
| 45 | GPS9_GPS9.4  | 5.150  | 5.777  | 0.12           | 12.18% |        |
| 47 | GPS9_GPS9.6  | 5.111  | 4.572  | 0.11           | 10.55% |        |
| 48 | GPS9_GPS9.7  | 1.701  | 1.975  | 0.16           | 16.16% |        |
|    |              |        |        | PROMEDIO       | 0.0863 | 8.63%  |
|    |              |        |        | DESVIACIÓN STD | 0.1680 | 16.80% |

Fuente: Los Autores

**Tabla 24.** Comparación Imagen satelital vs Estación total para distancias mayores a 100m

| UNIDAD | metros    | TEORICO ADOPTADO | EXPERIMENTAL     | COMPARACIONES  |        |       |
|--------|-----------|------------------|------------------|----------------|--------|-------|
|        | VECTOR    | ESTACIÓN TOTAL   | IMAGEN SATELITAL |                |        |       |
|        | NOMBRE    | MAGNITUD         |                  | ERROR          | %      |       |
| 16     | GPS1_GPS6 | 440.768          | 440.435          | 0.00           | 0.08%  |       |
| 15     | GPS1_GPS5 | 431.963          | 431.692          | 0.00           | 0.06%  |       |
| 25     | GPS1_GPS8 | 324.578          | 324.579          | 0.00           | 0.00%  |       |
| 41     | GPS1_GPS9 | 313.136          | 312.983          | 0.00           | 0.05%  |       |
| 20     | GPS1_GPS7 | 269.631          | 269.385          | 0.00           | 0.09%  |       |
| 2      | GPS1_GPS3 | 234.861          | 236.372          | 0.01           | 0.64%  |       |
| 1      | GPS1_GPS2 | 144.449          | 144.411          | 0.00           | 0.03%  |       |
|        |           |                  |                  | PROMEDIO       | 0.0014 | 0.14% |
|        |           |                  |                  | DESVIACIÓN STD | 0.0021 | 0.21% |

Fuente: Los Autores

**Tabla 25.** Comparación Imagen satelital vs Estación total para distancias entre 20m y 100m

| UNIDAD         | metros       | TEORICO ADOPTADO | EXPERIMENTAL     | COMPARACIONES |       |
|----------------|--------------|------------------|------------------|---------------|-------|
|                | VECTOR       | ESTACIÓN TOTAL   | IMAGEN SATELITAL |               |       |
|                | NOMBRE       | MAGNITUD         |                  | ERROR         | %     |
| 8              | GPS3_GPS3.6  | 38.507           | 38.495           | 0.00          | 0.03% |
| 21             | GPS7_GPS7.1  | 35.100           | 35.310           | 0.01          | 0.60% |
| 24             | GPS7_GPS7.4  | 34.545           | 33.636           | 0.03          | 2.63% |
| 40             | GPS8_GPS8.15 | 33.829           | 33.848           | 0.00          | 0.06% |
| 36             | GPS8_GPS8.11 | 23.894           | 24.678           | 0.03          | 3.28% |
| 49             | GPS9_GPS9.8  | 31.815           | 33.600           | 0.06          | 5.61% |
| 44             | GPS9_GPS9.3  | 31.650           | 33.122           | 0.05          | 4.65% |
| 38             | GPS8_GPS8.13 | 31.699           | 32.717           | 0.03          | 3.21% |
| 39             | GPS8_GPS8.14 | 28.781           | 29.908           | 0.04          | 3.92% |
| 37             | GPS8_GPS8.12 | 28.397           | 29.270           | 0.03          | 3.08% |
| 9              | GPS3_GPS3.7  | 27.116           | 24.957           | 0.08          | 7.96% |
| 26             | GPS8_GPS8.1  | 26.788           | 26.957           | 0.01          | 0.63% |
| 10             | GPS3_GPS3.8  | 25.774           | 23.508           | 0.09          | 8.79% |
| 32             | GPS8_GPS8.7  | 25.463           | 24.942           | 0.02          | 2.04% |
| 19             | GPS6_GPS6.3  | 24.927           | 25.147           | 0.01          | 0.88% |
| 11             | GPS3_GPS3.9  | 22.702           | 24.763           | 0.09          | 9.08% |
| 22             | GPS7_GPS7.2  | 22.595           | 23.787           | 0.05          | 5.27% |
| 35             | GPS8_GPS8.10 | 22.576           | 23.528           | 0.04          | 4.22% |
| 23             | GPS7_GPS7.3  | 21.674           | 21.587           | 0.00          | 0.40% |
| 13             | GPS3_GPS3.11 | 19.942           | 19.181           | 0.04          | 3.82% |
| PROMEDIO       |              |                  |                  | 0.0351        | 3.51% |
| DESVIACIÓN STD |              |                  |                  | 0.0280        | 2.80% |

Fuente: Los Autores

**Tabla 26.** Comparación Imagen satelital vs Estación total para distancias menores a 20m

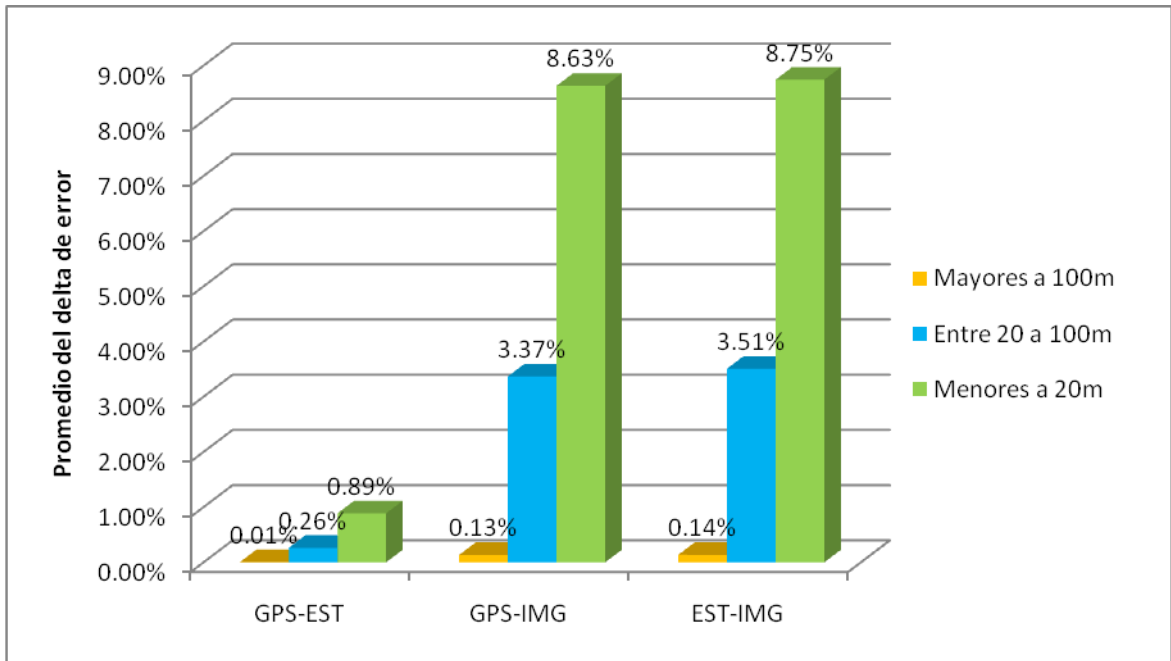
| UNIDAD | metros      | TEORICO ADOPTADO | EXPERIMENTAL     | COMPARACIONES |       |
|--------|-------------|------------------|------------------|---------------|-------|
|        | VECTOR      | ESTACIÓN TOTAL   | IMAGEN SATELITAL |               |       |
|        | NOMBRE      | MAGNITUD         |                  | ERROR         | %     |
| 42     | GPS9_GPS9.1 | 18.777           | 18.814           | 0.00          | 0.20% |

|    |              |        |        |                |        |        |
|----|--------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| 43 | GPS9_GPS9.2  | 18.313 | 17.561 | 0.04           | 4.10%  |        |
| 17 | GPS6_GPS6.1  | 17.799 | 17.889 | 0.01           | 0.51%  |        |
| 31 | GPS8_GPS8.6  | 16.828 | 16.028 | 0.05           | 4.75%  |        |
| 12 | GPS3_GPS3.10 | 16.598 | 19.143 | 0.15           | 15.33% |        |
| 27 | GPS8_GPS8.2  | 14.647 | 13.943 | 0.05           | 4.81%  |        |
| 30 | GPS8_GPS8.5  | 14.590 | 13.838 | 0.05           | 5.16%  |        |
| 18 | GPS6_GPS6.2  | 13.968 | 14.079 | 0.01           | 0.79%  |        |
| 6  | GPS3_GPS3.4  | 13.598 | 13.781 | 0.01           | 1.35%  |        |
| 3  | GPS3_GPS3.1  | 13.255 | 13.241 | 0.00           | 0.11%  |        |
| 14 | GPS3_GPS3.12 | 12.196 | 11.613 | 0.05           | 4.78%  |        |
| 28 | GPS8_GPS8.3  | 11.576 | 10.502 | 0.09           | 9.28%  |        |
| 7  | GPS3_GPS3.5  | 11.544 | 12.159 | 0.05           | 5.33%  |        |
| 33 | GPS8_GPS8.8  | 11.222 | 20.397 | 0.82           | 81.77% |        |
| 5  | GPS3_GPS3.3  | 9.479  | 9.470  | 0.00           | 0.10%  |        |
| 4  | GPS3_GPS3.2  | 9.245  | 8.800  | 0.05           | 4.81%  |        |
| 34 | GPS8_GPS8.9  | 8.296  | 8.664  | 0.04           | 4.44%  |        |
| 29 | GPS8_GPS8.4  | 7.782  | 7.238  | 0.07           | 6.99%  |        |
| 46 | GPS9_GPS9.5  | 7.023  | 7.157  | 0.02           | 1.91%  |        |
| 45 | GPS9_GPS9.4  | 5.138  | 5.777  | 0.12           | 12.44% |        |
| 47 | GPS9_GPS9.6  | 5.014  | 4.572  | 0.09           | 8.82%  |        |
| 48 | GPS9_GPS9.7  | 1.723  | 1.975  | 0.15           | 14.65% |        |
|    |              |        |        | PROMEDIO       | 0.0875 | 8.75%  |
|    |              |        |        | DESVIACIÓN STD | 0.1692 | 16.92% |

Fuente: Los Autores

- **Análisis de los resultados después de la división por tamaño de distancias**

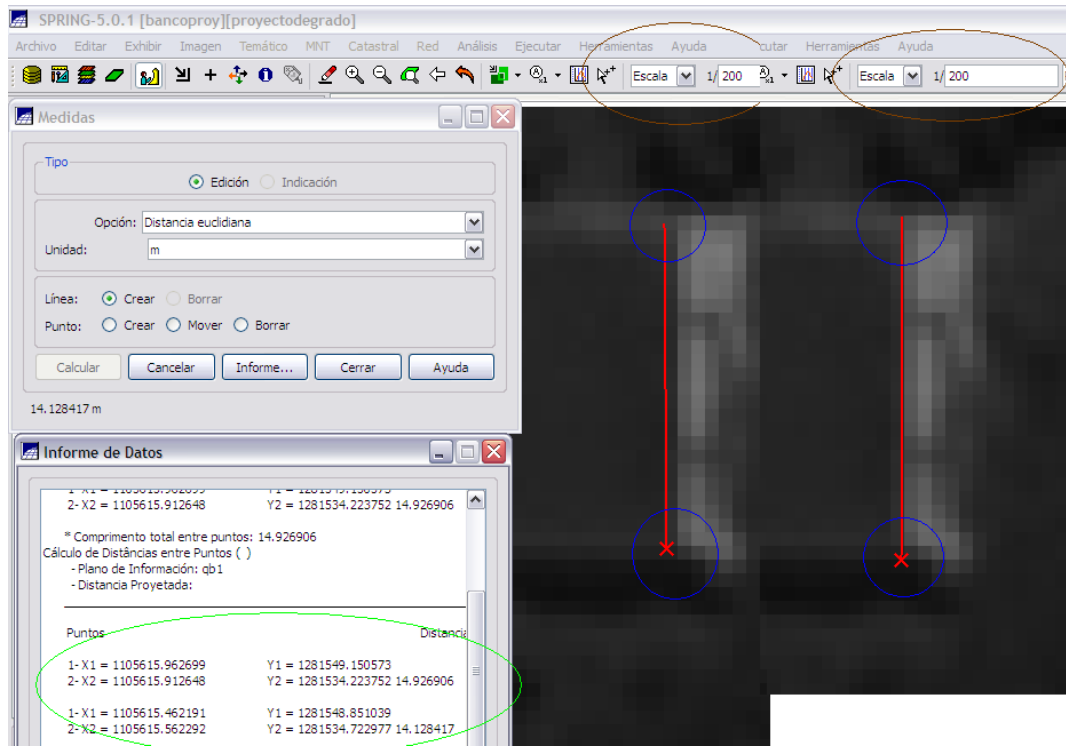
**Figura 76.** Comparación de los promedios de delta de error según la distancia medida



Fuente: Los Autores

Después de hecha la división se observó una clara tendencia de aumento del error a medida que la magnitud del vector analizado se reducía. Esto se observó en las comparaciones del método de la imagen digital contra los de GPS y Estación Total, brindando la más contundente evidencia de la ineficiencia de la imagen satelital en cortas distancias debido a la resolución de la misma que restringe la precisión de la medida al valor de la resolución que en este caso era de 60 centímetros por píxel, en otras palabras no se pueden ver objetos menores a 60 cm de longitud por lo tanto se restringe su aplicación a escalas con errores aceptables en el registro mayores a 0.60m, es decir, según la tabla 17 se limitaría a la escala 1:2000 en adelante.

**Figura 77.** Error en la medición de objetos pequeños en una imagen digital a escala 1:200



Fuente: Imagen del software SPRING

En la figura 77 se puede observar como desde el mismo pixel de inicio (circulo azul superior) al mismo pixel final (circulo azul inferior) se pueden hacer dos mediciones de la misma distancia teniendo un delta de error de 0.80 cm a una escala de 1:200 (circulo marrón) debido a que en el pixel no se diferencian objetos menores a 0.60 cm.

En cuanto a la parte estadística se encontró que si se toman como parámetros estimativos los promedios de delta de error obtenidos en la comparación entre GPS y estación total, la deltas que arroja la imagen en cualquier tamaño posible de medición siempre van a conducir a un rechazo de la hipótesis nula como se muestra en tres siguientes tablas, lo cual quiere decir que en ningún caso la imagen igualo planimétricamente la precisión obtenida por los otros métodos. Cabe anotar que se tomo como desviación estándar la que arrojó la muestra total.

**Tabla 27.** Análisis estadístico para el intervalo de medidas mayor a 100m

| PRUEBA DE HIPOTESIS |            |            |
|---------------------|------------|------------|
|                     | GPS-IMG    | EST-IMG    |
| $\mu_0$             | 0.0001     | 0.0001     |
| $\mu_x$             | 0.0013     | 0.0014     |
| S                   | 0.0080     | 0.0080     |
| n                   | 7          | 7          |
| Z <sub>0</sub>      | 0.42       | 0.43       |
| Z $\alpha$          | 1.64       | 1.64       |
| -Z $\alpha$         | -1.64      | -1.64      |
| La Ho               | se rechaza | se rechaza |

Fuente: Los Autores

**Tabla 28.** Análisis estadístico para el intervalo de medidas entre 20m y 100m

| PRUEBA DE HIPOTESIS |            |            |
|---------------------|------------|------------|
|                     | GPS-IMG    | EST-IMG    |
| $\mu_0$             | 0.0026     | 0.0026     |
| $\mu_x$             | 0.0337     | 0.0351     |
| S                   | 0.0080     | 0.0080     |
| n                   | 20         | 20         |
| Z <sub>0</sub>      | 17.32      | 18.10      |
| Z $\alpha$          | 1.64       | 1.64       |
| -Z $\alpha$         | -1.64      | -1.64      |
| La Ho               | se rechaza | se rechaza |

Fuente: Los Autores

**Tabla 29.** Análisis estadístico para el intervalo de medidas menor a 20m

| PRUEBA DE HIPOTESIS |            |            |
|---------------------|------------|------------|
|                     | GPS-IMG    | EST-IMG    |
| $\mu_0$             | 0.0089     | 0.0089     |
| $\mu_x$             | 0.0863     | 0.0875     |
| S                   | 0.0080     | 0.0080     |
| n                   | 22         | 22         |
| Z <sub>0</sub>      | 45.31      | 45.97      |
| Z $\alpha$          | 1.64       | 1.64       |
| -Z $\alpha$         | -1.64      | -1.64      |
| La Ho               | se rechaza | se rechaza |

Fuente: Los Autores

Donde:

$\mu_0$  = Diferencia de error tomada como marco de referencia, en este caso estimada por la comparación entre el levantamiento por GPS y por estación.

$\mu_x$  = Promedio de los deltas de error obtenidos de la respectiva comparación.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Tamaño de la muestra de deltas de error.

$Z_0$  = Posición de evaluación de los parámetros dentro de la curva de distribución normal.

$Z_\alpha$  = Punto de evaluación del punto de comparación.

$H_0$  = Hipótesis nula.

Realizando un análisis menos matemático y más racional se encuentra que la aceptación o rechazo de la hipótesis nula está directamente relacionada con la escala a usar en la representación en papel del terreno levantado a partir de una imagen satelital debido a que se amplía la zona de aceptación al cambiar el estadístico de comparación por uno más acorde a la escala de precisión a ser utilizada, en otras palabras, la prueba estadística está diseñada para aceptar la hipótesis nula siempre y cuando la imagen arroje la misma o más precisión que los métodos, cosa que no ocurrió, pero por el método de ensayo y error el grupo investigador encontró el parámetro exacto mediante el cual la hipótesis nula no es rechazada a fin de observar el porcentaje de error que tiene cada tamaño de medida.

**Tabla 30.** Valores para los cuales la hipótesis nula fue aceptada obtenida por el método de ensayo y error

| PRUEBA DE HIPOTESIS |         |         | PRUEBA DE HIPOTESIS |         |         | PRUEBA DE HIPOTESIS |         |         |
|---------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
|                     | GPS-IMG | EST-IMG |                     | GPS-IMG | EST-IMG |                     | GPS-IMG | EST-IMG |
| $\mu_0$             | 0.0064  | 0.0064  | $\mu_0$             | 0.0370  | 0.0390  | $\mu_0$             | 0.0900  | 0.1000  |
| $\mu_x$             | 0.0013  | 0.0014  | $\mu_x$             | 0.0337  | 0.0351  | $\mu_x$             | 0.0863  | 0.0875  |
| S                   | 0.0080  | 0.0080  | S                   | 0.0080  | 0.0080  | S                   | 0.0080  | 0.0080  |

|                 |              |           |                 |              |           |                 |              |           |
|-----------------|--------------|-----------|-----------------|--------------|-----------|-----------------|--------------|-----------|
| n               | 7            | 7         | n               | 20           | 20        | n               | 22           | 22        |
| Z <sub>0</sub>  | -1.67        | -1.66     | Z <sub>0</sub>  | -1.85        | -2.19     | Z <sub>0</sub>  | -2.14        | -7.34     |
| Z <sub>α</sub>  | 1.64         | 1.64      | Z <sub>α</sub>  | 1.64         | 1.64      | Z <sub>α</sub>  | 1.64         | 1.64      |
| -Z <sub>α</sub> | -1.64        | -1.64     | -Z <sub>α</sub> | -1.64        | -1.64     | -Z <sub>α</sub> | -1.64        | -1.64     |
| La<br>Ho        | se<br>acepta | se acepta | La<br>Ho        | se<br>acepta | se acepta | La<br>Ho        | se<br>acepta | se acepta |

Fuente: Los Autores

Donde:

$\mu_0$  = Diferencia de error tomada como marco de referencia, en este caso estimada por la comparación entre el levantamiento por GPS y por estación.

$\mu_x$  = Promedio de los deltas de error obtenidos de la respectiva comparación.

S = Desviación estándar de la muestra.

n = Tamaño de la muestra de deltas de error.

Z<sub>0</sub> = Posición de evaluación de los parámetros dentro de la curva de distribución normal.

Z<sub>α</sub> = Punto de evaluación del punto de comparación.

H<sub>0</sub> = Hipótesis nula.

**Tabla 31.** Error de cada grupo de medidas

| Rangos          | $\mu_0$ limite |
|-----------------|----------------|
| Mayores a 100m  | 0.64%          |
| Entre 20 a 100m | 3.70%          |
| Menores a 20m   | 9.00%          |

Fuente: Los Autores

**Tabla 32.** Sugerencias para el uso de la imagen digital Quickbird según la escala de precisión requerida

| Aceptación de la imagen digital según la escala de precisión requerida |                |                 |               |
|--|----------------|-----------------|---------------|
| Escalas  | Mayores a 100m | Entre 20 a 100m | Menores a 20m |
| 1:50000  | si             | si              | Si            |
| 1:10000  | si             | si              | Si            |
| 1:2000   | si             | si              | Si            |
| 1:1000   | si             | si              | Si            |
| 1:750  | no             | no              | No            |

Fuente: Los Autores

### 3.4. Análisis detallado de los datos en altimetría

El análisis de los resultados de la coordenada Z en esta investigación se debe dividir en dos capítulos:

- **Valor de la cota en cada método**
- **Diferencia de nivel en cada método**

#### 3.4.1. Diferencia en el valor de la cota

Al realizar el cálculo de la ubicación de cualquier punto es necesario obtener las tres coordenadas que tiene (Norte, Este y Cota). En las coordenadas planas, es decir X y Y no existe problema alguno ya que como se demostró existen varios métodos que pueden brindar este resultado con una excelente precisión, el problema se presenta en la Cota del punto, ya que este valor debe ser la altura

real ortométrica medida sobre el nivel medio del mar, en nuestro país el datum vertical se encuentra en el mar de Buenaventura.

Para obtener el valor exacto de la cota de un punto se debe realizar una nivelación y contra nivelación, partiendo de un punto de cota real conocida denominados Punto de Nivelación Geodésica de Primer Orden (NP). Debido a que la nivelación es un procedimiento dispendioso se ha optado para el cálculo de cotas realizarlo con la Estación, ya que este instrumento de medición calcula la diferencia de nivel real que existe entre dos puntos. De acuerdo a lo anterior se puede considerar los valores de las cotas de la presente investigación calculados con la Estación como los valores reales.

Al analizar los valores de las cotas halladas con GPS se puede apreciar una diferencia máxima con respecto a los valores hallados con Estación de 16.044 m y una diferencia mínima de 8.032 m. Diferencias muy grandes si se desea establecer la ubicación exacta de un punto. Estas diferencias se dan porque la GPS realiza los cálculos de la posición de un punto basados en un elipsoide de referencia, mientras que las cotas se deben calcular teniendo como referencia la forma real de la Tierra (Geoide).

Para realizar el cálculo de cotas con GPS, se debe realizar un procedimiento especial llamado Nivelación GPS, el cual se realizó en el proyecto RED GEODÉSICA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. El grupo investigativo pone en duda este procedimiento, ya que si estos valores fueran cercanos a la realidad deberían tener valores muy próximos a los calculados con la Estación, situación que no se presentó. Es más las diferencias fueron relativamente grandes. Por esta razón se debe considerar la GPS como el equipo no idóneo para el cálculo de cotas.

En la imagen satelital como se había mencionado anteriormente se obtienen los valores de las cotas, insertando un mapa con curvas de nivel al software con que se esta georreferenciando la imagen. Esto quiere decir que obtener valores exactos de las cotas en imagen satelital es función de varias variables como la calidad del levantamiento altimétrico, el trabajo de oficina para el cálculo de cotas redondas, el software utilizado y el método de georreferenciación.

### 3.4.2. Diferencia de nivel en cada método

Después de lo anteriormente mencionado no se debe descartar totalmente el uso de GPS para el manejo de niveles. En cualquier proyecto de ingeniería más importante que el cálculo de cotas lo es el cálculo de la diferencia de nivel entre dos puntos, ya que esta debe ser real.

Observando los resultados de las diferencia de nivel de dos cotas entre la GPS y la Estación se encuentran que los valores son relativamente muy parecidos existiendo como diferencia máxima de 16 cm entre la diferencia de nivel calculada por GPS y por Estación.

**Tabla 33.** Diferencia de Nivel entre vértices primarios

| GPS       |                     | ESTACION TOTAL |                     | IMAGEN    |                     |
|-----------|---------------------|----------------|---------------------|-----------|---------------------|
| VECTOR    | DIFERENCIA DE NIVEL | VECTOR         | DIFERENCIA DE NIVEL | VECTOR    | DIFERENCIA DE NIVEL |
| GPS1-GPS2 | -0,083              | GPS1-GPS2      | -0,055              | GPS1-GPS2 | -0,760              |
| GPS1-GPS3 | -18,109             | GPS1-GPS3      | -18,070             | GPS1-GPS3 | 3,631               |
| GPS1-GPS5 | -2,624              | GPS1-GPS5      | -2,667              | GPS1-GPS5 | 15,542              |
| GPS1-GPS6 | 5,261               | GPS1-GPS6      | 3,243               | GPS1-GPS6 | 16,442              |
| GPS1-GPS7 | -5,461              | GPS1-GPS7      | -5,558              | GPS1-GPS7 | 11,370              |
| GPS1-GPS8 | 6,181               | GPS1-GPS8      | 4,149               | GPS1-GPS8 | 17,580              |
| GPS1-GPS9 | 7,221               | GPS1-GPS9      | 5,237               | GPS1-GPS9 | 21,007              |

|                  |         |                  |         |                  |        |
|------------------|---------|------------------|---------|------------------|--------|
|                  |         |                  |         |                  |        |
| <b>GPS2-GPS3</b> | -18,026 | <b>GPS2-GPS3</b> | -18,015 | <b>GPS2-GPS3</b> | 4,390  |
| <b>GPS2-GPS5</b> | -2,541  | <b>GPS2-GPS5</b> | -2,612  | <b>GPS2-GPS5</b> | 16,301 |
| <b>GPS2-GPS6</b> | 5,344   | <b>GPS2-GPS6</b> | 3,298   | <b>GPS2-GPS6</b> | 17,201 |
| <b>GPS2-GPS7</b> | -5,378  | <b>GPS2-GPS7</b> | -5,503  | <b>GPS2-GPS7</b> | 12,129 |
| <b>GPS2-GPS8</b> | 6,264   | <b>GPS2-GPS8</b> | 4,204   | <b>GPS2-GPS8</b> | 18,339 |
| <b>GPS2-GPS9</b> | 7,304   | <b>GPS2-GPS9</b> | 5,292   | <b>GPS2-GPS9</b> | 21,766 |
|                  |         |                  |         |                  |        |
| <b>GPS3-GPS5</b> | 15,485  | <b>GPS3-GPS5</b> | 15,403  | <b>GPS3-GPS5</b> | 11,911 |
| <b>GPS3-GPS6</b> | 7,885   | <b>GPS3-GPS6</b> | 5,910   | <b>GPS3-GPS6</b> | 0,900  |
| <b>GPS3-GPS7</b> | 12,648  | <b>GPS3-GPS7</b> | 12,512  | <b>GPS3-GPS7</b> | 7,739  |
| <b>GPS3-GPS8</b> | 24,290  | <b>GPS3-GPS8</b> | 22,219  | <b>GPS3-GPS8</b> | 13,949 |
| <b>GPS3-GPS9</b> | 25,330  | <b>GPS3-GPS9</b> | 23,307  | <b>GPS3-GPS9</b> | 17,376 |
|                  |         |                  |         |                  |        |
| <b>GPS5-GPS6</b> | 7,885   | <b>GPS5-GPS6</b> | 5,910   | <b>GPS5-GPS6</b> | 0,900  |
| <b>GPS5-GPS7</b> | -2,837  | <b>GPS5-GPS7</b> | -2,891  | <b>GPS5-GPS7</b> | -4,172 |
| <b>GPS5-GPS8</b> | 8,805   | <b>GPS5-GPS8</b> | 6,816   | <b>GPS5-GPS8</b> | 2,038  |
| <b>GPS5-GPS9</b> | 9,845   | <b>GPS5-GPS9</b> | 7,904   | <b>GPS5-GPS9</b> | 5,465  |
|                  |         |                  |         |                  |        |
| <b>GPS6-GPS7</b> | -10,722 | <b>GPS6-GPS7</b> | -8,801  | <b>GPS6-GPS7</b> | -5,072 |
| <b>GPS6-GPS8</b> | 0,920   | <b>GPS6-GPS8</b> | 0,906   | <b>GPS6-GPS8</b> | 1,138  |
| <b>GPS6-GPS9</b> | 1,960   | <b>GPS6-GPS9</b> | 1,994   | <b>GPS6-GPS9</b> | 4,565  |
|                  |         |                  |         |                  |        |
| <b>GPS7-GPS8</b> | 11,642  | <b>GPS7-GPS8</b> | 9,707   | <b>GPS7-GPS8</b> | 6,210  |
| <b>GPS7-GPS9</b> | 12,682  | <b>GPS7-GPS9</b> | 10,795  | <b>GPS7-GPS9</b> | 9,637  |
|                  |         |                  |         |                  |        |
| <b>GPS8-GPS9</b> | 1,040   | <b>GPS8-GPS9</b> | 1,088   | <b>GPS8-GPS9</b> | 3,427  |

Fuente: Los autores

De acuerdo a lo anterior se podría decir que con la GPS se podría realizar un levantamiento altimétrico de niveles relativos con buenos resultados (aunque niveles absolutos erróneos) pero existiría la incertidumbre si la posición de los satélites será la indicada en ese momento. Por esta razón no hay que descartar totalmente la GPS en levantamiento altimétricos.

Por consiguiente se recomienda elaborar proyectos de investigación que analicen el grado de exactitud en levantamientos altimétricos con GPS, ya que en este campo de la topografía existen grandes dudas al realizarlo con las nuevas tecnologías debido a su variabilidad.

#### 4. CONCLUSIONES

- El mejor método existente en la ubicación planimétrica y altimétrica de un punto sigue siendo la estación total, es decir la topografía convencional. Cuando se requiera un alto nivel de precisión debido a su exactitud tanto en altimetría y en planimetría como quedó demostrado en el presente trabajo de grado.
- Después de realizar cada uno de los levantamientos en campo se puede decir que el Levantamiento con GPS presenta unos rendimientos mucho más altos en la toma de datos, por lo que se concluye que en levantamientos planimétricos el GPS sería una muy buena alternativa.
- En etapas de pre-inversión e inversión de un proyecto de carreteras es viable y recomendable el uso de las imágenes satelitales porque se demostró que técnicamente su precisión es apta para trabajar a las escalas de precisión requeridas por el Instituto Nacional de Vías. (1:1000 – 1:2000)
- A pesar de los beneficios brindados por las imágenes satelitales, siempre existirá la obligación de ir al campo, es decir al área de influencia de trabajo para georreferenciar la imagen.
- En el cálculo de alturas absolutas solo se recomienda trabajar con la estación total pues su precisión es ampliamente superior a la obtenida con el GPS y la imagen digital proveniente de satélite, sin embargo, para el cálculo de alturas relativas se podría utilizar la GPS, aunque los resultados tendrá cierto valor de incertidumbre.

- Aún no existe una herramienta con el suficiente avance tecnológico con el cual se pueda reemplazar una nivelación geométrica en levantamientos altimétricos, aunque la Estación Total presenta excelentes resultados.

## 5. RECOMENDACIONES

- Realizar esta misma comparación pero georreferenciando una imagen World View la cual tiene mejor resolución, para analizar datos y observar si presenta una mejor precisión, al igual que buscar métodos diferentes para calcular alturas.
- Obtener ubicación de puntos obtenidos a partir de una GPS bifrecuencia.
- Realizar nivelación geométrica en el cálculo de cotas al igual que realizar una nivelación GPS para compararlas con las obtenidas por los diferentes métodos.
- Se recomienda plantear profundo estudio económico con miras a determinar los ahorros significativos que conllevaría el uso de imágenes digitales provenientes de satélite en proyecto de infraestructura vial en todos niveles de ejecución del proyecto, además de ampliar el análisis comparativo a las otras áreas de la ingeniería civil como el manejo de residuos sólidos, recursos hídricos, geotecnia, y demás.
- Difundir en la comunidad de este medio la utilización de nuevas tecnologías (GPS, imágenes satelitales) en la topografía, ya que un alto porcentaje de personas jamás han utilizado una GPS y mucho menos georreferenciado imágenes satelitales.
- Se recomienda elaborar proyectos de investigación que analicen el grado de exactitud en levantamientos altimétricos con GPS, ya que en este campo de la topografía existen grandes dudas al realizarlo con las nuevas tecnologías debido a su variabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

BRAVO, Pablo Emilio. Diseño de carreteras. Sexta edición. Bogotá: Corgraphics S.A. Imprelibros, 1976.

CARCIENTE, Jacob. Carreteras estudio y proyecto. Caracas: Imprenta universitaria, 1965.

CASTELLANOS R, Jorge A. Topografía. Segunda Edición. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2002.

DIEZ, Javier A. Unicen, Geodesia y Cartografía. En: [www.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/](http://www.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/) [en línea]. [consultado 10 de Agosto de 2008].

Disponible

en:<<http://www.exa.unicen.edu.ar/~jdiez/links/cstierra/apuntes/unidad9.pdf>>

DIGITALGLOBE. Quickbird. En: [www.digitalglobe.com](http://www.digitalglobe.com). [en línea]. [consultado 6 de enero de 2009]. Disponible en

[http://www.digitalglobe.com/file.php/515/QuickBird\\_Datasheet\\_web.pdf](http://www.digitalglobe.com/file.php/515/QuickBird_Datasheet_web.pdf)

En <http://nacc.upc.es>[en línea]. [consultado 10 de Agosto de 2008]. Disponible

en:< <http://nacc.upc.es/tierra/node10.html#SECTION00621000000000000000>>

FRANCO R, Jorge. Nociones de Topografía. En: [www.cartesia.org/top.php](http://www.cartesia.org/top.php). [en línea]. [consultado el 3 de diciembre de 2008]. Disponible en:<

[http://www.cartesia.org/data/apuntes/nociones/Nociones\\_de\\_Topografia.pdf](http://www.cartesia.org/data/apuntes/nociones/Nociones_de_Topografia.pdf)>

GARAFULIC, Pedro. Geodesia teórica y práctica. En: [www.cartografia.cl](http://www.cartografia.cl) [en línea][Consultado el 5 de Diciembre de 2008] Disponible en <<http://www.cartografia.cl/download/geodesiateorica.pdf>>

GOMEZ G, Jorge Hernando. Analisis of the topographic requirements and map production capabilities for the catastral automation project in Colombia. Bucaramanga: Ediciones UIS.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Santafé de Bogotá, D.C., 1998

MONTGOMERY, Douglas C. y RUNGER, George C. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. México, D.F.: McGraw-Hill, 1994. 223p.

NATIONAL GEODETIC SURVEY, 2006. What is the geoid?. En: <http://www.ngs.noaa.gov>. [en línea]. [consultado 10 de Agosto de 2008]. Disponible en:< [http://www.ngs.noaa.gov/geoid/geoid\\_def.html](http://www.ngs.noaa.gov/geoid/geoid_def.html).>

OROZCO, Giovanni. Estadística para ingenieros. Medellín: Universidad pontificia bolivariana, 1996. 10p.

ORTIZ G, Wilson. Topografía y construcciones rurales. Primera edición. Bucaramanga: Litopublicaciones UIS, 1985.

PINTO, Jorge E. Laboratorio 16 Correcciones Geométricas, Teledetección. En: [pterodactylus.uis.edu.co/moodle](http://pterodactylus.uis.edu.co/moodle). [en línea]. [consultado el 1 de diciembre de 2008]. Disponible en < [pterodactylus.uis.edu.co/moodle](http://pterodactylus.uis.edu.co/moodle)>

SÁNCHEZ, Arsenio C. Muestreo y tamaño de muestra. En: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). [en línea]. [consultado 5 de sep. De 2008]. Disponible en <<http://www.monografias.com/trabajos12/muestam/muestam.shtml>>

Sistema de procesamiento de información georreferenciada. En: [www.dpi.inpe.br](http://www.dpi.inpe.br). [en línea]. [consultado 5 de enero de 2009]. Disponible en <http://www.dpi.inpe.br/spring/espanol/index.html>

[“SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling”](#)  
[Camara G. Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: \(3\) 395-403, May-Jun 1996.](#)

TORRES N, Alvaro, y VILLATE B, Eduardo. Topografía. Tercera edición. Bogotá: Editorial Norma, 1983.

WIKIPEDIA. Tierra. En <http://es.wikipedia.org/wiki/>. / [en línea]. [consultado 10 de Agosto de 2008]. Disponible en:<<http://es.wikipedia.org/wiki/Oc%C3%A9ano>. >

WOLF, Paul R, y BRINKER, Russel C. Topografía. Bogotá D.C.: Alfaomega Editores, 1997.



## ANEXO B. INFORME SOFTWARE GNSS SOLUTIONS (GPS)

### Vista de levantamiento

GNSS Solutions, Copyright © 2007 Magellan Navigation, Inc. 19/01/2009 0:48:10  
[www.pro.magellanGPS.com](http://www.pro.magellanGPS.com)

Nombre del proyecto: POLIGONAL  
 Sistema de referencia espacial: MAGNA-SIRGAS  
 Zona horaria: (GMT-05:00) Bogotá, Lima, Quito  
 Unidades lineales: Metros

### Resumen del sistema de coordenadas

#### Sistema de coordenadas

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Tipo: Proyectado  
 Nombre de la unidad: Metros  
 Metros por unidad: 1  
 Datum vertical: Elipsoide  
 Unidad vertical: Metros  
 Metros por unidad: 1

#### Datum

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Nombre del elipsoide: WGS 84  
 Semieje mayor: 6378137.000 m  
 Inversa aplastamiento: 298.257223563  
 DX a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 DZ a WGS84: 0.0000 m  
 RX a WGS84: 0.000000 "  
 RY a WGS84: 0.000000 "  
 RZ a WGS84: 0.000000 "  
 ppm a WGS84: 0.000000000000

#### Proyección

Clase de proyección: Transverse\_Mercator  
 latitude\_of\_origin: 4° 35' 46.32150"N  
 central\_meridian: 74° 04' 39.02850"W  
 scale\_factor: 1.000000000000  
 false\_easting: 1000000.000 m  
 false\_northing: 1000000.000 m

### Puntos de control

| Nombre | Componentes   | 95%         |       | Estado | Error de control |
|--------|---------------|-------------|-------|--------|------------------|
|        |               | Error       |       |        |                  |
| GPS1   | Este          | 1105938.129 | 0.000 | FIJO   |                  |
|        | Norte         | 1281577.229 | 0.000 | FIJO   |                  |
|        | Altura elipse | 1013.158    | 0.000 | FIJO   |                  |
|        | Descripción   | PTO_EST     |       |        |                  |

### Puntos registrados

| Nombre | Componentes   | 95%         |       | Estado   |
|--------|---------------|-------------|-------|----------|
|        |               | Error       |       |          |
| BAS-   | Este          | 1105613.880 | 0.020 | Ajustado |
|        | Norte         | 1281591.693 | 0.022 | Ajustado |
|        | Altura elipse | 1008.880    | 0.025 | Ajustado |
|        | Descripción   | PTO_EST/    |       |          |

|      |               |             |       |          |
|------|---------------|-------------|-------|----------|
| BIBL | Este          | 1105671.301 | 0.019 | Ajustado |
|      | Norte         | 1281538.430 | 0.021 | Ajustado |
|      | Altura elipse | 1018.626    | 0.027 | Ajustado |
|      | Descripción   | PTO_EST7    |       |          |
| ELE- | Este          | 1105632.626 | 0.026 | Ajustado |
|      | Norte         | 1281645.875 | 0.027 | Ajustado |
|      | Altura elipse | 1007.890    | 0.026 | Ajustado |
|      | Descripción   | PTO_EST7    |       |          |
| GPS2 | Este          | 1105895.552 | 0.024 | Ajustado |
|      | Norte         | 1281439.212 | 0.025 | Ajustado |
|      | Altura elipse | 1013.243    | 0.028 | Ajustado |
|      | Descripción   | PTO_EST2    |       |          |
| GPS3 | Este          | 1105799.144 | 0.018 | Ajustado |
|      | Norte         | 1281387.938 | 0.023 | Ajustado |
|      | Altura elipse | 1031.259    | 0.025 | Ajustado |
|      | Descripción   | PTO_EST3    |       |          |
| GPS4 | Este          | 1105638.496 | 0.021 | Ajustado |
|      | Norte         | 1281322.766 | 0.023 | Ajustado |
|      | Altura elipse | 1028.065    | 0.024 | Ajustado |
|      | Descripción   | PTO_EST4    |       |          |
| GPS5 | Este          | 1105547.204 | 0.021 | Ajustado |
|      | Norte         | 1281393.507 | 0.022 | Ajustado |
|      | Altura elipse | 1015.787    | 0.025 | Ajustado |
|      | Descripción   | PTO_EST5    |       |          |
| POS- | Este          | 1105519.214 | 0.020 | Ajustado |
|      | Norte         | 1281440.184 | 0.021 | Ajustado |
|      | Altura elipse | 1009.795    | 0.025 | Ajustado |
|      | Descripción   | PTO_EST7    |       |          |

## Archivos

| Nombre      | Hora inicial   | Muestreo | Generaciones | Tamaño (KB) | Tipo   |
|-------------|----------------|----------|--------------|-------------|--------|
| BOSCA08.304 | 08/10/30 10:55 | 1        | 26165        | 11750       | 12     |
| BEDUA08.304 | 08/10/30 11:23 | 1        | 4868         | 2313        | 12     |
| BEDUC08.304 | 08/10/30 15:12 | 1        | 1831         | 772         | 12     |
| BEDUD08.304 | 08/10/30 16:15 | 1        | 1808         | 634         | L1 GPS |
| BEDUE08.304 | 08/10/30 17:35 | 1        | 1809         | 719         | 12     |
| BEDUB08.304 | 08/10/30 14:14 | 1        | 1856         | 878         | 12     |
| BOSCA08.305 | 08/10/31 09:04 | 1        | 22049        | 10778       | 12     |
| BEDUA08.305 | 08/10/31 10:27 | 1        | 1843         | 922         | 12     |
| BEDUB08.305 | 08/10/31 11:38 | 1        | 1854         | 922         | 12     |
| BEDUD08.305 | 08/10/31 14:55 | 1        | 3241         | 1356        | 12     |
| BOSCC08.305 | 08/10/31 15:33 | 1        | 4249         | 1539        | 12     |
| BEDUA08.311 | 08/11/06 08:39 | 1        | 5385         | 2555        | 12     |
| BOSCA08.311 | 08/11/06 09:54 | 1        | 9485         | 4865        | 12     |
| BEDUD08.311 | 08/11/06 11:37 | 1        | 790          | 344         | L1 GPS |
| BEDUF08.311 | 08/11/06 14:26 | 1        | 4284         | 1734        | 12     |
| BOSCB08.311 | 08/11/06 14:26 | 1        | 1003         | 418         | 12     |
| BOSCC08.311 | 08/11/06 15:23 | 1        | 1584         | 557         | 12     |
| BEDUH08.311 | 08/11/06 16:34 | 1        | 5031         | 1897        | 12     |
| BOSCD08.311 | 08/11/06 15:54 | 1        | 3284         | 1185        | 12     |
| BOSCF08.311 | 08/11/06 17:42 | 1        | 906          | 378         | 12     |

## Ocupaciones

| Emplazamiento | Hora inicial                 | Periodo de tiempo | Tipo   | Archivo     |
|---------------|------------------------------|-------------------|--------|-------------|
| GPS1          | 30 octubre 2008 10:55:36.00  | 07:16:07.00       | Static | BOSCA08.304 |
| GPS2          | 30 octubre 2008 11:23:23.00  | 01:21:07.00       | Static | BEDUA08.304 |
| GPS4          | 30 octubre 2008 15:12:49.00  | 00:30:30.00       | Static | BEDUC08.304 |
| GPS5          | 30 octubre 2008 16:15:57.00  | 00:30:07.00       | Static | BEDUD08.304 |
| BIBL          | 30 octubre 2008 17:35:11.00  | 00:30:08.00       | Static | BEDUE08.304 |
| GPS3          | 30 octubre 2008 14:14:42.00  | 00:30:55.00       | Static | BEDUB08.304 |
| GPS1          | 31 octubre 2008 09:04:36.00  | 06:07:28.00       | Static | BOSCA08.305 |
| POS-          | 31 octubre 2008 10:27:12.00  | 00:30:42.00       | Static | BEDUA08.305 |
| ELE-          | 31 octubre 2008 11:38:23.00  | 00:30:53.00       | Static | BEDUB08.305 |
| BAS-          | 31 octubre 2008 14:55:15.00  | 00:54:00.00       | Static | BEDUD08.305 |
| ELE-          | 31 octubre 2008 15:33:25.00  | 01:10:51.00       | Static | BOSCC08.305 |
| GPS2          | 6 noviembre 2008 08:39:41.00 | 01:29:44.00       | Static | BEDUA08.311 |
| GPS3          | 6 noviembre 2008 09:54:30.00 | 02:38:04.00       | Static | BOSCA08.311 |
| GPS4          | 6 noviembre 2008 11:37:13.00 | 00:13:09.00       | Static | BEDUD08.311 |
| GPS5          | 6 noviembre 2008 14:26:07.00 | 01:11:25.00       | Static | BEDUF08.311 |

|      |                              |             |        |             |
|------|------------------------------|-------------|--------|-------------|
| GPS4 | 6 noviembre 2008 14:26:33.00 | 00:16:42.00 | Static | BOSCB08.311 |
| POS- | 6 noviembre 2008 15:23:25.00 | 00:26:24.00 | Static | BOSCC08.311 |
| BIBL | 6 noviembre 2008 16:34:17.00 | 01:23:51.00 | Static | BEDUH08.311 |
| POS- | 6 noviembre 2008 15:54:19.00 | 00:54:43.00 | Static | BOSCD08.311 |
| BAS- | 6 noviembre 2008 17:42:29.00 | 00:15:05.00 | Static | BOSCF08.311 |

### Procesos

| Referencia | Archivo de referencia | Remoto | Archivo del receptor remoto | Modo     | NUM |
|------------|-----------------------|--------|-----------------------------|----------|-----|
| GPS1       | BOSCA08.304           | BIBL   | BEDUE08.304                 | Estático | 1   |
| GPS1       | BOSCA08.304           | GPS5   | BEDUD08.304                 | Estático | 2   |
| GPS1       | BOSCA08.304           | GPS4   | BEDUC08.304                 | Estático | 3   |
| GPS1       | BOSCA08.304           | GPS2   | BEDUA08.304                 | Estático | 4   |
| GPS1       | BOSCA08.304           | GPS3   | BEDUB08.304                 | Estático | 5   |
| GPS1       | BOSCA08.305           | POS-   | BEDUA08.305                 | Estático | 6   |
| GPS1       | BOSCA08.305           | ELE-   | BEDUB08.305                 | Estático | 7   |
| GPS1       | BOSCA08.305           | BAS-   | BEDUD08.305                 | Estático | 8   |
| ELE-       | BOSCC08.305           | BAS-   | BEDUD08.305                 | Estático | 9   |
| GPS3       | BOSCA08.311           | GPS2   | BEDUA08.311                 | Estático | 10  |
| GPS3       | BOSCA08.311           | GPS4   | BEDUD08.311                 | Estático | 11  |
| GPS4       | BOSCB08.311           | GPS5   | BEDUF08.311                 | Estático | 12  |
| GPS5       | BEDUF08.311           | POS-   | BOSCC08.311                 | Estático | 13  |
| POS-       | BOSCD08.311           | BIBL   | BEDUH08.311                 | Estático | 14  |
| BIBL       | BEDUH08.311           | BAS-   | BOSCF08.311                 | Estático | 15  |

### Vectores procesados

| Identificador de vector       | Vector Longitud | 95% Error | Vector Componentes                     | 95% Error SV | PDOP   | QA | Solución |
|-------------------------------|-----------------|-----------|--|--------------|--------|----|----------|
| GPS1 - GPS3<br>08/10/30 13:59 | 235.538         | 0.001     | X -121.331<br>Y -80.149<br>Z -185.291  | 0.001        | 9 2.1  |    | Fijo     |
| GPS1 - GPS2<br>08/10/30 10:42 | 144.434         | 0.001     | X -36.012<br>Y -28.932<br>Z -136.847   | 0.000        | 10 1.5 |    | Fijo     |
| GPS1 - GPS4<br>08/10/30 14:57 | 393.399         | 0.002     | X -273.780<br>Y -131.510<br>Z -250.025 | 0.001        | 8 1.7  |    | Fijo     |
| GPS1 - GPS5<br>08/10/30 16:00 | 431.965         | 0.002     | X -367.099<br>Y -137.874<br>Z -181.171 | 0.001        | 7 2.2  |    | Fijo     |
| GPS1 - BIBL<br>08/10/30 17:20 | 269.696         | 0.001     | X -252.461<br>Y -87.240<br>Z -37.267   | 0.001        | 8 1.9  |    | Fijo     |
| GPS1 - BAS-<br>08/10/31 14:46 | 324.599         | 0.002     | X -312.022<br>Y -88.296<br>Z 14.503    | 0.001        | 8 2.0  |    | Fijo     |
| GPS1 - ELE-<br>08/10/31 11:22 | 313.165         | 0.002     | X -296.229<br>Y -75.392<br>Z 68.096    | 0.001        | 11 1.3 |    | Fijo     |
| GPS1 - POS-<br>08/10/31 10:11 | 440.784         | 0.002     | X -397.194<br>Y -134.750<br>Z -135.537 | 0.001        | 10 1.6 |    | Fijo     |
| GPS4 - GPS5<br>08/11/06 14:18 | 116.144         | 0.001     | X -93.316<br>Y -6.375<br>Z 68.855      | 0.000        | 8 2.0  |    | Fijo     |
| GPS5 - POS-<br>08/11/06 15:16 | 54.755          | 0.000     | X -30.108<br>Y 3.147<br>Z 45.625       | 0.000        | 7 2.1  |    | Fijo     |
| BIBL - BAS-<br>08/11/06 17:34 | 78.921          | 0.001     | X -59.568<br>Y -1.056<br>Z 51.758      | 0.000        | 8 2.0  |    | Fijo     |
| GPS3 - GPS4<br>08/11/06 11:30 | 173.396         | 0.001     | X -152.437<br>Y -51.368<br>Z -64.735   | 0.000        | 10 1.7 |    | Fijo     |
| GPS3 - GPS2                   | 110.672         | 0.001     | X 85.322                               | 0.000        | 9 2.1  |    | Fijo     |

|                |         |       |   |         |        |       |     |      |  |
|----------------|---------|-------|---|---------|--------|-------|-----|------|--|
| 08/11/06 09:47 |         |       |   | Y       | 51.208 | 0.000 |     |      |  |
|                |         |       |   | Z       | 48.438 | 0.000 |     |      |  |
| POS- - BIBL    | 181.291 | 0.001 | X | 144.758 | 0.000  | 7     | 2.6 | Fijo |  |
| 08/11/06 16:26 |         |       | Y | 47.460  | 0.001  |       |     |      |  |
|                |         |       | Z | 98.280  | 0.000  |       |     |      |  |
| ELE- - BAS-    | 57.339  | 0.000 | X | -15.813 | 0.000  | 8     | 1.7 | Fijo |  |
| 08/10/31 15:25 |         |       | Y | -12.821 | 0.000  |       |     |      |  |
|                |         |       | Z | -53.604 | 0.000  |       |     |      |  |

## Vectores ajustados

| Identificador de vector | Vector Longitud | Resid. | Componentes | Resid.   | Tau Prueba | QA |
|-------------------------|-----------------|--------|-------------|----------|------------|----|
| GPS1 - GPS3             | 235.537         | 0.010  | X           | -121.337 | -0.006     | No |
| 08/10/30 13:59          |                 |        | Y           | -80.142  | 0.007      |    |
|                         |                 |        | Z           | -185.289 | 0.002      |    |
| GPS1 - GPS2             | 144.438         | 0.005  | X           | -36.014  | -0.002     | No |
| 08/10/30 10:42          |                 |        | Y           | -28.935  | -0.003     |    |
|                         |                 |        | Z           | -136.850 | -0.003     |    |
| GPS1 - GPS4             | 393.396         | 0.004  | X           | -273.777 | 0.003      | No |
| 08/10/30 14:57          |                 |        | Y           | -131.507 | 0.002      |    |
|                         |                 |        | Z           | -250.024 | 0.001      |    |
| GPS1 - GPS5             | 431.962         | 0.006  | X           | -367.095 | 0.004      | No |
| 08/10/30 16:00          |                 |        | Y           | -137.877 | -0.003     |    |
|                         |                 |        | Z           | -181.168 | 0.003      |    |
| GPS1 - BIBL             | 269.695         | 0.007  | X           | -252.457 | 0.004      | No |
| 08/10/30 17:20          |                 |        | Y           | -87.246  | -0.006     |    |
|                         |                 |        | Z           | -37.269  | -0.002     |    |
| GPS1 - BAS-             | 324.606         | 0.023  | X           | -312.034 | -0.012     | No |
| 08/10/31 14:46          |                 |        | Y           | -88.282  | 0.014      |    |
|                         |                 |        | Z           | 14.489   | -0.013     |    |
| GPS1 - ELE-             | 313.171         | 0.034  | X           | -296.228 | 0.001      | No |
| 08/10/31 11:22          |                 |        | Y           | -75.425  | -0.034     |    |
|                         |                 |        | Z           | 68.090   | -0.006     |    |
| GPS1 - POS-             | 440.783         | 0.024  | X           | -397.200 | -0.006     | No |
| 08/10/31 10:11          |                 |        | Y           | -134.727 | 0.023      |    |
|                         |                 |        | Z           | -135.539 | -0.002     |    |
| GPS4 - GPS5             | 116.147         | 0.007  | X           | -93.318  | -0.003     | No |
| 08/11/06 14:18          |                 |        | Y           | -6.370   | 0.006      |    |
|                         |                 |        | Z           | 68.856   | 0.002      |    |
| GPS5 - POS-             | 54.756          | 0.006  | X           | -30.105  | 0.003      | No |
| 08/11/06 15:16          |                 |        | Y           | 3.150    | 0.004      |    |
|                         |                 |        | Z           | 45.629   | 0.003      |    |
| BIBL - BAS-             | 78.927          | 0.022  | X           | -59.577  | -0.008     | No |
| 08/11/06 17:34          |                 |        | Y           | -1.036   | 0.020      |    |
|                         |                 |        | Z           | 51.758   | -0.000     |    |
| GPS3 - GPS4             | 173.398         | 0.004  | X           | -152.440 | -0.003     | No |
| 08/11/06 11:30          |                 |        | Y           | -51.365  | 0.003      |    |
|                         |                 |        | Z           | -64.735  | -0.000     |    |
| GPS3 - GPS2             | 110.673         | 0.001  | X           | 85.323   | 0.001      | No |
| 08/11/06 09:47          |                 |        | Y           | 51.208   | 0.000      |    |
|                         |                 |        | Z           | 48.439   | 0.001      |    |
| POS- - BIBL             | 181.279         | 0.028  | X           | 144.743  | -0.015     | No |
| 08/11/06 16:26          |                 |        | Y           | 47.481   | 0.021      |    |
|                         |                 |        | Z           | 98.270   | -0.010     |    |
| ELE- - BAS-             | 57.343          | 0.037  | X           | -15.806  | 0.007      | No |
| 08/10/31 15:25          |                 |        | Y           | -12.857  | -0.036     |    |
|                         |                 |        | Z           | -53.601  | 0.003      |    |

# Vista de levantamiento

GNSS Solutions, Copyright © 2007 Magellan Navigation, Inc. 19/01/2009 22:32:31  
[www.pro.magellanGPS.com](http://www.pro.magellanGPS.com)

Nombre del proyecto: BASICAS  
 Sistema de referencia espacial: MAGNA-SIRGAS  
 Zona horaria: (GMT-05:00) Bogotá, Lima, Quito  
 Unidades lineales: Metros

## Resumen del sistema de coordenadas

### Sistema de coordenadas

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Tipo: Proyectado  
 Nombre de la unidad: Metros  
 Metros por unidad: 1  
 Datum vertical: Elipsoide  
 Unidad vertical: Metros  
 Metros por unidad: 1

### Datum

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Nombre del elipsoide: WGS 84  
 Semieje mayor: 6378137.000 m  
 Inversa aplastamiento: 298.257223563  
 DX a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 RX a WGS84: 0.000000 "  
 RY a WGS84: 0.000000 "  
 RZ a WGS84: 0.000000 "  
 ppm a WGS84: 0.000000000000

### Proyección

Clase de proyección: Transverse\_Mercator  
 latitude\_of\_origin: 4° 35' 46.32150"N  
 central\_meridian: 74° 04' 39.02850"W  
 scale\_factor: 1.000000000000  
 false\_easting: 1000000.000 m  
 false\_northing: 1000000.000 m

## Puntos de control

| Nombre |               | 95%         |       | Estado | Error de control |
|--------|---------------|-------------|-------|--------|------------------|
|        |               | Componentes | Error |        |                  |
| BASI   | Este          | 1105613.880 | 0.000 | FIJO   |                  |
|        | Norte         | 1281591.693 | 0.000 | FIJO   |                  |
|        | Altura elipse | 1008.880    | 0.000 | FIJO   |                  |
|        | Descripción   | BASE        |       |        |                  |

## Puntos registrados

| Nombre |               | 95%         |       | Estado               |
|--------|---------------|-------------|-------|----------------------|
|        |               | Componentes | Error |                      |
| 0010   | Este          | 1105613.788 | 0.062 | Procesado (estático) |
|        | Norte         | 1281591.488 | 0.061 | Procesado (estático) |
|        | Altura elipse | 1008.832    | 0.059 | Procesado (estático) |
|        | Descripción   | INICIO      |       |                      |

|      |               |             |       |                      |
|------|---------------|-------------|-------|----------------------|
| 0010 | Este          | 1105613.788 | 0.006 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281591.870 | 0.000 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1008.880    | 0.000 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0011 | Este          | 1105639.187 | 0.001 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281600.568 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.189    | 0.006 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0012 | Este          | 1105602.495 | 0.001 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281601.153 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.141    | 0.006 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0013 | Este          | 1105602.278 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281590.767 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.100    | 0.006 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0014 | Este          | 1105606.149 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281590.695 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.111    | 0.006 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0015 | Este          | 1105606.024 | 0.046 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281579.459 | 0.054 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.105    | 0.082 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0016 | Este          | 1105602.154 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281579.529 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.067    | 0.006 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0017 | Este          | 1105601.994 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281569.128 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.125    | 0.005 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0018 | Este          | 1105620.652 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281582.670 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.109    | 0.005 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0019 | Este          | 1105620.708 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281587.000 | 0.001 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.115    | 0.005 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0020 | Este          | 1105635.947 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281586.790 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.130    | 0.005 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0021 | Este          | 1105635.923 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281582.468 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.132    | 0.005 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0022 | Este          | 1105638.866 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281578.214 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.166    | 0.005 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0023 | Este          | 1105642.548 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281578.112 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.125    | 0.005 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0024 | Este          | 1105642.701 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281590.280 | 0.002 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.154    | 0.004 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0025 | Este          | 1105638.789 | 0.047 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281573.409 | 0.057 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.208    | 0.078 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |
| 0026 | Este          | 1105632.104 | 0.050 | Procesado (estático) |
|      | Norte         | 1281568.767 | 0.056 | Procesado (estático) |
|      | Altura elipse | 1009.109    | 0.076 | Procesado (estático) |
|      | Descripción   | INICIO      |       |                      |

|         |               |             |        |                      |
|---------|---------------|-------------|--------|----------------------|
| 0027    | Este          | 1105638.701 | 0.052  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281568.652 | 0.059  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1009.114    | 0.070  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | INICIO      |        |                      |
| BEDUG08 | Este          | 1105615.075 | 98.000 | Estimado             |
|         | Norte         | 1281595.613 | 98.000 | Estimado             |
|         | Altura elipse | 1002.966    | 98.000 | Estimado             |
|         | Descripción   | INICIO      |        |                      |

### Archivos

| Nombre      | Hora inicial   | Muestreo | Generaciones | Tamaño (KB) | Tipo |
|-------------|----------------|----------|--------------|-------------|------|
| BEDUG08.305 | 08/10/31 17:12 | 1        | 1409         | 561         | 12   |
| BOSCD08.305 | 08/10/31 17:09 | 1        | 1589         | 638         | 12   |

### Ocupaciones

| Emplazamiento | Hora inicial                | Periodo de tiempo | Tipo   | Archivo     |
|---------------|-----------------------------|-------------------|--------|-------------|
| 0010          | 31 octubre 2008 17:12:00.00 | 00:05:00.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0011          | 31 octubre 2008 17:18:48.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0012          | 31 octubre 2008 17:20:32.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0013          | 31 octubre 2008 17:21:38.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0014          | 31 octubre 2008 17:22:27.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0015          | 31 octubre 2008 17:23:20.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0016          | 31 octubre 2008 17:24:08.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0017          | 31 octubre 2008 17:25:19.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0018          | 31 octubre 2008 17:26:20.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0019          | 31 octubre 2008 17:27:09.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0020          | 31 octubre 2008 17:28:05.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0021          | 31 octubre 2008 17:28:48.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0022          | 31 octubre 2008 17:29:30.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0023          | 31 octubre 2008 17:30:14.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0024          | 31 octubre 2008 17:31:27.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0025          | 31 octubre 2008 17:33:09.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0026          | 31 octubre 2008 17:33:54.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| 0027          | 31 octubre 2008 17:34:52.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.305 |
| BASI          | 31 octubre 2008 17:09:53.00 | 00:26:28.00       | Static | BOSCD08.305 |

### Procesos

| Referencia | Archivo de referencia | Remoto  | Archivo del receptor remoto | Modo      | NUM |
|------------|-----------------------|---------|-----------------------------|-----------|-----|
| BASI       | BOSCD08.305           | BEDUG08 | BEDUG08.305                 | Stop & Go | 1   |

### Vectores procesados

| Identificador de vector       | Vector   |           | 95% Error | X       | Vector      |           | 95% Error | SV | PDOP | QA | Solución |
|-------------------------------|----------|-----------|-----------|---------|-------------|-----------|-----------|----|------|----|----------|
|                               | Longitud | 95% Error |           |         | Componentes | 95% Error |           |    |      |    |          |
| BASI - 0019<br>08/10/31 17:27 | 8.289    | 0.007     | X         | 6.763   | 0.003       | 8         | 1.9       |    |      |    | Fijo     |
|                               |          |           | Y         | 1.197   | 0.004       |           |           |    |      |    |          |
|                               |          |           | Z         | -4.641  | 0.002       |           |           |    |      |    |          |
| BASI - 0010<br>08/10/31 17:12 | 0.200    | 0.000     | X         | -0.095  | 0.000       | 7         | 2.6       |    |      |    | Fijo     |
|                               |          |           | Y         | -0.005  | 0.000       |           |           |    |      |    |          |
|                               |          |           | Z         | 0.176   | 0.000       |           |           |    |      |    |          |
| BASI - 0011<br>08/10/31 17:18 | 26.820   | 0.009     | X         | 24.005  | 0.002       | 7         | 2.5       |    |      |    | Fijo     |
|                               |          |           | Y         | 8.110   | 0.005       |           |           |    |      |    |          |
|                               |          |           | Z         | 8.792   | 0.002       |           |           |    |      |    |          |
| BASI - 0012<br>08/10/31 17:20 | 14.805   | 0.009     | X         | -11.143 | 0.002       | 7         | 2.5       |    |      |    | Fijo     |
|                               |          |           | Y         | -2.419  | 0.006       |           |           |    |      |    |          |
|                               |          |           | Z         | 9.443   | 0.003       |           |           |    |      |    |          |
| BASI - 0013<br>08/10/31 17:21 | 11.641   | 0.009     | X         | -11.008 | 0.002       | 7         | 2.5       |    |      |    | Fijo     |
|                               |          |           | Y         | -3.685  | 0.005       |           |           |    |      |    |          |
|                               |          |           | Z         | -0.867  | 0.002       |           |           |    |      |    |          |
| BASI - 0014                   | 7.799    | 0.009     | X         | -7.299  | 0.002       | 7         | 2.5       |    |      |    | Fijo     |

|                |        |       |   |         |       |   |     |    |       |  |
|----------------|--------|-------|---|---------|-------|---|-----|----|-------|--|
| 08/10/31 17:22 |        |       | Y | -2.581  | 0.006 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -0.945  | 0.003 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0015    | 14.541 | 0.155 | X | -7.037  | 0.061 | 7 | 2.5 | No | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:23 |        |       | Y | -3.955  | 0.065 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -12.095 | 0.062 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0016    | 16.898 | 0.010 | X | -10.754 | 0.002 | 7 | 2.5 |    | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:24 |        |       | Y | -5.034  | 0.006 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -12.023 | 0.003 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0010    | 0.229  | 0.149 | X | -0.094  | 0.060 | 7 | 2.6 | No | Móvil |  |
| 08/10/31 17:12 |        |       | Y | -0.005  | 0.060 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -0.209  | 0.062 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0018    | 11.284 | 0.008 | X | 6.855   | 0.002 | 8 | 1.9 |    | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:26 |        |       | Y | 0.669   | 0.004 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -8.938  | 0.002 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0027    | 33.869 | 0.150 | X | 24.608  | 0.061 | 8 | 1.9 | No | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:34 |        |       | Y | 4.223   | 0.063 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -22.885 | 0.059 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0020    | 22.607 | 0.008 | X | 21.358  | 0.003 | 8 | 1.9 |    | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:28 |        |       | Y | 5.578   | 0.005 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -4.880  | 0.002 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0021    | 23.898 | 0.008 | X | 21.483  | 0.002 | 8 | 1.9 |    | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:28 |        |       | Y | 5.052   | 0.005 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -9.167  | 0.002 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0022    | 28.392 | 0.008 | X | 24.454  | 0.003 | 8 | 1.9 |    | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:29 |        |       | Y | 5.366   | 0.005 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -13.391 | 0.002 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0023    | 31.723 | 0.008 | X | 27.969  | 0.002 | 8 | 1.9 |    | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:30 |        |       | Y | 6.460   | 0.004 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -13.504 | 0.002 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0024    | 28.858 | 0.007 | X | 27.710  | 0.002 | 8 | 1.9 |    | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:31 |        |       | Y | 7.932   | 0.004 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -1.427  | 0.002 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0025    | 30.902 | 0.153 | X | 24.557  | 0.061 | 8 | 1.9 | No | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:33 |        |       | Y | 4.729   | 0.063 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -18.153 | 0.061 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0026    | 29.288 | 0.152 | X | 18.289  | 0.061 | 8 | 1.9 | No | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:33 |        |       | Y | 2.329   | 0.063 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -22.757 | 0.061 |   |     |    |       |  |
| BASI - 0017    | 25.506 | 0.008 | X | -10.535 | 0.002 | 8 | 1.9 |    | Fijo  |  |
| 08/10/31 17:25 |        |       | Y | -6.378  | 0.005 |   |     |    |       |  |
|                |        |       | Z | -22.336 | 0.002 |   |     |    |       |  |

# Vista de levantamiento

GNSS Solutions, Copyright © 2007 Magellan Navigation, Inc. 19/01/2009 22:35:07  
www.pro.magellanGPS.com

Nombre del proyecto: BIBLIOTECA  
Sistema de referencia espacial: MAGNA-SIRGAS  
Zona horaria: (GMT-05:00) Bogotá, Lima, Quito  
Unidades lineales: Metros

## Resumen del sistema de coordenadas

### Sistema de coordenadas

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
Tipo: Proyectado  
Nombre de la unidad: Metros  
Metros por unidad: 1  
Datum vertical: Elipsoide  
Unidad vertical: Metros  
Metros por unidad: 1

### Datum

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
Nombre del elipsoide: WGS 84  
Semieje mayor: 6378137.000 m  
Inversa aplastamiento: 298.257223563  
DX a WGS84: 0.0000 m  
DY a WGS84: 0.0000 m  
DY a WGS84: 0.0000 m  
RX a WGS84: 0.000000 "  
RY a WGS84: 0.000000 "  
RZ a WGS84: 0.000000 "  
ppm a WGS84: 0.000000000000

### Proyección

Clase de proyección: Transverse\_Mercator  
latitude\_of\_origin: 4° 35' 46.32150"N  
central\_meridian: 74° 04' 39.02850"W  
scale\_factor: 1.000000000000  
false\_easting: 1000000.000 m  
false\_northing: 1000000.000 m

## Puntos de control

| Nombre                 | Componentes            | 95%<br>Error | Estado | Error de control |
|------------------------|------------------------|--------------|--------|------------------|
| BIBL                   | Este 1105671.301       | 0.000        | FIJO   |                  |
|                        | Norte 1281538.430      | 0.000        | FIJO   |                  |
|                        | Altura elipse 1017.626 | 0.000        | FIJO   |                  |
| Descripción BIBLIOTECA |                        |              |        |                  |

## Puntos registrados

| Nombre              | Componentes            | 95%<br>Error | Estado               |
|---------------------|------------------------|--------------|----------------------|
| 0500                | Este 1105649.092       | 0.000        | Procesado (estático) |
|                     | Norte 1281511.112      | 0.000        | Procesado (estático) |
|                     | Altura elipse 1015.012 | 0.000        | Procesado (estático) |
| Descripción BIBLIOT |                        |              |                      |

|                            |               |             |        |                      |
|----------------------------|---------------|-------------|--------|----------------------|
| 0501                       | Este          | 1105649.634 | 0.002  | Procesado (estático) |
|                            | Norte         | 1281545.067 | 0.002  | Procesado (estático) |
|                            | Altura elipse | 1015.004    | 0.005  | Procesado (estático) |
| <i>Descripción BIBLIOT</i> |               |             |        |                      |
| 0502                       | Este          | 1105692.165 | 0.048  | Procesado (estático) |
|                            | Norte         | 1281544.364 | 0.056  | Procesado (estático) |
|                            | Altura elipse | 1015.006    | 0.078  | Procesado (estático) |
| <i>Descripción BIBLIOT</i> |               |             |        |                      |
| 0503                       | Este          | 1105691.802 | 0.046  | Procesado (estático) |
|                            | Norte         | 1281510.614 | 0.056  | Procesado (estático) |
|                            | Altura elipse | 1015.692    | 0.084  | Procesado (estático) |
| <i>Descripción BIBLIOT</i> |               |             |        |                      |
| BOSCE08                    | Este          | 1105651.324 | 98.000 | Estimado             |
|                            | Norte         | 1281515.089 | 98.000 | Estimado             |
|                            | Altura elipse | 1008.800    | 98.000 | Estimado             |
| <i>Descripción BIBLIOT</i> |               |             |        |                      |

### Archivos

| Nombre      | Hora inicial   | Muestreo | Generaciones | Tamaño (KB) | Tipo |
|-------------|----------------|----------|--------------|-------------|------|
| BOSCE08.311 | 08/11/06 17:16 | 1        | 925          | 412         | 12   |
| BEDUH08.311 | 08/11/06 16:34 | 1        | 5031         | 1897        | 12   |

### Ocupaciones

| Emplazamiento | Hora inicial                 | Periodo de tiempo | Tipo   | Archivo     |
|---------------|------------------------------|-------------------|--------|-------------|
| 0500          | 6 noviembre 2008 17:16:12.00 | 00:10:00.00       | Static | BOSCE08.311 |
| 0501          | 6 noviembre 2008 17:27:01.00 | 00:00:30.00       | Static | BOSCE08.311 |
| 0502          | 6 noviembre 2008 17:29:13.00 | 00:00:30.00       | Static | BOSCE08.311 |
| 0503          | 6 noviembre 2008 17:30:23.00 | 00:00:30.00       | Static | BOSCE08.311 |
| BIBL          | 6 noviembre 2008 16:34:17.00 | 01:23:51.00       | Static | BEDUH08.311 |

### Procesos

| Referencia | Archivo de referencia | Remoto  | Archivo del receptor remoto | Modo      | NUM |
|------------|-----------------------|---------|-----------------------------|-----------|-----|
| BIBL       | BEDUH08.311           | BOSCE08 | BOSCE08.311                 | Stop & Go | 1   |

### Vectores procesados

| Identificador de vector       | Vector Longitud | 95% Error | X | Vector      |           | SV | PDOP | QA | Solución |       |
|-------------------------------|-----------------|-----------|---|-------------|-----------|----|------|----|----------|-------|
|                               |                 |           |   | Componentes | 95% Error |    |      |    |          |       |
| BIBL - 0503<br>08/11/06 17:30 | 34.609          | 0.159     | X | 20.011      | 0.063     | 8  | 2.0  | No | Fijo     |       |
|                               |                 |           |   | Y           | 4.458     |    |      |    |          | 0.066 |
|                               |                 |           |   | Z           | -27.883   |    |      |    |          | 0.064 |
| BIBL - 0502<br>08/11/06 17:29 | 21.849          | 0.153     | X | 19.009      | 0.061     | 8  | 2.0  | No | Fijo     |       |
|                               |                 |           |   | Y           | 9.250     |    |      |    |          | 0.063 |
|                               |                 |           |   | Z           | 5.519     |    |      |    |          | 0.062 |
| BIBL - 0501<br>08/11/06 17:26 | 22.812          | 0.008     | X | -21.717     | 0.002     | 8  | 2.0  |    | Fijo     |       |
|                               |                 |           |   | Y           | -3.003    |    |      |    |          | 0.004 |
|                               |                 |           |   | Z           | 6.305     |    |      |    |          | 0.003 |
| BIBL - 0500<br>08/11/06 17:16 | 35.304          | 0.001     | X | -21.075     | 0.000     | 8  | 1.9  |    | Fijo     |       |
|                               |                 |           |   | Y           | -7.227    |    |      |    |          | 0.000 |
|                               |                 |           |   | Z           | -27.385   |    |      |    |          | 0.000 |

# Vista de levantamiento

GNSS Solutions, Copyright © 2007 Magellan Navigation, Inc. 19/01/2009 22:37:09  
[www.pro.magellanGPS.com](http://www.pro.magellanGPS.com)

Nombre del proyecto: ELECTRICA  
 Sistema de referencia espacial: MAGNA-SIRGAS  
 Zona horaria: (GMT-05:00) Bogotá, Lima, Quito  
 Unidades lineales: Metros

## Resumen del sistema de coordenadas

### Sistema de coordenadas

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Tipo: Projectado  
 Nombre de la unidad: Metros  
 Metros por unidad: 1  
 Datum vertical: Elipsoide  
 Unidad vertical: Metros  
 Metros por unidad: 1

### Datum

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Nombre del elipsoide: WGS 84  
 Semieje mayor: 6378137.000 m  
 Inversa aplastamiento: 298.257223563  
 DX a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 DX a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 RX a WGS84: 0.000000 "  
 RY a WGS84: 0.000000 "  
 RZ a WGS84: 0.000000 "  
 ppm a WGS84: 0.000000000000

### Proyección

Clase de proyección: Transverse Mercator  
 latitude\_of\_origin: 4° 35' 46.32150"N  
 central\_meridian: 74° 04' 39.02850"W  
 scale\_factor: 1.000000000000  
 false\_easting: 1000000.000 m  
 false\_northing: 1000000.000 m

## Puntos de control

| Nombre      | Componentes   | 95%<br>Error | Estado | Error de control |
|-------------|---------------|--------------|--------|------------------|
| ELET        | Este          | 1105632.626  | 0.000  | FIJO             |
|             | Norte         | 1281645.875  | 0.000  | FIJO             |
|             | Altura elipse | 1007.890     | 0.000  | FIJO             |
| Descripción | PTO_EST       |              |        |                  |

## Puntos registrados

| Nombre | Componentes   | 95%<br>Error | Estado                     |
|--------|---------------|--------------|----------------------------|
| 0002   | Este          | 1105627.973  | 0.000 Procesado (estático) |
|        | Norte         | 1281647.686  | 0.000 Procesado (estático) |
|        | Altura elipse | 1006.348     | 0.000 Procesado (estático) |
|        | Descripción   | INICIO       |                            |
| 0003   | Este          | 1105633.237  | 0.002 Procesado (estático) |
|        | Norte         | 1281647.499  | 0.001 Procesado (estático) |
|        | Altura elipse | 1007.776     | 0.007 Procesado (estático) |
|        | Descripción   | INICIO       |                            |

|         |               |             |        |                      |
|---------|---------------|-------------|--------|----------------------|
|         | Norte         | 1281640.744 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1007.794    | 0.009  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | INICIO      |        |                      |
| 0005    | Este          | 1105663.763 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281639.312 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1006.052    | 0.010  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | INICIO      |        |                      |
| 0006    | Este          | 1105664.223 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281648.389 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1006.069    | 0.009  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | INICIO      |        |                      |
| 0007    | Este          | 1105627.639 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281640.923 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1007.775    | 0.010  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | INICIO      |        |                      |
| 0008    | Este          | 1105614.405 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281641.211 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1006.054    | 0.011  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | INICIO      |        |                      |
| 0009    | Este          | 1105614.830 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281650.291 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1006.009    | 0.010  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | INICIO      |        |                      |
| BEDUF08 | Este          | 1105628.903 | 98.000 | Estimado             |
|         | Norte         | 1281651.026 | 98.000 | Estimado             |
|         | Altura elipse | 1009.138    | 98.000 | Estimado             |
|         | Descripción   | INICIO      |        |                      |

## Archivos

| Nombre      | Hora inicial   | Muestreo | Generaciones | Tamaño (KB) | Tipo |
|-------------|----------------|----------|--------------|-------------|------|
| BEDUF08.305 | 08/10/31 16:21 | 1        | 1272         | 443         | 12   |
| BOSCC08.305 | 08/10/31 15:33 | 1        | 4249         | 1539        | 12   |

## Ocupaciones

| Emplazamiento | Hora inicial                | Periodo de tiempo | Tipo   | Archivo     |
|---------------|-----------------------------|-------------------|--------|-------------|
| 0002          | 31 octubre 2008 16:21:26.00 | 00:09:59.00       | Static | BEDUF08.305 |
| 0003          | 31 octubre 2008 16:34:32.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUF08.305 |
| 0004          | 31 octubre 2008 16:35:25.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUF08.305 |
| 0005          | 31 octubre 2008 16:37:39.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUF08.305 |
| 0006          | 31 octubre 2008 16:38:39.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUF08.305 |
| 0007          | 31 octubre 2008 16:40:05.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUF08.305 |
| 0008          | 31 octubre 2008 16:41:09.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUF08.305 |
| 0009          | 31 octubre 2008 16:42:00.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUF08.305 |
| ELET          | 31 octubre 2008 15:33:25.00 | 01:10:12.00       | Static | BOSCC08.305 |

## Procesos

| Referencia | Archivo de referencia | Remoto  | Archivo del receptor remoto | Modo      | NUM |
|------------|-----------------------|---------|-----------------------------|-----------|-----|
| ELET       | BOSCC08.305           | BEDUF08 | BEDUF08.305                 | Stop & Go | 1   |

## Vectores procesados

| Identificador de vector | Vector Longitud | 95% Error | X | Y       | Z     | Vector Componentes |     |      | Error SV | PDOP | QA   | Solución |
|-------------------------|-----------------|-----------|---|---------|-------|--------------------|-----|------|----------|------|------|----------|
|                         |                 |           |   |         |       | 95% Error          | SV  | PDOP |          |      |      |          |
| ELET - 0009             | 18.432          | 0.014     | X | -17.724 | 0.003 | 6                  | 3.1 |      |          |      | Fijo |          |
| 08/10/31 16:41          |                 |           | Y | -2.849  | 0.009 |                    |     |      |          |      |      |          |
|                         |                 |           | Z | 4.184   | 0.003 |                    |     |      |          |      |      |          |
| ELET - 0008             | 18.898          | 0.016     | X | -17.807 | 0.003 | 6                  | 3.1 |      |          |      | Fijo |          |
| 08/10/31 16:41          |                 |           | Y | -4.101  | 0.010 |                    |     |      |          |      |      |          |
|                         |                 |           | Z | -4.819  | 0.003 |                    |     |      |          |      |      |          |
| ELET - 0007             | 7.029           | 0.014     | X | -4.637  | 0.003 | 6                  | 3.1 |      |          |      | Fijo |          |
| 08/10/31 16:40          |                 |           | Y | -1.930  | 0.009 |                    |     |      |          |      |      |          |
|                         |                 |           | Z | -4.917  | 0.002 |                    |     |      |          |      |      |          |

|                |        |       |   |        |       |   |     |      |
|----------------|--------|-------|---|--------|-------|---|-----|------|
|                |        |       | Z | 2.203  | 0.002 |   |     |      |
| ELET - 0005    | 31.875 | 0.014 | X | 29.493 | 0.003 | 6 | 3.0 | Fijo |
| 08/10/31 16:37 |        |       | Y | 9.993  | 0.009 |   |     |      |
|                |        |       | Z | -6.805 | 0.003 |   |     |      |
| ELET - 0004    | 5.141  | 0.013 | X | 0.435  | 0.003 | 6 | 2.9 | Fijo |
| 08/10/31 16:35 |        |       | Y | -0.435 | 0.008 |   |     |      |
|                |        |       | Z | -5.104 | 0.002 |   |     |      |
| ELET - 0003    | 1.739  | 0.011 | X | 0.496  | 0.002 | 6 | 2.9 | Fijo |
| 08/10/31 16:34 |        |       | Y | 0.479  | 0.007 |   |     |      |
|                |        |       | Z | 1.597  | 0.002 |   |     |      |
| ELET - 0002    | 5.226  | 0.001 | X | -4.959 | 0.000 | 7 | 2.2 | Fijo |
| 08/10/31 16:21 |        |       | Y | 0.330  | 0.000 |   |     |      |
|                |        |       | Z | 1.615  | 0.000 |   |     |      |

08/10/31 16:21 (08/10/31 16:21)

DXL' es el sistema de procesamiento de datos de la empresa que se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa. El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa. El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa.

• Sistema de procesamiento de datos

El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa.

El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa. El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa. El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa.

El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa. El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa. El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa.

• Sistema de procesamiento de datos

El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa.

El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa. El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa. El sistema de procesamiento de datos de la empresa se utiliza para el procesamiento de datos de la empresa.

# Vista de levantamiento

GNSS Solutions, Copyright © 2007 Magellan Navigation, Inc. 19/01/2009 22:39:05  
[www.pro.magellanGPS.com](http://www.pro.magellanGPS.com)

Nombre del proyecto: LUIS A. CALVO  
 Sistema de referencia espacial: MAGNA-SIRGAS  
 Zona horaria: (GMT-05:00) Bogotá, Lima, Quito  
 Unidades lineales: Metros

## Resumen del sistema de coordenadas

### Sistema de coordenadas

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Tipo: Proyectado  
 Nombre de la unidad: Metros  
 Metros por unidad: 1  
 Datum vertical: Elipsoide  
 Unidad vertical: Metros  
 Metros por unidad: 1

### Datum

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Nombre del elipsoide: WGS 84  
 Semieje mayor: 6378137.000 m  
 Inversa aplastamiento: 298.257223563  
 DX a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 RX a WGS84: 0.000000 "  
 RY a WGS84: 0.000000 "  
 RZ a WGS84: 0.000000 "  
 ppm a WGS84: 0.000000000000

### Proyección

Clase de proyección: Transverse\_Mercator  
 latitude\_of\_origin: 4° 35' 46.32150"N  
 central\_meridian: 74° 04' 39.02850"W  
 scale\_factor: 1.000000000000  
 false\_easting: 1000000.000 m  
 false\_northing: 1000000.000 m

## Puntos de control

| Nombre | Componentes   | 95%<br>Error         | Estado | Error de control |
|--------|---------------|----------------------|--------|------------------|
| GPS2   | Este          | 1105799.144          | 0.000  | FIJO             |
|        | Norte         | 1281387.938          | 0.000  | FIJO             |
|        | Altura elipse | 1031.259             | 0.000  | FIJO             |
|        | Descripción   | VECTOR_CORREC_LUIS_A |        |                  |

## Puntos registrados

| Nombre | Componentes   | 95%<br>Error | Estado                     |
|--------|---------------|--------------|----------------------------|
| 0200   | Este          | 1105793.014  | 0.000 Procesado (estático) |
|        | Norte         | 1281376.092  | 0.000 Procesado (estático) |
|        | Altura elipse | 1030.847     | 0.000 Procesado (estático) |
|        | Descripción   | LUIS A       |                            |

|         |               |               |        |                      |
|---------|---------------|---------------|--------|----------------------|
| 0201    | Este          | 1105800.794   | 0.003  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281378.760   | 0.001  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1030.857      | 0.003  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | LUIS A        |        |                      |
| 0202    | Este          | 1105801.108   | 0.003  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281397.127   | 0.001  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1030.848      | 0.003  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | LUIS A        |        |                      |
| 0203    | Este          | 1105793.378   | 0.003  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281400.175   | 0.001  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1030.847      | 0.004  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | LUIS A        |        |                      |
| 0204    | Este          | 1105792.819   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281398.304   | 0.001  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1030.848      | 0.003  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | LUIS A        |        |                      |
| 0205    | Este          | 1105792.402   | 0.003  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281377.850   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1030.869      | 0.004  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | LUIS A        |        |                      |
| 0206    | Este          | 1105766.536   | 0.072  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281408.372   | 0.065  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1029.030      | 0.070  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | LUIS A        |        |                      |
| 0207    | Este          | 1105766.538   | 0.000  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281408.361   | 0.000  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1029.031      | 0.000  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | LUIS A        |        |                      |
| 0301    | Este          | 1105773.493   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281411.532   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1018.733      | 0.005  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | TERRAZA2 LUIS |        |                      |
| 0302    | Este          | 1105785.486   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281411.238   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1018.717      | 0.004  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | TERRAZA2 LUIS |        |                      |
| 0303    | Este          | 1105785.444   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281409.745   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1018.717      | 0.004  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | TERRAZA2 LUIS |        |                      |
| 0304    | Este          | 1105807.623   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281409.410   | 0.001  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1019.417      | 0.003  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | TERRAZA2 LUIS |        |                      |
| 0305    | Este          | 1105807.390   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281397.093   | 0.001  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1018.696      | 0.003  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | TERRAZA2 LUIS |        |                      |
| 0306    | Este          | 1105807.005   | 0.004  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281373.138   | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1018.689      | 0.007  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | TERRAZA2 LUIS |        |                      |
| 0307    | Este          | 1105794.047   | 0.051  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281368.500   | 0.061  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1018.680      | 0.073  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | TERRAZA2 LUIS |        |                      |
| 0308    | Este          | 1105794.740   | 0.050  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281376.865   | 0.072  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1018.329      | 0.071  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | TERRAZA2 LUIS |        |                      |
| BEDUC08 | Este          | 1105795.760   | 98.000 | Estimado             |
|         | Norte         | 1281378.322   | 98.000 | Estimado             |
|         | Altura elipse | 1027.774      | 98.000 | Estimado             |
|         | Descripción   | LUIS A        |        |                      |
| BEDUE08 | Este          | 1105775.428   | 98.000 | Estimado             |
|         | Norte         | 1281413.423   | 98.000 | Estimado             |
|         | Altura elipse | 1016.178      | 98.000 | Estimado             |
|         | Descripción   | TERRAZA2 LUIS |        |                      |

### Archivos

| Nombre      | Hora inicial   | Muestreo | Generaciones | Tamaño (KB) | Tipo |
|-------------|----------------|----------|--------------|-------------|------|
| BEDUE08.311 | 08/11/06 12:18 | 1        | 1185         | 452         | 12   |
| BOSCA08.311 | 08/11/06 09:54 | 1        | 9485         | 4865        | 12   |
| BEDUC08.311 | 08/11/06 10:38 | 1        | 2257         | 1082        | 12   |

### Ocupaciones

| Emplazamiento | Hora inicial                 | Periodo de tiempo | Tipo   | Archivo     |
|---------------|------------------------------|-------------------|--------|-------------|
| 0301          | 6 noviembre 2008 12:18:21.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUE08.311 |
| 0302          | 6 noviembre 2008 12:19:17.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUE08.311 |
| 0303          | 6 noviembre 2008 12:19:57.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUE08.311 |
| 0304          | 6 noviembre 2008 12:22:06.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUE08.311 |
| 0305          | 6 noviembre 2008 12:23:22.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUE08.311 |
| 0306          | 6 noviembre 2008 12:24:24.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUE08.311 |
| 0307          | 6 noviembre 2008 12:26:03.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUE08.311 |
| 0308          | 6 noviembre 2008 12:26:58.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUE08.311 |
| GPS2          | 6 noviembre 2008 09:54:30.00 | 02:38:04.00       | Static | BOSCA08.311 |
| 0200          | 6 noviembre 2008 10:38:17.00 | 00:10:00.00       | Static | BEDUC08.311 |
| 0201          | 6 noviembre 2008 10:49:23.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUC08.311 |
| 0202          | 6 noviembre 2008 10:50:33.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUC08.311 |
| 0203          | 6 noviembre 2008 10:51:27.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUC08.311 |
| 0204          | 6 noviembre 2008 10:52:28.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUC08.311 |
| 0205          | 6 noviembre 2008 10:54:30.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUC08.311 |
| 0206          | 6 noviembre 2008 11:01:57.00 | 00:00:03.00       | Static | BEDUC08.311 |
| 0207          | 6 noviembre 2008 11:03:06.00 | 00:10:00.00       | Static | BEDUC08.311 |

### Procesos

| Referencia | Archivo de referencia | Remoto  | Archivo del receptor remoto | Modo      | NUM |
|------------|-----------------------|---------|-----------------------------|-----------|-----|
| GPS2       | BOSCA08.311           | BEDUC08 | BEDUC08.311                 | Stop & Go | 1   |
| GPS2       | BOSCA08.311           | BEDUE08 | BEDUE08.311                 | Stop & Go | 2   |

### Vectores procesados

| Identificador de vector       | Vector Longitud | 95% Error | Vector Componentes                | 95% Error SV | PDOF | QA  | Solución |
|-------------------------------|-----------------|-----------|-----------------------------------|--------------|------|-----|----------|
| GPS2 - 0301<br>08/11/06 12:18 | 37.036          | 0.008     | X -28.962<br>Y 7.272<br>Z 21.908  | 0.003        | 8    | 2.2 | Fijo     |
| GPS2 - 0201<br>08/11/06 10:49 | 9.334           | 0.006     | X 1.776<br>Y -0.237<br>Z -9.160   | 0.002        | 10   | 1.7 | Fijo     |
| GPS2 - 0202<br>08/11/06 10:50 | 9.406           | 0.006     | X 1.447<br>Y 2.059<br>Z 9.063     | 0.003        | 10   | 1.6 | Fijo     |
| GPS2 - 0203<br>08/11/06 10:51 | 13.534          | 0.007     | X -6.054<br>Y 0.181<br>Z 12.103   | 0.002        | 10   | 1.6 | Fijo     |
| GPS2 - 0204<br>08/11/06 10:52 | 12.151          | 0.006     | X -6.525<br>Y -0.206<br>Z 10.248  | 0.002        | 10   | 1.6 | Fijo     |
| GPS2 - 0205<br>08/11/06 10:54 | 12.140          | 0.008     | X -6.220<br>Y -2.792<br>Z -10.044 | 0.002        | 10   | 1.6 | Fijo     |
| GPS2 - 0200<br>08/11/06 10:38 | 13.345          | 0.000     | X -5.582<br>Y -2.804<br>Z -11.793 | 0.000        | 10   | 1.7 | Fijo     |
| GPS2 - 0207<br>08/11/06 11:02 | 38.539          | 0.000     | X -32.543<br>Y -4.903<br>Z 20.056 | 0.000        | 10   | 1.5 | Fijo     |

|                               |        |       |             |                             |                         |        |    |       |
|-------------------------------|--------|-------|-------------|-----------------------------|-------------------------|--------|----|-------|
| GPS2 - 0308<br>08/11/06 12:26 | 17.584 | 0.161 | X<br>Y<br>Z | -7.563<br>9.676<br>-12.585  | 0.064<br>0.067<br>0.066 | 7 2.2  | No | Móvil |
| GPS2 - 0302<br>08/11/06 12:19 | 29.779 | 0.007 | X<br>Y<br>Z | -17.479<br>10.731<br>21.589 | 0.003<br>0.004<br>0.002 | 8 2.2  |    | Fijo  |
| GPS2 - 0303<br>08/11/06 12:19 | 28.646 | 0.007 | X<br>Y<br>Z | -17.469<br>10.541<br>20.108 | 0.003<br>0.004<br>0.002 | 8 2.3  |    | Fijo  |
| GPS2 - 0304<br>08/11/06 12:22 | 25.946 | 0.006 | X<br>Y<br>Z | 3.970<br>16.271<br>19.816   | 0.002<br>0.003<br>0.002 | 9 1.8  |    | Fijo  |
| GPS2 - 0305<br>08/11/06 12:23 | 17.597 | 0.006 | X<br>Y<br>Z | 3.960<br>15.416<br>7.505    | 0.002<br>0.003<br>0.002 | 9 1.8  |    | Fijo  |
| GPS2 - 0306<br>08/11/06 12:24 | 20.949 | 0.012 | X<br>Y<br>Z | 4.406<br>12.447<br>-16.264  | 0.005<br>0.007<br>0.002 | 9 1.7  |    | Fijo  |
| GPS2 - 0307<br>08/11/06 12:26 | 23.708 | 0.154 | X<br>Y<br>Z | -7.839<br>8.142<br>-20.840  | 0.062<br>0.064<br>0.061 | 10 1.7 | No | Fijo  |
| GPS2 - 0206<br>08/11/06 11:01 | 38.547 | 0.170 | X<br>Y<br>Z | -32.546<br>-4.902<br>20.067 | 0.069<br>0.073<br>0.065 | 10 1.6 | No | Móvil |

Figura 1: Diagrama de flujo de procesamiento de datos de GPS para determinar el tipo de estación.

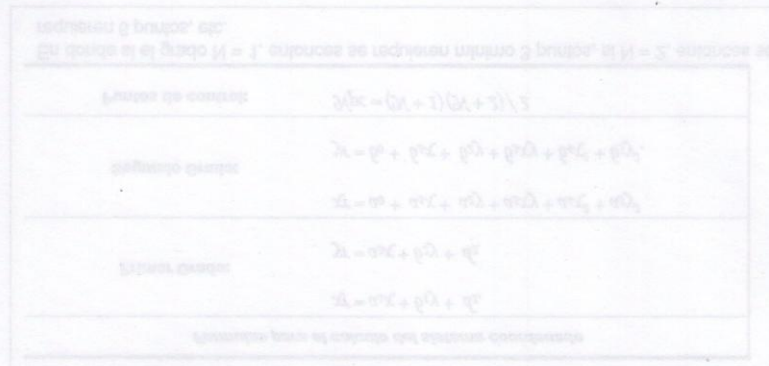


Figura 2: Diagrama de flujo de procesamiento de datos de GPS para determinar el tipo de estación.

# Vista de levantamiento

GNSS Solutions, Copyright © 2007 Magellan Navigation, Inc. 19/01/2009 22:42:02  
[www.pro.magellanGPS.com](http://www.pro.magellanGPS.com)

Nombre del proyecto: POSTGRADOS  
 Sistema de referencia espacial: MAGNA-SIRGAS  
 Zona horaria: (GMT-05:00) Bogotá, Lima, Quito  
 Unidades lineales: Metros

## Resumen del sistema de coordenadas

### Sistema de coordenadas

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Tipo: Projectado  
 Nombre de la unidad: Metros  
 Metros por unidad: 1  
 Datum vertical: Elipsoide  
 Unidad vertical: Metros  
 Metros por unidad: 1

### Datum

Nombre: MAGNA-SIRGAS  
 Nombre del elipsoide: WGS 84  
 Semieje mayor: 6378137.000 m  
 Inversa aplastamiento: 298.257223563  
 DX a WGS84: 0.0000 m  
 DY a WGS84: 0.0000 m  
 DX a WGS84: 0.000000 "  
 RY a WGS84: 0.000000 "  
 RZ a WGS84: 0.000000 "  
 ppm a WGS84: 0.000000000000

### Proyección

Clase de proyección: Transverse\_Mercator  
 latitude\_of\_origin: 4° 35' 46.32150"N  
 central\_meridian: 74° 04' 39.02850"W  
 scale\_factor: 1.000000000000  
 false\_easting: 1000000.000 m  
 false\_northing: 1000000.000 m

## Puntos de control

| Nombre | Componentes                      | 95% Error | Estado | Error de control |
|--------|----------------------------------|-----------|--------|------------------|
| POS1   | Este<br>1105519.214              | 0.000     | FIJO   |                  |
|        | Norte<br>1281440.184             | 0.000     | FIJO   |                  |
|        | Altura elipse<br>1009.795        | 0.000     | FIJO   |                  |
|        | Descripción<br>VECTOR_CORREC_pos |           |        |                  |

## Puntos registrados

| Nombre | Componentes               | 95% Error | Estado               |
|--------|---------------------------|-----------|----------------------|
| 0400   | Este<br>1105519.151       | 0.051     | Procesado (estático) |
|        | Norte<br>1281440.381      | 0.054     | Procesado (estático) |
|        | Altura elipse<br>1009.692 | 0.070     | Procesado (estático) |
|        | Descripción<br>POSTGRADOS |           |                      |

|         |               |             |        |                      |
|---------|---------------|-------------|--------|----------------------|
| 0401    | Este          | 1105536.217 | 0.048  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281446.044 | 0.054  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1007.854    | 0.084  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | POSTGRADOS  |        |                      |
| 0402    | Este          | 1105506.730 | 0.042  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281446.445 | 0.063  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1007.480    | 0.089  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | POSTGRADOS  |        |                      |
| 0403    | Este          | 1105506.255 | 0.049  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281418.733 | 0.054  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1008.812    | 0.080  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | POSTGRADOS  |        |                      |
| 0404    | Este          | 1105535.771 | 0.046  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281418.326 | 0.053  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1008.850    | 0.094  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | POSTGRADOS  |        |                      |
| 0405    | Este          | 1105520.793 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281431.787 | 0.001  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1008.746    | 0.007  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | POSTGRADOS  |        |                      |
| 0406    | Este          | 1105515.308 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281431.870 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1008.738    | 0.008  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | POSTGRADOS  |        |                      |
| 0407    | Este          | 1105515.410 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281435.021 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1008.777    | 0.008  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | POSTGRADOS  |        |                      |
| 0408    | Este          | 1105520.821 | 0.002  | Procesado (estático) |
|         | Norte         | 1281434.945 | 0.001  | Procesado (estático) |
|         | Altura elipse | 1008.799    | 0.005  | Procesado (estático) |
|         | Descripción   | POSTGRADOS  |        |                      |
| BEDUG08 | Este          | 1105520.034 | 98.000 | Estimado             |
|         | Norte         | 1281443.314 | 98.000 | Estimado             |
|         | Altura elipse | 1007.427    | 98.000 | Estimado             |
|         | Descripción   | POSTGRADOS  |        |                      |

### Archivos

| Nombre      | Hora inicial   | Muestreo | Generaciones | Tamaño (KB) | Tipo |
|-------------|----------------|----------|--------------|-------------|------|
| BEDUG08.311 | 08/11/06 15:57 | 1        | 821          | 271         | 12   |
| BOSCD08.311 | 08/11/06 15:54 | 1        | 3284         | 1185        | 12   |

### Ocupaciones

| Emplazamiento | Hora inicial                 | Periodo de tiempo | Tipo   | Archivo     |
|---------------|------------------------------|-------------------|--------|-------------|
| 0400          | 6 noviembre 2008 15:57:31.00 | 00:04:59.00       | Static | BEDUG08.311 |
| 0401          | 6 noviembre 2008 16:03:15.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.311 |
| 0402          | 6 noviembre 2008 16:04:32.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.311 |
| 0403          | 6 noviembre 2008 16:05:56.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.311 |
| 0404          | 6 noviembre 2008 16:07:14.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.311 |
| 0405          | 6 noviembre 2008 16:08:21.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.311 |
| 0406          | 6 noviembre 2008 16:09:12.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.311 |
| 0407          | 6 noviembre 2008 16:09:56.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.311 |
| 0408          | 6 noviembre 2008 16:10:42.00 | 00:00:30.00       | Static | BEDUG08.311 |
| POS1          | 6 noviembre 2008 15:54:19.00 | 00:54:43.00       | Static | BOSCD08.311 |

### Procesos

| Referencia | Archivo de referencia | Remoto  | Archivo del receptor remoto | Modo      | NUM |
|------------|-----------------------|---------|-----------------------------|-----------|-----|
| POS1       | BOSCD08.311           | BEDUG08 | BEDUG08.311                 | Stop & Go | 1   |

## Vectores procesados

| Identificador de vector       | Vector   |  | 95% Error | X | Vector      |       | 95% Error | SV | PDOP | QA | Solución |
|-------------------------------|----------|--|-----------|---|-------------|-------|-----------|----|------|----|----------|
|                               | Longitud |  |           |   | Componentes |       |           |    |      |    |          |
| POS1 - 0408<br>08/11/06 16:10 | 5.570    |  | 0.008     | X | 1.430       | 0.002 | 0.002     | 6  | 2.9  |    | Fijo     |
|                               |          |  |           | Y | 0.786       | 0.005 | 0.005     |    |      |    |          |
|                               |          |  |           | Z | -5.326      | 0.000 | 0.000     |    |      |    |          |
| POS1 - 0407<br>08/11/06 16:09 | 6.494    |  | 0.012     | X | -3.758      | 0.003 | 0.003     | 6  | 2.9  |    | Fijo     |
|                               |          |  |           | Y | -0.754      | 0.008 | 0.008     |    |      |    |          |
|                               |          |  |           | Z | -5.242      | 0.002 | 0.002     |    |      |    |          |
| POS1 - 0406<br>08/11/06 16:09 | 9.247    |  | 0.013     | X | -3.759      | 0.003 | 0.003     | 6  | 2.9  |    | Fijo     |
|                               |          |  |           | Y | -1.124      | 0.008 | 0.008     |    |      |    |          |
|                               |          |  |           | Z | -8.373      | 0.003 | 0.003     |    |      |    |          |
| POS1 - 0405<br>08/11/06 16:08 | 8.609    |  | 0.011     | X | 1.496       | 0.002 | 0.002     | 6  | 2.9  |    | Fijo     |
|                               |          |  |           | Y | 0.450       | 0.007 | 0.007     |    |      |    |          |
|                               |          |  |           | Z | -8.466      | 0.002 | 0.002     |    |      |    |          |
| POS1 - 0404<br>08/11/06 16:07 | 27.438   |  | 0.166     | X | 16.319      | 0.062 | 0.062     | 6  | 2.8  | No | Fijo     |
|                               |          |  |           | Y | 3.087       | 0.077 | 0.077     |    |      |    |          |
|                               |          |  |           | Z | -21.841     | 0.063 | 0.063     |    |      |    |          |
| POS1 - 0403<br>08/11/06 16:05 | 25.081   |  | 0.154     | X | -11.954     | 0.061 | 0.061     | 6  | 2.8  | No | Fijo     |
|                               |          |  |           | Y | -5.390      | 0.066 | 0.066     |    |      |    |          |
|                               |          |  |           | Z | -21.380     | 0.061 | 0.061     |    |      |    |          |
| POS1 - 0402<br>08/11/06 16:04 | 14.156   |  | 0.167     | X | -12.827     | 0.064 | 0.064     | 6  | 2.8  | No | Fijo     |
|                               |          |  |           | Y | -0.675      | 0.076 | 0.076     |    |      |    |          |
|                               |          |  |           | Z | 5.950       | 0.063 | 0.063     |    |      |    |          |
| POS1 - 0401<br>08/11/06 16:03 | 18.089   |  | 0.157     | X | 15.513      | 0.061 | 0.061     | 6  | 2.7  | No | Fijo     |
|                               |          |  |           | Y | 7.476       | 0.068 | 0.068     |    |      |    |          |
|                               |          |  |           | Z | 5.538       | 0.062 | 0.062     |    |      |    |          |
| POS1 - 0400<br>08/11/06 15:57 | 0.231    |  | 0.146     | X | -0.097      | 0.059 | 0.059     | 7  | 2.2  | No | Móvil    |
|                               |          |  |           | Y | 0.103       | 0.059 | 0.059     |    |      |    |          |
|                               |          |  |           | Z | 0.182       | 0.059 | 0.059     |    |      |    |          |

## ANEXO C. INFORME SOFTWARE TOPOGRAPH (ESTACIÓN TOTAL)

| CLIENTE....: 019 OSCAR JAVIER LEON                  |          | TRABAJO.....: 01 POLIGONAL GPS  |      |                          |                          |       |                         |         |                    |    |    |
|---|----------|---------------------------------|------|--------------------------|--------------------------|-------|-------------------------|---------|--------------------|----|----|
| CERA.....: 022 LEVANTAMIENTO ESTACION TOPOCON GPS U |          | LOCALIDAD.....: UIS             |      |                          |                          |       |                         |         |                    |    |    |
| ESTACION TOTAL.: 000001 topcon                      |          | OPERADOR.....: OSCAR LEON       |      |                          |                          |       |                         |         |                    |    |    |
|   |          | LIBRETA.....: 1 DATA.: 20/11/08 |      |                          |                          |       |                         |         |                    |    |    |
| LISTADO DE LA LIBRETA                               |          | REFERENCIA.....: 01 GPS UIS     |      |                          |                          |       |                         |         |                    |    |    |
| REG   | ESTACION | HI                              | PV   | ANG.HORIZ                | ANG.VERT..               | HS    | DISTANCIA               | R.CALC. | DESNIVEL A.H.CALC. | HC | EC |
| 0001  | GPS2     | 1.340                           | GPS1 | D: 0.00.00<br>I:***.***  | D: 89.58.17<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 144.432 | 144.432 | -0.018             | -  | -  |
| 0001  |          |                                 | GPS3 | D:224.51.04<br>I:***.*** | D: 81.06.15<br>I:***.*** | 0.300 | G:***.***<br>R: 109.206 | 109.206 | 18.133             | -  | -  |
|   |          |                                 |      |                          |                          |       |                         |         | 224.51.04          |    |    |
| 0002  | GPS3     | 1.560                           | GPS2 | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 99.35.13<br>I:***.*** | 1.000 | G:***.***<br>R: 109.208 | 109.208 | -17.886            | -  | -  |
| 0002  |          |                                 | GPS4 | D:187.57.48<br>I:***.*** | D: 92.29.37<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 169.531 | 169.531 | -7.253             | -  | -  |
|   |          |                                 |      |                          |                          |       |                         |         | 187.57.48          |    |    |
| 0003  | GPS4     | 1.570                           | GPS3 | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 87.35.25<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 169.537 | 169.537 | 7.275              | -  | -  |
| 0003  |          |                                 | GPS5 | D:234.31.54<br>I:***.*** | D: 94.13.07<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 112.448 | 112.448 | -8.154             | -  | -  |
|   |          |                                 |      |                          |                          |       |                         |         | 234.31.54          |    |    |
| 0004  | GPS5     | 1.510                           | GPS4 | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 85.53.37<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 112.451 | 112.451 | 8.153              | -  | -  |
| 0004  |          |                                 | GPS6 | D:204.33.43<br>I:***.*** | D: 96.16.36<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 54.415  | 54.415  | -5.905             | -  | -  |
|   |          |                                 |      |                          |                          |       |                         |         | 204.33.43          |    |    |
| 0005  | GPS6     | 1.520                           | GPS5 | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 83.53.04<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 54.419  | 54.419  | 5.921              | -  | -  |
| 0005  |          |                                 | GPS7 | D:268.03.50<br>I:***.*** | D: 86.54.39<br>I:***.*** | 2.500 | G:***.***<br>R: 181.078 | 181.078 | 8.792              | -  | -  |
|   |          |                                 |      |                          |                          |       |                         |         | 268.03.50          |    |    |
| 0006  | GPS7     | 1.647                           | GPS6 | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 92.30.35<br>I:***.*** | 2.500 | G:***.***<br>R: 181.081 | 181.081 | -8.790             | -  | -  |
| 0006  |          |                                 | GPS8 | D: 75.41.56<br>I:***.*** | D: 96.49.43<br>I:***.*** | 2.000 | G:***.***<br>R: 78.318  | 78.318  | -9.732             | -  | -  |
|   |          |                                 |      |                          |                          |       |                         |         | 75.41.56           |    |    |
| 0007  | GPS8     | 1.647                           | GPS7 | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 83.06.12<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 78.318  | 78.318  | 9.690              | -  | -  |
| 0007  |          |                                 | GPS9 | D:246.13.59<br>I:***.*** | D: 91.18.59<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 57.339  | 57.339  | -1.101             | -  | -  |
|   |          |                                 |      |                          |                          |       |                         |         | 246.13.59          |    |    |
| 0008  | GPS9     | 1.615                           | GPS8 | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 89.06.18<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 57.341  | 57.341  | 1.081              | -  | -  |
| 0008  |          |                                 | D1   | D:283.59.54<br>I:***.*** | D: 93.21.13<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 100.125 | 100.125 | -5.682             | -  | -  |
|   |          |                                 |      |                          |                          |       |                         |         | 283.59.54          |    |    |
| 0009  | D1       | 1.615                           | GPS9 | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 86.53.48<br>I:***.*** | 1.430 | G:***.***<br>R: 100.128 | 100.128 | 5.614              | -  | -  |

CLIENTE....: 019 OSCAR JAVIER LEON  
OBRA.....: 022 LEVANTAMIENTO ESTACION TOPCON GPS U

TRABAJO....: 01 POLIGONAL GPS  
LOCALIDAD.....: UIS

ESTACION TOTAL.: 000001 topcon

OPERADOR.....: OSCAR LEON  
LIBRETA.....: 1 DATA.: 20/11/08

LISTADO DE LA LIBRETA

REFERENCIA....: 01 GPS UIS

| REG  | ESTACION | HT    | PV   | ANG.HORIZ                | ANG.VERT.                | HS    | DISTANCIA                | R.CALC. | DESNIVEL | A.H.CALC. | HC | EC |
|------|----------|-------|------|--------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|---------|----------|-----------|----|----|
| 0009 |          |       | D2   | D:151.49.42<br>I:***.*** | D: 86.32.46<br>I:***.*** | 1.430 | G:****.***<br>R: 174.938 | 174.938 | 10.743   |           | -  | -  |
| 0010 | D2       | 1.660 | D1   | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 93.35.03<br>I:***.*** | 1.430 | G:****.***<br>R: 174.940 | 174.940 | -10.728  |           | -  | -  |
| 0010 |          |       | GPS1 | D:173.53.54<br>I:***.*** | D: 90.04.41<br>I:***.*** | 1.430 | G:****.***<br>R: 47.335  | 47.335  | 0.166    |           | -  | -  |
| 0011 | GPS1     | 1.430 | D2   | D:000.00.00<br>I:***.*** | D: 90.07.11<br>I:***.*** | 1.430 | G:****.***<br>R: 47.330  | 47.330  | -0.099   |           | -  | -  |
| 0011 |          |       | GPS2 | D:288.20.03<br>I:***.*** | D: 89.58.09<br>I:***.*** | 1.430 | G:****.***<br>R: 144.424 | 144.424 | 0.078    |           | -  | -  |

CLIENTE ...: 019 OSCAR JAVIER LEON  
 OBRA .....: 022 LEVANTAMIENTO ESTACION TOPCON GPS U

TRABAJO .....: 01 POLIGONAL GPS  
 LOCALIDAD.....: UIS

**LISTADO DE LA POLIGONAL**

REFERENCIA.....: 01 GPS UIS

| ESTACION | ANG.HORI. | AZIMUT    | DISTANCIA | COORD. NORTE | COORD. ESTE | COTA     | ESTACION |
|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|----------|----------|
| GPS1     |           | 197.08.41 |           |              |             |          |          |
| GPS2     | 224.51.04 | 241.59.43 | 109.211   | 281439.2130  | 105895.5520 | 997.193  | GPS2     |
| GPS3     | 187.57.48 | 249.57.46 | 169.538   | 281387.9334  | 105799.1282 | 1015.208 | GPS3     |
| GPS4     | 234.31.54 | 304.29.46 | 112.444   | 281329.8447  | 105639.8521 | 1007.953 | GPS4     |
| GPS5     | 204.33.43 | 329.03.42 | 54.410    | 281393.5275  | 105547.1799 | 999.805  | GPS5     |
| GPS6     | 248.03.50 | 57.08.15  | 181.070   | 281440.1966  | 105519.2068 | 993.895  | GPS6     |
| GPS7     | 75.41.56  | 312.49.51 | 78.312    | 281538.4495  | 105671.3011 | 1002.696 | GPS7     |
| GPS8     | 246.13.59 | 19.04.30  | 57.331    | 281591.6889  | 105613.8697 | 992.989  | GPS8     |
| GPS9     | 283.59.54 | 123.04.42 | 100.131   | 281645.8724  | 105632.6058 | 991.901  | GPS9     |
| D1       | 151.49.42 | 94.54.23  | 174.938   | 281591.2225  | 105716.5082 | 986.258  | D1       |
| D2       | 173.53.54 | 88.48.26  | 47.332    | 281576.2608  | 105890.8055 | 997.003  | D2       |
| GPS1     | 288.20.03 | 197.08.31 | 144.450   | 281577.2460  | 105938.1274 | 997.138  | GPS1     |
| GPS2     | 0.00.00   | 17.08.41  |           | 281439.2130  | 105895.5520 | 997.193  | GPS2     |
| GPS1     |           |           |           |              |             |          |          |

Perimetro....: 1229.1691 m

Area.....: 70641.3568 m<sup>2</sup>

| ERRORES               | TOLERANCIAS |                                      |
|-----------------------|-------------|--------------------------------------|
| Anular.....: 0.02.13  | 0.00.00     | *** ERROR FUERA DE LA TOLERANCIA *** |
| Lineal.....: 0.1052 m |             |                                      |
| Eje norte....: 0.1051 |             |                                      |
| Eje este....: 0.0054  |             |                                      |
| Azimut.....: 2.55.33  |             |                                      |
| Relativo....: 1:11680 | 1:0         |                                      |
| Altimetrico.: 0.064 m | 0.000 m     | *** ERROR FUERA DE LA TOLERANCIA *** |

---

PUNTOS DE RADIACION

FILE NAME: 052 DATE: 01/16/09 TIME: 18:14:58

---

| Point # | Northing    | Easting     | Elevation | Description |
|---------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| 0       | 281538.4452 | 105671.3062 | 1002.6800 | E           |
| 7       | 281645.8842 | 105632.5985 | 991.8890  | GPS9        |
| 8       | 281645.8804 | 105632.5972 | 991.8890  | GPS9        |
| 9       | 281645.8852 | 105632.5988 | 991.8890  | GPS9        |
| 10      | 281640.7430 | 105632.8946 | 991.8760  | ELEC        |
| 11      | 281640.9219 | 105627.6240 | 991.8580  | ELEC        |
| 12      | 281647.6939 | 105627.9353 | 991.8690  | FLEC        |
| 13      | 281647.4921 | 105633.1932 | 991.8720  | ELEC        |
| 14      | 281639.3486 | 105663.7448 | 990.1330  | ELEC        |
| 15      | 281648.3959 | 105664.1552 | 990.1160  | ELEC        |
| 16      | 281650.2064 | 105614.8133 | 990.0660  | ELEC        |
| 17      | 281641.2651 | 105614.4026 | 990.1090  | ELEC        |
| 18      | 281641.2671 | 105614.4019 | 990.1090  | ELEC        |
| 19      | 281601.0364 | 105602.5935 | 993.1720  | BASI        |
| 20      | 281590.7826 | 105602.3295 | 993.1210  | BASI        |
| 21      | 281590.7060 | 105606.1503 | 993.1240  | BASI        |
| 22      | 281588.8050 | 105606.1352 | 993.1380  | BASI        |
| 23      | 281588.8386 | 105605.2079 | 993.1050  | BASI        |
| 24      | 281581.3490 | 105605.1330 | 993.1230  | BASI        |
| 25      | 281581.2773 | 105606.0790 | 993.1470  | BASI        |
| 26      | 281579.3894 | 105606.0222 | 993.1510  | BASI        |
| 27      | 281579.5211 | 105602.2457 | 993.1200  | BASI        |
| 28      | 281569.1493 | 105602.0241 | 993.1830  | BASI        |
| 29      | 281568.6545 | 105638.6439 | 993.1590  | BASI        |
| 30      | 281578.2118 | 105638.8651 | 993.1850  | BASI        |
| 31      | 281578.1103 | 105642.5134 | 993.1420  | BASI        |
| 32      | 281590.2494 | 105642.6150 | 993.1610  | BASI        |
| 33      | 281595.9297 | 105639.0950 | 993.2050  | BASI        |
| 34      | 281600.5594 | 105639.1467 | 993.2170  | BASI        |
| 35      | 281586.8057 | 105635.9115 | 993.1550  | BASI        |
| 36      | 281582.4904 | 105635.9224 | 993.1660  | BASI        |
| 37      | 281582.7156 | 105620.6071 | 993.1430  | BASI        |
| 38      | 281586.9843 | 105620.7018 | 993.1400  | BASI        |

---

PUNTOS DE RADIACION

FILE NAME: 053 DATE: 01/16/09 TIME: 18:16:00

---

| Point # | Northing    | Easting     | Elevation | Description |
|---------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| 0       | 281446.4410 | 105506.7118 | 994.2360  | POS         |
| 1       | 281445.9355 | 105536.0550 | 994.2640  | POS         |
| 2       | 281418.8489 | 105506.3365 | 994.2440  | POS         |
| 3       | 281511.1821 | 105649.1996 | 1000.1980 | BIB         |
| 4       | 281510.4876 | 105691.5855 | 1000.1290 | BIB         |
| 5       | 281544.3195 | 105692.1651 | 1000.1870 | BIB         |
| 6       | 281544.9688 | 105649.6668 | 1000.1990 | BIB         |

---

PUNTOS DE RADIACION

FILE NAME: 054 DATE: 01/16/09 TIME: 18:16:44

---

| Point # | Northing    | Easting     | Elevation | Description |
|---------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| 0       | 281591.6788 | 105613.8665 | 992.9840  | F           |
| 39      | 281591.6795 | 105613.8667 | 992.9840  | BASI        |
| 40      | 281591.6776 | 105613.8661 | 992.9840  | BASI        |
| 41      | 281591.2347 | 105716.5058 | 986.2200  | D1          |

---

PUNTOS DE RADIACION

FILE NAME: 0614    DATE: 01/16/09    TIME: 18:17:29

---

| Point # | Northing    | Easting     | Elevation | Description |
|---------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| 0       | 281576.2861 | 105890.8061 | 996.9640  | E           |
| 51      | 281439.2601 | 105895.4869 | 997.1420  | GPS2        |
| 52      | 281439.2734 | 105895.4911 | 997.1420  | GPS2        |
| 53      | 281439.2763 | 105895.4919 | 997.1410  | GPS2        |
| 54      | 281394.3445 | 105842.0038 | 998.0730  | D3          |
| 55      | 281394.3489 | 105842.0061 | 998.0720  | D3          |
| 56      | 281394.3502 | 105842.0079 | 998.0720  | D3          |
| 57      | 281397.2241 | 105801.0099 | 1014.7350 | LUIS        |
| 58      | 281378.8154 | 105800.6525 | 1014.7480 | LUIS        |
| 59      | 281376.2238 | 105792.9163 | 1014.7520 | LUIS        |
| 60      | 281376.2327 | 105792.9227 | 1014.7500 | LUIS        |
| 61      | 281379.3179 | 105791.8632 | 1014.7440 | LUIS        |
| 62      | 281379.3251 | 105791.8685 | 1014.7430 | LUIS        |
| 63      | 281379.6799 | 105792.8669 | 1014.7820 | LUIS        |
| 64      | 281379.6888 | 105792.8734 | 1014.7800 | LUIS        |
| 65      | 281396.8475 | 105793.1125 | 1014.7330 | LUIS        |
| 66      | 281396.8273 | 105793.0962 | 1014.7360 | LUIS        |
| 67      | 281397.2767 | 105792.3482 | 1014.7420 | LUIS        |

---

PUNTOS DE RADIACION

FILE NAME: 0515 DATE: 01/16/09 TIME: 18:18:33

---

| Point # | Northing    | Easting     | Elevation | Description |
|---------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| 0       | 281577.2567 | 105938.1326 | 997.1110  | F           |
| 68      | 281400.2237 | 105793.3102 | 1014.7530 | LUIS        |
| 69      | 281408.3741 | 105766.4995 | 1013.0590 | LUIS2       |
| 70      | 281407.1316 | 105770.1878 | 1002.5870 | LUIS3       |
| 71      | 281411.3136 | 105785.3933 | 1002.5160 | LUIS3       |
| 72      | 281409.6652 | 105785.2711 | 1002.5900 | LUIS3       |
| 73      | 281409.0211 | 105807.5346 | 1003.3120 | LUIS3       |
| 74      | 281339.1947 | 105783.4203 | 996.3600  | D4          |

---

PUNTOS DE RADIACION

FILE NAME: OS17 DATE: 01/16/09 TIME: 18:19:53

---

| Point # | Northing    | Easting     | Elevation | Description |
|---------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| 0       | 281394.3442 | 105842.0087 | 998.0520  | E           |
| 77      | 281376.6805 | 105794.4265 | 1002.6130 | LUISA       |
| 78      | 281368.6679 | 105793.9783 | 1002.6610 | LUISA       |
| 79      | 281370.9702 | 105800.4730 | 1002.6840 | LUISA       |
| 80      | 281373.2667 | 105806.8989 | 1002.6730 | LUISA       |

RAW FILE:C:\GTS210\DATA\OSCAR2.FBO DATE:01/16/09

OccPt:GPS3 Pt.ID:D HI:1.560  
Pt:GPS2 Pt.ID:E Rod:1.000 HA:359.59590 VA:99.35130 HD:109.206 VD:-18.444  
Pt:GPS2 Pt.ID:E Rod:1.000 HA:359.59590 VA:99.35130 HD:109.208 VD:-18.445  
Pt:GPS2 Pt.ID:E Rod:1.000 HA:359.59590 VA:99.35140 HD:109.209 VD:-18.446  
Pt:GPS4 Pt.ID:D Rod:1.430 HA:187.57480 VA:92.29370 HD:169.531 VD:-7.380  
OccPt:GPS4 Pt.ID:D HI:1.570  
Pt:GPS3 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:87.35250 HD:169.537 VD:7.137  
Pt:GPS3 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:87.35260 HD:169.536 VD:7.136  
Pt:GPS3 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:87.35250 HD:169.531 VD:7.136  
Pt:GPS3 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00010 VA:87.35260 HD:169.537 VD:7.136  
Pt:GPS5 Pt.ID:D Rod:1.430 HA:234.31540 VA:94.13070 HD:112.448 VD:-8.296  
OccPt:GPS5 Pt.ID:D HI:1.510  
Pt:GPS4 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:85.53370 HD:112.453 VD:8.074  
Pt:GPS4 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:85.53360 HD:112.455 VD:8.075  
Pt:GPS4 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:85.53360 HD:112.450 VD:8.074  
Pt:GPS4 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:85.53360 HD:112.449 VD:8.074  
Pt:GPS4 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:85.53370 HD:112.448 VD:8.074  
Pt:GPS4 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:85.53370 HD:112.449 VD:8.074  
Pt:GPS4 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:85.53370 HD:112.449 VD:8.074  
Pt:GPS6 Pt.ID:D Rod:1.430 HA:204.33430 VA:96.16360 HD:54.415 VD:-5.985  
OccPt:GPS6 Pt.ID:D HI:1.520  
Pt:GPS5 Pt.ID:F Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.53030 HD:54.415 VD:5.831  
Pt:GPS5 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.53040 HD:54.424 VD:5.832  
Pt:GPS5 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.53040 HD:54.420 VD:5.831  
Pt:GPS5 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.53040 HD:54.417 VD:5.831  
Pt:GPS5 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.53040 HD:54.419 VD:5.831  
Pt:GPS5 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.53050 HD:54.421 VD:5.831  
Pt:GPS5 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.53050 HD:54.417 VD:5.831  
Pt:GPS7 Pt.ID:D Rod:2.500 HA:268.03500 VA:86.54390 HD:181.078 VD:9.778  
OccPt:GPS7 Pt.ID:D HI:1.647  
Pt:GPS6 Pt.ID:F Rod:2.500 HA:359.59590 VA:92.30350 HD:181.086 VD:-7.935  
Pt:GPS6 Pt.ID:E Rod:2.500 HA:359.59590 VA:92.30340 HD:181.078 VD:-7.934  
Pt:GPS6 Pt.ID:E Rod:2.500 HA:359.59590 VA:92.30340 HD:181.081 VD:-7.934  
Pt:GPS8 Pt.ID:D Rod:2.000 HA:75.41560 VA:96.49430 HD:78.314 VD:-9.378  
Pt:GPS9 Pt.ID:D Rod:2.000 HA:75.41560 VA:96.49410 HD:78.321 VD:-9.378  
Pt:GPS10 Pt.ID:D Rod:2.000 HA:75.41550 VA:96.49410 HD:78.314 VD:-9.377  
Pt:GPS11 Pt.ID:POS Rod:2.000 HA:3.39220 VA:92.27450 HD:188.561 VD:-8.107  
Pt:1 Pt.ID:POS Rod:2.000 HA:358.29180 VA:92.49230 HD:163.861 VD:-8.079  
Pt:2 Pt.ID:POS Rod:2.000 HA:356.55110 VA:92.16370 HD:203.759 VD:-8.099  
Pt:3 Pt.ID:RIB Rod:2.600 HA:341.53170 VA:92.31150 HD:35.100 VD:-1.545  
Pt:4 Pt.ID:RIB Rod:2.600 HA:266.54160 VA:92.40300 HD:34.545 VD:-1.614  
Pt:5 Pt.ID:RIB Rod:2.600 HA:197.09000 VA:94.06200 HD:21.674 VD:-1.556  
Pt:6 Pt.ID:RIB Rod:2.600 HA:49.37510 VA:93.54310 HD:22.595 VD:-1.544  
OccPt:GPS8 Pt.ID:D HI:1.647  
Pt:GPS7 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.06120 HD:78.323 VD:9.474  
Pt:GPS7 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.06110 HD:78.318 VD:9.474  
Pt:GPS7 Pt.ID:F Rod:1.430 HA:0.00000 VA:83.06110 HD:78.315 VD:9.473  
Pt:7 Pt.ID:GPS9 Rod:1.430 HA:246.13590 VA:91.18590 HD:57.340 VD:-1.317  
Pt:8 Pt.ID:GPS9 Rod:1.430 HA:246.13590 VA:91.18590 HD:57.336 VD:-1.317  
Pt:9 Pt.ID:GPS9 Rod:1.430 HA:246.13590 VA:91.18590 HD:57.341 VD:-1.317  
Pt:10 Pt.ID:ELEC Rod:1.430 HA:248.22010 VA:91.26540 HD:52.614 VD:-1.330  
Pt:11 Pt.ID:ELEC Rod:1.430 HA:242.46400 VA:91.30400 HD:51.118 VD:-1.348  
Pt:12 Pt.ID:ELEC Rod:1.430 HA:241.15600 VA:91.19360 HD:57.746 VD:-1.337  
Pt:13 Pt.ID:ELEC Rod:1.430 HA:246.16080 VA:91.17410 HD:59.054 VD:-1.334  
Pt:14 Pt.ID:ELEC Rod:1.430 HA:273.28130 VA:92.33040 HD:68.985 VD:-3.073  
Pt:15 Pt.ID:ELEC Rod:1.430 HA:268.44040 VA:92.20060 HD:75.791 VD:-3.090  
Pt:16 Pt.ID:ELEC Rod:2.000 HA:228.05340 VA:92.30540 HD:58.525 VD:-2.570  
Pt:17 Pt.ID:ELEC Rod:1.600 HA:227.47050 VA:93.22420 HD:49.579 VD:-2.927

Pt:18 Pt.ID:ELEC Rod:1.600 HA:227.47020 VA:93.22420 HD:49.581 VD:-2.927  
 Pt:19 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:176.49320 VA:90.07600 HD:14.647 VD:-0.034  
 Pt:20 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:132.40430 VA:90.25170 HD:11.576 VD:-0.085  
 Pt:21 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:129.54440 VA:90.36110 HD:7.782 VD:-0.082  
 Pt:22 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:116.43150 VA:90.28120 HD:8.255 VD:-0.068  
 Pt:23 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:118.57160 VA:90.37570 HD:9.119 VD:-0.101  
 Pt:24 Pt.ID:BASI Rod:2.000 HA:87.21580 VA:87.56160 HD:13.537 VD:0.487  
 Pt:25 Pt.ID:BASI Rod:2.000 HA:83.58350 VA:87.45010 HD:13.004 VD:0.511  
 Pt:26 Pt.ID:BASI Rod:2.000 HA:79.42330 VA:87.58390 HD:14.590 VD:0.515  
 Pt:27 Pt.ID:BASI Rod:2.000 HA:90.51380 VA:88.21100 HD:16.828 VD:0.484  
 Pt:28 Pt.ID:BASI Rod:2.000 HA:74.53370 VA:88.46140 HD:25.463 VD:0.547  
 Pt:29 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:0.05080 VA:90.04470 HD:33.828 VD:-0.047  
 Pt:30 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:345.30090 VA:90.02340 HD:28.397 VD:-0.021  
 Pt:31 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:342.31590 VA:90.06540 HD:31.699 VD:-0.064  
 Pt:32 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:320.02110 VA:90.05250 HD:28.781 VD:-0.045  
 Pt:33 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:307.37340 VA:90.00080 HD:25.579 VD:-0.001  
 Pt:34 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:297.49540 VA:89.58380 HD:26.788 VD:0.011  
 Pt:35 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:329.39410 VA:90.07480 HD:22.576 VD:-0.051  
 Pt:36 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:339.48410 VA:90.05460 HD:23.894 VD:-0.040  
 Pt:37 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:10.16140 VA:90.19090 HD:11.221 VD:-0.063  
 Pt:38 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:351.43200 VA:90.27200 HD:8.295 VD:-0.066  
 OccPt:GPS9 Pt.ID:D HI:1.615  
 Pt:GPS8 Pt.ID:F Rod:1.430 HA:0.00010 VA:89.06180 HD:57.342 VD:0.897  
 Pt:39 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:0.00010 VA:89.06150 HD:57.341 VD:0.898  
 Pt:40 Pt.ID:BASI Rod:1.430 HA:0.00010 VA:89.06150 HD:57.343 VD:0.898  
 Pt:GPS8 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00010 VA:89.06140 HD:57.344 VD:0.898  
 Pt:GPS8 Pt.ID:F Rod:1.430 HA:0.00010 VA:89.06150 HD:57.339 VD:0.898  
 Pt:41 Pt.ID:D1 Rod:1.430 HA:283.59540 VA:93.21130 HD:100.122 VD:-5.866  
 Pt:42 Pt.ID:D1 Rod:1.430 HA:283.59540 VA:93.21120 HD:100.125 VD:-5.866  
 Pt:43 Pt.ID:D1 Rod:1.430 HA:283.59540 VA:93.21140 HD:100.125 VD:-5.867  
 OccPt:D1 Pt.ID:HI:1.615  
 Pt:GPS8 Pt.ID:F Rod:1.430 HA:0.00000 VA:86.53480 HD:100.145 VD:5.430  
 Pt:GPS9 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:86.53480 HD:100.128 VD:5.429  
 Pt:GPS9 Pt.ID:F Rod:1.430 HA:0.00010 VA:86.53470 HD:100.126 VD:5.430  
 Pt:GPS9 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:86.53470 HD:100.128 VD:5.430  
 Pt:44 Pt.ID:D2 Rod:1.430 HA:151.49420 VA:86.32450 HD:174.940 VD:10.561  
 Pt:45 Pt.ID:D2 Rod:1.430 HA:151.49420 VA:86.32460 HD:174.936 VD:10.561  
 Pt:46 Pt.ID:D2 Rod:1.430 HA:151.49420 VA:86.32450 HD:174.933 VD:10.561  
 Pt:47 Pt.ID:D2 Rod:1.430 HA:151.49420 VA:86.32460 HD:174.938 VD:10.561  
 OccPt:D2 Pt.ID:HI:1.660  
 Pt:GPS9 Pt.ID:F Rod:1.430 HA:0.00000 VA:93.35020 HD:174.942 VD:-10.956  
 Pt:GPS9 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:93.35030 HD:174.940 VD:-10.957  
 Pt:GPS9 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:93.35020 HD:174.938 VD:-10.956  
 Pt:48 Pt.ID:GPS1 Rod:1.430 HA:173.53540 VA:90.04410 HD:47.334 VD:-0.064  
 Pt:49 Pt.ID:GPS1 Rod:1.430 HA:173.53540 VA:90.04400 HD:47.336 VD:-0.064  
 Pt:50 Pt.ID:GPS1 Rod:1.430 HA:173.53540 VA:90.04410 HD:47.333 VD:-0.064  
 OccPt:GPS1 Pt.ID:HI:1.355  
 Pt:GPS9 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:90.07180 HD:47.332 VD:-0.100  
 Pt:GPS9 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00010 VA:90.07170  
 Pt:D2 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:90.07110 HD:47.330 VD:-0.099  
 Pt:D2 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:90.07110 HD:47.330 VD:-0.099  
 Pt:D2 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:90.07110 HD:47.332 VD:-0.099  
 Pt:51 Pt.ID:GPS2 Rod:1.430 HA:288.20030 VA:89.58090 HD:144.424 VD:0.079  
 Pt:52 Pt.ID:GPS2 Rod:1.430 HA:288.20030 VA:89.58090 HD:144.410 VD:0.079  
 Pt:53 Pt.ID:GPS2 Rod:1.430 HA:288.20030 VA:89.58100 HD:144.407 VD:0.078  
 Pt:54 Pt.ID:D3 Rod:1.430 HA:298.53100 VA:89.43140 HD:206.622 VD:1.010  
 Pt:55 Pt.ID:D3 Rod:1.430 HA:298.53100 VA:89.43160 HD:206.617 VD:1.009  
 Pt:56 Pt.ID:D3 Rod:1.430 HA:298.53090 VA:89.43160 HD:206.615 VD:1.009  
 Pt:57 Pt.ID:LUIS Rod:1.430 HA:308.27270 VA:85.32080 HD:226.294 VD:17.672  
 Pt:58 Pt.ID:LUIS Rod:1.430 HA:305.52360 VA:85.48390 HD:241.400 VD:17.685  
 Pt:59 Pt.ID:LUIS Rod:1.430 HA:307.00180 VA:85.55160 HD:247.984 VD:17.689  
 Pt:60 Pt.ID:LUIS Rod:1.430 HA:307.00180 VA:85.55160 HD:247.973 VD:17.687  
 Pt:61 Pt.ID:LUIS Rod:1.430 HA:307.37320 VA:85.53300 HD:246.107 VD:17.681

Pt:62 Pt.ID:LUIS Rod:1.430 HA:307.37320 VA:85.53310 HD:246.098 VD:17.680  
 Pt:63 Pt.ID:LUIS Rod:2.000 HA:307.29140 VA:85.44080 HD:245.220 VD:18.289  
 Pt:64 Pt.ID:LUIS Rod:2.000 HA:307.29140 VA:85.44090 HD:245.209 VD:18.287  
 Pt:65 Pt.ID:LUIS Rod:2.500 HA:309.57230 VA:85.22190 HD:231.458 VD:18.740  
 Pt:66 Pt.ID:LUIS Rod:2.500 HA:309.57230 VA:85.22190 HD:231.484 VD:18.743  
 Pt:67 Pt.ID:LUIS Rod:2.000 HA:310.10130 VA:85.29450 HD:231.604 VD:18.249  
 OccPt:D3 Pt.ID:D HI:1.655  
 Pt:GPS1 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:90.19460 HD:206.630 VD:-1.186  
 Pt:GPS1 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:90.19460 HD:206.629 VD:-1.186  
 Pt:GPS1 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:90.19470 HD:206.625 VD:-1.186  
 Pt:68 Pt.ID:LUIS Rod:1.430 HA:249.09230 VA:71.27170 HD:49.053 VD:16.456  
 Pt:69 Pt.ID:LUIS2 Rod:0.000 HA:252.47560 VA:80.09120 HD:76.807 VD:13.332  
 Pt:70 Pt.ID:LUIS3 Rod:2.500 HA:252.22090 VA:85.47530 HD:72.951 VD:5.360  
 Pt:71 Pt.ID:LUIS3 Rod:1.430 HA:258.57290 VA:85.55020 HD:59.104 VD:4.219  
 Pt:72 Pt.ID:LUIS3 Rod:1.430 HA:257.23030 VA:85.49210 HD:58.770 VD:4.293  
 Pt:73 Pt.ID:LUIS3 Rod:2.500 HA:265.19550 VA:80.46300 HD:37.468 VD:6.085  
 Pt:74 Pt.ID:D4 Rod:1.430 HA:199.00260 VA:91.22450 HD:80.465 VD:-1.937  
 Pt:75 Pt.ID:D4 Rod:1.430 HA:199.00260 VA:91.22450 HD:80.472 VD:-1.937  
 Pt:76 Pt.ID:D4 Rod:1.430 HA:199.00260 VA:91.22460 HD:80.468 VD:-1.937  
 OccPt:D4 Pt.ID:D HI:1.655  
 Pt:GPS1 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:359.59590 VA:88.57210 HD:80.461 VD:1.467  
 Pt:GPS1 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:88.57200 HD:80.469 VD:1.467  
 Pt:GPS1 Pt.ID:E Rod:1.430 HA:0.00000 VA:88.57200 HD:80.459 VD:1.467  
 Pt:77 Pt.ID:LUIS4 Rod:1.430 HA:329.37560 VA:81.13430 HD:39.068 VD:6.028  
 Pt:78 Pt.ID:LUIS4 Rod:0.000 HA:332.58420 VA:81.33350 HD:31.307 VD:4.646  
 Pt:79 Pt.ID:LUIS4 Rod:0.000 HA:341.29250 VA:82.37230 HD:36.062 VD:4.669  
 Pt:80 Pt.ID:LUIS4 Rod:0.000 HA:347.50230 VA:83.34380 HD:41.378 VD:4.658

## ANEXO D. DATOS DE LA RED GEODÉSICA DE LA UIS



PROYECTO RED GEODÉSICA  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL  
DE SANTANDER



### COORDENADAS GPS-UIS-1

SISTEMA DE REFERENCIA: MAGNA - SIRGAS

#### GEODÉSICAS

Latitud: 07° 08' 29.150563" N  
Longitud: 73° 07' 06.608718" W  
Altura elipsoidal: 1006.342 m  
Altura (sum): 997.180 m (Niv. GEOMÉTRICA)

#### GEOCÉNTRICAS

X = 1 838 184.0807 m  
Y = -6 057 207.9163 m  
Z = 787 781.3489 m

#### VELOCIDADES

Vx = 0.0055 m/año  
Vy = 0.0030 m/año  
Vz = 0.0101 m/año

#### PLANAS DE GAUSS-KRÜGER

Norte: 1 281 577.229 m  
Este: 1 105 938.129 m

#### PLANAS CARTESIANAS

Norte: 81 551.483 m  
Este: 105 949.919 m

Origen de las coordenadas planas de Gauss-Krüger: BOGOTÁ

Latitud: 04°35'46.32150" N      Longitud: 74°04'39.02850" W  
Norte: 1000 000.0 m      Este: 1000 000.0m

Origen de las Coordenadas Planas Cartesianas: BUCARAMANGA 2002

Latitud: 07°04'43.993710" N      Longitud: 73°11'50.435600" W  
Norte: 74 632.964      Este: 97 239.765      Plano de proyección: 931.000 m a.n.m.m.

Cálculos realizados en el año: 2006  
Cálculó: Ing. Mauricio Meza Rincón

**SOLUCIONES GEOINFORMÁTICAS Ltda.**

Transversal 22 No. 84-72 Of. 101  
Teléfono: 6 22 88 98 – 6 21 36 75 – 6 21 31 84  
Bogotá D.C. - Colombia



## COORDENADAS GPS-UIS-2

SISTEMA DE REFERENCIA: MAGNA - SIRGAS

### GEODÉSICAS

Latitud: 07° 08' 24.661343" N  
Longitud: 73° 07' 08.005465" W  
Altura elipsoidal: 1006.361 m  
Altura (snm): 997.193 m (Niv. GEOMÉTRICA)

### GEOCÉNTRICAS

X = 1 838 148.0480 m  
Y = -6 057 236.7889 m  
Z = 787 644.4911 m

### VELOCIDADES

V<sub>x</sub> = 0.0055 m/año  
V<sub>y</sub> = 0.0030 m/año  
V<sub>z</sub> = 0.0101 m/año

### PLANAS DE GAUSS-KRÜGER

Norte: 1 281 439.213 m  
Este: 1 105 895.552 m

### PLANAS CARTESIANAS

Norte: 81 413.548 m  
Este: 105 907.079 m

Origen de las coordenadas planas de Gauss-Krüger: BOGOTÁ

Latitud: 04°35'46.32150" N      Longitud: 74°04'39.02850" W  
Norte: 1000 000.0 m      Este: 1000 000.0 m

Origen de las Coordenadas Planas Cartesianas: BUCARAMANGA 2002

Latitud: 07°04'43.993710" N      Longitud: 73°11'50.435600" W  
Norte: 74 632.964      Este: 97 239.765      Plano de proyección: 931.000 m s.n.m.

Cálculos realizados en el año: 2006  
Calculó: Ing. Mauricio Meza Rincón

**SOLUCIONES GEOINFORMÁTICAS Ltda.**

Transversal 22 No. 84-72 Of. 101  
Teléfono: 6 22 88 98 - 6 21 36 75 - 6 21 31 84  
Bogotá D.C. - Colombia



## COORDENADAS GPS-UIS-3

SISTEMA DE REFERENCIA: MAGNA - SIRGAS

### GEODÉSICAS

Latitud: 07° 08' 22.999131" N  
Longitud: 73° 07' 11.150772" W  
Altura elipsoidal: 1024.385 m  
Altura (snm): 1023.242 m (Niv. GEOCOL 2004)

### GEOCÉNTRICAS

X = 1 838 062.7182 m  
Y = -6 057 288.0064 m  
Z = 787 596.0564 m

### VELOCIDADES

V<sub>x</sub> = 0.0055 m/año  
V<sub>y</sub> = 0.0030 m/año  
V<sub>z</sub> = 0.0101 m/año

### PLANAS DE GAUSS-KRÜGER

Norte: 1 281 387.942 m  
Este: 1 105 799.135 m

### PLANAS CARTESIANAS

Norte: 81 362.462 m  
Este: 105 810.563 m

Origen de las coordenadas planas de Gauss-Krüger: BOGOTÁ

Latitud: 04°35'46.32150" N      Longitud: 74°04'39.02850" W  
Norte: 1000 000.0 m      Este: 1000 000.0m

Origen de las Coordenadas Planas Cartesianas: BUCARAMANGA 2002

Latitud: 07°04'43.993710" N      Longitud: 73°11'50.435600" W  
Norte: 74 632.964      Este: 97 239.765      Plano de proyección: 931.000 m a.n.m.m.

Cálculos realizados en el año: 2006  
Calculó: Ing. Mauricio Meza Rincón

**SOLUCIONES GEOINFORMÁTICAS Ltda.**

Transversal 22 No. 84-72 Of. 101  
Teléfono: 6 22 88 98 – 6 21 36 75 – 6 21 31 84  
Bogotá D.C. - Colombia



## COORDENADAS GPS-UIS-4

SISTEMA DE REFERENCIA: MAGNA - SIRGAS

### GEODÉSICAS

Latitud: 07° 08'23.197324" N  
Longitud: 73° 07'19.359994" W  
Altura elipsoidal: 1008.924 m  
Altura (snm): 10073.829 m (Niv. GEOCOL 2004)

### GEOCÉNTRICAS

X = 1 837 816.9662 m  
Y = -6 057 345.7505 m  
Z = 787 600.1769 m

### VELOCIDADES

V<sub>x</sub> = 0.0055 m/año  
V<sub>y</sub> = 0.0030 m/año  
V<sub>z</sub> = 0.0101 m/año

### PLANAS DE GAUSS-KRÜGER

Norte: 1 281 393.509 m  
Este: 1 105 547.197 m

### PLANAS CARTESIANAS

Norte: 81 368.510 m  
Este: 105 558.634 m

Origen de las coordenadas planas de Gauss-Krüger: BOGOTÁ

Latitud: 04°35'46.32150" N Longitud: 74°04'39.02850" W  
Norte: 1000 000.0 m Este: 1000 000.0m

Origen de las Coordenadas Planas Cartesianas: BUCARAMANGA 2002

Latitud: 07°04'43.993710" N Longitud: 73°11'50.435600" W  
Norte: 74 632.964 Este: 97 239.765 Plano de proyección: 931.000 m s.n.m.m.

Cálculos realizados en el año: 2006  
Calculó: Ing. Mauricio Mesa Rincón

SOLUCIONES GEOINFORMÁTICAS Leda..

Transversal 22 Nro. 84-72 Of. 101  
Teléfonos: 6 22 88 98 – 6 21 36 75 – 6 21 31 84  
Bogotá D.C. - Colombia



## COORDENADAS GPS-UIS-5

SISTEMA DE REFERENCIA: MAGNA - SIRGAS

### GEODÉSICAS

Latitud: 07° 08' 20.888869" N  
Longitud: 73° 07' 16.389912" W  
Altura elipsoidal: 1021.202 m  
Altura (snm): 1020.086 m (Niv. GEOCOL 2004)

### GEOCÉNTRICAS

X = 1 837 910.2845 m  
Y = -6 057 339.3793 m  
Z = 787 531.3260 m

### VELOCIDADES

V<sub>x</sub> = 0.0055 m/año  
V<sub>y</sub> = 0.0030 m/año  
V<sub>z</sub> = 0.0101 m/año

### PLANAS DE GAUSS-KRÜGER

Norte: 1 281 322.773 m  
Este: 1 105 638.490 m

### PLANAS CARTESIANAS

Norte: 81 297.599 m  
Este: 105 649.793 m

Origen de las coordenadas planas de Gauss-Krüger: BOGOTÁ

Latitud: 04°35'46.32150" N Longitud: 74°04'39.02850" W  
Norte: 1000 000.0 m Este: 1000 000.0m

Origen de las Coordenadas Planas Cartesianas: BUCARAMANGA 2002

Latitud: 07°04'43.993710" N Longitud: 73°11'50.435600" W  
Norte: 74 632.964 Este: 97 239.765 Plano de proyección: 931.000 m.s.n.m.

Cálculos realizados en el año: 2006  
Calculó: Ing. Mauricio Mesa Rincón



## COORDENADAS GPS-UIS-6

SISTEMA DE REFERENCIA: MAGNA - SIRGAS

### GEODÉSICAS

Latitud: 07° 08' 31.405871" N  
Longitud: 73° 07' 16.559070" W  
Altura elipsoidal: 1000.985 m  
Altura (sum): 999.888 m (Niv. GEOCOL 2004)

### GEOCÉNTRICAS

X = 1 837 887.8302 m  
Y = -6 057 283.2543 m  
Z = 787 849.4390 m

### VELOCIDADES

V<sub>x</sub> = 0.0055 m/año  
V<sub>y</sub> = 0.0030 m/año  
V<sub>z</sub> = 0.0101 m/año

### PLANAS DE GAUSS-KRÜGER

Norte: 1 281 645.887 m  
Este: 1 105 632.629 m

### PLANAS CARTESIANAS

Norte: 81 620.725 m  
Este: 105 644.548 m

Origen de las coordenadas planas de Gauss-Krüger: BOGOTÁ

Latitud: 04°35'46.32150" N      Longitud: 74°04'39.02850" W  
Norte: 1000 000.0 m      Este: 1000 000.0m

Origen de las Coordenadas Planas Cartesianas: BUCARAMANGA 2002

Latitud: 07°04'43.993710" N      Longitud: 73°11'50.435600" W  
Norte: 74 632.964      Este: 97 239.765      Plano de proyección: 931.000 m a.n.m.m.

Cálculos realizados en el año: 2006  
Calculó: Ing. Mauricio Meza Rincón