

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” se encuentra ejecutando un proyecto de investigación conjuntamente con el Ministerio de Medio Ambiente y Agua para la realización del **“Programa de monitoreo y gestión de los embalses en el Departamento de Tarija”**.

El proyecto está localizado en el territorio del Departamento de Tarija que tiene una extensión de 37,623 km², se sitúa íntegramente en la cuenca del Río de La Plata, y es parte de las cuencas de los ríos Pilcomayo y Bermejo, que son afluentes del río Paraguay. Las presas elegidas para el estudio son aquéllas que son clasificadas como presas grandes, es decir que tienen más de 15 metros de altura desde la fundación y tienen una capacidad de almacenamiento mayor a 1, 000,000.00 m³ o 1 hm³.

En este proyecto se realizará las Redes Geodésicas que conformarán cuatro presas del Departamento, las cuales son: Presa Huacata, Presa La Hondura y Presa El Molino de la Provincia Méndez (primera sección) y la Presa Calderas de la Provincia Cercado (segunda sección).

Las Redes Geodésicas nos definen un conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio estableciendo físicamente mediante monumentos permanentes legalmente establecidos, sobre las cuales se realizarán medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura, con relación al sistema de referencia considerada, como ser en este caso a la Red Geodésica mundial ITRF y a las redes regionales como SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) y de manera nacional su enlace de la RED MARGEN (Marco de Referencia Geodésico Nacional) con un sistema de referencia WGS-84 (Sistema Geodésico Mundial del año 1984).

Tenemos conocimiento que el Instituto Geográfico Militar I.G.M. es parte fundamental del sistema integrado al ITRF (International Terrestrial Reference Frame) en el monitoreo y emisión de observaciones G.P.S. de la Red Margen en Bolivia, quien nos proporcionará datos Crudos y Rinex de las estaciones continuas: Tarija, Yacuiba y Palos Blancos. Todo esto para facilitar la georreferenciación de futuros proyectos que tengan que ver con topografía, batimetrías y hasta la auscultación en embalses coadyuvar al desarrollo nacional para el cuidado y conservación de la Tierra y el mejor aprovechamiento del recurso agua.

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Planteamiento del problema

En el área de obras hidráulicas en sí, dando como prioridad a las presas del departamento de Tarija, para todo tipo de estudio como ser:

- Construcción de obras de captación.
- Levantamientos topográficos.
- Levantamientos batimétricos.
- Auscultación geodésica.

Para todos los puntos mencionados es necesario contar en un principio con puntos geodésicos correctamente georreferenciados con sus respectivas coordenadas calculadas reales y precisas, que formen parte de una red geodésica, la cual estará enlazado a la RED MARGEN DE BOLIVIA (Marco de Referencia Geodésico Nacional) con un sistema de referencia WGS-84. Entonces la necesidad de una red geodésica que cuente con varios puntos geográficamente georreferenciados, exactos y con una precisión que pueda ayudar para iniciar cualquier tipo de medición para esta área, está identificado como un problema para futuros proyectos. Causando así, mediciones de baja precisión y errores que puedan causar algún tipo de riesgo en la presa.

1.2.2. Formulación del problema

¿Con la red geodésica creada en las cuatro presas del departamento de Tarija, al realizar estudios relacionados con la ingeniería, será muy buena información conocer a detalle los puntos geodésicos determinados?

1.2.3. Sistematización del problema

¿Cómo se realiza un levantamiento geodésico de un determinado punto ubicado en la superficie terrestre?

¿Cuál o cuáles han sido los métodos utilizados para el levantamiento de puntos geodésicos?

¿Cómo cerciorar que los datos obtenidos juntamente con los resultados sean correctos en su medición?

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1. Objetivo general

Establecer la red geodésica con veinte puntos georreferenciados y determinar su posición geoespacial precisa y exacta, que sirvan de control horizontal y vertical y así aportar con una base de datos a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” para la realización de numerosos estudios que pueden realizarse a posteriori como ser: levantamientos topográficos, levantamientos batimétricos y auscultación geodésica, que estén vinculados a la RED MARGEN de Bolivia con el sistema de referencia WGS-84 para el monitoreo y gestión óptima de las cuatro presas del departamento de Tarija.

1.3.2. Objetivos específicos

- Obtener datos de las referencias de estaciones continuas para el enlace de los puntos geodésicos.
- Realizar una planificación rápida de estaciones continuas para la determinación de la geometría satelital (GDOP) para la observación de los puntos GPS.

- Materialización de los puntos geodésicos, debidamente encofrados con equipos de doble frecuencia cumpliendo con los tiempos de observación según la longitud de la línea y su correspondiente alcance con la RED MARGEN.
- Elaboración de las monografías GPS de los puntos geodésicos con su correspondiente descripción técnica.
- Descargar y convertir los datos crudos a formato Rinex para empezar con el ajuste geodésico.
- Procesar y ajustar las observaciones geodésicas de los datos en el software Leica Goeoffice 5.0.
- Determinar las coordenadas exactas y precisas para cada punto geodésico.
- Elaborar la lista de coordenadas absolutas de los puntos geodésicos.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación académica

Gracias a la geodesia con el empleo de nuevas técnicas y mediante el uso de equipos de alta precisión y tecnología como son los equipos GPS (Sistema de Posicionamiento Global), podemos realizar trabajos confiables y de gran magnitud.

En la actualidad la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” viene realizando importantes trabajos con equipos de última tecnología como son los GPS de doble frecuencia, también el uso de navegadores de posicionamiento puntual y diferencial. Todos estos conocimientos nos llevan a la aplicación en la realización y ejecución de densificación de puntos de control y la utilización de los mismos para proyectos a posteriori en la topografía, batimetría y auscultación geodésica. Para todo tipo de densificación de puntos o vértices geodésicos existen actualmente varios métodos. El método estático rápido diferencial y el método de base RTK. En este proyecto veremos el primer método.

Los puntos geodésicos, constituye los cimientos sobre los que se apoyan multitud de disciplinas tanto científicas como técnicas de las más diversas índoles. Son imprescindibles para la aplicación y el emplazamiento de obras estructurales. Como la

planificación de levantamientos topográficos, batimétricos y auscultación geodésica en la parte estructural de la presa.

1.4.2. Justificación técnica

Los puntos geodésicos servirán de base fundamental para la planeación y ordenamiento predial y ocupacional en ella se basan una gran cantidad de estudios y trabajos posteriores (por mencionar algunos de ellos como son: levantamientos topográficos, levantamientos batimétricos, auscultación geodésica), que de acuerdo al desarrollo tecnológico de nuestra época, han evolucionado nuevos instrumentos como las técnicas de medición se inscriben ahora en un entorno dinámico espacial que permite resultados muy precisos en tiempos relativamente cortos, tal el caso del Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S) con el uso de equipos GPS de doble frecuencia y alta precisión.

1.4.3. Justificación social.

El levantamiento de puntos geodésicos, coadyuvaran para la investigación y para un control y optimización del agua en las diferentes presas ya mencionadas. Para que los beneficiados puedan tener un mejor aprovechamiento óptimo.

1.5. ALCANCE DEL ESTUDIO

Las redes geodésicas son un conjunto de puntos ubicados en la superficie terrestre, tiene la función de determinar la posición geoespacial precisa y exacta de dichos puntos, obteniendo así sus coordenadas verdaderas.

En este proyecto se pretende determinar coordenadas reales de 20 puntos geodésicos que conformen cuatro redes geodésicas, enlazadas a la red MARGEN en Bolivia y a una estación continua de la red ITRF (International Reference Terrestrial Frame) a nivel mundial, haciendo el uso de receptores GPS de doble frecuencia cumpliendo con el tiempo mínimo requerido para cada observación.

Estos puntos geodésicos formarán parte de una base de datos con la cual se pretende realizar varios estudios nombrados a continuación:

- Levantamientos Topográficos (realizar una cartografía del lugar para realizar proyectos aguas abajo como ser: obras de captación, sistemas de riego, pequeñas centrales hidroeléctricas, sistemas de agua potable, etc.)
- Levantamientos Batimétricos (realizar varias mediciones y obtener cartografías del fondo del embalse para llevar un control de la cantidad de sedimento que ingresa y se acumula en el embalse y así poder tomar atribuciones para una óptima operación y mantenimiento del mismo)
- Auscultación Geodésica (realizar un control horizontal y vertical del cuerpo de la presa, tomando en cuenta los movimientos a posterior que se manifiesta, que puede generar fisuras y desplazamientos considerables para el control de riesgo)

A continuación, se detalla los pasos que se siguen para el alcance:

- Ubicación del posicionamiento del punto o vértice geodésico a determinar, que estará ubicado en el borde del embalse de la presa.
- Realizar la dosificación y mezcla de los morteros para la monumentación de cada punto geodésico.
- Colocar el monumento en el lugar ubicado anteriormente para cada punto.
- Realizar la sesión con el equipo G.P.S. por un periodo de 15 a 20 minutos para cada punto geodésico.
- Solicitar los datos crudos y de Rinex al Instituto Geográfico Militar Tarija para realizar el ajuste de las sesiones que se realizaron en cada punto geodésico.
- Realizar las monografías de cada punto geodésico, donde se podrán observar todos los datos recabados para cada punto.
- Ordenar y Presentar los resultados obtenidos para todos los puntos determinados en los embalses.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. DEFINICIÓN DE GEODESIA

Etimológicamente la palabra geodesia deriva del griego “geo” que significa Tierra y “desia” que significa dividir, por lo cual es la ciencia que estudia las divisiones de la Tierra. En la actualidad la geodesia se define como la ciencia que estudia las dimensiones y forma de la Tierra, considerándola en su totalidad. Se ocupa principalmente de su medida, para este fin se apoya en la tecnología actual.¹

2.2. DIVISIÓN DE LA GEODESIA

2.2.1. Geodesia Astronómica

Rama de la geodesia que mediante métodos y observaciones astronómicas obtiene fundamentalmente la dirección vertical de un punto sobre la superficie terrestre, determinando coordenadas astronómicas, latitud ϕ , longitud λ y acimuts astronómicos. Con los datos obtenidos trata de determinar el geoide como figura de la Tierra empleando la nivelación astro geodésica, efectuando la reorientación de redes geodésicas. Las determinaciones astronómicas, tanto en su teoría como en los procedimientos son empleados dentro de la astronomía de posición.

2.2.2. Geodesia Geométrica

Es una rama de la Geodesia, en la cual los datos de las observaciones están compuestos por las medidas de ángulos y distancias en la superficie terrestre, los mismos que son referidos a un elipsoide de referencia y un punto de origen fundamental, para determinar la posición de puntos sobre la superficie terrestre, en el caso de la geodesia clásica bidimensional; o bien en coordenadas cartesianas en caso de la geodesia tridimensional. El conocimiento de la geometría del elipsoide de revolución es fundamental en esta rama.

¹ Adelaida Evelyn Escalante A. (2010). Geodesia y Fotogrametría aplicada a la Ingeniería Civil, Página 3.

2.2.3. Geodesia Física

Constituida por teorías y métodos enfocados a la determinación del geoide, con ayuda de información gravimétrica, mediante el análisis de la teoría del potencial terrestre. Establece los modelos terrestres de comparación para el establecimiento de la Forma de la Tierra, mediante el cálculo de las anomalías gravimétricas.

2.2.4. Geodesia Satelital

Trata el problema de la forma y dimensiones de la Tierra en un sistema de referencia tridimensional geocéntrico, el elipsoide de referencia es una superficie auxiliar de la cual se puede prescindir. Su evolución actual se dirige al estudio y determinación de posiciones sobre la superficie terrestre y básicamente la ubicación de objetos móviles en el espacio, con ser los satélites artificiales cuya observación resulta mucho más rápida y precisa que la tradicional.

2.3. EL GEOIDE

En Geodesia, los cálculos de precisión se llevan a cabo utilizando un elipsoide. Pero las mediciones sobre la superficie de la tierra no se efectúan sobre un elipsoide matemático, sino que están referidas a una tercera superficie llamada GEOIDE.²

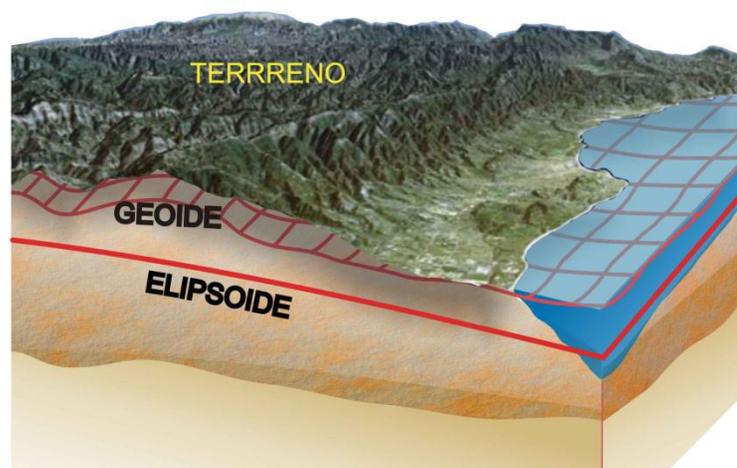


Figura 2. 1 Diferentes superficies

Fuente: Cartografía automatizada (Monserrath Mejía S.)

² Monserrath Mejía S. (2012). Cartografía Automatizada. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Ecuador.

La superficie conocida como geoide es aquella superficie hacia la cual tienden a conformarse las aguas de los océanos ya que tienen la libertad de ajustarse a las fuerzas que actúan sobre ellas. Bajo los continentes, es la superficie a la cual las aguas de los océanos tendrían que adaptar sus formas si pudieran fluir dentro de muy angostos y poco profundos canales.

2.3.1. Modelos Geoidales

2.3.1.1. Modelo Geoidal EIGEN-GL04C

Modelo completo a 360 grados, es una mejora de EIGEN-CG03C, la información gravimétrica está dada en una grilla de 0,5 por 0,5 grados, la información altimétrica con la que cuenta ese modelo es la obtenida hasta el año 2006. Resultado del proyecto GRACE (Recuperación de gravedad y experimento del clima – Gravity Recovery and climate experiment), proyecto conjunto entre la Aeronáutica Nacional y la Administración Espacial (NASA) y Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

2.3.1.2. Modelo Geoidal EGM96 (Earth Gravity Model 1996)

Modelo de geopotencial, desarrollado mediante la colaboración de distintos centros de investigación, fundamentalmente del Nacional de Aeronáutica y Administración Espacial-NASA y la agencia de Mapas e Imágenes Nacionales-NIMA. El EGM96 es un modelo esférico armónico del potencial gravitacional de la Tierra, modelo global en una grilla de 0,25 por 0,25 grados. Fue creado desde el modelo armónico esférico EGM96 completo hasta los 360 grados. Cada país realiza investigaciones gravimétricas a nivel regional para determinar modelos geoidales de carácter regional de mayor precisión.³

2.3.2. Ondulación del Geoide

La diferencia que existe entre geoide y elipsoide de referencia, se conoce como ondulación del geoide. Gracias a esta variante se puede describir el irregular

³ Adelaida Evelyn Escalante A. (2010). Geodesia y Fotogrametría aplicada a la Ingeniería Civil, Página 11.

comportamiento del geoide. Conociendo la ondulación geoidal se puede calcular la altura ortométrica o altura sobre el nivel medio del mar (NMM) de ningún punto de observación en particular, la precisión de esta altura dependerá de la precisión del geoide con el que se trabaja; todo esto a partir del valor de la altura sobre el elipsoide referida por un equipo GPS, esta situación se expresa mediante la siguiente formula:

$$h = H + N_o$$

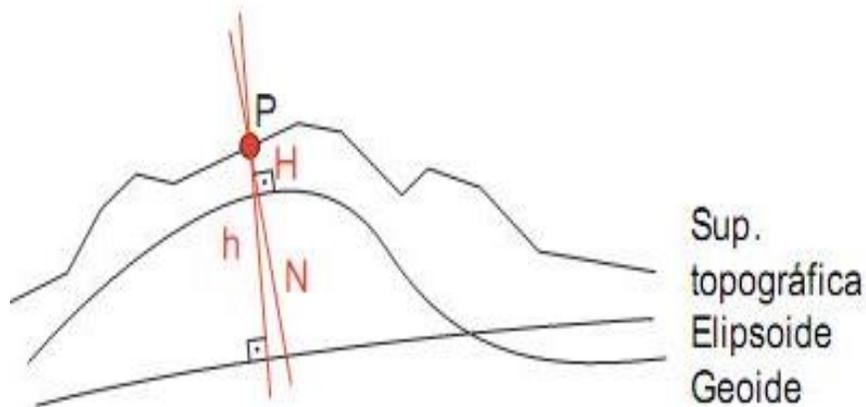


Figura 2. 2 Ondulación del Geoide

Fuente: Geodesia y Fotogrametría aplicada a la ingeniería civil

donde:

h = Altura elipsoidal

H = Altura ortométrica

N_o = Ondulación Geoidal

2.3.1.3. Alturas elipsoidales

Representan la separación entre la superficie topográfica terrestre y la superficie elipsoide, y se mide por la normal al elipsoide designándose con la letra “ h ”. esta es calculada a partir de coordenadas geocéntricas cartesianas definidas sobre un elipsoide de referencia.

2.3.1.4. Alturas ortométricas

Es la altura que existe entre la superficie topográfica y el geoide siendo perpendicular a este último, se designa con la letra “H”. para lo que será necesario conocer la gravedad verdadera entre el punto evaluado y el geoide. La gravedad medida en la superficie topográfica es la gravedad real y la verdadera se encuentra referida al geoide, es aquí donde surge el inconveniente de cómo medirla siguiendo la vertical en el punto observado. Existen algunos modelos de como poder calcularla a través de modelos geofísicos y aplicar reducciones para trasladar la gravedad al geoide.

Las distancias del geoide por encima del elipsoide matemático de referencia, nos dan valores positivos y por debajo son negativos. Otra manera posible y más práctica de determinar el modelo del geoide, es la siguiente: Si en la zona de trabajo existen una suficiente cantidad de puntos fijos altimétricos, de los cuales se conocen a ciencia cierta los valores de las cotas, se pueden determinar de los mismos las alturas elipsoidales, mediante el empleo de un posicionamiento diferencial GPS.

La diferencia entre ambos valores se la ondulación geoidal, representarán las ondulaciones del geoide dentro de la zona de estudio.

2.4. SISTEMAS DE COORDENADAS EN GEODESIA

2.4.1. Coordenadas Geodésicas

El sistema de coordenadas geodésicas, es considerado como la descripción de un punto en el espacio tridimensional por medio de la longitud y latitud geodésicas; y la altura elipsoidal, determinando de esta manera la posición de ese punto sobre la superficie terrestre con respecto al elipsoide de referencia.

Las coordenadas geodésicas se las determina sobre un elipsoide de referencia y su uso actualmente va con el apoyo de los sistemas de posicionamiento global (GPS) sus orígenes son producto del análisis geométrico y matemático del elipsoide por lo cual los puntos obtenidos son exactos debido a que el elipsoide es una figura exacta. La latitud geodésica se define como la distancia angular entre la normal del elipsoide del punto de observación y el plano ecuatorial, es decir, la línea del Ecuador. Se mide a

partir de este último de 0 grados a 90 grados con un signo positivo en el hemisferio norte y negativo en el hemisferio sur.

Por lo tanto, se puede definir que longitud geodésica es la distancia angular comprendida entre el plano ecuatorial y la del meridiano geodésico se mide de 0 grados a 360 grados en sentido positivo hacia el Este. Por motivo de cálculo de longitudes se toma los valores de 0 grados a 180 grados hacia el hemisferio oriental (E) y 0 grados a 180 grados hacia el hemisferio occidental (W).⁴

2.4.2. Coordenadas Geográficas

Las coordenadas geográficas se las determinan de una forma independiente de cualquier modelo de aproximación de la tierra, por lo cual no necesitan de un sistema de referencia (elipsoide, datum), solo necesitan dos orígenes como ser meridiano principal (de Greenwich, Paris) y la línea del Ecuador es decir orientaciones cardinales.

La latitud geográfica se define como el ángulo formado por la vertical del lugar con el plano del Ecuador entre una recta perpendicular al geoide de referencia del sitio en cuestión con el Ecuador terrestre. Por lo tanto, la longitud geográfica, es la distancia angular comprendido entre el plano Ecuatorial y la del meridiano de referencia.

2.4.3. Coordenadas Cartesianas

En la geometría del espacio, las coordenadas cartesianas son los valores que representan la ubicación de un punto en un plano, en relación con los ejes de coordenadas mutuamente perpendiculares, las cuales interceptan un punto u origen en común. El punto se localiza al medir su distancia desde cada eje a lo largo de un paralelo.

Dentro de la geodesia podemos decir que las coordenadas cartesianas son los números reales “x,y,z” representativos de la posición de un punto (P) de la tierra en relación a tres ejes mutuamente perpendiculares que se interceptan en un punto común u origen.

⁴ Adelaida Evelyn Escalante A. (2010). Geodesia y Fotogrametría aplicada a la Ingeniería Civil, Página 19.

2.5. QUÉ ES LA RED GEODÉSICA

Las Redes Geodésicas consisten básicamente en una serie de puntos distribuidos por toda la superficie de ya sea Urbana o Rural), formando una malla de triángulos, en los cuales, tras un proceso de complejos cálculos post procesos, se conocen sus vértices, a los que se le denominan vértices geodésicos de puntos absolutos.

Las Redes Geodésicas nos definen un conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio estableciendo físicamente mediante monumentos físicos permanentes legalmente establecidos, sobre las cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura, con relación al sistema de referencia considerada, como ser en este caso a la Red Geodésica mundial ITRF y a las redes regionales como SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) y de manera nacional su enlace de la RED MARGEN (Marco de Referencia Geodésico Nacional) con un sistema de referencia WGS-84 (Sistema Geodésico Mundial del año 1984).

La creación de redes geodésicas es con la idea de regular que todos los proyectos topográficos y cartográficos que se realicen, tanto en dependencias estatales, municipales y empresas descentralizadas de servicios que utilicen el área pública municipal para la dotación de dichos servicios, así como de particulares, queden ligados a un solo sistema de referencia geográfica.

2.6. CATEGORIZACIÓN DE LA RED GEODÉSICA

La cartografía y los proyectos de alta ingeniería requieren ubicarse dentro de un determinado marco de referencia geodésico, que permita definir inequívocamente y con precisión los diversos rasgos y obras de interés; Creándose así la Red Geodésica Nacional.

Red Geodésica Nacional Activa MARGEN (Marco de Referencia Geodésico Nacional), conformada por estaciones establecidas estratégicamente, los cuales registran informaciones satelitales las 24 horas. Durante los 365 días al año.

2.7. LA RED DE OPERACIONES CONTINUAS

Es componente del Marco de Referencia Geodésico Nacional (MARGEN), es parte de la Red SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), que a su vez está enlazado al Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF: International Terrestrial Reference Frame). Además del sistema de referencia geométrico, se ocupa de la definición y representación física de un sistema vertical de referencia basado en alturas elipsoidales y en números geopotenciales. A continuación, se muestra un esquema categorizado de las Redes Geodésicas y a la cual pertenece los puntos geodésicos.⁵La Red de Operaciones Continuas del Estado Plurinacional de Bolivia forma parte de esta iniciativa, que es la base para el desarrollo de proyectos comprometidos con la generación y utilización de información georreferenciada en la región, tanto a nivel nacional como internacional. Finalmente cabe señalar que la Red Geodésica se sustenta el Marco de Referencia Terrestre sobre el cual se realizó el trabajo de campo. En la Fig. 2.1. se muestra un esquema categorizado de las Redes Geodésicas y a la cual pertenece los Puntos Geodésicos de las diferentes Presas mencionadas.

La Tolerancia de error es de $(-/+ 5\text{mm} + 2\text{ppm} * \text{LB})$, para la categoría B, normativa según el ITRF para Bolivia.



Figura 2. 3 Jerarquía de la Red Geodésica Margen para Bolivia.

Fuente: Marco de Referencia Geocéntrico Nacional.

⁵ Marco de Referencia Geocéntrico Nacional. (1991). Red de Operaciones Continuas de Bolivia. Bolivia.

2.8. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

2.8.1. Qué es un GPS

Aunque se suele conocer con las siglas GPS (Global Positioning System) su nombre más correcto es NAVSTAR GPS. Es un sistema mundial de localización constituido por una constelación de satélites, cada uno de ellos dotado con relojes atómicos, computadoras, emisores y receptores de radio y por estaciones terrenas que monitorean constantemente a cada uno de los satélites. Los receptores GPS utilizan a estos satélites como puntos de referencia para calcular la latitud, longitud, altitud (con aproximaciones en el orden de metros, inclusive centímetros), velocidad y tiempo exacto.

Originalmente desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, ahora el uso del sistema GPS se ha extendido al ámbito civil. Se basa en una constelación, denominada NAVSTAR (Navigation Satellite Timing And Ranging). Fue desarrollado para mejorar el sistema de medición de distancias DOPPLER, TRANSTT en servicio civil desde 1967. Por razones militares, se necesitaba un sistema que tuviese cobertura global, a cualquier hora del día y en cualquier medio, funcionando en mar, aire o tierra. Esta constelación se completó en 1993.

Existen otros sistemas de posicionamiento por satélite, como el GLONASS de la antigua URSS que ahora controla el gobierno de Rusia. También la Unión Europea intenta lanzar su sistema de posicionamiento llamado Galileo. Este último sistema se espera que funcione en 2014 después de sufrir una serie de reveses técnicos y políticos para su puesta en marcha.⁶

2.8.2. Elementos que componen un Sistema de Posicionamiento Global

2.3.1.5. Segmento espacial

El segmento espacial GPS está constituido por una constelación de 24 satélites artificiales, los cuales orbitan sobre la Tierra a unos 20.200 kilómetros de altura

⁶ Begoña Simón T. y Antonio García M. (2011). Levantamiento mediante GNSS de una red de puntos enlazando con precisión los distintos espacios de la UPCT en el mismo sistema de coordenadas. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela de Ingeniería de Camino y Minas. España.

describiendo órbitas circulares alrededor de la Tierra; la constelación es de 6 órbitas con 4 satélites por órbita. Los planos orbitales están separados 60° entre sí, con una inclinación de 55° con respecto al Ecuador terrestre; a su vez los satélites están separados 90° grados en cada órbita. El periodo orbital es de 12 horas (tiempo sidéreo), completando dos órbitas diarias a una velocidad de 13.920Km/h; de esta forma, al menos 4 satélites pueden ser vistos en todo momento en cualquier punto de la Tierra. Algunas características de estos satélites:

- Nombre: NAVSTAR
- Fabricante: Rockwell International y General Electric.
- Peso: tipo I, 455kg; tipo II, 787kg; tipo II-A y II-R, 930kg.
- Tamaño: 5,2 m (con paneles extendidos).
- Periodo orbital: 12 horas.
- Plano orbital: 55° con el plano del ecuador.
- Vida útil: 7,5 años.

2.8.2.1. Segmento de control

Consiste en 4 estaciones automáticas y una maestra que se encargan de monitorear el sistema en su conjunto, así como de generar señales de corrección cuando es necesario. La estación de control principal se encuentra en la Base de la Fuerza Aérea Norteamericana llamada Schriever (antes llamada Falcon) en Colorado Springs (también la sede de los programas NORAD y StarWars).

2.8.2.2. Segmento usuario

Un receptor GPS permite captar y decodificar las señales de los satélites, empezando por el de señal más fuerte (el receptor GPS no envía ninguna señal de radio, sólo las recibe). Los satélites GPS transmiten dos señales de radio de baja potencia, conocidas como L1 y L2, para usos civiles se usa la portadora L1 que transmite a una frecuencia de 1575,42 MHz. La señal viaja directamente al receptor GPS, atravesando nubes, cristales y plásticos, pero no así estructuras más sólidas como edificios o montañas.

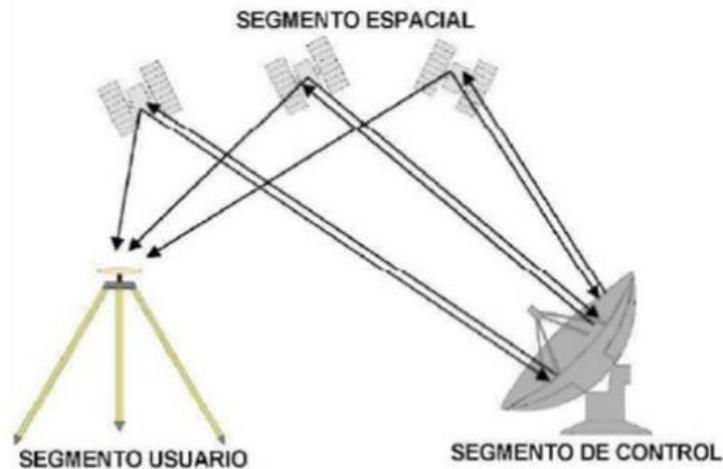


Figura 2. 4 Segmento espacial, control y usuario.

Fuente: Levantamiento mediante GNSS de una red de puntos enlazando con precisión los distintos espacios de la UPCT en el mismo sistema de coordenadas.

2.8.3. Geometría de los satélites

La geometría de los satélites, o constelaciones, se refiere a las posiciones de los satélites en el cielo con respecto a la posición del observador.

La cantidad de error introducido por la geometría de satélites se denomina Disolución de la Precisión (DOP). Hay varios componentes del DOP: vertical, horizontal, tiempo, posición y geometría. El receptor calcula cada componente para cada combinación de cuatro satélites que tenga “a la vista” y utiliza las señales de los cuatro satélites que proporcionan el número de posición DOP (PDOP) más bajo. Una geometría pobre aumenta el error de posición del receptor en centenares de metros. Unos valores normales del PDOP, entre 1 y 3, proporcionarían un grado de precisión de 15 o mejor. Valores PDOP entre 4 y 6 pueden originar errores que oscilen entre decenas y centenas de metros. Si el valor PDOP es superior a 6, el receptor quedará fuera de servicio (outage). Esto se producirá también si el terreno bloquea la recepción de satélites que dieran un PDOP más bajo. En estos casos, poco se puede hacer, salvo esperar a que la constelación mejore. Los satélites están en continuo movimiento, de manera que en interrupción (outage), que no sea debida al terreno, solo durará unos pocos minutos. Sin embargo, hay dos factores que pueden ayudar a minimizar esa interrupción, a la

hora de elegir el receptor. El primero es el ángulo de enmascaramiento y, el segundo, la sensibilidad de la antena. Si usted proyecta utilizar el receptor en áreas remotas, en las que la cobertura de los satélites no es tan amplia como en zonas pobladas, le conviene un receptor que tenga un ángulo de enmascaramiento pequeño y una antena muy sensible.

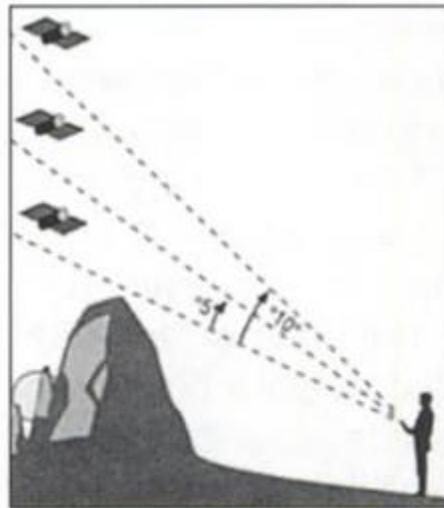


Figura 2. 5 Ángulo de enmascaramiento

Fuente: Levantamiento mediante GNSS de una red de puntos enlazando con precisión los distintos espacios de la UPCT en el mismo sistema de coordenadas.

Los receptores están diseñados para mejorar la recepción ignorando los satélites que están demasiado próximos al horizonte. El ángulo de enmascaramiento se refiere al número de grados que un satélite debe estar sobre el horizonte para que pueda ser utilizado para el cálculo de la situación. El valor oscila entre 5 y 10 grados. Cuanto mayor es el ángulo de enmascaramiento, tanto más se verá afectado el receptor de interrupciones en la recepción, debido a que dejará de detectar satélites próximos al horizonte antes que un receptor con un ángulo de enmascaramiento más pequeño. La constelación que proporciona el mínimo PDOP se da cuando un satélite está directamente sobre la vertical del observador, mientras los otros están regularmente repartidos sobre el horizonte. Si un receptor tiene un ángulo de enmascaramiento amplio, ignorará prematuramente satélites que podrían proporcionar la mejor constelación.

La constelación GPS está diseñada para proporcionar cobertura de un mínimo de cuatro satélites, en todo momento y en cualquier lugar del mundo. El departamento de defensa de los EEUU controla que áreas del mundo tienen simultáneamente cobertura de un mayor número de satélites. Como nota marginal, durante la guerra de Golfo los EEUU modificaron la constelación para aumentar la cobertura en Oriente Medio. Este cambio hizo que la gente de California se sorprendiera de que sus receptores, de pronto, no funcionaran tan bien como habitualmente. Si usted viaja por zonas de cobertura mínima de satélites, necesitara un receptor de la mejor antena que pueda conseguir. El sistema, como se ha dicho, garantiza cuatro satélites allá a donde usted vaya, pero si su receptor no puede captarlos porque la antena no es suficientemente buena, de nada le servirán.

La mayor parte de los receptores no dan los valores DOP, pero proporcionan un error estimado de posición (Estimated Position Error-EPE) que es indicativo del PDOP. La cantidad de error debido a la disponibilidad selectiva no forma parte del valor EPE, puesto que el receptor no puede saber cuánto error está produciendo ésta. EPE muestra solo la cantidad de error correspondiente a la geometría de los satélites. Cuando usted está navegando debe controlar de vez en cuando el EPE para ver si necesita considerar un error mayor del que debería haber con una constelación mejor.

Un modo seguro para reducir el error causado por una pobre geometría de satélites es aumentar el número de satélites en órbita alrededor de la tierra. Mas satélites representan más posibilidades de obtener una geometría perfecta. No es probable que el gobierno de los EEUU aumente el número de satélites. Sin embargo, los rusos lanzaron un sistema GPS llamado Global Navigation Satellite System (GLONASS), que proporciona la misma exactitud que la parte civil del sistema de los EEUU.

GLONASS envía señales de radio a la Tierra, pero en frecuencias distintas que el sistema norteamericano. Los receptores civiles corrientes no pueden leer las señales GLONASS, pero hay una compañía que ha desarrollado un receptor capaz de interpretar las señales de ambos sistemas, con lo cual se dobla la constelación de satélites, haciendo mucho más fácil disponer de una buena geometría, al margen de cuál sea nuestra posición sobre la Tierra.

2.8.4. Tipos de posicionamiento en GPS

2.8.4.1. Estático absoluto

La observación con este método se realiza con un único receptor, con el cual se calculan las pseudodistancias a los satélites observados. Es necesario observar a un mínimo de cuatro satélites para obtener un posicionamiento tridimensional. Los resultados se obtienen en coordenadas absolutas respecto al sistema de referencia al que están referidos los satélites (elipsoide WGS-84).

Las coordenadas del punto donde está situado el receptor se determinan en tiempo real, obteniéndose las primeras coordenadas tras dos o tres minutos de observación. Manteniendo el receptor fijo durante mucho tiempo en el punto se puede mejorar la precisión, siendo ésta aproximadamente de 10 m y de 50 m cuando está activada la disponibilidad selectiva (S/A).⁷

2.8.4.2. Estático relativo

En este caso se pueden utilizar los sistemas de medida de Pseudodistancias y de medida de fase.

2.8.4.2.1. Por Pseudodistancias

Son necesarios dos receptores para trabajar. Uno de los receptores se coloca sobre un punto de coordenadas conocidas (receptor fijo), y el otro receptor sobre el punto a determinar (receptor móvil). El receptor fijo tiene la función de comparar las coordenadas obtenidas mediante la observación GPS con las conocidas para el punto de estación, obteniendo el error cometido en las coordenadas del receptor fijo (dx , dy , dz). Con estos valores se corrigen las coordenadas obtenidas con el receptor móvil y se obtienen las coordenadas definitivas del punto.

Es este método, la obtención de resultados puede ser en tiempo real si se dispone del equipo necesario, aunque lo normal es que los resultados se obtengan con el posterior

⁷ Begoña Simón T. y Antonio García M. (2011). Levantamiento mediante GNSS de una red de puntos enlazando con precisión los distintos espacios de la UPCT en el mismo sistema de coordenadas. Universidad Politécnica de Cartagena. Escuela de Ingeniería de Camino y Minas. España.

procesado de los datos. El número mínimo de satélites para un posicionamiento tridimensional es de cuatro, y con observaciones largas se puede llegar a obtener precisiones de 1 m.

Receptor Fijo	Receptor Móvil
$dx = x_{fijo} - x_{GPS\ fijo}$	$x_{movil} = x_{GPS\ movil} + d_x$
$dy = y_{fijo} - y_{GPS\ fijo}$	$y_{movil} = y_{GPS\ movil} + d_y$
$dz = z_{fijo} - z_{GPS\ fijo}$	$z_{movil} = z_{GPS\ movil} + d_z$

La medida de fase es el método que ofrece la mayor precisión. Normalmente, los resultados se obtienen tras el posterior procesado de los datos de campo, pero el avance de la técnica ha hecho que en la actualidad muchos de los equipos disponibles en el mercado tengan la posibilidad de trabajar con alguno de estos métodos en tiempo real. Hay varios métodos que trabajan con medida de fase.

2.8.4.2.2. Estático clásico

Es un método de observación diferencial. Es necesario disponer de más de un receptor, mono frecuencia o doble frecuencia. El método consiste en colocar los receptores en los extremos de las líneas que se quieran determinar, siendo necesario que uno de esos extremos tenga coordenadas conocidas. Los receptores permanecen sobre los puntos de forma estática durante todo el tiempo que dura la observación. El tiempo de observación debe ser común a todos los receptores que ocupan las bases líneas (líneas a medir), dependiendo la duración de la observación de la longitud de la línea, del número de satélites enganchados y de las frecuencias de las que dispone el receptor.

Durante la observación debe seguirse un mínimo de cuatro satélites, pudiendo perderse la señal de alguno de los satélites durante cortos periodos de tiempo (pérdida de ciclos), puesto que serán recuperadas en el posterior procesado de los datos de campo. Este método siempre da los resultados en post-procesado. La precisión que se puede obtener con la aplicación de este método en receptores mono frecuencia es de $\pm 1\text{ cm} \pm 2\text{ ppm} \cdot \text{longitud medida}$. Este método está especialmente indicado para la re observación de la

red de vértices geodésicos, establecimiento de nuevas redes geodésicas locales, control de deformaciones y movimientos de la corteza terrestre, etc.

2.8.4.2.3. Estático rápido

Es una variante del método estático clásico. Este método sólo se puede utilizar cuando los receptores están equipados con doble frecuencia y tienen la opción de trabajo de "estático rápido". Es necesario disponer de más de un receptor, colocándose uno de ellos sobre un punto de coordenadas conocidas (BASE), donde permanecerá durante toda la observación; el otro receptor (MÓVIL) se irá desplazando por todos los puntos a determinar. El tiempo de observación del equipo móvil en cada uno de los puntos a determinar dependerá del número de satélites enganchados:

- Con 4 satélites----- de 15 a 20 minutos.
- Con 5 satélites----- de 10 a 20 minutos.
- 6 satélites----- de 5 a 10 minutos.

El número mínimo de satélites para poder trabajar con este método es de cuatro, pudiéndose perder la señal de los satélites en el equipo móvil durante los desplazamientos de un punto a otro, aunque el receptor debe permanecer encendido durante toda la observación, incluidos los desplazamientos.

Las precisiones obtenidas al trabajar con este método son de $0,5 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ por longitud medida. Este método se suele utilizar para la densificación de puntos, debido a su gran productividad, rapidez y precisión.

2.8.4.2.4. Pseudoestático o pseudocinematico

Este método es la variante del estático rápido para los receptores de una sola frecuencia. Para trabajar se necesita un mínimo de dos receptores con opción cinemática. Uno de los receptores se coloca sobre un punto de coordenadas conocidas (BASE), permaneciendo quieto en él. El otro receptor (MÓVIL) se irá moviendo sobre los puntos a determinar. Es obligado el seguimiento de un mínimo de cinco satélites durante la observación en los dos receptores, teniendo el método la ventaja de que el receptor móvil puede perder la señal de los satélites durante los desplazamientos de un

punto a otro. Otra ventaja muy importante de este método es que no necesita inicialización. El trabajo con el receptor móvil comienza tomando datos en el primer punto a determinar durante un tiempo de unos diez minutos, desplazándose el receptor a los siguientes puntos y observando en ellos durante el mismo tiempo. La particularidad de este método consiste en que en cada punto deben realizarse dos ocupaciones de diez minutos cada una, debiendo transcurrir entre la primera y la segunda ocupación del mismo punto un tiempo mínimo de una hora y un máximo de cuatro horas. La razón de este intervalo horario es que debe cambiar la geometría de los satélites entre la primera y la segunda observación.

Las precisiones que se obtienen al utilizar este método son de $2 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$ por longitud medida. Las coordenadas de los puntos se obtienen en el procesado posterior de los datos de campo. Este método se utiliza en las redes de relleno, determinación de bases de replanteo, puntos de apoyo fotogramétricos, etc.

2.9. MARCO CONCEPTUAL.

Ambigüedad. - Número de ciclos completos de longitud de onda desconocidos de la fase de la portadora reconstruida, transcurridos desde que la señal partió del satélite hasta que es adquirida por el receptor.⁸

Ángulo de elevación. - Ángulo de elevación mínima por debajo del cual el sensor no rastrea ningún satélite GPS.

Datos brutos. - Datos GPS originales, registrados y almacenados por un determinado Receptor.

Desviación de la posición, DOP. - Medida de la contribución de la geometría de los satélites en la incertidumbre para fijar la posición.

Desviación de la precisión de la geometría de la posición, GDOP. - Medida de la precisión en posicionamiento tridimensional y tiempo.

⁸ Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional. (1996). Estándares Geodésicos G.P.S. Argentina.

Desviación de la precisión de la posición, PDOP. - Medida de la precisión en posicionamiento tridimensional.

Desviación de la precisión de la posición horizontal, HDOP. - Medida de la precisión en la componente horizontal del punto observado.

Desviación de la precisión de la posición vertical, VDOP. - Medida de la precisión en la componente vertical del punto observado.

Desviación de la precisión relativa de la posición, RDOP. - Medida de la precisión de una línea base observada.

Día Juliano. - Los días julianos son la cuenta, cada día se incrementa en uno. Entonces, si se sabe el valor del día juliano para una fecha, y el valor del día juliano para otra fecha, simplemente se pueden restar para encontrar la distancia de fechas. El inicio de los días Julianos, llamado el inicio de la era Juliana, se define al mediodía del primero de enero, 4713 B.C. en el calendario Juliano. Con esta fecha, todas las observaciones astronómicas históricas tienen números de día Juliano positivos, así que todos los cálculos son simplemente restas y sumas.

Geodesia. - Es la ciencia que desarrolla y estudia los métodos, tecnologías y procedimientos dirigidos a determinar con exactitud el tamaño y la forma de la Tierra o parte de ella, incluyendo su campo gravitacional externo, como una función del tiempo.

GPS Diferencial, DGPS. - Sistema GPS que emplea corrección de código diferencial para obtener mejor calidad posicional. El GPS diferencial introduce una mayor exactitud en el sistema. Ese tipo de receptor, además de recibir y procesar la información de los satélites, recibe y procesa, simultáneamente, otra información adicional procedente de una estación terrestre situada en un lugar cercano y reconocido por el receptor.

Efemérides. - Lista de posiciones o ubicaciones de un objeto celeste en función del tiempo a intervalos constantes de tiempo.

Efemérides precisas. - Efemérides calculadas una vez transmitida la señal de los satélites, cuyo cálculo está apoyado por el rastreo y seguimiento de estos.

Efemérides radiodifundidas. - Efemérides difundidas por los satélites de un sistema GNSS.

Estación de control. - Estación de tierra perteneciente al segmento de control empleadas para monitorizar y controlar los relojes y los parámetros orbitales de los satélites. Las correcciones son calculadas y enviadas a cada uno de los satélites al menos una vez al día.

Estacionar. - Alinear físicamente un dispositivo o antena sobre una marca o señal.

Hora local. - Hora igual al tiempo medio de Greenwich más el huso horario

Huso horario. - Diferencia entre la hora local y el tiempo medio de Greenwich⁹

Latitud. - La latitud mide el ángulo entre cualquier punto y el ecuador. Las líneas de latitud se denominan paralelos.

Levantamiento estático. - Técnica de levantamiento de información para todas aquellas aplicaciones de levantamientos no cinemáticas. Incluye dos modalidades, levantamiento estático o levantamiento estático rápido.

Levantamiento estático rápido. - Término empleado para levantamientos estáticos con periodos de observación cortos.

Levantamiento Stop and Go. - Técnica diferencial donde un receptor GPS se estaciona en un punto de control de coordenadas conocidas, mientras que otro receptor móvil o rover, registra datos de un punto durante un intervalo corto de tiempo para posteriormente ir al siguiente punto de tal manera que todo el tiempo no se pierda comunicación con cuatro o más satélites.

⁹ Normas Técnicas Cartográficas. (2011). Observación y procesamiento. Comisión Interdepartamental de estadística y cartografía de Andalucía. España.

Longitud. - La longitud mide el ángulo a lo largo del Ecuador desde cualquier punto de la Tierra. Se acepta que Greenwich en Londres es la longitud 0 en la mayoría de las sociedades modernas. Las líneas de longitud son círculos máximos que pasan por los polos y se llaman meridianos.

Marco de Referencia Geodésico Nacional

En base a los puntos sirgas establecidas sobre territorio boliviano el año 1995, el IGM (Instituto Geográfico Militar) ha creado la red marco de referencia geodésico nacional, conformado por: red GPS continua, red GPS semicontinua y la red GPS pasiva que a la fecha cuenta con 125 vértices.

Meridianos. - Los meridianos son semicircunferencias con orientación norte-sur, cuyos extremos llegan a los polos. El meridiano cero grados es el de Greenwich, que divide el globo en hemisferio oriental u oeste. En total hay 360 meridianos, 180 al este y 180 al oeste.

Paralelos. - Los paralelos son líneas imaginarias en forma de circunferencia, trazadas en dirección perpendicular al eje terrestre con orientación este-oeste. La línea del ecuador que divide el planeta en dos hemisferios, es el paralelo de mayor extensión y marca el grado cero. Existen noventa paralelos hacia el norte y noventa hacia el sur.

Posicionamiento absoluto. - Capacidad de un receptor GNSS de obtener valores de posición sin necesidad de emplear otro receptor como referencia.

Posicionamiento cinemático. - Técnica diferencial donde un receptor permanece estacionado en un punto de control de coordenadas conocidas mientras que otro receptor recoge datos de manera continua mientras se va moviendo.

Posicionamiento diferencial o relativo. - Determinación de la posición relativa entre dos receptores cuando ambos están simultáneamente registrando la misma señal GPS.

Posicionamiento dinámico. - Determinación de la posición de un receptor en movimiento. Cada conjunto de coordenadas es calculado a partir de una muestra o conjunto de Observaciones.

Posicionamiento estático. - Determinación de la posición de un receptor que se encuentra Estacionado.

Post proceso. - Proceso para calcular las posiciones en tiempo no real, empleando datos previamente almacenados por un receptor GPS.

Punto de control. - Punto cuyas coordenadas referidas a un sistema de referencia geodésico son conocidas.

Punto Geodésico. - Un vértice geodésico o Punto Geodésico es una señal informativa permanente que podemos encontrar en el campo, que nos indica la altura exacta de ese punto sobre el nivel del mar, y que forma parte de una red de triángulos cuyas coordenadas se han calculado con la mayor precisión posible. La red de triángulos es de carácter planetario.

Real Time Kinematic. - También llamada navegación cinemática satelital en tiempo real, es una técnica usada para la topografía y navegación marina basado en el uso de medidas de fase de navegadores con señales GPS, GLONASS y/o de Galileo, donde una sola estación de referencia proporciona correcciones en tiempo real, obteniendo una exactitud submétrica.

Receiver Independent Exchange (RINEX). - Conjunto de definiciones y formatos estándar

para promover el libre intercambio de datos GPS.

Receptor GPS. - Conjunto de instrumentación con capacidad para registrar la señal GPS y almacenamiento de los observables medidos.

Red Geodésica. - Las Redes Geodésicas consisten básicamente en una serie de puntos distribuidos por toda la superficie de ya sea Urbana o Rural), formando una malla de triángulos, en los cuales, tras un proceso de complejos cálculos post procesos, se conocen sus vértices, a los que se le denominan vértices geodésicos de puntos absolutos.

Sistema de Posicionamiento Global. - El Sistema de Posicionamiento Global, más conocido por sus siglas en inglés, GPS (siglas de Global Positioning System), es un sistema que permite determinar en toda la Tierra la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Para determinar las posiciones en el globo, el sistema GPS se sirve de 24 satélites y utiliza la trilateración.

Trilateración. - La trilateración es un método matemático para determinar las posiciones relativas de objetos usando la geometría de triángulos de forma análoga a la triangulación. A diferencia de ésta, que usa medidas de ángulo (junto con al menos una distancia conocida para calcular la localización del sujeto), la trilateración usa las localizaciones conocidas de dos o más puntos de referencia. Para determinar de forma única y precisa la localización relativa de un punto en un plano bidimensional usando sólo trilateración, se necesitan generalmente al menos tres puntos de referencia.

2.10. MARCO ESPACIAL

Este proyecto se lo realizará en cuatro presas del departamento de Tarija, ubicados en las siguientes provincias:

- Presa Huacata» Provincia Méndez.
- Presa Calderas» Provincia Cercado.
- Presa La Hondura» Provincia Méndez.
- Presa El Molino» Provincia Méndez.

2.11. MARCO TEMPORAL

Las mediciones para los puntos geodésico en la recolección de datos se las realizaron en los meses de octubre y noviembre del año 2017, tomando en cuenta que los equipos GPS estaban a disposición del Laboratorio de Hidráulica.

CAPÍTULO III

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÉTODO Y EL EQUIPO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS

3.1. MÉTODO ESTÁTICO

Sus características de este método es que se utiliza para distancias largas por lo general mayores de 20 kilómetros y la más alta precisión (E.M.C. $\text{mm}+2\text{ppm}$). Es la medición clásica de líneas bases. Consiste en estacionar dos receptores o más receptores en los puntos los cuales queremos conocer sus coordenadas, almacenar datos y calcular las coordenadas en tiempo diferido. En este tipo de posicionamiento se obtienen soluciones tan redundantes como deseemos, tan solo deberemos prolongar la observación.

3.1.1. Aplicaciones

Control geodésico, redes nacionales e internacionales, control de movimiento tectónicos, control de deformaciones en diques y estructuras.

3.1.2. Ventajas

Más preciso, eficiente y económico más que los métodos topográficos tradicionales, sustituye al método clásico de triangulación.

3.2. MÉTODO ESTÁTICO RÁPIDO

Las distancias máximas que pueden existir entre el receptor de referencia y el móvil es de 20 kilómetros. La máscara de elevación que se introduce es, como se ha comentado anteriormente, de 15 grados de elevación y las épocas de 15 segundos (intervalo de registro de datos, varía según hasta 60 segundos).

En el estacionamiento de una estación de referencia temporal se observa y almacena datos de todos los satélites a la vista continuamente, el receptor móvil se estaciona en el punto que se pretende levantar, estaremos en el punto; el tiempo que nos indique las tablas en función del número de satélites, distancia de referencia, GDOP, etc.

Los tiempos breves de observación posibilitan una precisión de 5 a 10 milímetros \pm 1 ppm. Los tiempos de observación son de 5 a 10 minutos para las distancias inferiores a 5 kilómetros.

3.2.1. Aplicaciones

Levantamientos de control, densificación, sustituye al método clásico de polígonos, determinación de puntos de control, ingeniería civil, bases de replanteo, levantamientos de detalles y deslindes, cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos, determinación de puntos de apoyos fotográficos.

3.2.2. Ventajas

Sencillo, rápido y eficiente comparado con los métodos clásicos, no requiere mantener el contacto con los satélites entre estaciones, se apaga y se lleva al siguiente punto, no existe transmisión de errores ya que cada punto se mide independientemente.

3.2.3. Inconvenientes

No se puede utilizar en zonas de población, cerca de edificios, debido al efecto multipath y en general en zonas que nos impidan recibir cuatro o más satélites. Este método de posicionamiento se puede utilizar simultáneamente con el estático, realizando la triangulación con método estático y la densificación con el estático rápido.

El tiempo de observación depende de los siguientes factores:

- Longitudes de la línea base.
- Número de satélites.
- Geometría de satélites. GDOP.
- Ionosfera. (depende de los disturbios de la ionosfera, día/noche, mes, año, posición sobre la tierra).

Las precisiones se muestran en la tabla 3.1:

CLASIFICACIÓN DE PRECISIONES GPS			
NÚMERO DE SATELITES (GDOP<7)	LONGITUD LÍNEA BASE	TIEMPOS DE	
		DÍA	NOCHE
ESTÁTICO RÁPIDO			
3 ó 4	0 a 5 km.	5 a 10 min.	5 min.
3 ó 4	5 a 10 km.	10 a 20 min.	5 a 10 min.
3 ó 4	10 a 15 km.	más de 20 min.	5 a 20 min.
ESTÁTICO			
3 ó 4	15 a 30 km.	1 a 2 horas	1 hora
3 ó 4	más de 30 km.	2 a 3 horas	4 horas

Tabla 3. 1 Clasificación de precisiones G.P.S.

Fuente: Geodesia y fotogrametría aplicada a la ingeniería civil.

3.3. MÉTODO DIFERENCIAL

Las señales de los satélites son recibidas simultáneamente por dos receptores. Con este método se anulan hasta cierto grado errores inevitables como la imprecisión de la órbita del satélite y se obtiene con ello una mayor precisión que con la determinación de un punto aislado.¹⁰

Se utiliza aquí el método de medición de fase que da una mayor precisión que el de la medida de la pseudodistancia. Evidentemente es necesario restituir en un ordenar los puntos medidos en distintas estaciones.

Los errores que se eliminan utilizando el método diferencial son los siguientes:

- Disponibilidad selectiva (SA).
- Retardo ionosférico.
- Retardo troposférico.
- Error de efemérides.
- Error del reloj del satélite.

¹⁰ Adelaida Evelyn Escalante A. (2010). Geodesia y Fotogrametría aplicada a la Ingeniería Civil, Página 66.

3.4. MÉTODO RTK (Real Time Kinematic)

Es la última innovación en las técnicas de medida GPS. Consiste en obtener coordenadas en tiempo real en el sistema de referencia adoptado previamente.

Todos los avances tecnológicos efectuados en las técnicas de medición GPS se dirigen hacia en menor tiempo posible en la toma del punto y tener el resultado en el propio campo. Hasta ahora este tipo de trabajo quedaba reservado a los métodos clásicos (estaciones totales). Sin embargo, mediante el tiempo real en el GPS, podremos utilizar este de manera similar a una estación total; obteniendo las coordenadas al instante con una precisión de 1 cm. + 2 ppm. Esto quiere decir que podremos utilizar nuestro equipo GPS para métodos de replanteo.

3.4.1. Características del equipo GPS de referencia

- El receptor de referencia captará todos los satélites a la vista.
- El receptor móvil enviara los datos observados al radio-modem.
- El radio-modem transmitirá todos los datos observados al equipo móvil.
- Receptor móvil trabaja y calcula con los datos de su posición más la información recibida de referencia, fijas las ambigüedades de todos los satélites comunes. Con las técnicas actuales, este proceso no supera los 10 segundos, calculando las coordenadas de su posición y las muestra con un control de calidad asociado. A partir de fijar ambigüedades, el equipo proporciona posición precisa a n intervalo de hasta 0,1 segundo.

3.5. FUENTES DE ERROR

Igualmente, que en todos los equipos que utilizamos, una observación GPS también esta sometida a varias fuentes de error que se pueden minimizar dependiendo del equipo que utilicemos y metodología de observación. Estas fuentes de error son las siguientes:

3.5.1. Satélites

- Variaciones orbitales.
- Errores en el oscilador. DOD.

- S/A. Disponibilidad selectiva.

3.5.2. Punto de referencia

- Error del oscilador receptor.
- Error en las coordenadas de referencia.

3.5.3. Observaciones

- Retrasos ionosféricos.
- Retrasos troposféricos.
- Pérdidas de ciclo.
- Errores de medida de fase con el receptor en movimiento.
- Multipath. Ondas reflejadas.
- Errores en el estacionamiento.

3.5.4. Errores en la manipulación de equipo

Los errores de manipulación se producen cuando no se siguen las indicaciones del fabricante del instrumento y que suelen descuidarse cuando se trabaja rutinariamente. Por ejemplo, es importante que no se comience una observación hasta que no se haya sincronizado perfectamente con los satélites ya que lo único que estaremos haciendo es introducir ruido a la observación.¹¹

3.6. MODELOS DE ERRORES

Se puede apreciar en la tabla 3.2.:

FUENTES DE ERROR	ERROR TÍPICO	COMO CORREGIR
Orbita de los satélites	20 m.	Corrección diferencial
Error de sincronización en los satélites	10 m.	Corrección diferencial
Retardo ionosférico	50 m.	Corrección diferencial + 2 frecuencia
Retardo troposférico	23 m.	Modelo + Corrección diferencial
Error multipath	10 m.	Situación de la antena
Error de reloj en el receptor	10 m.	Post-proceso
Error de ruido	10 mm. Fase portadora	Corrección en el código de la fase portadora

Tabla 3. 2 Modelos de errores.

Fuente: Geodesia y fotogrametría aplicada a la ingeniería civil.

¹¹ Adelaida Evelyn Escalante A. (2010). Geodesia y Fotogrametría aplicada a la Ingeniería Civil, Página 68.

3.7. D.O.P. MÁSCARAS DE ELEVACIÓN-ACIMUT DE SATÉLITES.

3.7.1. Qué es D.O.P. (Dilución de precisión)

El DOP es un factor por el que debe ser multiplicado el error obtenido en las determinaciones de distancias a los satélites para establecer el correspondiente error de posicionamiento.

Los DOPs más utilizados son:

- GDOP: tres coordenadas de posición y estado del reloj.
- PDOP: tres coordenadas de posición.
- HDOP: dos coordenadas de posición planimétrica.
- VDOP: solo la altitud.
- TDOP: solo estado de reloj.

CAPÍTULO IV

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1. EQUIPO LOGÍSTICO DESIGNADO PARA EL LEVANTAMIENTO.

El equipo logístico que se cuenta son los siguientes:

- 2 equipos GPS de doble frecuencia marca Geofennel (Sistema Glonas y Navstar y Beidou) (Completo incluye Trípodes, Bípodes y baterías de largo alcance)
- 2 GPS Navegadores marcas Etrex vista, Arc Map 76slx, Oregon
- Software de Ajuste Leica Geo-office Versión 5.0 (Con Licencia Original)
- 2 computadoras personales Marca Asus core i7, i5
- 1 movilidad 4x4 todo terreno.

4.2. PROCEDIMIENTOS

Antes de dar inicio a un proyecto estas se definen en tres fases del proyecto:

- Fase I: Pre Campo.
- Fase II: Campo.
- Fase III: Post Campo.

4.3. FASE I: PRE CAMPO (PLANIFICACIÓN)

Se fundamenta que para todo inicio de un proyecto ya sea de carácter civil, científico, técnico, legal se realiza las sub fases preliminares que servirán para el diagnóstico de las características más relevantes a tomar en cuenta para una correcta planificación del proyecto, pasos procedimentales y elementos fundamentales de apoyo las cuales son las siguientes:

Obtención de:

- Mapas de los embalses para referencia, en digital y analógico.
- Imágenes satelitales de referencia visual para la distribución y ubicación de los puntos a diseñar y emplazar, escala 1:5.000

- Datos de las referencias de estaciones continuas para el enlace de los puntos geodésicos.
- Realización de Quik Planing de las observaciones para la determinación de la Geometría satelital (GDOP) para la observación de los 20 puntos GPS.

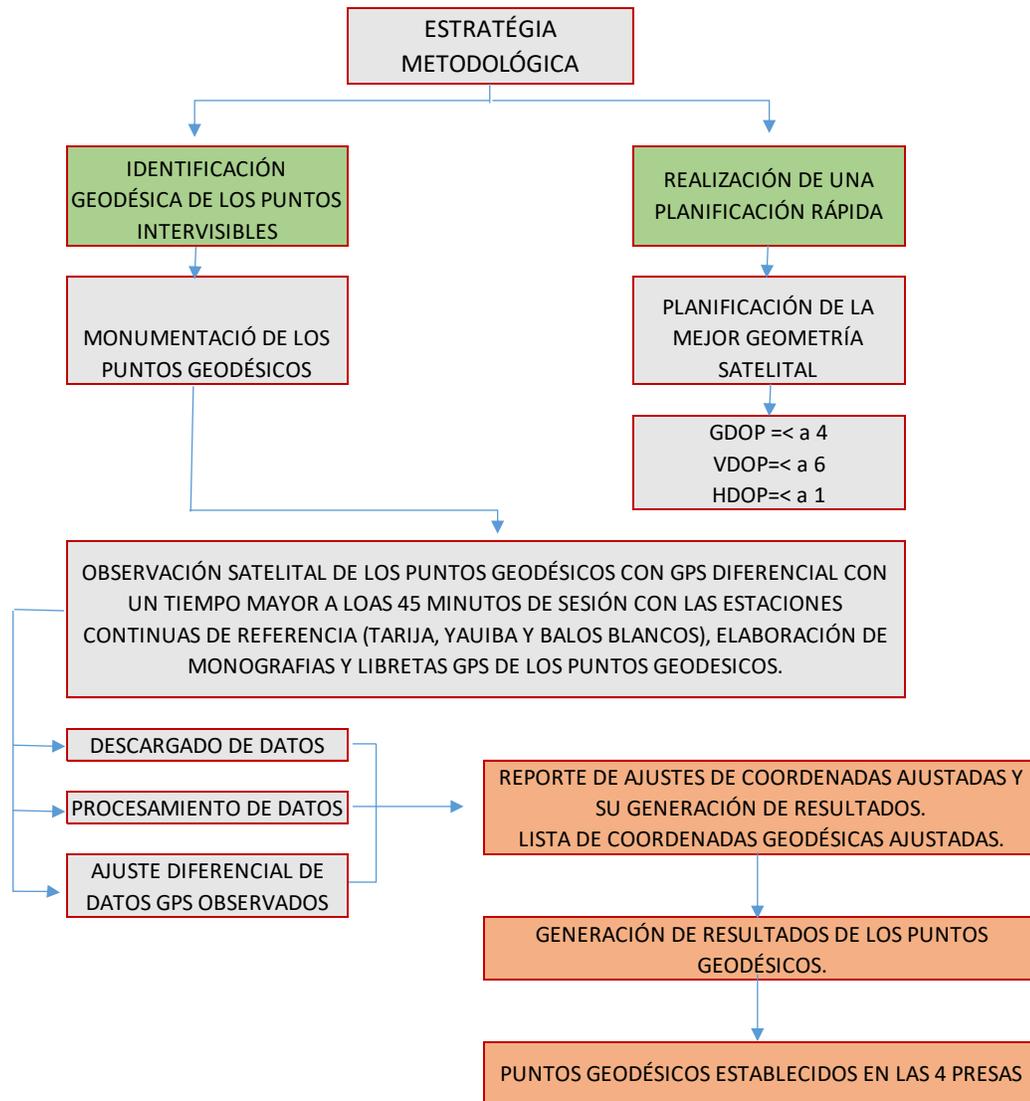


Figura 4. 1Esquema procedimental Técnico-Científico.

Fuente: Geodesia y Fotogrametría aplicada a la Ing. Civil.

4.4. FASE II: CAMPO (ELABORACIÓN)

Materialización y de los veinte puntos GPS, debidamente encofrados de acuerdo a la normativa emitida en Navstar Global Positioning, con placa de aluminio e inscripción en ellas, las mismas son foto identificables.

La observación de los veinte puntos GPS con equipos geodésicos de doble frecuencia cumpliendo con los tiempos de observación según la longitud de la línea base y su correspondiente enlace con la RED MARGEN.

Elaboración de las Planillas de los veinte puntos geodésicos con su correspondiente descripción técnica.

4.5. FASE III: POST CAMPO (RESULTADOS)

- Bajado, Proceso y Ajuste de las observaciones geodésicas, en el software Leica Goeoffice 5.0.
- Elaboración de las listas de coordenadas absolutas de los puntos geodésicos.
- Realización del Informe Técnico Circunstanciado, de todo el proceso de elaboración de datos para su entrega final.

Para una mejor comprensión del proceso del Establecimiento de los puntos geodésicos se presenta un esquema procedimental técnico – científico de los pasos procedimentales que se realizó para este proyecto.

4.6. PARÁMETROS TÉCNICOS REGLAMENTARIOS CUMPLIDOS PARA SU MONUMENTACIÓN

De acuerdo a los términos de Referencia establecida para este proyecto las dimensiones de la monumentación corresponden a los siguientes datos establecidos:

4.6.1. Características del Mojón

Material de: **Concreto de baja resistencia**

Dimensiones 10 cm de radio

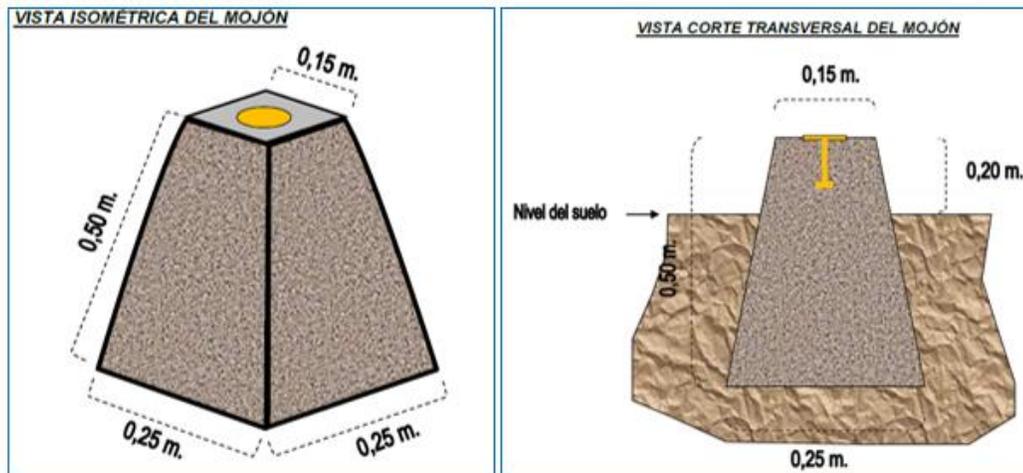


Figura 4. 2 Dimensiones del mojonamiento del punto geodésico.

Fuente: Navstar Global Positioning

4.6.2. Características del Bulón

Material de: Aluminio Dimensiones 10 cm. de radio

En la Fig. 4.3. se muestra las dimensiones normadas por el Navstar global Positioning y su aplicación a éstas del respectivo bulón.

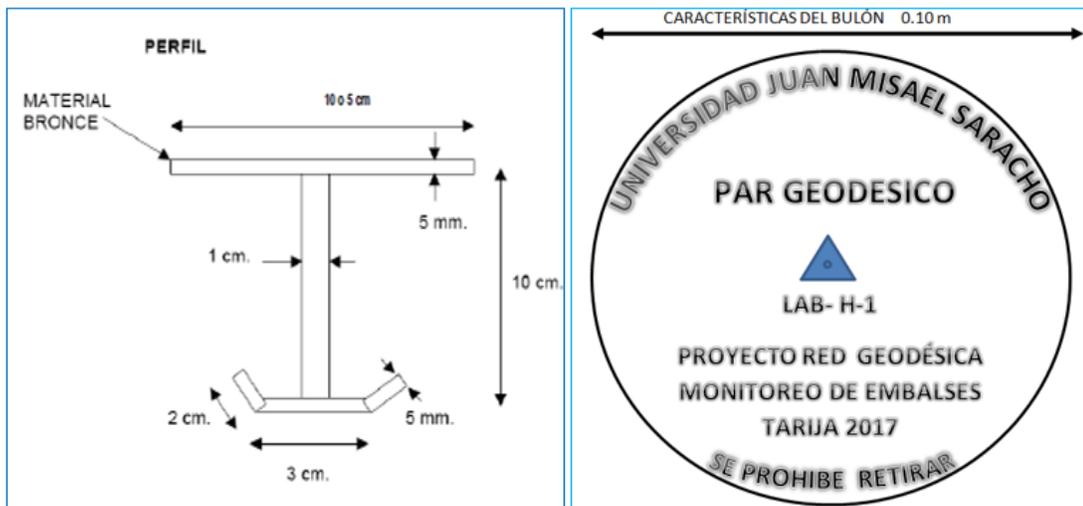


Figura 4. 3 Dimensiones y caraterísticas del Bulón.

Fuente: Navstar Global Positioning

4.7. CARACTERÍSTICAS DE LA GEORREFERENCIACIÓN

- Derivación de la Densificación: RED MARGEN BOLIVIA (Red Marco Geocéntrico Nacional)
- Sistema de Referencia:
- Elipsoide de Referencia: WGS-84
- Datum: Geocéntrico
- Superficie del potencial gravitatorio o Constante equipotencial: Geoide EGM-96
- Proyección: Universal Transversa de Mercator (U.T.M.) Cilíndrica y Secante
- Zona: 22 y faja K
- Estaciones continúa a Utilizar: La estación continua es: TARIJA (TJA)
- Cantidad de Puntos: 20, distribuidos alrededor de los cuatro embalses.

4.8. CARACTERÍSTICAS DE OBSERVACIÓN SATELITAL

- Tiempo de Sesión: Mayor a 45 minutos de observación simultánea con las dos estaciones GPS continuas.
- Registro de Intervalos de Grabación: Cada 15 segundos
- Método de Observación: Estático Diferencial
- Geometría de la Observación Satelital: GDOP, PDOP, HDOP, VDOP para esta observación el GDOP menor a 4
- Mascara de Elevación: 15 grados
- Cantidad de satélites para la Observación: Mínimo de 4 satélites
- Canales: Recepción de señales de mínimo de 12 canales
- Frecuencia: L2 GNSS
- Grados de Libertad: 95 %
- Fiabilidad: 99 %
- Resolución de Ambigüedades: Hasta 100 km
- Cabe señalar que toda esta configuración se realizó antes de iniciar el levantamiento de datos geoespaciales.

4.9. CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO EN GABINETE

Concluido el trabajo de campo se procedió a la verificación de la información generada referente a:

- Tiempo de sesión establecida en cada una de las estaciones.
- Alturas de antenas GPS.
- Correcta Designación de Puntos GPS (De acuerdo a la sigla LH-1, LH-02, LH-03, LH-04, etc.).
- Simultaneidad con las otras estaciones de referencia (Estaciones continuas).
- Información necesaria durante la observación.
- Información del receptor y su antena GPS.
- Planillas de descripciones de las estaciones observadas.
- Selección de las fotografías obtenidas de las estaciones Panorámico y del punto.

4.10. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE LOS DATOS GPS

Para realizar este procedimiento se detalla a continuación la fase procedimental del trabajo (Fase III), Post Proceso.

- Importación y transferencia de datos Crudos del equipo GPS al directorio establecido en el PC en el software del Top Com Tools, Software con licencia de los equipos receptores de doble frecuencia y RTK.
- Transferencia de los Datos de Observación de las estaciones Continuas de TARIJA (Chorolque) de fechas: 282, 289, 304 y 318 días julianos correspondientes a la fecha de observación en formato Crudos y Rinex emitidos por el instituto Geográfico Militar.
- Conversión de datos crudos de los 20 puntos GPS al formato Rinex para su uniformización de la observación de la estación continúa.

4.11. CARACTERÍSTICAS DEL AJUSTE DE LOS DATOS GPS

Para realizar este procedimiento se detalla a continuación la fase procedimental del trabajo (Fase III) Post Proceso)

- El software de ajuste Leica Geoffice v.5.0. se realizó el ajuste de los datos GPS, con el sistema de referencia WGS-84 incluyendo el modelo Geoidal en actual vigencia el EGM-96 para la generación de las alturas Ortométricas.
- Procesamiento de la línea base y de los veintidós puntos GPS, veinte correspondientes al levantamiento y dos de la estación de referencia. El software utilizado para este proceso y ajuste el Leica Geoffice versión 8.2 con licencia original de funcionamiento. El proceso de la línea base fueron todos los vectores de las estaciones tanto de referencia como las observadas.

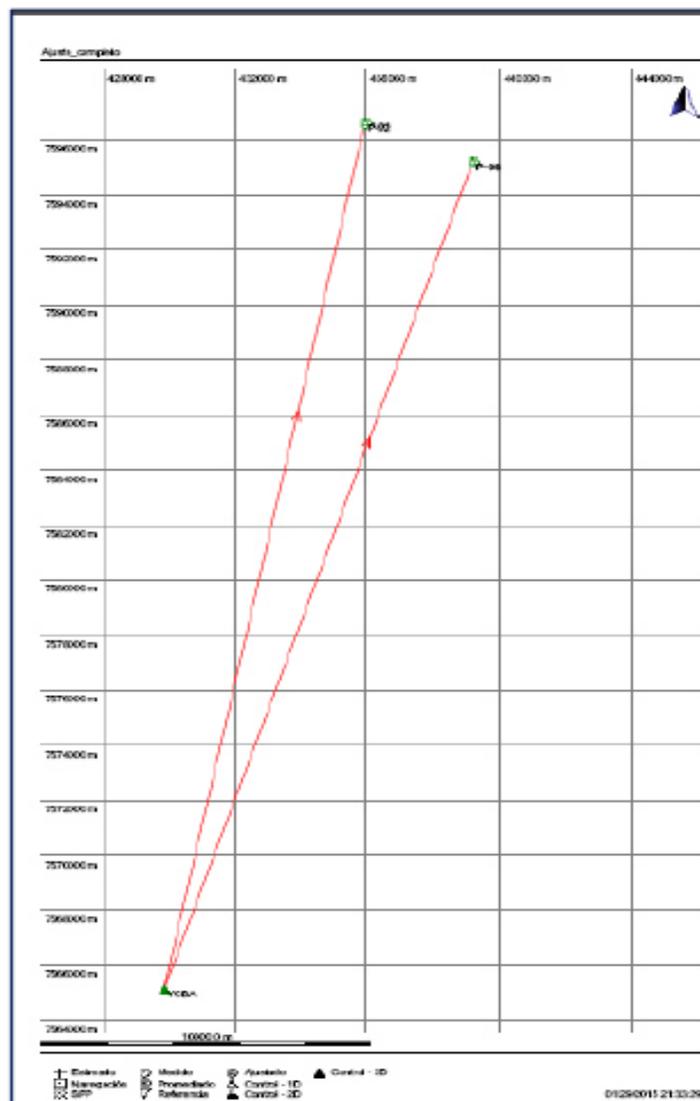


Figura 4. 4 Gráfica de ajuste.

Fuente: Elaboración Propia

4.12. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO A ENTREGAR

- Monografías y Descripciones de cada punto geodésico Anexo “B”
- Listado de Coordenadas de los 20 puntos GPS en el sistema WGS_84 en sus tres componentes (Cartesianas, Geodésicas, Planas) Anexo “C”
- Informe de Datos estadísticos del proceso y ajuste de la RED GEODÉSICA Anexo “D”
- Planos de referenciación de las cuatro Redes Geodésicas con sus respectivos puntos georreferenciados y ubicados.
- Información digital en DVD de toda la estructura digital de la información obtenida para la RED GEODÉSICA tal como muestra el gráfico siguiente:

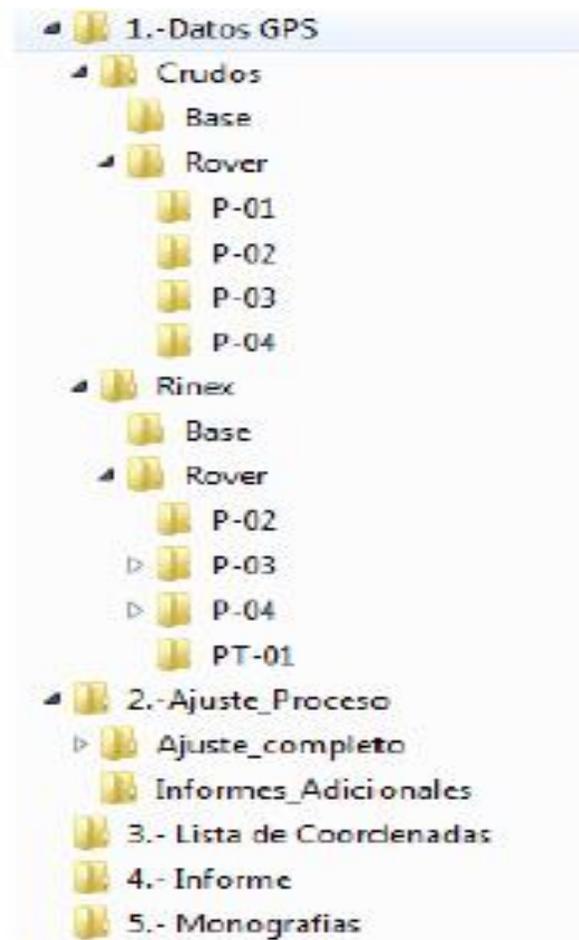


Figura 4. 7 Información Digital

Fuente: Elaboración propia.

COORDENADAS GEODÉSICAS								
LISTA DE COORDENADAS DE LAS CUATRO PRESAS								
Id Punto	Clase Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	21° 32' 58.13791" S	64° 42' 59.46981" W	1887,179	1850,5471	36,6319	282	Calderas
P-6	Ajustado	21° 26' 45.36190" S	64° 34' 48.88681" W	2177,2469	2141,8379	35,409	282	Calderas
P-4	Ajustado	21° 27' 09.55986" S	64° 34' 53.86446" W	2179,8332	2144,4259	35,4073	282	Calderas
P-1	Ajustado	21° 26' 59.97837" S	64° 34' 41.81521" W	2180,7583	2145,3804	35,3779	282	Calderas
P-3	Ajustado	21° 26' 52.73075" S	64° 34' 44.26880" W	2181,0461	2145,6559	35,3902	282	Calderas
Id Punto	Clase Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
YCBA	Control	22° 01' 01.57033" S	63° 40' 47.94458" W	659,6521	634,4056	25,2465	289	Huacata
TRJA	Control	21° 32' 58.13791" S	64° 42' 59.46981" W	1887,179	1850,5471	36,6319	289	Huacata
P-9	Ajustado	21° 14' 14.66127" S	64° 48' 34.56875" W	2840,3999	2802,3862	38,0137	289	Huacata
P-10	Ajustado	21° 14' 00.72211" S	64° 48' 30.40374" W	2836,4548	2798,4475	38,0073	289	Huacata
P-11	Ajustado	21° 14' 00.52970" S	64° 48' 14.05339" W	2840,6324	2802,6644	37,968	289	Huacata
P-12	Ajustado	21° 14' 17.96469" S	64° 48' 07.76917" W	2844,2273	2806,2791	37,9482	289	Huacata
P-13	Ajustado	21° 14' 39.58562" S	64° 48' 15.29155" W	2841,5071	2803,5465	37,9606	289	Huacata
P-14	Ajustado	21° 14' 42.00618" S	64° 48' 28.33189" W	2837,3996	2799,4082	37,9914	289	Huacata
P-15	Ajustado	21° 14' 58.85140" S	64° 48' 23.18538" W	2840,0285	2802,0541	37,9744	289	Huacata
P-16	Ajustado	21° 14' 58.85410" S	64° 48' 23.20185" W	2840,0892	2802,1147	37,9745	289	Huacata
Id Punto	Clase Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	21° 32' 58.13791" S	64° 42' 59.46981" W	1887,179	1850,5471	36,6319	304	Hondura
P-2	Ajustado	21° 22' 52.28452" S	64° 47' 02.24798" W	2141,9866	2104,3581	37,6285	304	Hondura
P-4	Ajustado	21° 22' 44.82850" S	64° 47' 10.29460" W	2138,6907	2101,0387	37,652	304	Hondura
P-5	Ajustado	21° 22' 57.75280" S	64° 47' 13.63032" W	2145,6006	2107,9452	37,6554	304	Hondura
P-7	Ajustado	21° 22' 45.48169" S	64° 47' 15.82642" W	2138,3761	2100,7102	37,6659	304	Hondura
Id Punto	Clase Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	21° 32' 58.13791" S	64° 42' 59.46981" W	1887,179	1850,5471	36,6319	318	Molino
P-17	Ajustado	21° 32' 13.99863" S	64° 59' 51.57096" W	3580,0154	3540,7083	39,3071	318	Molino
P-18	Ajustado	21° 32' 08.63704" S	64° 59' 41.80362" W	3587,4662	3548,1788	39,2874	318	Molino
P-19	Ajustado	21° 32' 28.46236" S	64° 59' 44.46830" W	3578,2561	3538,967	39,2891	318	Molino
P-20	Ajustado	21° 32' 23.63103" S	64° 59' 38.28018" W	3578,0889	3538,812	39,2769	318	Molino

Figura 4. 8 Coordenadas Geodésicas de los 20 puntos

Fuente: Elaboración Propia

Es de carácter prioritario indicar que la determinación de coordenadas siempre debe ser derivada de una RED GEODÉSICA, de acuerdo al tipo de su categoría, cuyos parámetros y tolerancias de error serán de acuerdo al tipo de trabajo correspondiente cuyas tolerancias se encuentran normadas en todo el territorio nacional. La omisión de este, requisito dará lugar a tener coordenadas del tipo referencial con un margen de error a la redonda en un diámetro de 1 a 20 metros.

4.13. LÍNEAS DE APLICACIÓN DE LOS PUNTOS GEODÉSICOS PARA EL MONITOREO Y GESTIÓN ÓPTIMA DE EMBALES

4.13.1. LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

En la actualidad muchos desconocen la ciencia de la geodesia o la practican superficialmente, en la topografía la geodesia es muy importante porque todo levantamiento topográfico empieza desde un punto conocido, este punto es asumido por muchos de nosotros, lo cual es un error en cuanto a la precisión y exactitud. El punto conocido tiene que contener coordenadas verdaderas (X, Y, Z), determinadas con equipos del Sistema de Posicionamiento Global de alta precisión.

La topografía es una ciencia aplicada que, a partir de principios, métodos y con la ayuda de instrumentos permite representar gráficamente las formas naturales y artificiales que se encuentran sobre una parte de la superficie terrestre, como también determinar la posición relativa o absoluta de puntos sobre la Tierra.

Los procedimientos destinados a lograr la representación gráfica se denominan levantamiento topográfico y al producto se le conoce como plano, el cual contiene la proyección de los puntos de terreno sobre un plano horizontal, ofreciendo una visión en planta del sitio levantado. El levantamiento consiste en la toma o captura de los datos que conducirán a la elaboración de un plano.

Así mismo, a partir de los diseños, contenidos en planos para la construcción de las obras civiles en general, se realiza la localización o materialización del proyecto en terreno. La localización consiste en ubicar en el sitio todos los puntos que hacen posible la construcción de una obra de ingeniería.

El topógrafo en la actualidad enfrenta el reto de realizar estudios topográficos y como parte de ellos los levantamientos topográficos para cumplir las expectativas del mercado.

La topografía es una profesión con un campo extenso. Hay muchos tipos diferentes de agrimensores y / o topógrafos, cada uno que tiene sus propios métodos específicos y aplicaciones. Es a menudo difícil para explicar qué es exactamente la topografía.

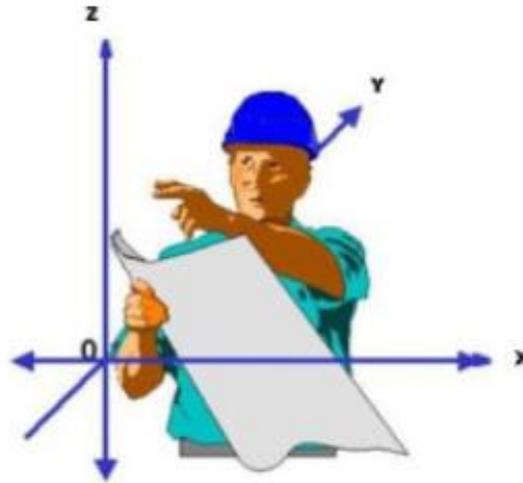


Figura 4. 9 Elaboración de un plano.

Fuente: Topografía para Ingenieros Civiles.

4.13.2. LEVANTAMIENTOS BATIMÉTRICOS

La Red Geodésica establecida en el embalse, será la base fundamental para iniciar con el levantamiento batimétrico y así obtener una cartografía precisa y exacta de la superficie que se encuentra por debajo el agua en el embalse.

Un modelo batimétrico es la fuente esencial de información para el conocimiento de la superficie que se encuentra debajo el agua, y es la base principal a tener a la hora de iniciar cualquier proyecto a partir de la cartografía subacuática.

La batimetría, aplicada al embalse, es la medición de las profundidades subacuáticas para determinar la topografía del fondo subacuático. Su medición implica la obtención de datos con los valores de la profundidad y la posición de cada uno de los puntos muestreado. Estos puntos de posición, al igual que ocurre con la altimetría, están formados por coordenadas de puntos X, Y, Z.

A partir de los puntos muestreados, se pueden definir líneas con el mismo valor de profundidad, estas líneas reciben el nombre de isóbatas. El conjunto de todas las isóbatas de una determinada zona daría lugar al modelo batimétrico que determinará cómo se estructura el fondo subacuático del embalse.

Además de obtener información sobre la profundidad de cada uno de los puntos medidos, el análisis completo de la batimetría de una determinada zona de estudio, permite obtener información muy detallada sobre la forma y estructura del lecho subacuático sobre cómo es su estructura geológica y geomorfológica. Esta información es esencial para el análisis cartográfico subacuático, dado que de esta información es la base para la realización de numerosos proyectos que pueden realizarse a posteriori, en cuanto al monitoreo y gestión óptima de embalses.

El estudio de la batimetría se lleva a cabo mediante diferentes técnicas, el uso de cada una de ellas puede dar diferentes resultados en función de la precisión utilizada. Entre las técnicas más usadas destacan los ecosondas Monohaz y Multihaz. Este sistema permite emitir ondas de sonido que miden la distancia entre la superficie del agua y el fondo subacuático, así como objetos suspendidos en ésta o que reposan en el fondo.

La diferencia entre el mono y multihaz es que la sonda monohaz permite obtener la profundidad en un punto, de forma de que al mover la embarcación utilizando la sonda monohaz, se tiene la batimetría de una línea. Mientras que, la sonda multihaz permite obtener la profundidad de una línea, de forma que al mover la embarcación se tiene la batimetría de un área (abanico de información).

La información obtenida posteriormente es analizada y procesada por un sistema informático específico que nos da como resultado a un modelo digital del terreno muy detallado con la estructura del fondo del embalse. A partir de este producto podemos trabajar usando Sistemas de Información Geográfica para la obtención de más información.

Otro sistema usado para la obtención de la batimetría es el Sonar, este instrumento emite ondas de sonido que, al rebotar contra algún cuerpo material o el fondo subacuático del embalse, devuelve su profundidad y posición. La medida se realiza a lo largo de la línea de trayectoria que realice la embarcación donde esté ubicado el sonar.

Actualmente, gracias a los avances tecnológicos y las mejoras que están teniendo los satélites para el estudio del medio marino, se realizan levantamientos topográficos mediante satélites y el uso de teledetección. Esta tecnología permite el uso de imágenes satelitales de alta resolución para determinar rangos de profundidad en función de la longitud de onda de las bandas espectrales de la imagen.

4.13.3. AUSCULTACIÓN GEODÉSICA

Las grandes presas de embalse constituyen obras de ingeniería multipropósito, al permitir la generación de electricidad, regular los recursos hídricos, facilitar obras de riego, abastecer de agua a la población, servir a las demandas industriales y hasta satisfacer finalidades recreativas y lúdicas.

La auscultación geodésica, también conocida como monitoreo (monitoring), mediante diferentes sistemas de medición, permite controlar el comportamiento dimensional de estas estructuras, sus deformaciones y sus movimientos, como así también los correspondientes al entorno natural que las rodea.

La auscultación en presas debe ser continua durante toda su vida útil. Los procedimientos son llevados a cabo periódicamente por equipos de especialistas, midiendo distintas redes de puntos de referencia externos e internos, y analizando las indicaciones de instrumental que se deja adosado a distintas partes de la obra en forma permanente.

Esta actividad cobra una importancia extraordinaria por razones técnicas, económicas y sociales. Técnicas, porque permite mejorar el conocimiento de las variables que se tienen en cuenta en el proyecto, la ejecución y el mantenimiento; económicas, por la necesidad de optimizar las grandes inversiones; sociales, por el riesgo que implicaría su mal funcionamiento o su rotura a la población y al medio ambiente.

En este trabajo se resumen los métodos e instrumentos más utilizados, los resultados posibles de lograr y las novedades que han surgido en materia de dispositivos y automatización, incluyendo la utilización de los sistemas globales de navegación GNSS.

La auscultación de presas por métodos geodésicos lleva ya una larga tradición tanto internacional como doméstica. En apretada síntesis, se trata de determinar movimientos y deformaciones de las estructuras a través del cálculo, compensación y análisis de observaciones del tipo de las utilizadas por la geodesia, pero en este caso en extensiones relativamente reducidas (la presa y sus alrededores), generalmente con un muy alto grado de precisión. Por esta razón el término “micro geodesia” es el más adecuado para abarcar estas actividades, tal como ha sido utilizado en diversos trabajos nacionales e internacionales.

4.13.3.1. Referencias para las mediciones

Usualmente los movimientos y deformaciones se refieren a puntos (referencias) materializados en la estructura de la presa, tanto externa como interna, y en el terreno circundante. De esos datos puntuales se suele inferir los cambios dimensionales producidos en la totalidad de la obra auscultada.

Sin embargo, existen métodos que persiguen la determinación de deformaciones no ya de puntos sino de partes completas de la obra. La fotogrametría cercana (terrestre) fue en ese sentido una solución parcial para este objetivo; en la actualidad, los barredores (scanner) laser y otros dispositivos que utilizan microondas u otro tipo de señales, se presentan como promisorias posibilidades para acelerar y ampliar la perspectiva de las deformaciones reales.

No obstante, lo señalado en el párrafo anterior, las determinaciones micro geodésicas puntuales no desaparecerán de la escena, al posibilitar un marco de referencia para ajustar las observaciones de los barredores. Haciendo una comparación, aquellas observaciones cumplen una función parecida a los grandes marcos geodésicos de referencia en cuanto soporte de trabajos topográficos, cartográficos, etc.

4.13.3.2. Macro y micro geodesia

Por otra parte, es de hacer notar las similitudes y complementaciones que existen entre la auscultación de obras (y especialmente de presas) y la geodinámica, rama de la geodesia que se ocupa de determinar los movimientos y deformaciones de las placas

que conforman la corteza terrestre. Gracias a los sistemas globales de posicionamiento (GPS, GNSS) es hoy posible la detección y cuantificación de movimientos (velocidades) inter – placas del orden de centímetros por año. De modo análogo, la Micro geodesia determina movimientos de la obra en sí con respecto a la corteza sobre la cual se apoya. Se trata de un cambio de escala sobre un proceso de origen geodésico.

En este sentido, la micro geodesia viene a resolver en parte el dilema de la geodesia global cuando al determinar desplazamientos corticales subyace la duda sobre su validez: ¿Son estos desplazamientos reales movimientos de la corteza o son debidos a los cambios sufridos por la estructura sobre la que se asientan las respectivas mediciones, vértices geodésicos GPS? Pregunta que adquiere especial relevancia en zonas sísmicas, luego de producidos los terremotos. Las consecuencias de este problema cuando no se lo resuelve eficazmente, se reflejan el deterioro de la exactitud de los marcos de referencia tanto globales (ITRF) como regionales (SIRGAS) y nacionales (MARGEN), a la vez que distorsionan los llamados modelos de velocidades corticales.

4.13.3.3. Cálculo y compensación

Una característica esencial de la MG es que la magnitud de los desplazamientos a determinar es casi del mismo orden que el de los errores observacionales. Es decir que una parte sustancial del proceso consiste en el análisis tendiente a identificar dentro de la natural dispersión de los valores observados, los “verdaderos” cambios posicionales. Sería el equivalente de trabajar en temas de comunicación electromagnética con una pobre relación señal – ruido. Esta circunstancia condiciona el uso de las herramientas de compensación y ajuste de las observaciones y resultados. El cálculo de compensación de redes geodésicas comunes está dirigido a obtener valores más plausibles de las coordenadas, de manera de lograr mínimas deformaciones del conjunto. En cambio, la micro geodesia debe enfatizar las deformaciones procurando que no se diluyan en aras de la homogeneidad de las redes. Por eso constituye una disciplina orientada a los detalles, lo que exige por parte de los operadores un

sin número de precauciones y de análisis: la característica más relevante de las operaciones micro geodésicas es por lo tanto la minuciosidad.

4.13.3.4. Micro geodesia y medio ambiente

Volviendo al caso específico de las presas de embalse, debemos resaltar que la auscultación geodésica reviste el carácter de imprescindible a la luz de consideraciones técnicas, económicas, sociales y, en la actualidad habría que agregar enfáticamente el valor de estas actividades en relación con la sustentabilidad y las consecuencias medio ambientales.

4.13.3.5. Rol de los sistemas globales de posicionamiento

El estado actual del sistema GPS y del conjunto de sistemas globales de navegación y servicios de aumentación, al que se denomina genéricamente GNSS, presenta un estado de avance tal que permite su utilización en diversos aspectos relacionados con la micro geodesia en general y con la auscultación de presas de embalse en particular. Teniendo en cuenta las mejoras anunciadas, es probable que su uso se generalice en la próxima década.

En resumen, se prevé:

- Una renovación completa de la constelación GPS (Block 3).
- Incorporación a la señal GPS de la portadora L5 y los códigos M, L2c y L1c
- Actualización de la constelación rusa GLONASS
- Puesta en servicio del sistema europeo GALILEO.

Todo esto dará por resultado un considerable aumento de la cantidad de satélites disponibles y la consecuente posibilidad de lograr mejor geometría en las constelaciones visibles. Las nuevas señales serán eficaces para corregir el efecto ionosférico y otros errores sistemáticos.

Muchas de estas mejoras impactarán positivamente en la confiabilidad de los trabajos micro geodésicos, que utilizan en forma excluyente la modalidad diferencial en fase,

especialmente estática, aunque existen algunas aplicaciones cinemáticas de alta precisión.

Observaciones GPS estáticas –preferentemente de carácter permanente- son adecuadas para determinar movimientos tridimensionales de puntos seleccionados en el coronamiento de las presas a lo largo de los días, meses y años de vida útil. Es recomendable instalar al menos dos estaciones base, una en cada margen, sobre soporte y terreno lo más estable posible dentro de una razonable cercanía a la obra. Bajo estas premisas, se podrá reemplazar paulatinamente las tradicionales redes de triangulación externas a la estructura, que llevaban considerables lapsos de ejecución impidiendo que se puedan repetir más de una vez por mes (usualmente dos veces por año), mientras que con GNSS se puede tener un registro prácticamente continuo.

Sin embargo, la utilización GNSS en la determinación de pequeñas deformaciones debe cumplir muy exigentes condiciones que la alejan de las normales mediciones de rutina. Se requiere especiales protecciones contra las reflexiones múltiples, un horizonte despejado, un factor de dilución de precisión (DOP) suficientemente bajo, cuidadosa instalación de las antenas incluyendo la precisa e indubitable medición de su excentricidad, y muchos otros cuidados especiales.

4.13.3.6. Métodos tradicionales

Los métodos tradicionales continuarán siendo usados en gran parte de las tareas de auscultación, entre otras razones por la imposibilidad de satisfacer las condiciones requeridas por GNSS detalladas más arriba. Todas las mediciones en interiores – donde no llegan las señales satelitales- y en exteriores con obstáculos a la visibilidad parcial o total del cielo están vedadas a la tecnología espacial. Además, muchas mediciones requieren resultados con un margen de error inalcanzables por ahora con GNSS, v.g. milimétrico o submilimétrico.

En orden de precisión decreciente, algunos de los métodos más utilizados son:

Poligonación de precisión: permite evaluar movimientos y deformaciones horizontales milimétricas. Exige especiales precauciones en cuanto a la centración de instrumentos y señales. Son de lenta ejecución, no permiten una frecuencia de observaciones muy elevada.

Nivelación geométrica de precisión: llega a una precisión del orden de una décima de milímetro en magnitudes verticales. De fácil ejecución, puede usarse diariamente y hasta más de una vez por día.

Plomadas físicas (mal llamadas péndulos): permiten precisión horizontal milimétrica y pueden registrarse con la frecuencia que se desee, hasta continua. Como inconveniente, es limitada la cantidad de referencias que pueden auscultarse por la necesidad de contar con chimeneas de inspección.

Colimación horizontal: método expeditivo, solo logra alta precisión en distancias cortas pero es fácil de implementar y puede repetirse con alta frecuencia.

Una premisa a tener en cuenta es que, en lo posible, los movimientos y deformaciones de las referencias deben ser determinados por más de un método de observación. Por ejemplo, los desplazamientos de puntos del coronamiento podrían ser detectados mediante poligonales, plomadas y eventualmente por GPS. La concordancia entre resultados provenientes de estas metodologías permite evaluar el grado de exactitud de los resultados.

4.13.3.7. Equipos interdisciplinarios

El análisis de las observaciones micro geodésicas debe ser efectuado por equipos integrados por expertos en mediciones, cálculo y compensación, ingenieros afectados al proyecto y a la construcción de las obras y geólogos. Otros tipos de auscultación como la geofísica y la geoquímica deberían obviamente ser también representados. El objetivo es establecer relaciones causa – efecto a través de una adecuada interpretación de los resultados, pero ninguna de las partes está en condiciones de lograrlo por sí sola.

4.13.3.8. Panorama futuro

La creciente necesidad de controlar los impactos ambientales de las obras de ingeniería y en general de toda la actividad humana en el planeta, se hace especialmente notoria en los proyectos que involucran presas de embalse y obras relacionadas. En estos casos, se pone atención en efectos tales como la alteración de la flora y fauna, la pesca, el cambio de morfología de las cuencas hídricas, la alteración del clima, la generación de microsismos, etc. Sin embargo, el peor de los efectos ambientales es el que generaría una hipotética ruptura total o parcial de la obra, con consecuencias sociales y económicas de importantísima magnitud.

La auscultación micro geodésica se constituye en una herramienta idónea para razonablemente controlar el comportamiento dimensional real de las obras y del terreno que las soporta, permitiendo efectuar alertas tempranas que a su vez puedan tener una respuesta técnica adecuada en tiempo y forma.

La necesidad de planificar y ejecutar estos trabajos en forma racional y con la debida continuidad en el tiempo, se irá acentuando en in mundo que requerirá crecientes cantidades de agua y energía, con mayores concentraciones poblacionales en las zonas afectadas. La mayor tecnología disponible deberá ser manejada por profesionales especializados que a su vez tengan aptitudes para integrar equipos multidisciplinarios como requisito insoslayable para garantizar la correcta interpretación de los resultados.

CAPÍTULO V

5. MARCO PRÁCTICO

5.1. UBICACIÓN DEL EMBALSE HUACATA

Los puntos geodésicos colocados y bien monumentados alrededor del embalse son ocho, situados como se muestra en al Fig. 5.1.



Figura 5. 1 Vista satelital de los puntos geodésicos en el embalse Huacata.
Fuente: Fotografía Google earth

5.2. UBICACIÓN DEL EMBALSE CALDERAS

Los puntos geodésicos colocados y bien monumentados alrededor del embalse son cuatro, situados como se muestra en la Fig.5.2.



Figura 5. 2 Vista satelital de los puntos geodésicos en el embalse Calderas.
Fuente: Fotografía Google earth

5.3. UBICACIÓN DEL EMBALSE LA HONDURA

Los puntos geodésicos colocados y bien monumentados alrededor del embalse son 4, situados como se muestra en la Fig.5.3.



Figura 5. 3 Vista satelital de los puntos geodésicos en el embalse La Hondura.

Fuente: Fotografía Google earth

5.4. UBICACIÓN DEL EMBALSE EL MOLINO

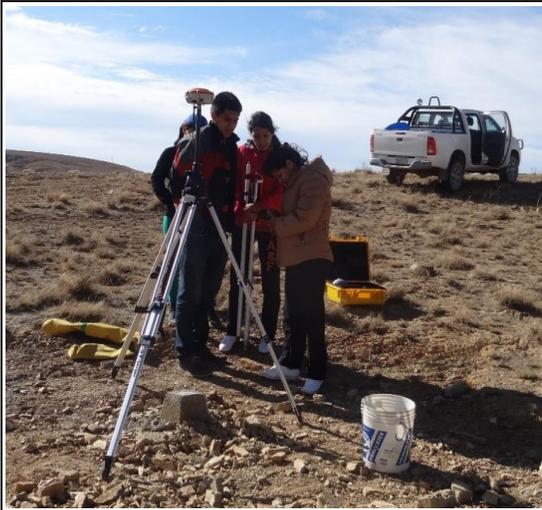
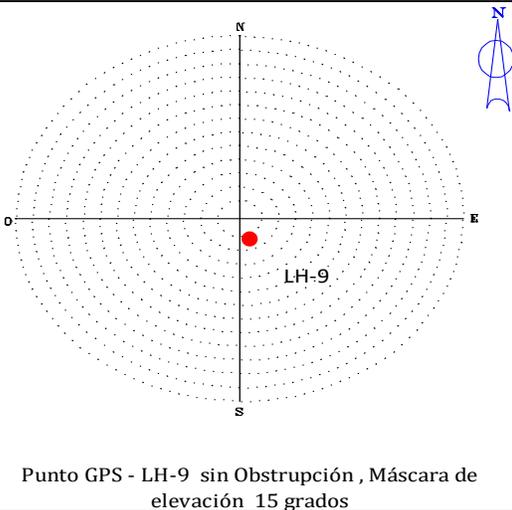
Los puntos geodésicos colocados y bien monumentados alrededor del embalse son 4, situados como se muestra en la Fig.5.4.



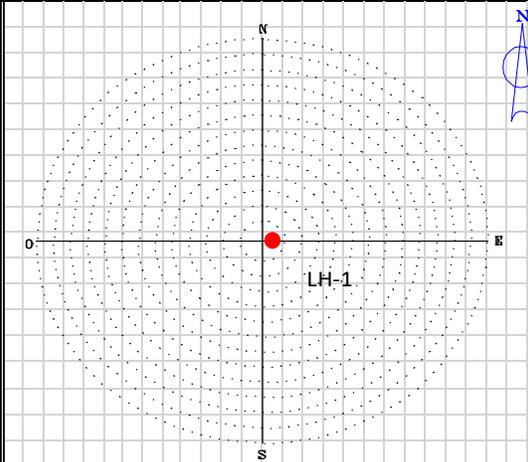
Figura 5. 4 Vista satelital de los puntos geodésicos en el embalse El Molino.

Fuente: Fotografía Google earth

5.5. MODELO DE LA MONOGRAFÍA Y DESCRIPCIÓN DE UNO DE LOS PUNTOS GEODÉSICOS DEL EMBALSE HUACATA

	MONOGRAFÍA Y DESCRIPCIÓN DEL PUNTO GPS LH-9 DE LA RED GEODÉSICA EMBALSE HUACATA														
PROYECTO: DETERMINACIÓN DE CUATRO REDES GEODÉSICAS UTILIZANDO EL MÉTODO DIFERENCIAL PARA EL MONITOREO DE EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA															
OPERADOR: UAQMS - DPTO- HIDROLOGIA		FECHA: 17/10/2017													
		SEMANA GPS: 15.211													
		DÍA JULIANO: 289													
UBICACIÓN															
DPTO: TARIJA	PROV: CERCADO	MUNICIPIO: PRIMERA													
		Nº SESIÓN: 0													
INFORMACIÓN DE LA OBSERVACIÓN															
DATUM	ZONA GEOG.	ALTURA ANTENA (m.)	COORDENADAS GEODÉSICAS						ALTURA ELIP. (m.)	ALTURA ORTOM (m.)	INFORMACIÓN GDOP				
			LATITUD (S)			LONGITUD (W)					GDOP	PDOP	HDOP	VDOP	TDOP
WGS-84	20	1.500	21	14	14,661	64	48	34,569	2840,400	2802,3862	3,1	2,7	1,3	2,3	3,8
MONOGRAFÍA DEL PUNTO															
INSCRIPCIÓN: LAB-H- 9			VISIBLE		SI	X	NO	MATERIAL: CONCRETO			PLACA: BRONCE				
FOTOGRAFÍA						DIAGRAMA DE OBSTRUCCIÓN									
															
FOTOGRAFÍA DEL VÉRTICE VISTA 2						FOTOGRAFÍA VISIBLE DE LA INSCRIPCIÓN									
															
OBSERVACIONES O COMENTARIOS: El punto LH-9 se encuentra a 30 metros de la orilla del embalse.															

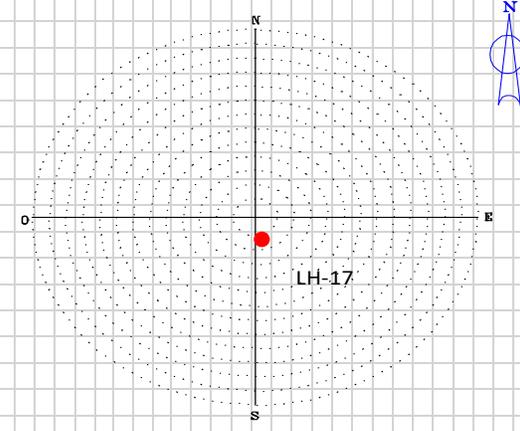
5.6. MODELO DE LA MONOGRAFÍA Y DESCRIPCIÓN DE UNO DE LOS PUNTOS GEODÉSICOS DEL EMBALSE CALDERAS

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <h3 style="margin: 0;">MONOGRAFÍA Y DESCRIPCIÓN DEL PUNTO GPS LH-1 DE LA RED GEODÉSICA EMBALSE CALDERAS</h3> </div>  </div>															
PROYECTO: DETERMINACIÓN DE CUATRO REDES GEODÉSICAS UTILIZANDO EL MÉTODO DIFERENCIAL PARA EL MONITOREO DE EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA															
OPERADOR: UAJMS - DPTO- HIDROLOGÍA				FECHA: 09/10/2017				SEMANA GPS: 15.210		DÍA JULIANO: 282					
UBICACIÓN															
DPTO:	TARIJA	PROV:	CERCADO	MUNICIPIO:				PRIMERA	N° SESIÓN: 0						
INFORMACIÓN DE LA OBSERVACIÓN															
DATUM	ZONA GEOG.	ALTURA ANTENA (m.)	COORDENADAS GEODÉSICAS						ALTURA ELIP. (m.)	ALTURA ORTOM (m.)	INFORMACIÓN GDOP				
			LATITUD (S)			LONGITUD (W)					GDOP	PDOP	HDOP	VDOP	TDOP
WGS-84	20	1,400	21	26	52,731	64	34	44,269	2181,046	2145,6559	2,8	2,4	1,1	2,1	2,6
MONOGRAFÍA DEL PUNTO															
INSCRIPCIÓN: LAB-H-1				VISIBLE	SI	X	NO	MATERIAL: CONCRETO			PLACA: BRONCE				
FOTOGRAFÍA							DIAGRAMA DE OBSTRUCCIÓN								
							 <p style="text-align: center;">Punto GPS - LH-1 sin Obstrucción , Máscara de elevación 15 grados</p>								
FOTOGRAFÍA DEL VÉRTICE VISTA 2							FOTOGRAFÍA VISIBLE DE LA INSCRIPCIÓN								
															
OBSERVACIONES O COMENTARIOS: El punto LH-1 se encuentra en la parte derecha de la presa a unos cuatro metros.															

5.7. MODELO DE LA MONOGRAFÍA Y DESCRIPCIÓN DE UNO DE LOS PUNTOS GEODÉSICOS DEL EMBALSE LA HONDURA

DPTO:		TARIJA	PROV:	CERCADO	MUNICIPIO:	PRIMERA	Nº SESIÓN:	0							
MONOGRAFÍA Y DESCRIPCIÓN DEL PUNTO GPS															
LH-2															
RED GEODÉSICA															
EMBALSE LA HONDURA															
PROYECTO: DETERMINACIÓN DE CUATRO REDES GEODÉSICAS UTILIZANDO EL MÉTODO DIFERENCIAL PARA EL MONITOREO DE EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA															
OPERADOR: UAJMS - DPTO- HIDROLOGIA			FECHA: 04/10/2017			SEMANA GPS: 15.210		DÍA JULIANO: 304							
UBICACIÓN															
DPTO:		TARIJA	PROV:	CERCADO	MUNICIPIO:	PRIMERA	Nº SESIÓN:	0							
INFORMACIÓN DE LA OBSERVACIÓN															
DATUM	ZONA GEOG.	ALTURA ANTENA (m.)	COORDENADAS GEODÉSICAS						ALTURA ELIP. (m.)	ALTURA ORTOM (m.)	INFORMACIÓN GDOP				
			LATITUD (S)			LONGITUD (W)					GDOP	PDOP	HDOP	VDOP	TDOP
WGS-84	20	1,400	21	22	52,285	64	47	2,248	2141,987	2104,3581	3,5	5,1	2,7	4,3	7,2
MONOGRAFÍA DEL PUNTO															
INSCRIPCIÓN: LAB-H- 2			VISIBLE	SI	X	NO	MATERIAL: CONCRETO		PLACA: BRONCE						
FOTOGRAFÍA					DIAGRAMA DE OBSTRUCCIÓN										
															
					Punto GPS - LH-2 sin Obstrucción , Máscara de elevación 15 grados										
FOTOGRAFÍA DEL VÉRTICE VISTA 2					FOTOGRAFÍA VISIBLE DE LA INSCRIPCIÓN										
															
OBSERVACIONES O COMENTARIOS: El punto LH-2 se encuentra al lado izquierdo de la presa, a unos 8 metros del camino de tierra.															

5.8. MODELO DE LA MONOGRAFÍA Y DESCRIPCIÓN DE UNO DE LOS PUNTOS GEODÉSICOS DEL EMBALSE EL MOLINO

 MONOGRAFÍA Y DESCRIPCIÓN DEL PUNTO GPS LH-17 DE LA RED GEODÉSICA EMBALSE EL MOLINO 															
PROYECTO: DETERMINACIÓN DE CUATRO REDES GEODÉSICAS UTILIZANDO EL MÉTODO DIFERENCIAL PARA EL MONITOREO DE EMBALSES EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA															
OPERADOR: UAJMS - DPTO- HIDROLOGIA				FECHA: 04/10/2017				SEMANA GPS: 15.210			DÍA JULIANO: 318				
UBICACIÓN															
DPTO: TARIJA		PROV: MENDEZ		MUNICIPIO: PRIMERA				N° SESIÓN: 0							
INFORMACIÓN DE LA OBSERVACIÓN															
DATUM	ZONA GEOG.	ALTURA ANTENA (m.)	COORDENADAS GEODÉSICAS						ALTURA ELIP. (m.)	ALTURA ORTOM (m.)	INFORMACIÓN GDOP				
			LATITUD (S)			LONGITUD (W)					GDOP	PDOP	HDOP	VDOP	TDOP
WGS-84	20	1,400	21	32	13,999	64	59	51,571	3580,015	3540,7083	2,6	2,3	1,08	2,06	2,9
MONOGRAFÍA DEL PUNTO															
INSCRIPCIÓN: LAB-H- 17				VISIBLE		SI	X	NO	MATERIAL: CONCRETO			PLACA: BRONCE			
FOTOGRAFÍA							DIAGRAMA DE OBSTRUCCIÓN								
							 <p>Punto GPS - LH-17 sin Obstrucción, Máscara de elevación 15 grados</p>								
FOTOGRAFÍA DEL VÉRTICE VISTA 2							FOTOGRAFÍA VISIBLE DE LA INSCRIPCIÓN								
															

5.9. RESULTADOS GENERALES DE LAS COORDENADAS DE LOS PUNTOS GEODÉSICOS DETERMINADOS

5.9.1. Coordenadas U.T.M. de los puntos GPS de las cuatro presas

COORDENADAS U.T.M.								
LISTA DE COORDENADAS DE LAS CUATRO PRESAS								
Id Punto	Clase Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	322245,700	7616059,414	1887,179	1850,5471	36,6319	282	Calderas
P-6	Ajustado	336244,313	7627672,53	2177,247	2141,8379	35,409	282	Calderas
P-8	Ajustado	336108,517	7626926,93	2179,833	2144,4259	35,4073	282	Calderas
P-1	Ajustado	336452,437	7627225,09	2180,758	2145,3804	35,3779	282	Calderas
P-3	Ajustado	336379,552	7627447,26	2181,046	2145,6559	35,3902	282	Calderas
Id Punto	Clase Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
YCBA	Control	429818,641	7565123,87	659,6521	634,4056	25,2465	289	Huacata
TRJA	Control	322245,700	7616059,41	1887,179	1850,5471	36,6319	289	Huacata
P-10	Ajustado	312321,167	7650933,21	2836,455	2798,4475	38,0073	289	Huacata
P-16	Ajustado	312395,426	7649664,22	2837,4	2799,4082	37,9914	289	Huacata
P-15	Ajustado	312549,733	7649147,85	2840,029	2802,0541	37,9744	289	Huacata
P-14	Ajustado	312549,259	7649147,76	2840,089	2802,1147	37,9745	289	Huacata
P-9	Ajustado	312205,976	7650503,15	2840,4	2802,3862	38,0137	289	Huacata
P-11	Ajustado	312792,555	7650944,52	2840,632	2802,6644	37,968	289	Huacata
P-13	Ajustado	312770,560	7649742,96	2841,507	2803,5465	37,9606	289	Huacata
P-12	Ajustado	312979,869	7650410,38	2844,227	2806,2791	37,9482	289	Huacata
Id Punto	Clase Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	322245,700	7616059,41	1887,179	1850,5471	36,6319	304	Honduras
P-5	Ajustado	314722,152	7634442,2	2145,601	2107,9452	37,6554	304	Honduras
P-2	Ajustado	315048,113	7634614,1	2141,987	2104,3581	37,6285	304	Honduras
P-7	Ajustado	314654,599	7634818,88	2138,376	2100,7102	37,6659	304	Honduras
P-4	Ajustado	314813,719	7634840,78	2138,691	2101,0387	37,652	304	Honduras
Id Punto	Clase Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	322245,700	7616059,41	1887,179	1850,5471	36,6319	318	Molino
P-17	Ajustado	293106,854	7617070,24	3580,015	3540,7083	39,3071	318	Molino
P-18	Ajustado	293385,824	7617238,74	3587,466	3548,1788	39,2874	318	Molino
P-19	Ajustado	293316,942	7616627,97	3578,256	3538,967	39,2891	318	Molino
P-20	Ajustado	293493,115	7616778,85	3578,089	3538,812	39,2769	318	Molino

5.9.2. Coordenadas Cartesianas de los puntos GPS de las cuatro presas

COORDENADAS CARTESIANAS							
LISTA DE COORDENADAS DE LAS CUATRO PRESAS							
Id Punto	Clase Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	2535567,343	-5368039,421	-2328780,938	36,6319	282	Calderas
P-3	Ajustado	2550333,605	-5365904,666	-2318428,543	35,3902	282	Calderas
P-1	Ajustado	2550362,316	-5365800,442	-2318635,981	35,3779	282	Calderas
P-6	Ajustado	2550247,534	-5366033,441	-2318216,135	35,409	282	Calderas
P-8	Ajustado	2550002,217	-5365851,265	-2318910,015	35,4073	282	Calderas
Id Punto	Clase Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	2535567,343	-5368039,421	-2328780,938	36,6319	289	Huacata
YCBA	Control	2623233,416	-5303044,773	-2376415,99	25,2465	289	Huacata
P-9	Ajustado	2532587,507	-5384364,528	-2296943,71	38,0137	289	Huacata
P-10	Ajustado	2532760,789	-5384450,633	-2296542,504	38,0073	289	Huacata
P-11	Ajustado	2533190,17	-5384255,311	-2296538,499	37,968	289	Huacata
P-12	Ajustado	2533272,909	-5384005,341	-2297039,837	37,9482	289	Huacata
P-13	Ajustado	2532972,869	-5383877,339	-2297658,918	37,9606	289	Huacata
P-14	Ajustado	2532619,371	-5384009,581	-2297726,847	37,9914	289	Huacata
P-15	Ajustado	2532674,792	-5383778,638	-2298210,884	37,9744	289	Huacata
P-16	Ajustado	2532674,374	-5383778,864	-2298210,984	37,9745	289	Huacata
Id Punto	Clase Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	2535567,343	-5368039,421	-2328780,938	36,6319	304	Honduras
P-2	Ajustado	2532254,29	-5377405,681	-2311527,259	37,6285	304	Honduras
P-4	Ajustado	2532078,827	-5377577,346	-2311312,449	37,652	304	Honduras
P-5	Ajustado	2531932,849	-5377492,961	-2311685,237	37,6554	304	Honduras
P-7	Ajustado	2531931,359	-5377638,359	-2311331,047	37,6659	304	Honduras
Id Punto	Clase Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presas
TRJA	Control	2535567,343	-5368039,421	-2328780,938	36,6319	318	Molino
P-17	Ajustado	2510073,294	-5382295,294	-2328139,274	39,3071	318	Molino
P-18	Ajustado	2510356,693	-5382237,601	-2327988,53	39,2874	318	Molino
P-19	Ajustado	2510188,864	-5382059,275	-2328552,652	39,2891	318	Molino
P-20	Ajustado	2510373,34	-5382033,296	-2328414,295	39,2769	318	Molino

5.9.3. Coordenadas Geodésicas de los puntos GPS de las cuatro presas

COORDENADAS GEODÉSICAS								
LISTA DE COORDENADAS DE LAS CUATRO PRESAS								
Id Punto	Clase Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presa
TRJA	Control	21° 32' 58.13791" S	64° 42' 59.46981" W	1887,179	1850,5471	36,6319	282	Calderas
P-6	Ajustado	21° 26' 45.36190" S	64° 34' 48.88681" W	2177,2469	2141,8379	35,409	282	Calderas
P-4	Ajustado	21° 27' 09.55986" S	64° 34' 53.86446" W	2179,8332	2144,4259	35,4073	282	Calderas
P-1	Ajustado	21° 26' 59.97837" S	64° 34' 41.81521" W	2180,7583	2145,3804	35,3779	282	Calderas
P-3	Ajustado	21° 26' 52.73075" S	64° 34' 44.26880" W	2181,0461	2145,6559	35,3902	282	Calderas
Id Punto	Clase Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presa
YCBA	Control	22° 01' 01.57033" S	63° 40' 47.94458" W	659,6521	634,4056	25,2465	289	Huacata
TRJA	Control	21° 32' 58.13791" S	64° 42' 59.46981" W	1887,179	1850,5471	36,6319	289	Huacata
P-9	Ajustado	21° 14' 14.66127" S	64° 48' 34.56875" W	2840,3999	2802,3862	38,0137	289	Huacata
P-10	Ajustado	21° 14' 00.72211" S	64° 48' 30.40374" W	2836,4548	2798,4475	38,0073	289	Huacata
P-11	Ajustado	21° 14' 00.52970" S	64° 48' 14.05339" W	2840,6324	2802,6644	37,968	289	Huacata
P-12	Ajustado	21° 14' 17.96469" S	64° 48' 07.76917" W	2844,2273	2806,2791	37,9482	289	Huacata
P-13	Ajustado	21° 14' 39.58562" S	64° 48' 15.29155" W	2841,5071	2803,5465	37,9606	289	Huacata
P-14	Ajustado	21° 14' 42.00618" S	64° 48' 28.33189" W	2837,3996	2799,4082	37,9914	289	Huacata
P-15	Ajustado	21° 14' 58.85140" S	64° 48' 23.18538" W	2840,0285	2802,0541	37,9744	289	Huacata
P-16	Ajustado	21° 14' 58.85410" S	64° 48' 23.20185" W	2840,0892	2802,1147	37,9745	289	Huacata
Id Punto	Clase Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presa
TRJA	Control	21° 32' 58.13791" S	64° 42' 59.46981" W	1887,179	1850,5471	36,6319	304	Hondura
P-2	Ajustado	21° 22' 52.28452" S	64° 47' 02.24798" W	2141,9866	2104,3581	37,6285	304	Hondura
P-4	Ajustado	21° 22' 44.82850" S	64° 47' 10.29460" W	2138,6907	2101,0387	37,652	304	Hondura
P-5	Ajustado	21° 22' 57.75280" S	64° 47' 13.63032" W	2145,6006	2107,9452	37,6554	304	Hondura
P-7	Ajustado	21° 22' 45.48169" S	64° 47' 15.82642" W	2138,3761	2100,7102	37,6659	304	Hondura
Id Punto	Clase Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Día Juliano	Presa
TRJA	Control	21° 32' 58.13791" S	64° 42' 59.46981" W	1887,179	1850,5471	36,6319	318	Molino
P-17	Ajustado	21° 32' 13.99863" S	64° 59' 51.57096" W	3580,0154	3540,7083	39,3071	318	Molino
P-18	Ajustado	21° 32' 08.63704" S	64° 59' 41.80362" W	3587,4662	3548,1788	39,2874	318	Molino
P-19	Ajustado	21° 32' 28.46236" S	64° 59' 44.46830" W	3578,2561	3538,967	39,2891	318	Molino
P-20	Ajustado	21° 32' 23.63103" S	64° 59' 38.28018" W	3578,0889	3538,812	39,2769	318	Molino

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Recopilamos la información de los datos Crudos y Rinex del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.), para poder empezar con el enlace de los veinte puntos geodésicos con las estaciones continuas de Tarija (Chorolque) y Yacuiba. Para éste, se procedió a mandar cartas de solicitud al I.G.M. de los días julianos que correspondan a la fecha de cada sesión realizada.
- Se concluyó satisfactoriamente el colocado de los mojones (superior 15x15 cm, inferior 25x25 cm, altura 50 cm.) con sus respectivos bulones (diez centímetros de diámetro), en los veinte puntos establecidos alrededor de los embalses mencionados anteriormente. Realizando una excavación de 30 por 30 y aproximadamente 50 centímetros de profundidad.
- La materialización y el establecimiento de la Red Geodésica de los vértices geodésicos cumplen las normas establecidas en el diseño de redes geodésicas las cuales pueden ser sustentadas y refrendadas en campo.
- Se descargaron los datos del equipo del Sistema de Posicionamiento Global G.P.S. a un computador para poder procesarlos y ajustarlos, este proceso se llevó a cabo en el software Leica Geoffice 5.0.
- Se calculó las coordenadas de los veinte puntos geodésicos que consideramos adecuados para representar los diferentes espacios de los embales.
- Se calculó y transformó las coordenadas geodésicas a coordenadas cartesianas y coordenadas U.T.M.
- Elaboramos una lista de coordenadas absolutas de los veinte puntos geodésicos para tener una mejor perspectiva de los resultados.
- Realizamos las monografías donde se detalla todas las características técnicas de cada punto geodésico sesionado. A continuación, se detalla el número de monografías por embalse:
 - Embalse Huacata tienen ocho monografías

- Embalse Calderas, La Hondura y El Molino tiene cuatro planillas cada una.
- Los tiempos de sesión para la red geodésica fueron treinta minutos como mínimo de tiempo para la observación. Para la determinación de puntos geodésicos en el tiempo de sesión se tomó en cuenta la siguiente relación:
Error= $2\text{ppm} * LB \pm 0,0006 \text{ mm}$.
- Los resultados obtenidos concluyeron con un buen ajuste y precisión para cada uno.
- Los puntos geodésicos de las presas, se encuentran referenciadas a la red Geodésica MARGEN, cuyo elipsoide de referencia es el WGS-84
- Los valores de alturas sobre el nivel pueden ser verificados empleando el Modelo Geoidal Global EGM-96 que permite calcular las alturas ortométricas y la ondulación geoidal en esta zona aplicando la fórmula $h = N+H$, donde h es la altura elipsoidal; H la Ortométrica.
- Finalmente enfocándonos en el monitoreo y gestión óptima de embalses, los resultados obtenidos nos servirán como una base de datos en el Laboratorio de Hidráulica, para realizar un control en cuanto al comportamiento del embalse y sus afluentes de igual manera un control en la parte estructural de la presa y organización en la parte de operación y mantenimiento del mismo, esto se podrá ver en los proyectos a posteriori como ser:
 - Levantamiento Topográficos.
 - Levantamientos Batimétricos.
 - Auscultación Geodésica.

6.2. RECOMENDACIONES

- De carácter prioritario es necesario realizar de por lo menos cada 5 años la actualización de las observaciones de la Red Geodésica de los 4 embalses. Debido a la dinámica del núcleo de la tierra y su generación del movimiento en las placas tectónicas y ver el desplazamiento que éstas causan.

- En función de los valores de velocidades calculados para las estaciones MARGEN – ROC se pueden actualizar anualmente las coordenadas de la Red Geodésica.
- A futuro como proyecto de monitoreo de la Red Geodésica, se debe determinar sus valores de velocidad (V_x , V_y , V_z) con valores de las velocidades de las estaciones de referencia Tarija, aplicando el modelo VEMOS2009. (Velocity Model for SIRGAS). La cual se encuentra de manera gratuita y disponible en página www.sirgas.org. y aplicar las siguientes ecuaciones de velocidad:

$$X(t) = X(t_0) + (t - t_0) * V_X$$

$$Y(t) = Y(t_0) + (t - t_0) * V_Y$$

$$Z(t) = Z(t_0) + (t - t_0) * V_Z$$