

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD TECNICA
CARRERA DE TOPOGRAFIA Y GEODESIA**



EXAMEN DE GRADO

**“DISEÑO, OBSERVACION, CALCULO Y AJUSTE PARA LA
OBTENCION DE COORDENADAS UTILIZANDO UN CUADRILATERO A
PARTIR DE UNA BASE GEODESICA DE CUARTO ORDEN”**

POSTULANTE: HECTOR CHOQUE CRUZ

LA PAZ – BOLIVIA

2012

RESUMEN

EL presente informe del trabajo de Aplicación, describe de manera detallada el diseño, observación, calculo y ajuste para la obtención de coordenadas utilizando un cuadrilátero a partir de una base geodésica de cuarto orden, y la determinación de la tercera coordenada (altura sobre el nivel medio del mar "H", y altura elipsoidal "h") utilizando nivelación trigonométrica recíproca.

El trabajo de aplicación fue desarrollado en la ciudad de La Paz, tomando como vértices del cuadrilátero tres puntos de la red Geodésica de la ciudad de La Paz y uno a densificar que se encuentran en las zonas (villa Huayna Potosí "CALV" villa Armonía "P-28", Alto Pampahasi "P-27" y Autopista Ceja El Alto "AUTP"), en el cual se eligió la base geodésica a partir de los puntos P-28 y P-27.

Durante el trabajo de campo se realizó la lectura de ángulos horizontales internos del cuadrilátero en posición directa e inversa y sus correspondientes cierres angulares con el método de reiteración (8 series). La lectura de ángulos zenitales se la realizo en posición directa e inversa (2 series).

En el trabajo de gabinete se realiza el ajuste y corrección por mínimos cuadrados para los ángulos horizontales y con los ángulos zenitales se obtiene el promedio del valor angular.

Realizado el ajuste y corrección de los angulos internos del cuadrilátero, se emplea el Teorema de Legendre para la obtención de ángulos esféricos a partir de angulos planos corregidos. Con los ángulos esféricos calculados se determinar las coordenadas geodésicas empleando el método de Puisant (problema directo).

Finalmente para la determinación de la altura sobre el nivel medio del mar (H) y la altura elipsoidal (h) empleando fórmulas de nivelación trigonométrica recíproca tomando como referencia las alturas de los puntos de la base geodésica.

INDICE

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1.INTRODUCCION	1
1.2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3.JUSTIFICACION	2
1.4.UBICACION GEOGRAFICA	3
1.5.OBJETIVOS	4
1.5.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. GEODESIA	5
2.1.1. GEODESIA GEOMETRICA	5
2.1.2. GEODESIA FISICA	5
2.1.3. GEODESIA ASTRONOMICA	5
2.1.4. GEODESIA ESPACIAL	6
2.2. SISTEMAS DE REFERENCIA	6
2.2.1. SISTEMAS DE REFERENCIA LOCAL	6
2.2.2. SISTEMA DE REFERENCIA GLOBAL	6
2.3. MARCOS DE REFERENCIA	6
2.3.1. MARCOS DE REFERENCIA LOCAL	6
2.3.2. MARCOS DE REFERENCIA GLOBAL	7

2.4.	RED GEODESICA MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE LA PAZ	7
2.4.1.	CARACTERISTICAS	7
2.5.	SISTEMA DE COORDENADAS GEODESICAS	7
2.5.1.	LATITUD (φ)	8
2.5.2.	LONGITUD (λ)	8
2.6.	SUPERFICIES DE REFERENCIA	8
2.6.1.	SUPERFICIE TOPOGRAFICA	9
2.6.2.	SUPERFICIE FISICA	9
2.6.3.	SUPERFICIE MATEMATICA	9
2.7.	SISTEMA DE ALTURAS	10
2.7.1.	ALTURA ELIPSOIDAL (h)	10
2.7.2.	ALTURA ORTOMETRICA (H)	10
2.7.3	ALTURA GEOIDAL (N)	10
2.8.	LEVANTAMIENTOS GEODESICOS	11
2.8.1.	LEVANTAMIENTOS HORIZONTALES	11
2.8.1.1.	TRIANGULACION	11
2.8.1.1.1.	FINALIDAD CIENTIFICA	12
2.8.1.1.2.	FINALIDAD PRACTICA	12
2.8.1.1.3.	FUNDAMENTO MATEMATICO DE LA TRIANGULACION	12
2.8.1.1.4.	RECONOCIMIENTO DE TRIANGULACION	12
2.8.1.1.5.	CARACTERISTICAS DE LA TRIANGULACION	13
2.8.1.2.	TRILATERACION	13
2.8.1.3.	POLIGONACION	14
2.8.1.4.	TECNICAS SATELITALES	15
2.8.1.5.	LEVANTAMIENTO ASTRONOMICO	16
2.8.2.	LEVANTAMIENTOS VERTICALES	16
2.9.	FUERZA DE LA FIGURA "R"	16
2.10.	MEDICION DE ANGULOS	18
2.10.1.	HORIZONTALES	18
2.10.2.	VERTICALES	18

2.10.3. METODOS PARA LA MEDICION DE ANGULOS HORIZONTALES	18
2.10.3.1. METODO SIMPLE	18
2.10.3.2. METODO DE REPETICION	18
2.10.3.3. METODO DE REITERACION	19
2.11. TEOREMA DE LEGENDRE	19
2.12. METODO PUISSANT	25
2.12.1. PROBLEMA DIRECTO	25
2.12.2. PROBLEMA INVERSO	25
2.13. NIVELACION TRIGONOMETRICA	26
2.13.1. NIVELACION TRIGONOMETRICA RECIPROCA	26
2.14. MINIMOS CUADRADOS	28
2.14.1. RESTRICCIONES EN LA APLICACION DE LOS MINIMOS CUADRADOS	29
2.14.2. VENTAJAS DE MINIMOS CUADRADOS	29

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. RECOPIACION DE INFORMACION	30
3.2. PERSONAL Y INSTRUMENTOS UTILIZADOS	30
3.2.1. PERSONAL	30
3.2.2. INSTRUMENTOS	30
3.2.3. MATERIALES	30
3.2.4. TRANSPORTE	31
3.3. RECONOCIMIENTO DE CAMPO	31
3.4. DISEÑO DEL CUADRILATERO Y ELECCION DE LA BASE GEODESICA	31
3.5. TRABAJO DE CAMPO	32
3.5.1. LECTURA DE ANGULOS HORIZONTALES	32
3.5.1.1. PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO DE CAMPO	32
3.5.2. LECTURA DE ANGULOS ZENITALES	34
3.5.2.1. PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO DE CAMPO	34
3.6. TRABAJO DE GABINETE	34

3.6.1.	REVISION DATOS DE CAMPO	34
3.6.2.	CALCULO DE LA FUERZA DE LA FIGURA	35
3.6.3.	AJUSTE DE LOS ANGULOS INTERNOS DEL CUADRILATERO	37
3.6.4.	CALCULO DE COORDENADAS DE LAS ESTACIONES "CALV" Y "AUTP"	41
3.6.5.	CALCULO DE ALTURAS " H " Y " h " DE LAS ESTACIONES "CALV" Y "AUTP"	45
3.7.	RESULTADOS	56

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	CONCLUSIONES	58
4.2.	RECOMENDACIONES	58
	BIBLIOGRAFIA	59



CAPITULO I

GENERALIDADES

1.6.INTRODUCCION

Hoy en día una de las ciencias que más ha evolucionado es la geodesia, que con herramientas proporcionadas por la informática, obtuvo un gran avance en precisión en la determinación de posiciones geodésicas. Pero en un principio no fue así ya que para la determinación de posiciones geográficas se utilizaban observaciones astronómicas las cuales necesariamente estaban referidas a la superficie física de la tierra, que es el geoide. Posteriormente se utilizaron métodos clásicos de geodesia tales como la triangulación, trilateración y poligonación, dependiendo todos ellos de la visibilidad entre puntos o estaciones ocupadas.

Para encarar cualquier tipo de proyecto de ingeniería en la determinación de la posición geográfica de puntos de control horizontal y vertical, es imprescindible una buena planificación para la ejecución de los trabajos de campo y la utilización de instrumentos que garanticen la precisión requerida. Mencionados puntos de control necesariamente deben estar vinculadas a la red MARGEN de Bolivia (Marco de Referencia Geocéntrica Nacional) que este a su vez corresponde a la red SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrica para las Américas) establecidas en el sistema WGS-84 (Sistema Geodésico Mundial del año 1984).

En este sentido se puede garantizar el presente trabajo para encarar a futuro diferentes proyectos y su aplicabilidad.

El establecimiento de una red geodésica es uno de los objetivos principales de la geodesia, ya que en base a esta red se basaran estudios y trabajos posteriores. Una red geodésica consiste en una serie de puntos distribuidos estratégicamente por la



superficie terrestre de un área específico, formando una malla de triángulos, donde después de varios procesos de cálculos se conoce sus elementos y lo principalmente se busca las coordenadas geodésicas de todos sus vértices.

La triangulación consiste en la medición de ángulos de una serie de triángulos con equipos ópticos mecánicos y electrónicos; estación total, teodolito y taquímetro. Este método es empleado para la determinación de coordenadas de vértices ubicados a distancias considerables. En general resultara conveniente establecer un cuadrilátero como red básica de transporte de coordenadas cuando el terreno presente puntos altos, distribuidos de forma tal, que permitan establecer vértices formando triángulos próximos al equilátero y cuya longitud de lado este dentro de los órdenes recomendados y las visuales entre vértices deberán estar libres de obstáculos.

1.7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La determinación y materialización de coordenadas geodésicas es uno de los objetivos que persigue la geodesia para realizar diversos trabajos de ingeniería, utilizando criterios de geodesia clásica se resuelve este problema, en base a un cuadrilátero, realizando lectura de ángulos horizontales y zenitales por el método de series, para así poder determinar mediante cálculos las coordenadas sobre el elipsoide y sus correspondientes alturas por el método de nivelación trigonométrica recíproca. En base a dos estaciones GPS de la red Geodésica de la ciudad de La Paz y formando una cuadrilátero con estas estaciones de la red, se pretende determinar las coordenadas geodésicas de dos estaciones, a través de la triangulación geodésica de cuarto orden.

1.8. JUSTIFICACION

En Geodesia existen métodos para la determinación de coordenadas geodésicas como por ejemplo; triangulación, trilateración, posicionamiento satelital, la triangulación geodésica y el sistema de posicionamiento global (GPS), el presente trabajo realiza una



comparación entre coordenadas obtenidas a través de un cuadrilátero en base a dos puntos geodésicos de cuarto orden y sus respectivas alturas sobre el nivel medio del mar y sobre el elipsoide, con puntos de control de la red geodésica de ciudad de La Paz.

1.9. UBICACION GEOGRAFICA

El trabajo se realizó en:

Departamento: La Paz

Provincia: Murillo

Ciudad: Nuestra Señora de La Paz

Zonas de Estudio:

- Peaje ceja El Alto punto "AUTP"
- Villa Nueva Potosí el punto "CALV"
- Villa Armonía el punto "P-28"
- Alto Pampahasi el punto "P-27"

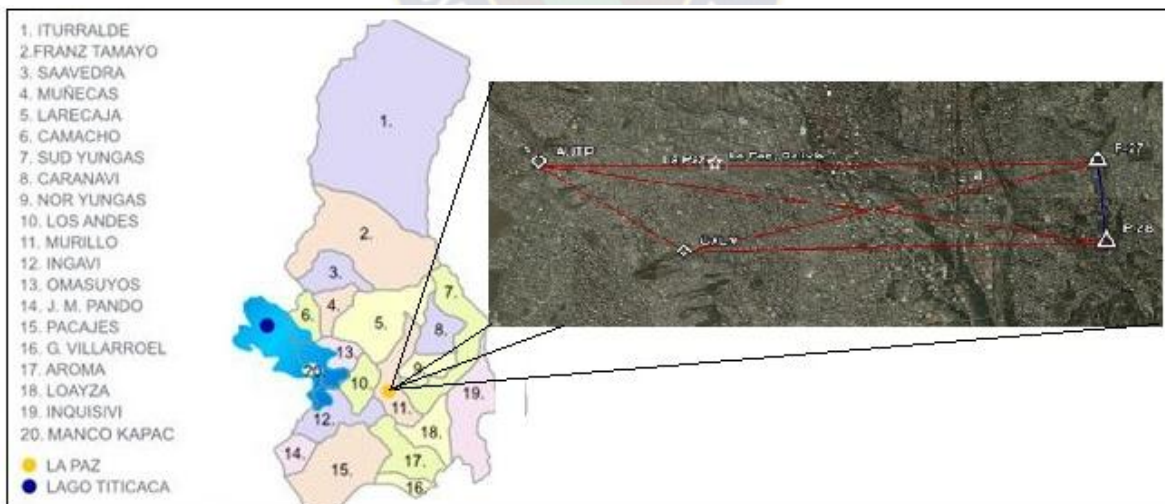


Figura 1 (Ubicación Geográfica)



1.10. OBJETIVOS

1.10.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño, observación, cálculo y ajuste para la obtención de coordenadas utilizando un cuadrilátero a partir de una base geodésica de cuarto orden.

1.10.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular ángulos horizontales y zenitales del cuadrilátero en campo por el método series.
- Compensar y ajustar los ángulos internos del cuadrilátero por mínimos cuadrados.
- Obtener la altura sobre nivel medio del mar y la altura elipsoidal de los puntos “CALV” y “AUTP” mediante el método de nivelación trigonométrica recíproca.
- Comparar las coordenadas y alturas del punto “CALV” calculado en gabinete con los datos de la red geodésica de la ciudad de La Paz.
- Densificar el punto “AUTP”



CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. GEODESIA

La palabra Geodesia derivada de la voz griega geodaisia (geo, tierra; daien, dividir) de manera literal significa “dividir la tierra”.

Es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la tierra, y su campo de gravedad. El campo que abarca la Geodesia es muy amplio, la cual se divide en distintas ramas:

2.8.2. GEODESIA GEOMETRICA

Es aquella rama de la geodesia en la que los datos de observación están constituidos por las medidas de ángulos y distancias en la superficie terrestre. Estos datos son referidos a un elipsoide de referencia para construir las triangulaciones, en el caso de la geodesia clásica bidimensional o bien estudiada en coordenadas cartesianas en el caso de la Geodesia tridimensional.

2.8.3. GEODESIA FISICA

Estudia el campo gravitatorio de la Tierra, partiendo de mediciones gravimétricas, estudia de los problemas de reducción y de desviación de la vertical.

Aplicando los conocimientos de geodesia geométrica y de la física para solucionar el problema del conocimiento de la forma de la tierra y de los componentes de la desviación de la vertical, utilizando para ello la determinación del campo de la aceleración de la gravedad terrestre.

Describe los modelos terrestres de comparación para el establecimiento de la figura de la tierra, calcula y utiliza las anomalías gravimétricas.

2.8.4. GEODESIA ASTRONOMICA

Es aquella parte de la Geodesia que con métodos y observaciones astronómicas trata de obtener la dirección de la vertical, determina coordenadas astronómicas, estudia los métodos astronómicos que permiten determinar las coordenadas geodésicas sobre la superficie terrestre de una serie de puntos.



2.8.5. GEODESIA ESPACIAL

Esta nueva rama de la Geodesia, utiliza satélites artificiales para la determinación de posiciones. Esto se consigue mediante el establecimiento de una red de puntos distribuidos por la superficie terrestre, de los cuales se determinan sus coordenadas así como su altura sobre el nivel medio del mar con muy elevada precisión.

2.9. SISTEMAS DE REFERENCIA

Se definen a partir de consideraciones matemáticas e involucran la especificación de parámetros, puntos de origen, planos, ejes, etc.

2.9.1. SISTEMAS DE REFERENCIA LOCAL

Denominación que expresa que su ámbito de aplicación es reducido, no universal. Cada sistema de referencia horizontal, debe contar con un punto inicial conocido como DATUM (punto donde la desviación de la vertical es cero), y un elipsoide de referencia (el que mejor se adapte al geode de la región o país).

2.9.2. SISTEMA DE REFERENCIA GLOBAL

Se define como un sistema geocéntrico que especifica una terna de ejes ortogonales cartesianos X, Y, Z que tiene como origen el centro de masas de la tierra. Estos sistemas terrestres consideran al eje X como la intersección entre el meridiano origen y el plano del Ecuador, el eje Y se encuentra en el plano del Ecuador y a 90° del eje X, y el eje Z próximo al eje de rotación de la tierra.

2.10. MARCOS DE REFERENCIA

Son puntos materializados en el terreno y ubicados con gran precisión de acuerdo a alguno de los sistemas de referencia adoptados.

2.10.1. MARCOS DE REFERENCIA LOCAL



Los marcos de referencia utilizados por los sistemas de referencia local en su componente horizontal, están materializados por las redes de distintos órdenes geodésicos de triangulación, trilateración y poligonación, establecidos por cada país.

2.10.2. MARCOS DE REFERENCIA GLOBAL

Son puntos materializados en el terreno con alta y mejor precisión que los Marcos de Referencias Locales, ya que son determinados GPS (Sistema de Posicionamiento Global), con técnicas VLBI (Veri Long Base Line Interferometry) SLR (Satellite Laser Ranging), etc.

2.11. RED GEODESICA MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE LA PAZ

Son puntos de control materializados en el terreno, está monumentada con mojones o monolitos de concreto para asegurar su permanencia. Consiste en vértices con valores X,Y y Z, en un sistema de coordenadas geodésicas y UTM, está ligada a la Red Geodésica Nacional referida al Datum MARGEN (WGS-84), con lo que será factible tener una cartografía continua, de manera que todos los levantamientos topográficos locales se refieran a ella y con el Estado.

2.11.1. CARACTERISTICAS

Los Puntos de la Red Geodésica Municipal, en su control Horizontal, están vinculados a la Red MARGEN de Bolivia (Marco de Referencia Geocéntrica Nacional) que esta a su vez se vincula a la red SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrica para las Américas) establecido en el sistema WGS - 84 (Sistema Geodésico Mundial del año 1984) y en la proyección UTM (Universal Transversa de Mercator); en su control vertical, están nivelados con el método geométrico referidos al nivel medio del mar, Datum Vertical Arica (República de Chile), con una precisión correspondiente a una nivelación de tercer orden geodésico.

2.12. SISTEMA DE COORDENADAS GEODESICAS

Sobre el elipsoide se define un sistema de coordenadas para establecer la posición de un punto sobre la superficie terrestre. La posición de un punto sobre el elipsoide terrestre



queda determinada por la intersección de un meridiano y un paralelo, constituyendo sus coordenadas geodésicas, Latitud y Longitud.

2.12.1. LATITUD (φ)

Angulo formado por la normal que pasa por el elipsoide y el plano del Ecuador, se mide de 0° a 90° para el hemisferio Norte y de 0° a 90° para el hemisferio Sur.

2.12.2. LONGITUD (λ)

Angulo formado entre plano del meridiano origen (Greenwich), y el plano del meridiano de un punto dado, las longitudes se miden de 0° a 180° hacia el este u oeste del meridiano origen.

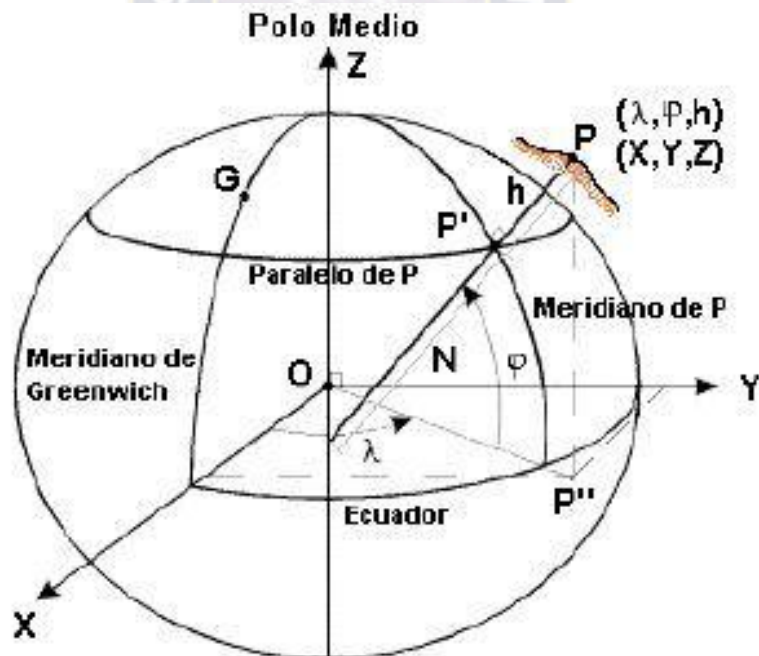


Figura2 (Sistemas de coordenadas Geodésicas)



2.13. SUPERFICIES DE REFERENCIA

Las superficies de referencia se pueden describir de la siguiente manera:

2.13.1. SUPERFICIE TOPOGRAFICA

Es la constitución materialmente por el terreno, que es sumamente irregular y además es variable con el tiempo por acciones naturales y racionales, en esta superficie se realizan todas las mediciones geodesia y topográficas.

2.13.2. SUPERFICIE FISICA

Es el geoide, es una superficie ideal íntimamente ligado al campo de gravedad de la tierra, el geoide es una de las infinitas superficies equipotenciales del campo de gravedad terrestre. Se entiende por superficie equipotencial de este campo, aquella en la que el desplazamiento del vector gravedad no genera trabajo.

2.13.3. SUPERFICIE MATEMATICA

Es la de un elipsoide de revolución por ser la que mejor se adapta a la superficie física (geoide), es la superficie donde se realizan los cálculos Geodésicos.

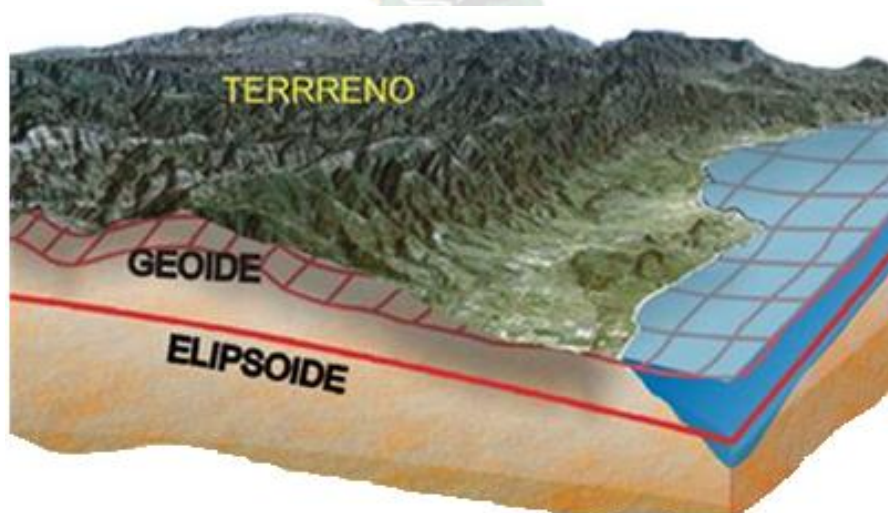


Figura 3 (Superficie de Referencia)



2.14. SISTEMA DE ALTURAS

Las alturas que se consideran en geodesia básicamente son tres. Altura elipsoidal, altura ortométrica y altura geoidal.

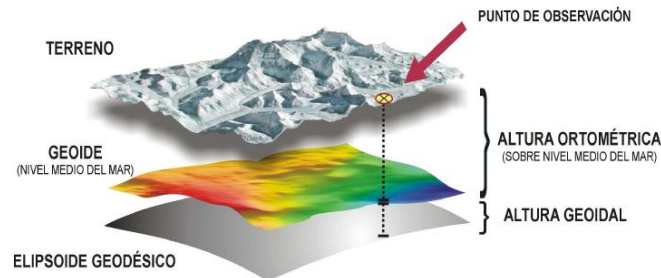


Figura 4 (Sistema de alturas en Geodesia)

2.14.1. ALTURA ELIPSOIDAL (h)

Es la separación entre la superficie topográfica y la superficie del elipsoide, y se mide a lo largo de la normal al elipsoide y se la denota con la letra h .

2.14.2. ALTURA ORTOMETRICA (H)

Es la distancia vertical entre la superficie física de la Tierra y la superficie del geoide. Esta distancia se mide a lo largo de la línea de plomada, la cual es la curva que es tangencial a la dirección de la gravedad en cualquier punto. La línea de plomada no es una línea recta, ya que tiene una leve curvatura

2.7.4 ALTURA GEOIDAL (N)

Represente la separación vertical entre el geoide y elipsoide.

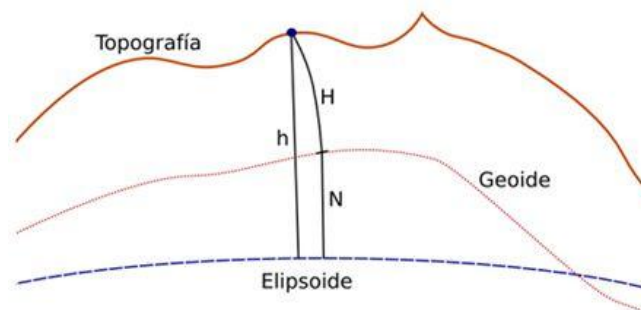


Figura 5 (Relación de Altura)



2.15. LEVANTAMIENTOS GEODESICOS

Se entiende por levantamiento geodésico “la toma de información de distancias y ángulos en el campo, y la aplicación de los principios de la Geometría y la Trigonometría con el propósito de determinar la forma, dimensiones y posición de grandes extensiones terrestres”. En ese sentido, se deben clasificar los levantamientos geodésicos en dos grandes grupos: horizontal y vertical.

2.15.1. LEVANTAMIENTOS HORIZONTALES

2.15.1.1. TRIANGULACION

Se llama triangulación el método en el cual las líneas del levantamiento forman figuras triangulares, de las cuales se miden solo los ángulos y los lados se calculan trigonométricamente a partir de uno conocido llamado base, de cada triángulo que se forma se conocen un lado, la *base*, y los dos ángulos adyacentes; los demás elementos se calculan matemáticamente.

Una red de triangulación se forma cuando se tiene una serie de triángulos conectados entre sí, de los cuales se pueden calcular todos los lados si se conocen los ángulos de cada triángulo y la longitud de la línea base. No necesariamente han de ser triángulos las figuras formadas; también pueden ser cuadriláteros (con una o dos diagonales) o cualquier otro polígono que permita su descomposición en triángulos.

Es uno de los procedimientos empleados en geodesia para la determinación de las posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra para ser utilizados con fines científicos y prácticos.

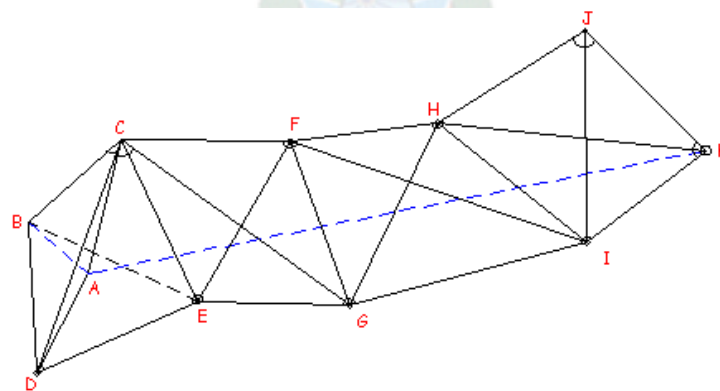


Figura 6 (Red de Triangulación)



2.15.1.1.1. FINALIDAD CIENTIFICA

Determinación de la forma y tamaño de la tierra, el método usado por los antiguos griegos con el fin de obtener elementos de juicio para la determinación del tamaño de la tierra es básicamente, usada para la determinación del elipsoide de revolución que más se adapte al geode.

2.14.2.1.2. FINALIDAD PRACTICA

Proporcionar el marco planimétrico que sirve de apoyo y control en levantamientos topográficos y geodésicos.

2.14.2.1.3. FUNDAMENTO MATEMATICO DE LA TRIANGULACION

El procedimiento de la triangulación fue idea por W. Snellius 1591 basado en teorema de trigonometría plana, midiendo los tres ángulos internos y conociendo un lado puedo calcular los otros lados.

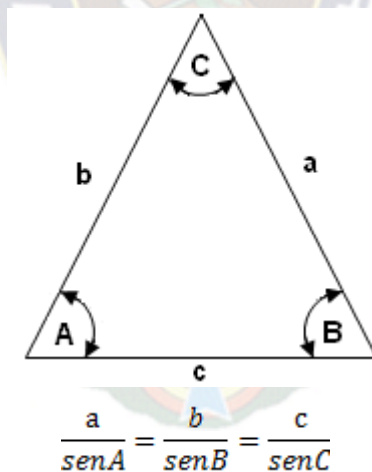


Figura 7 (Fundamento Matemático de la Triangulación)

2.14.2.1.4. RECONOCIMIENTO DE TRIANGULACION

El reconocimiento se ejecuta en cuadriláteros con dobles diagonales, ocupándose simultáneamente los 4 vértices, de los cuales por lo general, dos ya han sido reconocidos anteriormente, debiéndose reconocer los dos restantes.



Los observadores uno en cada vértice del cuadrilátero reconocer, se mantienen en comunicación ya sea por radio o mediante señales luminosas. La visibilidad reciproca de los puntos a la altura de las torres a erigir se establece por medio de heliotropos, reflectores y bengalas encendidas a distintas alturas.

La longitud de los lados de los cuadriláteros, en general no serán mayores a 18 Km y las diagonales no sobrepasaran los 30 Km. Los ángulos deben estar en lo posible entre 30° y 120° (esto surge del hecho de que se considera al triángulo equilátero como la forma más favorable de trabajo).

2.14.2.1.5. CARACTERISTICAS DE LA TRIANGULACION

Las triangulaciones geodésicas se las clasifican como 1er, 2do y 3er orden. Veamos ahora algunas de sus características:

ORDENES	LONGITUD DE LADOS	CIERRE ANGULAR	FUERZA DE LA FIGURA
1er	25 Km	1''	$R_1 < 15$ y $R_2 < 50$
2do	12 Km	3'' – 5''	$R_1 < 25$ y $R_2 < 80$
3er	5 Km	5'' – 10''	$R_1 < 25$ y $R_2 < 120$

Tabla 1 (Órdenes de Triangulación)

2.14.2.2. TRILATERACION

El avance en precisión y alcance de los sistemas electrónicos de medición de distancias se ha aplicado para levantamientos geodésicos usando la técnica de trilateración. Los sistemas electrónicos permiten la medición de distancias mayores a 5 y más kilómetros,



con lo que las redes de triangulación geodésicas pueden extenderse rápidamente. Las técnicas de trilateración permiten la conexión de levantamientos en islas o en continentes separados por grandes océanos.

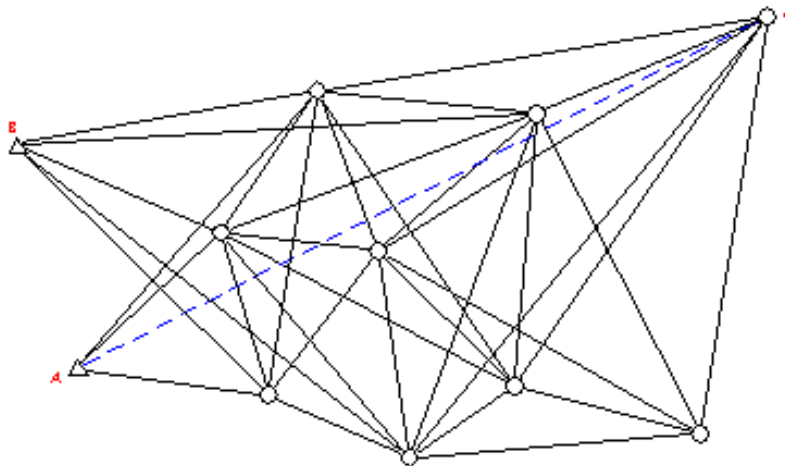


Figura 8 (Red de Trilateración)

En trilateración sólo se miden distancias, y se hacen observaciones redundantes para asegurar una buena precisión. Se ajusta la red para eliminar las discrepancias, luego se calculan los ángulos de tal modo que las posiciones geodésicas se puedan obtener en forma similar al método de triangulación.

2.14.2.3. POLIGONACION

La poligonación es el método más simple para extender control. El sistema es similar al de la navegación, en el que se miden distancias y direcciones. En una poligonación, se inicia el levantamiento en un punto con posición y azimuth con respecto a otro punto conocido, y se miden ángulos y distancias a través de la serie de puntos intermedios del levantamiento. Las mediciones angulares sirven para calcular la dirección de cada línea. Las mediciones de distancia completan la información para determinar la posición de los puntos de la poligonal.

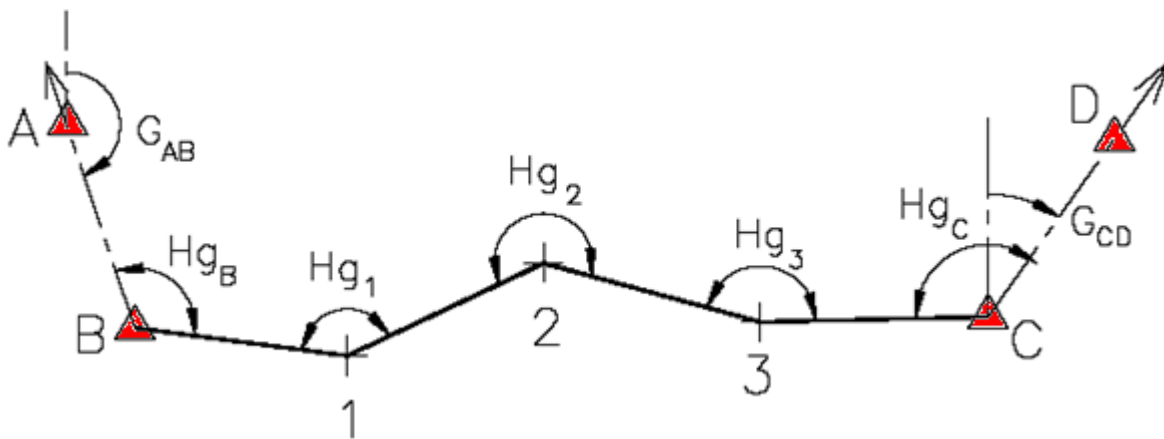


Figura 9 (Poligonal Enlazada)

Cuando la poligonal termina en otro punto de posición conocida, se dice que es una poligonal amarrada. Cuando la poligonal regresa al punto de partida, se dice que es una poligonal cerrada. De lo contrario, se dice que es una poligonal abierta.

2.14.2.4. TECNICAS SATELITALES

Los métodos celestes de triangulación permiten extender grandes arcos a través de los océanos o terrenos inaccesibles. Estos métodos tienen la característica que los datos observados no son afectados por la dirección de la vertical en el punto de observación.

Existen varios métodos como el de eclipse solar, ocultación de estrellas, cámara de posición lunar, observación y rastreo de satélites, así como sistemas geodésicos satelitales tales como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS estadounidense y el sistema GLONASS ruso).

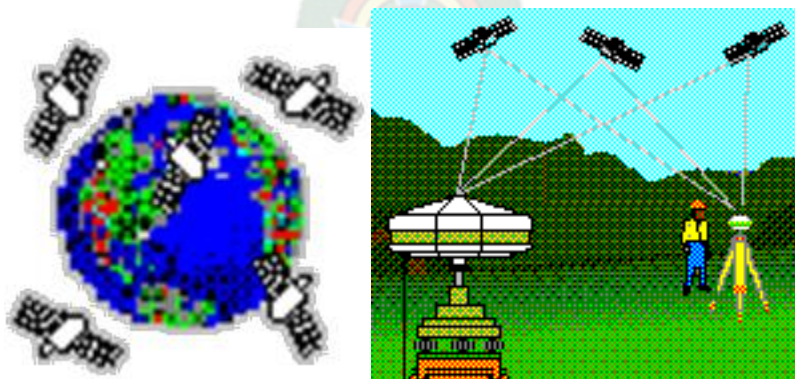


Figura 10 (Sistema de Posicionamiento Global con satélites)



2.14.2.5. LEVANTAMIENTO ASTRONÓMICO

La posición de un punto puede obtenerse directamente observando las estrellas. El posicionamiento astronómico es el método de posicionamiento más antiguo. Ha sido usado por muchos años por los marineros con propósitos de navegación. También los exploradores han usado frecuentemente este método para orientarse en áreas sin apoyo cartográfico.

2.14.3. LEVANTAMIENTOS VERTICALES

El levantamiento vertical es el proceso para determinar alturas (elevaciones) sobre el nivel medio del mar. En posicionamiento terrestre con fines cartográficos no hay problema en el hecho de que las posiciones horizontales estén referidas al elipsoide, y las elevaciones referidas al geoide. Sin embargo la información geodésica de precisión requiere un ajuste en la información vertical que compense por las ondulaciones del geoide, por encima o por debajo del elipsoide, la superficie matemática regular. El ajuste usa técnicas geodésicas avanzadas y complejas.

La red básica de control vertical se establece usando nivelaciones geodésicas. La densificación se realiza por métodos suplementarios. El nivel medio del mar se usa como referencia (datum vertical) en todos los métodos. Este nivel se determina obteniendo el promedio horario de las variaciones del agua durante un año o más en una estación mareográfica. Existen varias técnicas de nivelación: geométrica o diferencial, trigonométrica y barométrica, y cada una genera precisiones diferentes, siendo la primera de las citadas, la más precisa de las tres.

2.15. FUERZA DE LA FIGURA “R”

“R” es una medida de la bondad de la figura y es independiente de la precisión con que los ángulos son medidos, cuanto más pequeño es “R” más fuerte resulta la figura. Si el valor de este factor es calculado para cada camino posible a través de la triangulación, resultaría un valor mínimo R_1 para la mejor cadena de triángulos; R_2 para el que sigue en bondad y valores R_3 , R_4 , etc., para los que siguen en orden decreciente de precisión.



“R” se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{D - C}{D} \times \sum (A^2 + AB + B^2)$$

Donde:

D = Numero de direcciones que interviene en la figura menos la base.

$$C = (n' - S' + 1) + (n - 2S + 3)$$

n' = Numero total de lados de doble visual.

S' = Numero total de estaciones ocupadas.

n = Numero total de líneas.

S = Numero total de estaciones.

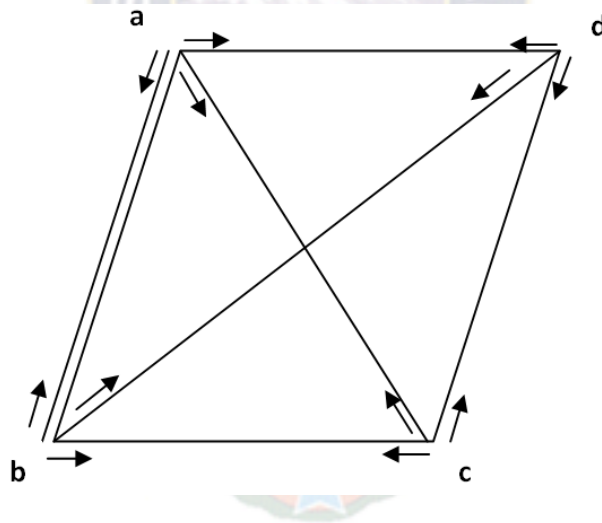


Figura 11 (Resistencia de un Cuadrilátero)

A, B = diferencia por segundo en la sexta cifra de los logaritmos del seno del valor angular en la cadena utilizada.

$$A, B = [(\log \text{sen} \alpha + 1'') + 10 - (\log \text{sen} \alpha) + 10] \times 10^6$$



2.16. MEDICION DE ANGULOS

2.16.1. HORIZONTALES

Normalmente la graduación del limbo horizontal, entre 0° - 360° está hecha creciendo en sentido del movimiento de las agujas del reloj. El cero del limbo horizontal puede, en general orientarse arbitrariamente.

2.16.2. VERTICALES

La posición del cero del limbo vertical es invariable, y normalmente está en la dirección del zenit. Si la lectura de la distancia zenital es mayor de 90° es que la visual del anteojo es descendente. Si es menor, la visual es ascendente.

2.16.3. METODOS PARA LA MEDICION DE ANGULOS HORIZONTALES

2.16.3.1. METODO SIMPLE

Consiste en colocar como origen de medición cero grados sobre la línea que une al vértice con cualquier punto de referencia que se tome como origen. A partir de ahí se puede medir el ángulo interno, externo o de deflexión. Hasta el siguiente punto de referencia que defina el ángulo. Y se lee en el círculo graduado el valor correspondiente al arco descrito entre las dos líneas.

2.16.3.2. METODO DE REPETICION

Se puede emplear en aquellos aparatos que, además del tornillo de presión, posean tornillo de coincidencia. Se toma como origen en cero grados cualquier línea, como en el método simple. Se gira hasta el lado que define el ángulo por medir y se vuelve a la línea de origen. Pero no se coloca en cero grados, sino en la lectura que se haya obtenido al medir. Se repite dos, tres o más veces esta operación y, como los valores se han ido acumulando (en la segunda ocasión aproximadamente el doble, en la tercera cerca del triple, etc.), el valor angular de la última observación se divide entre el número de repeticiones y el resultado será el valor angular correspondiente



Cuando la $\sum \alpha$ s repetidos $< 360^\circ$ $\alpha = \frac{\text{Ultima lectura} - \text{imposicion}}{\text{Nro de lecturas}}$

$\alpha = \frac{n \times 360^\circ + \text{Ultima lect.} - \text{imposicion}}{\text{Nro de lecturas}}$ pero $n = \frac{1ra \text{ lectura} \times \text{Nro de lecturas}}{360^\circ}$

2.16.3.3. METODO DE REITERACION

Se puede emplear en aquellos aparatos que solo posean el tornillo de presión. A diferencia del método anterior, el origen se toma arbitrariamente en una lectura cualquiera definida de antemano, con el fin de ratificar los valores encontrados, compararlos, y de ser necesario, promediarlos para lograr mejores valores. El procedimiento consiste en fijar primero el número de reiteraciones que se desean hacer.

$\text{Imposicion} = \frac{180^\circ}{\text{Nro de reiteraciones}}$

2.17. TEOREMA DE LEGENDRE

Los ángulos A, B, C de un triángulo esférico cuyos lados a, b, c son muy pequeños con relación al radio de la esfera, son iguales a los lados correspondientes (A_1, B_1, C_1) del triángulo planos cuyos lados son también a, b, c aumentando a cada ángulo con el tercio del exceso esférico del triángulo.

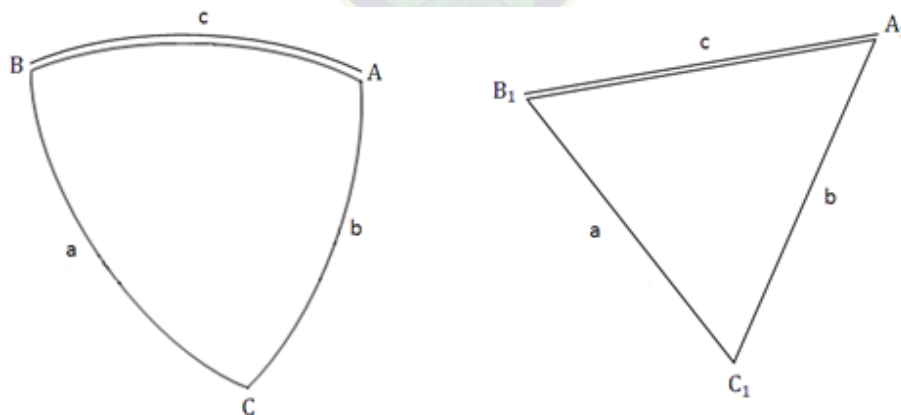


Figura 12 (Teorema de Legendre)



La aplicación del teorema de Legendre simplifica mucho la solución práctica de los triángulos geodésicos.

$$A_1 = A - \frac{e''}{3}; B_1 = B - \frac{e''}{3}; C_1 = C - \frac{e''}{3}$$

O lo que es lo mismo según el enunciado:

$$A = A_1 + \frac{e''}{3}; B = B_1 + \frac{e''}{3}; C = C_1 + \frac{e''}{3}$$

Dónde:

$$e'' = \frac{ab \operatorname{sen} C (1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi)^2}{2a^2 (1 - e^2) \operatorname{sen} 1''}$$

Demostración:

$$A = A_1 + \frac{e''}{3}$$

Suponemos que $\overline{AB} = \overline{A_1 B_1}$ conocidos entonces por el teorema de senos:

$$\frac{\overline{A_1 B_1}}{\operatorname{sen} C_1} = \frac{\overline{A_1 C_1}}{\operatorname{sen} B_1}$$

$$\therefore \overline{A_1 C_1} = \overline{A_1 B_1} \frac{\operatorname{sen} B_1}{\operatorname{sen} C_1}$$

$$\overline{B_1 C_1} = \overline{AB} \frac{\operatorname{sen} A_1}{\operatorname{sen} C_1}$$

Por trigonometría esférica tenemos:

$$\cos \frac{a}{R} = \left(\cos \frac{b}{R} \cos \frac{c}{R} \right) + \left(\operatorname{sen} \frac{b}{R} \operatorname{sen} \frac{c}{R} \cos A \right) \dots \dots \dots (I)$$



Por trigonometría plana tenemos:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A_1 \dots \dots \dots (II)$$

$$\therefore \text{ de (I) } \cos A = \frac{\cos \frac{a}{R} - \cos \frac{b}{R} \cos \frac{c}{R}}{\text{sen } \frac{b}{R} \text{ sen } \frac{c}{R}}$$

$$\text{y de (II) es: } \cos A_1 = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

Y siendo $\frac{a}{R}; \frac{b}{R}; \frac{c}{R}$ ángulos muy pequeños podemos desarrollar en serie sus cosenos:

Dónde:

$$\text{sen } x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!}; \quad \cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!}$$

Reemplazando hasta la 4ta potencia tenemos:

$$\cos A = \frac{\left(1 - \frac{a^2}{2R^2} + \frac{a^4}{4!R^4}\right) - \left(1 - \frac{b^2}{2R^2} + \frac{b^4}{4!R^4}\right) \left(1 - \frac{c^2}{2R^2} + \frac{c^4}{4!R^4}\right)}{\left(\frac{b}{R} - \frac{b^3}{3!R^3}\right) \left(\frac{c}{R} - \frac{c^3}{3!R^3}\right)}$$

$$\cos A = \frac{\left(1 - \frac{a^2}{2R^2} + \frac{a^4}{24R^4}\right) - \left(1 - \frac{b^2}{2R^2} + \frac{b^4}{24R^4}\right) \left(1 - \frac{c^2}{2R^2} + \frac{c^4}{24R^4}\right)}{\left(\frac{b}{R} - \frac{b^3}{6R^3}\right) \left(\frac{c}{R} - \frac{c^3}{6R^3}\right)}$$

Realizando operaciones hasta la 4ta potencia tenemos:

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} + \frac{a^4 + b^4 + c^4 - 2b^2c^2 - 2a^2c^2 - 2a^2b^2}{24bcR^2} \dots \dots \dots (1)$$

Por trigonometría plana sabemos:

$$\cos A_1 = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \dots \dots \dots (2)$$



Elevando al cuadrado tenemos:

$$\cos^2 A_1 = \frac{a^4 + b^4 + c^4 + 2b^2c^2 - 2a^2c^2 - 2a^2b^2}{4b^2c^2} \dots \dots \dots (3)$$

Por trigonometría sabemos:

$$\begin{aligned} \sin^2 A_1 + \cos^2 A_1 &= 1 \\ \sin^2 A_1 &= 1 - \cos^2 A_1 \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

Reemplazamos ecuación (3) en la ecuación (4)

$$\sin^2 A_1 = 1 - \frac{a^4 + b^4 + c^4 + 2b^2c^2 - 2a^2c^2 - 2a^2b^2}{4b^2c^2}$$

Realizando operaciones y multiplicando a ambos miembros por (-1)

$$-\sin^2 A_1 = \frac{a^4 + b^4 + c^4 - 2a^2b^2 - 2b^2c^2 - 2a^2c^2}{4b^2c^2}$$

$$-\sin^2 A_1 4b^2c^2 = a^4 + b^4 + c^4 - 2a^2b^2 - 2b^2c^2 - 2a^2c^2 \dots \dots \dots (5)$$

Reemplazamos las ecuaciones (2) y (5) en la ecuación (1)

$$\cos A = \cos A_1 + \frac{-\sin^2 A_1 4b^2c^2}{24bcR^2}$$

$$\cos A = \cos A_1 - \frac{\sin^2 A_1 bc}{6R^2}$$

$$\cos A - \cos A_1 = \frac{\sin^2 A_1 bc}{6R^2}$$

Por trigonometría plana descomponemos la diferencia de cosenos.

$$-2\sin\left(\frac{A + A_1}{2}\right)\sin\left(\frac{A - A_1}{2}\right) = -\frac{\sin^2 A_1 bc}{6R^2} \dots \dots \dots (6)$$



Sabemos que:

$$\frac{A + A_1}{2} = A = A_1 \dots \dots \dots (7)$$

Reemplazando la ecuación (7) en la ecuación (6) tenemos:

$$2\text{sen}A_1 \text{sen}\left(\frac{A - A_1}{2}\right) = \frac{\text{sen}^2 A_1 bc}{6R^2}$$

$$2\text{sen}\left(\frac{A - A_1}{2}\right) = \frac{\text{sen}^2 A_1 bc}{6R^2 \text{sen}A_1}$$

Sabemos que la diferencia de $A - A_1$ es muy pequeña entonces tenemos:

$$2\left(\frac{A - A_1}{2}\right) \text{sen}1'' = \frac{\text{sen}A_1 bc}{6R^2}$$

$$(A - A_1) \text{sen}1'' = \frac{\text{sen}A_1 bc}{6R^2}$$

$$(A - A_1) = \frac{\text{sen}A_1 bc}{2 \times 3R^2 \text{sen}1''}$$

Sabemos que el área de un triángulo es: $\text{area} = \frac{\text{base} \times \text{altura}}{2}$

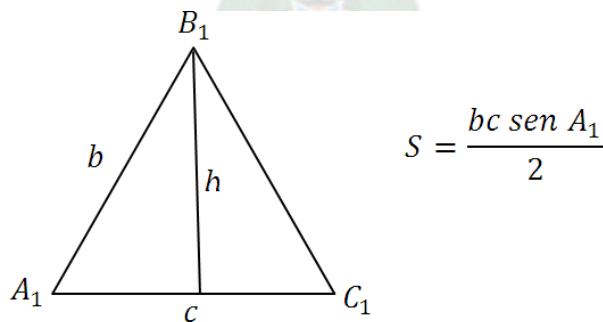


Figura 13 (área de un triángulo)



Por lo tanto:

$$(A - A_1) = \frac{S}{3R^2 \text{sen} 1''}$$

Sabemos que e'' :

$$e'' = \frac{S}{R^2 \text{sen} 1''}$$

Finalmente como resultado tendremos:

$$A - A_1 = \frac{1}{3} e'' \quad \boxed{A = A_1 + \frac{e''}{3}}$$

Demostración del exceso esférico:

$$e'' = \frac{ab \text{sen} C (1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi)^2}{2a^2 (1 - e^2) \text{sen} 1''}$$

$$S = \frac{\pi R^2 e''}{180} \text{ area de un triangulo esferico} \dots \dots \dots (1)$$

$$S = \frac{bc \text{ sen} A_1}{2} \text{ area de un triangulo plano} \dots \dots \dots (2)$$

Igualando tenemos:

$$e'' = \frac{ab \text{sen} C}{2R^2} \times \frac{180^\circ}{\pi} \dots \dots \dots (3)$$

Donde el $R^2 = MN$

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi)^{3/2}} \quad ; N = \frac{a}{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi)^{1/2}}$$

Reemplazando la ecuación M y N en la ecuación (3) tenemos:

$$e'' = \frac{ab \text{sen} C}{2 \times \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi)^{3/2}} \times \frac{a}{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi)^{1/2}}} \times \frac{180^\circ}{\pi}$$



$$e'' = \frac{\bar{a}\bar{b}\text{sen}C(1 - e^2\text{sen}^2\varphi)^2}{2a^2(1 - e^2)} \times \frac{180^\circ}{\pi}$$

Donde $\frac{180^\circ}{\pi} = \frac{1}{\text{sen}1''}$, además siendo $\bar{a}\bar{b}$ los lados del triángulo.

$$e'' = \frac{\bar{a}\bar{b}\text{sen}C(1 - e^2\text{sen}^2\varphi)^2}{2a^2(1 - e^2)\text{sen}1''}$$

2.18. METODO PUISSANT

Dados dos puntos P0 y P1 de un elipsoide revolución.

2.18.1. PROBLEMA DIRECTO

DATOS:

Las coordenadas (φ_0, λ_0) de P₀

INCOGNITAS:

Distancia geodésica (S) de P₀ a P₁ Las coordenadas (φ_1, λ_1) de P₁

El azimut (α_{0-1})

El azimut (α_{1-0})

2.18.2. PROBLEMA INVERSO

DATOS:

INCOGNITAS:

Las coordenadas (φ_0, λ_0) de P₀

Distancia geodésica (S) de P₀ a P₁

Las coordenadas (φ_1, λ_1) de P₁ El azimut (α_{0-1})

El azimut (α_{1-0})



2.19. NIVELACION TRIGONOMETRICA

La nivelación es la operación más requerida en el sentido más estricto además es la comparación de alturas sobre la superficie terrestre.

Algunos autores consideran la nivelación como lecturas de operación que determina la diferencia de altura entre dos puntos o más.

Definido el desnivel como la cota de un punto referida a la superficie de nivel que pasa por otro, entendemos por nivelación.

"Nivelación es el arte de determinar las diferencias en elevación de puntos sobre la superficie terrestre con el propósito de: trazar contornos lineales; dibujar secciones verticales que representen la forma de una superficie, y establecer puntos a una elevación determinada, definida en proyectos de construcción".

2.19.1. NIVELACION TRIGONOMETRICA RECIPROCA

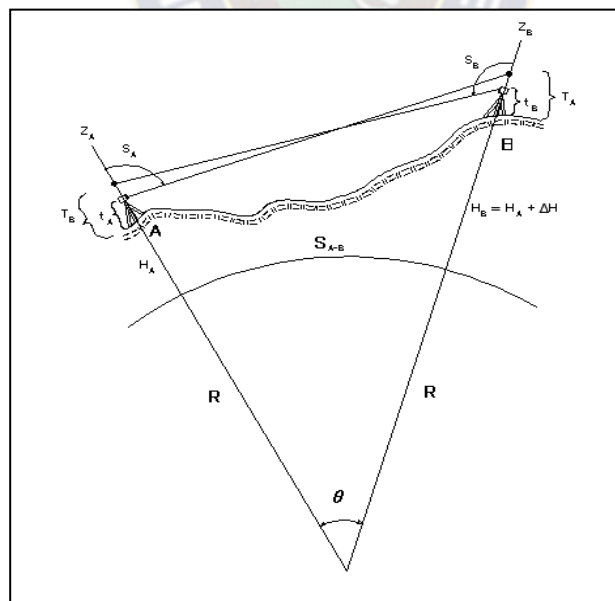


Figura 14 (Nivelación con observaciones reciprocas)



Datos:

Sistema de Referencia.

Latitud media (φ_m).

Altura ortométrica (H_A) y la altura elipsoidal (h_A).

Azimut (α_{AB}).

Ángulos zenitales (S_A, S_B).

Altura de instrumento (t_A, t_B)

Alturas de prismas de los dos puntos (T_A, T_B)

Distancia (S_{AB}).

Proceso y desarrollo de la nivelación trigonométrica recíproca.

1. Cálculo del ángulo de pendiente (Z_A, Z_B) Reducción del ángulo de pendiente a la línea de unión.

$$Z_A = S_A + \Delta_A$$

$$Z_B = S_B + \Delta_B$$

Donde (Δ_A, Δ_B) se halla con la siguiente relación:

$$\Delta_A, \Delta_B = \frac{T - t}{S_{AB} \text{sen} 1''}$$

2. Cálculo del ángulo " θ "

$$\theta = \frac{S_{AB}}{R} \times \frac{180^\circ}{\pi}$$

Donde radio de la tierra es $R = 6370000$ m



3. Cálculo del radio azimutal (R_α)

$$R_\alpha = \frac{MN}{M \cos^2 \alpha_{AB} + N \sin^2 \alpha_{AB}}$$

Dónde M= Radio de Meridiano N= Radio de 1ra Vertical

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_m)^{3/2}}$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_m)^{1/2}}$$

4. Cálculo del desnivel (ΔH) entre los puntos A y B

$$\Delta H_{AB} = 2(R_\alpha + H_A) \sin \frac{\theta}{2} \times \frac{\sin \frac{Z_B - Z_A}{2}}{\cos \left[\frac{\theta}{2} + \frac{Z_B - Z_A}{2} \right]}$$

5. Cálculo de la altura ortométrica (H)

$$H_B = H_A \pm \Delta H_{AB}$$

2.20. MINIMOS CUADRADOS

Es una de las técnicas propias de la astronomía, y es el método que permite encontrar la ecuación de una recta a partir de los datos experimentales. Es decir, utilizando las mediciones experimentales se obtiene la pendiente y la ordenada al origen de la recta que mejor se ajuste a tales mediciones.

“La recta llamada como regresión es la que se obtiene a partir de una serie de puntos y es la que representa una mejor distribución de los puntos definidos por las coordenadas como un modelo lineal. Se suele emplear el método de los Mínimos Cuadrados, la que consiste en encontrar aquella recta tal que la suma de los cuadrados de las distancias “D” de los puntos a la recta sea la mínima, vale decir el criterio que se maneja es simplificada por la distancia del punto experimental a la mejor recta siendo esta el mínimo valor.



$$\sum_{i=1}^n d_i^2 = d_1^2 d_2^2 d_3^2 d_4^2 \dots \dots d_n^2 \rightarrow \text{Mínimo}$$

2.20.1. RESTRICCIONES EN LA APLICACION DE LOS MINIMOS CUADRADOS

- ✓ Requiere tener, al menos, diez mediciones bajo las mismas circunstancias experimentales.
- ✓ Tales resultados deben estar descritos por una distribución de probabilidad conocida. La más común es la distribución normal o gaussiana.
- ✓ Se requiere de algún equipo de cálculo, de lo contrario, es muy engorroso.
- ✓ Sólo sirve para ajustar modelos lineales, si este **no** es el caso, se debe buscar otro método de ajuste.

2.20.2. VENTAJAS DE MINIMOS CUADRADOS

- ✓ Es objetivo, sólo depende de los resultados experimentales.
- ✓ Es reproducible, proporciona la misma ecuación no importa quién realice el análisis.
- ✓ Proporciona una estimación probabilística de la ecuación que representa a unos datos experimentales.
- ✓ Proporciona intervalos pequeños de error.

Por tanto el método de mínimos cuadrados, es un método objetivo que proporciona errores pequeños y esta es una forma de estimación probabilística.



CAPITULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO

3.8. RECOPIACION DE INFORMACION

La información base utilizada para el desarrollo del presente proyecto es lo siguiente;

- Para la elección del cuadrilátero y la base geodésica se utilizó como referencia el plano de puntos de la Red Geodésica de la ciudad de La Paz,
- Imagen del sector en interés descargada mediante el software Google Earth, para la ubicación de los puntos geodésicos en las distintas zonas.
- La lista de coordenadas Geodésicas en su medio magnético de la Red Geodésica de la ciudad de La Paz.

3.9. PERSONAL Y INSTRUMENTOS UTILIZADOS

3.9.1. PERSONAL

- Un Operador.
- Un record.
- Cuatro alarifes.

3.9.2. INSTRUMENTOS

- Un Estación Total marca SOKKIA modelo SET-510
- Un trípode de aluminio SOKKIA.
- Cuatro jalones.
- Cuatro Prismas
- Cuatro GPSs Navegadores marca etrex GARMIN.
- Un flexómetro.

3.9.3. MATERIALES

Materiales de campo

- Material de escritorio.
- Teléfonos celulares.
- Una cámara fotográfica.
- Planilla de series (ver ANEXO 3 y 4).
- Un tablero.



Materiales de gabinete

- Un computador de escritorio.
- Una impresora.
- Calculadora CASIO modelo FX- 9860 G SD.
- Papel bon tamaño carta.
- Software empleado (Microsoft office).

3.9.4. TRANSPORTE

- Minibús NISSAN Caravan.

3.10. RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Con el listado de coordenadas de la red Geodésica de la ciudad de La Paz, de algunos puntos que podrían ser visibles entre si se realizó el reconocimiento de estas estaciones en campo con empleo de un GPS navegador, largavistas y personal para verificar que cuenten con su respectivo disco de bronce y su correspondiente inscripción, además que exista visibilidad entre estas estaciones.

3.11. DISEÑO DEL CUADRILATERO Y ELECCION DE LA BASE GEODESICA

Tras haber realizado el reconocimiento de estaciones en campo, se concluye por optar estaciones CALV, P-27, P-28 correspondientes a la Red Geodésica de la ciudad de La Paz y el punto AUTP ubicado aproximadamente a 20 metros del punto geodésico PC26, para el diseño del cuadrilátero, y tomando como base Geodésica los puntos P-27 y P-28.



Figura 15 (Cuadrilátero y la Base Geodésica)



3.12. TRABAJO DE CAMPO

3.12.1. LECTURA DE ANGULOS HORIZONTALES

La lectura de ángulos horizontales es realizada por el método de reiteración (8 series orden geodésico) de acuerdo a las siguientes imposiciones:

SERIE	IMPOSICION	SERIE	IMPOSICION
1	00° 00' 40''	5	180° 00' 10''
2	45° 00' 30''	6	224° 00' 40''
3	90° 00' 10''	7	269°00'45''
4	135°00'15''	8	315° 00' 15''

Tabla 2 (Imposición para la lectura de ángulos horizontales)

Estos datos fueron obtenidos por la siguiente relación:

$$IMPOSICION = \frac{180^\circ}{N^{\circ}SERIE}$$

3.12.1.1. PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO DE CAMPO

- Se instala el equipo en la estación o vértice ubicado en la autopista del cual se dará inicio al trabajo del cuadrilátero, punto (AUTP).
- En las estaciones (CALV, P-28, y P-27) se encuentran jalones debidamente sujetadas para que exista una buena visibilidad para la lectura de ángulos horizontales y zenitales.
- Después de haber instalado el equipo se inicia con la lectura de ángulos horizontales internos del cuadrilátero con las imposiciones ya descritas anteriormente, en posición directa e inversa tomando nota en la planilla de series. (VER ANEXO 3)
- Como siguiente paso se debe realizar el cierre angular correspondiente en cada estación con las mismas imposiciones calculadas. (VER ANEXO 3)



La lectura de ángulos horizontales, se muestra gráficamente en las siguientes figuras:

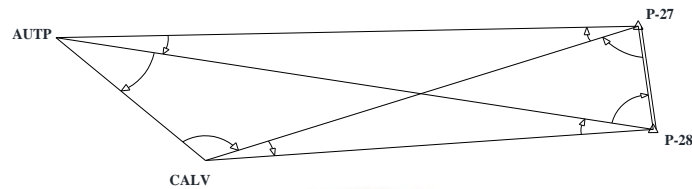


Figura 16 (Lectura de ángulos horizontales posición directa.)

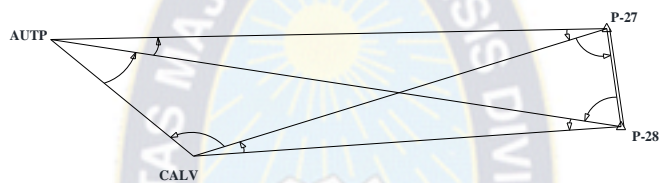


Figura 17 (Lectura de ángulos horizontales posición inversa.)

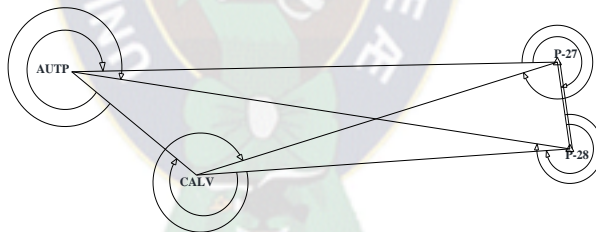


Figura 18 (Lectura de cierre angular posición directa.)

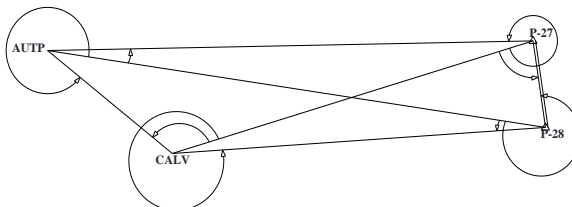


Figura 19 (Lectura de cierre angular posición inversa.)



3.12.2. LECTURA DE ANGULOS ZENITALES

Luego de la lectura de ángulos horizontales se procedió a la lectura de ángulos zenitales de acuerdo al siguiente procedimiento.

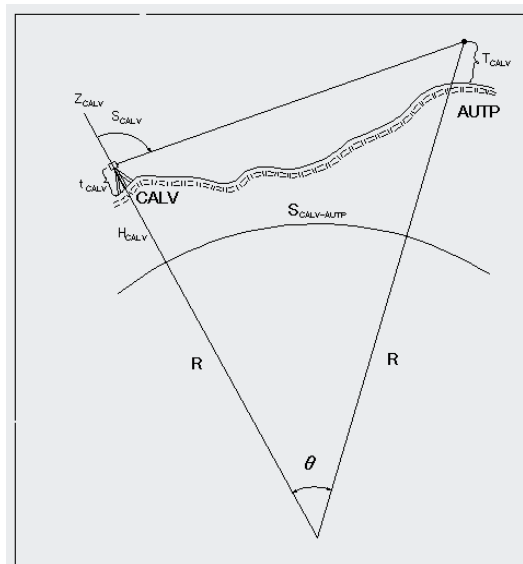


Figura 20 (Lectura de ángulos zenitales)

3.12.2.1. PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO DE CAMPO

- Lecturas de ángulos zenitales en posición directa e inversa desde cada estación base hacia las estaciones del cuadrilátero, se debe tomar nota las alturas (prisma, instrumento), en planilla de series de ángulos zenitales. (ver ANEXO 4).
- Después de terminar el anterior procedimiento se realiza el cambio de estación hacia las otras dos estaciones del cuadrilátero.
- Se repite el trabajo mencionado en cada punto del cuadrilátero.

3.13. TRABAJO DE GABINETE

3.13.1. REVISION DATOS DE CAMPO

A la conclusión del trabajo de campo se verifico los datos obtenidos en las planillas de series referente:



- Angulos horizontales.
- Angulos zenitales.
- Altura del equipo, y altura de los jalones

3.13.2. CALCULO DE LA FUERZA DE LA FIGURA

Obteniendo los ángulos del cuadrilátero por imágenes del Google Earth procedemos al cálculo la fuerza de la figura:

Calculada por siguiente expresión:

$$R = \frac{D - C}{D} \times \sum (A^2 + AB + B^2)$$

Sabemos que $\frac{D - C}{D} = 0.6$

Reemplazando los ángulos del cuadrilátero y utilizando la siguiente ecuación calcular la Resistencia de la figura:

$$A = [(\log \text{sen } a + 1') - (\log \text{sen } a)] \times 10^6$$

$$B = [(\log \text{sen } b + 1') + 10 - (\log \text{sen } b)] \times 10^6$$

a) CALCULO DE LA RESISTENCIA PRIMER CAMINO

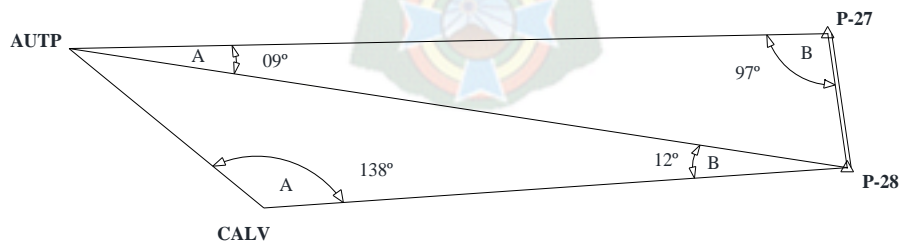


Figura 21 (Primer Camino del Cuadrilátero)



En el triángulo (AUTP, P-28, P-27) reemplazando en la fórmula de logaritmos:

$$A = [(logsen 9 + 1'') - (logsen 9)] \times 10^6 = 13.3$$

$$B = [(logsen 97 + 1'') - (logsen 97)] \times 10^6 = -0.3$$

$$A^2 + AB + B^2 = 172.99 = 173$$

En el triángulo (AUTP, CALV, P-28)

$$A = [(logsen 138 + 1'') - (logsen 138)] \times 10^6 = -2.3$$

$$B = [(logsen 12 + 1'') - (logsen 12)] \times 10^6 = 9.9$$

$$A^2 + AB + B^2 = 80.53 = 81$$

Una vez calculado $A^2 + AB + B^2$ procedemos a la suma de los valores ya redondeados:

$$\sum (A^2 + AB + B^2) = 173 + 81 = 254$$

Finalmente calculamos la resistencia (R).

$$R = \frac{D - C}{D} \times \sum (A^2 + AB + B^2) \quad \text{donde } \frac{D - C}{D} = 0.6$$

Reemplazando en la fórmula tenemos:

$$R_1 = 0.6 \times 254 = 152$$

b) CALCULO DE LA RESISTENCIA SEGUNDO CAMINO

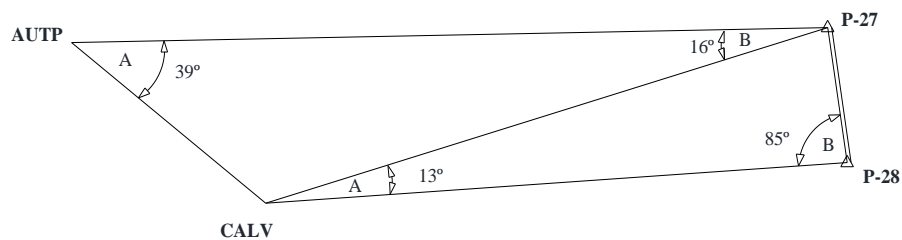


Figura 22 (Segundo Camino del Cuadrilátero)



En el triángulo (AUTP, CALV, P-27) reemplazando en la fórmula de logaritmos:

$$A = [(\log_{\text{sen}} 39 + 1^{\prime}) - (\log_{\text{sen}} 39)] \times 10^6 = 2.6$$

$$B = [(\log_{\text{sen}} 16 + 1^{\prime}) - (\log_{\text{sen}} 16)] \times 10^6 = 7.3$$

$$A^2 + AB + B^2 = 79.03 = 79$$

En el triángulo (CALV, P-27, P-28) reemplazando en la fórmula de logaritmos:

$$A = [(\log_{\text{sen}} 13 + 1^{\prime}) - (\log_{\text{sen}} 13)] \times 10^6 = 9.1$$

$$B = [(\log_{\text{sen}} 85 + 1^{\prime}) - (\log_{\text{sen}} 85)] \times 10^6 = 0.2$$

$$A^2 + AB + B^2 = 84.67 = 85$$

Una vez calculado $A^2 + AB + B^2$ procedemos a la suma de los valores ya redondeados:

$$\sum (A^2 + AB + B^2) = 79 + 85 = 164$$

Finalmente calculamos la resistencia (R).

$$R = \frac{D - C}{D} \times \sum (A^2 + AB + B^2) \quad \text{donde } \frac{D - C}{D} = 0.6$$

Reemplazando en la fórmula tenemos

$$R_2 = 0.6 \times 164 = 98$$

Por lo tanto se concluye que el mejor camino para el cálculo de coordenadas geodésicas y distancias geodésicas es el segundo camino debido a que el valor de la resistencia es menor indicando, y que es el camino más favorable para el trabajo.

3.13.3. AJUSTE DE LOS ANGULOS INTERNOS DEL CUADRILATERO

Luego de realizar el trabajo de campo y el llenado de planillas de series de ángulos horizontales se ajusta el cuadrilátero por mínimos cuadrados.



ANGULOS OBTENIDOS DE LA PLANILLA DE SERIES SIN CORREGIR

	ANGULOS INTERNOS		
	°	'	''
1	12	16	36.878
2	12	51	05.144
3	124	52	43.224
4	29	59	12.878
5	09	31	54.561
6	15	35	37.938
7	81	51	21.908
8	73	01	21.884
Σ	359	59	54.415

Tabla 3 (Angulos internos del cuadrilátero)

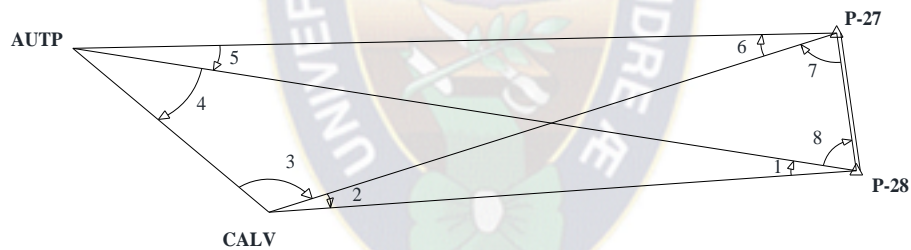


Figura 23 (Angulos internos del cuadrilátero)

Después de haber obtenido los ángulos internos del cuadrilátero debemos de ajustarlo por el método de mínimos cuadrados.

1. Como primer paso se tiene que Aplicar logaritmos a los ángulos impares y pares como se ve en las tablas siguientes:



PLANILLA DE CALCULOS LOGARITMICOS

TABLA 4 - ANGULOS IMPARES			
Nro.	α	$\text{Log sin } \alpha$	$dl = [\text{log sin}(\alpha + 1'') - \text{log sin } \alpha] * 10^6$
1	12°16'36.878"	-0.67236	09.675
3	124°52'43.224"	-0.08599	-01.468
5	09°31'54.561"	-0.78095	12.539
7	81°51'21.908"	-0.00440	00.301
	Σ	-1.54370	

TABLA 5 - ANGULOS PARES			
Nro.	α	$\text{Log sin } \alpha$	$dl = [\text{log sin}(\alpha + 1'') - \text{log sin } \alpha] * 10^6$
2	12°51'05.144"	-0.65282	9.229
4	29°59'12.878"	-0.30120	3.649
6	15°35'37.938"	-0.57054	7.544
8	73°01'21.884"	-0.01935	0.643
		-1.54391	

Aplicando la ecuación matricial:

$$B * V = W$$

Por propiedades matriciales:

$$V = B^T (BB^T)^{-1} W$$

Dónde:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ dl1 & -dl2 & dl3 & -dl4 & dl5 & -dl6 & dl7 & -dl8 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 180^\circ - (1 + 2 + 7 + 8) \\ 180^\circ - (1 + 2 + 3 + 4) \\ 180^\circ - (3 + 4 + 5 + 6) \\ (\Sigma \text{ PARES} - \Sigma \text{ IMPARES}) * 10^6 \end{bmatrix}$$



Remplazando valores:

$$W = \begin{bmatrix} -25.814 \\ +21.876 \\ +31.399 \\ -210 \end{bmatrix}$$

Finalmente, reemplazando las matrices resultantes en la fórmula general de cálculo de residuales:

$$V = \begin{bmatrix} -06.136 \\ +01.648 \\ +12.733 \\ +13.631 \\ -01.617 \\ +06.652 \\ -10.858 \\ -10.469 \end{bmatrix}$$

Teniendo las residuales en segundos se procede a la corrección con su respectivo signo como se muestra en la tabla siguiente.

NRO.	ANGULOS SIN CORRECCION			CORRECCION	ANGULOS CORREGIDOS		
	°	'	''		''	°	'
1	12	16	36.878	-06.136	12	16	30.742
2	12	51	05.144	+01.648	12	51	06.792
3	124	52	43.224	+12.733	124	52	55.957
4	29	59	12.878	+13.631	29	59	26.509
5	09	31	54.561	-01.617	09	31	52.944
6	15	35	37.938	+06.652	15	35	44.590
7	81	51	21.908	-10.857	81	51	11.051
8	73	01	21.884	-10.469	73	01	11.415
Σ	359	59	54.415	+5.584	360	00	00

Tabla 6 (Ángulos corregidos)



3.13.4. CALCULO DE COORDENADAS DE LAS ESTACIONES “CALV” Y “AUTP”

Calculo de latitud y longitud (φ, λ) del punto “CALV” en aplicación al triangulo CALV - P-28 - P-27.

(SISTEMA DE REFERENCIA WGS-84)

1. En función a la base geodésica (P-28 - P-27) elegida para el presente trabajo de aplicación, se calcula la distancia y los azimuts geodésicos utilizando las formulas del método inverso de la geodesia.

$$P-27 \begin{cases} 16^{\circ}29'48.781''S \\ 68^{\circ}06'25.819''W \end{cases} \quad P-28 \begin{cases} 16^{\circ}30'21.994''S \\ 68^{\circ}06'20.494''W \end{cases}$$

Distancia Geodesia:

$$S_{P-27-P-28} = 1033.108m$$

Azimuts geodésicos:

$$\alpha_{P-27-P-28} = 171^{\circ}12'27.048''$$

$$\alpha_{P-28-P-27} = 351^{\circ}12'25.535''$$

2. calculo de las distancias P-28 - CALV y P-27 - CALV por relaciones trigonométricas en el triángulo correspondiente.
- Distancia P-27- CALV:

$$S_{P-27-CALV} = \frac{\sin(1+8) * S_{P-27-P-28}}{\sin 2} = 4628.961m$$

- Distancia P-28- CALV:

$$S_{P-28-CALV} = \frac{\sin(7) * S_{P-27-P-28}}{\sin 2} = 4597.738m$$

3. Calculo del exceso esférico:

$$\varepsilon'' = \frac{S_{P-27-CALV} * S_{P-28-CALV} \sin 2 * [1 - e^2 \sin^2 \varphi_m]^2}{2 * a * [1 - e^2] * \sin 1''}$$

$$\varepsilon'' = 0.012''$$



4. Conversión de ángulos planos a esféricos:

Nro.	ANGULOS PLANOS			$\epsilon''/3$	ANGULO ESFERICO		
	°	'	''	''	°	'	''
2	12	51	06.792	+0.004	12	51	06.796
1+8	85	17	42.157	+0.004	85	17	42.161
7	81	51	11.051	+0.004	81	51	11.055

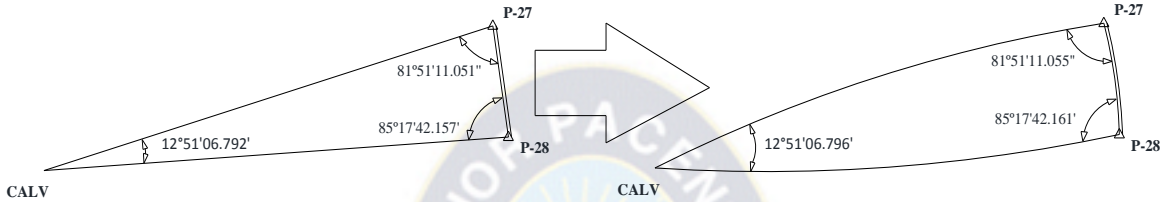


Figura 24 (ángulos esféricos del triángulo CALV P-28 P-27)

5. Calculo de los azimuts

Azimut P-28 - CALV

$$\alpha_{P-28-CALV} = \alpha_{P-28-P-27} - 4Es_f(1+8)$$

$$\alpha_{P-28-CALV} = 265^{\circ}54'43.374''$$

Azimut P-27 - CALV

$$\alpha_{P-27-CALV} = \alpha_{P-27-P-28} + 4Es_f(7)$$

$$\alpha_{P-27-CALV} = 253^{\circ}03'32.103''$$

6. Cálculo de las coordenadas de "CALV" en aplicación del método directo de la geodesia.

SISTEMA DE REFERENCIA WGS-84

$$P-27 \begin{cases} 16^{\circ}29'48.781''S \\ 68^{\circ}06'25.819''W \end{cases}$$

$$P-28 \begin{cases} 16^{\circ}30'21.994''S \\ 68^{\circ}06'20.494''W \end{cases}$$

$$\alpha_{P-27-CALV} = 253^{\circ}03'32.103''$$

$$\alpha_{P-28-CALV} = 265^{\circ}54'43.374''$$

$$S_{P-27-CALV} = 4628.961m$$

$$S_{P-28-CALV} = 4597.738m$$

$$CALV \begin{cases} 16^{\circ}30'32.643''S \\ 68^{\circ}08'55.138''W \end{cases}$$

$$CALV \begin{cases} 16^{\circ}30'32.643''S \\ 68^{\circ}08'55.138''W \end{cases}$$



Cálculo de latitud y longitud (φ, λ) del punto "AUTP" en aplicación al triangulo CALV- P-27- AUTP

1. Acorde a la nueva base geodésica P-27 - CALV, calculando la distancia geodésica y azimuts geodésicos, en aplicación al método inverso de la geodesia.

$$P - 27 \begin{cases} 16^{\circ}29'48.781''S \\ 68^{\circ}06'25.819''W \end{cases} \quad CALV \begin{cases} 16^{\circ}30'32.643''S \\ 68^{\circ}08'55.138''W \end{cases}$$

Distancia Geodesia:

$$S_{P-27-CALV} = 4628.962m$$

Azimuts geodésicos:

$$\alpha_{P-27-CALV} = 253^{\circ}03'34.550''$$

$$\alpha_{CALV-P-27} = 73^{\circ}04'16.966''$$

2. Cálculo de las distancias AUTP-CALV y P-27-AUTP por relaciones trigonométricas en el triángulo correspondiente.
 - Distancia AUTP- CALV:

$$S_{AUTP-CALV} = \frac{\sin(6) * S_{P-27-CALV}}{\sin[4 + 5]} = 1955.586m$$

- Distancia P-27 - CALV:

$$S_{P-27-AUTP} = \frac{\sin(3) * S_{P-27-CALV}}{\sin[4 + 5]} = 5967.034m$$

3. Cálculo del exceso esférico:

$$\varepsilon'' = \frac{S_{P-27-CALV} * S_{P-28-CALV} \sin 2 * [1 - e^2 \sin^2 \varphi_m]^2}{2 * a * [1 - e^2] * \sin 1''}$$

$$\varepsilon'' = 0.019''$$



4. Conversión de ángulos planos a esféricos:

Nro.	ANGULOS PLANOS			$\epsilon''/3$	ANGULO ESFERICO		
	°	'	''	''	°	'	''
3	124	52	55.957	+0.007	124	52	55.964
4+5	39	31	19.453	+0.006	39	31	19.459
6	15	35	44.590	+0.006	15	35	44.596

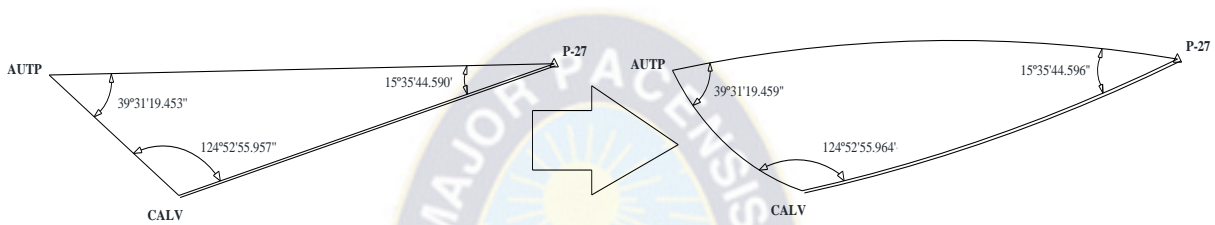


Figura 25 (ángulos esféricos del triángulo AOTP CALV P-27)

5. Cálculo de los azimuts

Azimut CALV-AOTP

$$\alpha_{CALV-AOTP} = \alpha_{CALV-P-27} - 4Es(3) + 360^\circ$$

$$\alpha_{CALV-AOTP} = 308^\circ 11' 21.009''$$

Azimut P-27-AOTP

$$\alpha_{P-27-AOTP} = \alpha_{P-27-CALV} + 4Es(6)$$

$$\alpha_{P-27-AOTP} = 268^\circ 39' 19.140''$$

6. Cálculo de las coordenadas de "AOTP" en aplicación del método directo de la geodesia.
 SISTEMA DE REFERENCIA WGS-84

$$P-27 \begin{cases} 16^\circ 29' 48.781'' S \\ 68^\circ 06' 25.819'' W \end{cases}$$

$$CALV \begin{cases} 16^\circ 30' 32.643'' S \\ 68^\circ 08' 55.138'' W \end{cases}$$

$$\alpha_{P-27-AOTP} = 268^\circ 39' 19.140''$$

$$\alpha_{CALV-AOTP} = 308^\circ 11' 21.009''$$

$$S_{P-27-AOTP} = 5967.034m$$

$$S_{CALV-AOTP} = 1955.586m$$

$$AOTP \begin{cases} 16^\circ 29' 53.309'' S \\ 68^\circ 09' 46.965'' W \end{cases}$$

$$AOTP \begin{cases} 16^\circ 29' 53.309'' S \\ 68^\circ 09' 46.965'' W \end{cases}$$



3.13.5. CALCULO DE ALTURAS “H” Y “h” DE LAS ESTACIONES “CALV” Y “AUTP”

➤ **Calculo de la altura de CALV desde el punto P-28**

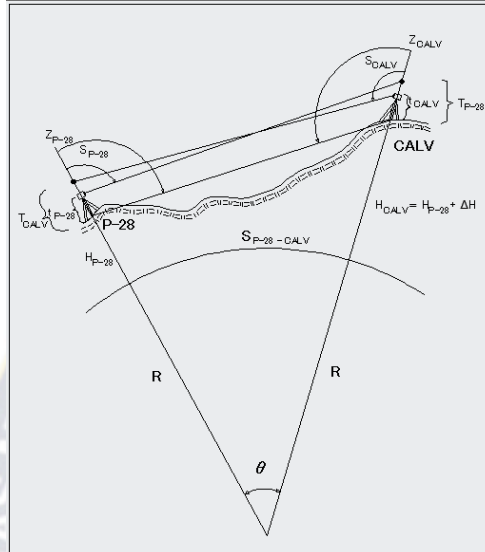


Figura 26 (Nivelación Trigonométrica Recíproca punto CALV y P-28)

DATOS:

$$\varphi_m = 16^{\circ}30'27.319'' \quad \alpha_{P-28-CALV} = 265^{\circ}54'31.702''$$

$$H_{P-28} = 3757.951 \text{ msnm} \quad h_{P-28} = 3806.106 \text{ m}$$

$$S_{P-28-CALV} = 4597.738 \text{ m}$$

$$S_{CALV} = 92^{\circ}09'36.500'' \quad S_{P-28} = 87^{\circ}52'54.750''$$

$$T_{CALV} = 1.600 \text{ m}$$

$$T_{P-28} = 1.600 \text{ m}$$

$$t_{CALV} = 1.588 \text{ m}$$

$$t_{P-28} = 1.235 \text{ m}$$



1. Reducción del Angulo de pendiente a la línea de unión.

$$Z_{CALV} = S_{CALV} + \Delta_{CALV}$$

$$Z_{P-28} = S_{P-28} + \Delta_{P-28}$$

Donde;

$$\Delta_{CALV} = \frac{T_{CALV} - t_{CALV}}{S_{CALV-P-28} \text{sen} 1''} = \frac{1.600 \text{ m} - 1.588 \text{ m}}{4597.738 \text{ m} \text{ sen} 1''} = 0^{\circ} 0' 0.538''$$

$$\Delta_{P-28} = \frac{T_{P-28} - t_{P-28}}{S_{CALV-P-28} \text{sen} 1''} = \frac{1.600 \text{ m} - 1.235 \text{ m}}{4597.738 \text{ m} \text{ sen} 1''} = 0^{\circ} 0' 16.375''$$

2. Una vez calculado la diferencia Δ_{CALV} y Δ_{P-28} sumamos al ángulo vertical.

$$Z_{CALV} = S_{CALV} + \Delta_{CALV}$$

$$Z_{CALV} = 92^{\circ} 09' 36.500'' + 0^{\circ} 0' 0.538'' = 92^{\circ} 9' 47.038''$$

$$Z_{P-28} = S_{P-28} + \Delta_{P-28}$$

$$Z_{P-28} = 87^{\circ} 52' 54.75'' + 0^{\circ} 0' 16.375'' = 87^{\circ} 53' 11.120''$$

3. Calculo del ángulo " θ "

$$\theta = \frac{S_{CALV-P-28}}{R} \times \frac{180^{\circ}}{\pi}$$

$$\theta = \frac{4597.738 \text{ m}}{6370000 \text{ m}} \times \frac{180^{\circ}}{\pi} = 0^{\circ} 02' 28.878''$$

4. Calculo del radio acimutal (R_{α})

$$R_{\alpha} = \frac{MN}{M \cos^2 \alpha_{P-28-CALV} + N \text{sen}^2 \alpha_{P-28-CALV}} = 6379660.477 \text{ m}$$



Dónde:

M = radio de meridiano y N = radio de la 1ra vertical está en función de la latitud media (φ_m);

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi_m)^{3/2}} \quad N = \frac{a}{(1 - e^2 \text{sen}^2 \varphi_m)^{1/2}}$$

5. Cálculo del desnivel $\Delta H_{P-28-CALV}$ y $\Delta h_{P-28-CALV}$

$$\Delta H_{P-28-CALV} = 2(R_\alpha + H_{P-28}) \text{sen} \frac{\theta}{2} \times \frac{\text{sen} \frac{Z_{CALV} - Z_{P-28}}{2}}{\cos \left[\frac{\theta}{2} + \frac{Z_{CALV} - Z_{P-28}}{2} \right]}$$

$$\Delta H_{P-28-CALV} = 171.939 \text{ m}$$

$$\Delta h_{P-28-CALV} = 2(R_\alpha + h_{P-28}) \text{sen} \frac{\theta}{2} \times \frac{\text{sen} \frac{Z_{CALV} - Z_{P-28}}{2}}{\cos \left[\frac{\theta}{2} + \frac{Z_{CALV} - Z_{P-28}}{2} \right]}$$

$$\Delta h_{P-28-CALV} = 171.941$$

6. Cálculo de la altura (H_{CALV}) y (h_{CALV})

$$H_{CALV} = H_{P-28} + \Delta H_{P-28-CALV}$$

$$H_{CALV} = 3757.951 + 171.939 = 3929.890 \text{ msnm}$$

$$h_{CALV} = h_{P-28} + \Delta h_{P-28-CALV}$$

$$h_{CALV} = 3806.106 + 171.941 = 3978.047 \text{ m}$$



➤ **Calculo de la altura de CALV desde el punto P-27**

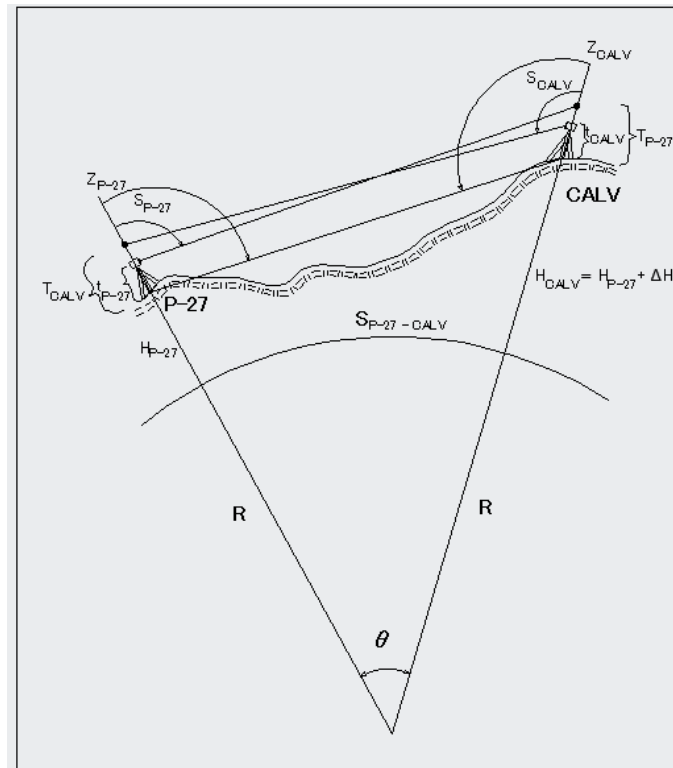


Figura 27 (Nivelación Trigonométrica Reciproca punto CALV y P-27)

DATOS:

$$\varphi_m = 16^{\circ}30'10.712'' \quad \alpha_{P-27-CALV} = 253^{\circ}03'32.103''$$

$$H_{P-27} = 3828.132 \text{ msnm} \quad h_{P-27} = 3876.274 \text{ m}$$

$$S_{P-27-CALV} = 4628.961 \text{ m}$$

$$S_{CALV} = 91^{\circ}16'16.000'' \quad S_{P-27} = 88^{\circ}45'42.500''$$

$$T_{CALV} = 1.600 \text{ m} \quad T_{P-27} = 1.600 \text{ m}$$

$$t_{CALV} = 1.588 \text{ m} \quad t_{P-27} = 1.297 \text{ m}$$



1. Reducción del Angulo de pendiente a la línea de unión.

$$Z_{CALV} = S_{CALV} + \Delta_{CALV}$$

$$Z_{P-27} = S_{P-27} + \Delta_{P-27}$$

Donde;

$$\Delta_{CALV} = \frac{T_{CALV} - t_{CALV}}{S_{CALV-P-27} \text{sen} 1''} = 0^{\circ} 0' 0.535''$$

$$\Delta_{P-27} = \frac{T_{P-27} - t_{P-27}}{S_{CALV-P-27} \text{sen} 1''} = 0^{\circ} 0' 13.502''$$

2. Una vez calculado la diferencia Δ_{CALV} sumamos al ángulo vertical.

$$Z_{CALV} = S_{CALV} + \Delta_{CALV} = 91^{\circ} 16' 16.535''$$

$$Z_{P-27} = S_{P-27} + \Delta_{P-27} = 88^{\circ} 45' 56.002''$$

3. Calculo del ángulo "θ"

$$\theta = \frac{S_{CALV-P-27}}{R} \times \frac{180^{\circ}}{\pi} = 0^{\circ} 02' 29.889''$$

4. Calculo del radio acimutal (R_{α})

$$R_{\alpha} = \frac{MN}{M \cos^2 \alpha_{P-27-CALV} + N \text{sen}^2 \alpha_{P-27-CALV}} = 6376506.001 \text{ m}$$

5. Calculo del desnivel $\Delta H_{P-27-CALV}$ y $\Delta h_{P-27-CALV}$

$$\Delta H_{P-27-CALV} = 2(R_{\alpha} + H_{P-27}) \text{sen} \frac{\theta}{2} \times \frac{\text{sen} \frac{Z_{CALV} - Z_{P-27}}{2}}{\cos \left[\frac{\theta}{2} + \frac{Z_{CALV} - Z_{P-27}}{2} \right]}$$

$$\Delta H_{P-27-CALV} = 101.379 \text{ m}$$



$$\Delta h_{P-27-CALV} = 2(R_{\alpha} + h_{P-27}) \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \times \frac{\operatorname{sen} \frac{Z_{CALV} - Z_{P-27}}{2}}{\cos \left[\frac{\theta}{2} + \frac{Z_{CALV} - Z_{P-27}}{2} \right]}$$

$$\Delta h_{P-27-CALV} = 101.380 \text{ m}$$

6. Cálculo de la altura (H_{CALV}) y (h_{CALV})

$$H_{CALV} = 3828.132 + \Delta H_{P-27-CALV} = 3929.511 \text{ msnm}$$

$$h_{CALV} = 3876.274 + \Delta h_{P-27-CALV} = 3977.654 \text{ m}$$

MEDIA ARITMÉTICA PONDERADA

$$\bar{H} = \frac{P_1 H_1 + P_2 H_2}{P_1 + P_2} \quad \text{Donde: } P_1 = \frac{1}{S_1^2}; P_2 = \frac{1}{S_2^2}$$

DATOS:

$$(1) H_{CALV} = 3929.890 \text{ msnm} \quad h_{CALV} = 3978.047 \text{ m}$$

$$(2) H_{CALV} = 3929.511 \text{ msnm} \quad h_{CALV} = 3977.654 \text{ m}$$

PROMEDIO $\bar{H}_{CALV} = 3929.702 \text{ msnm}$ $\bar{h}_{CALV} = 3977.852 \text{ m}$



➤ **Calculo de la altura de AUTP desde el punto CALV**

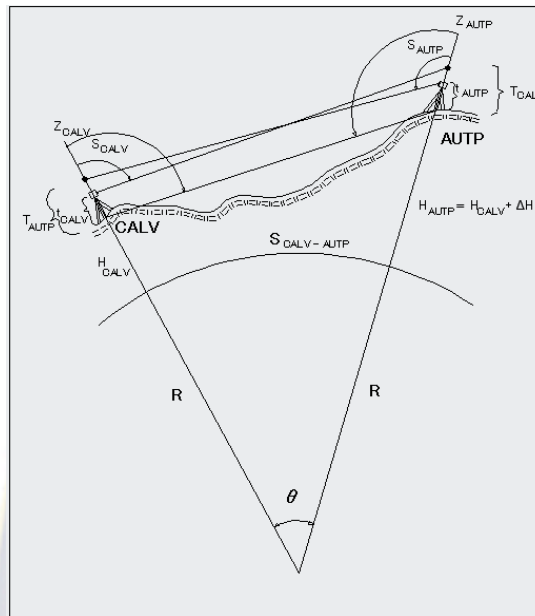


Figura 28 (Nivelación Trigonométrica Reciproca punto AUTP y CALV)

DATOS:

$$\varphi_m = 16^{\circ}30'13.076'' \quad \alpha_{CALV-AUTP} = 308^{\circ}11'21.009''$$

$$H_{CALV} = 3929.701 \text{ msnm} \quad h_{CALV} = 3977.851 \text{ m}$$

$$S_{CALV-AUTP} = 1955.586 \text{ m}$$

$$S_{CALV} = 85^{\circ}43'08.750'' \quad S_{AUTP} = 94^{\circ}18'03.500''$$

$$T_{CALV} = 1.600 \text{ m} \quad T_{AUTP} = 1.600 \text{ m}$$

$$t_{CALV} = 1.588 \text{ m} \quad t_{AUTP} = 1.546 \text{ m}$$



1. Reducción del Angulo de pendiente a la línea de unión.

$$Z_{AUTP} = S_{AUTP} + \Delta_{AUTP}$$

$$Z_{CALV} = S_{CALV} + \Delta_{CALV}$$

Donde;

$$\Delta_{AUTP} = \frac{T_{AUTP} - t_{AUTP}}{S_{CALV-AUTP} \text{sen} 1''} = 0^{\circ}0'5.696''$$

$$\Delta_{CALV} = \frac{T_{CALV} - t_{CALV}}{S_{CALV-AUTP} \text{sen} 1''} = 0^{\circ}0'01.266''$$

2. Una vez calculado la diferencia Δ_{CALV} sumamos al ángulo vertical.

$$Z_{AUTP} = S_{AUTP} + \Delta_{AUTP} = 94^{\circ}18'09.196''$$

$$Z_{CALV} = S_{CALV} + \Delta_{CALV} = 85^{\circ}43'10.016''$$

3. Calculo del ángulo " θ "

$$\theta = \frac{S_{CALV-AUTP}}{R} \times \frac{180^{\circ}}{\pi} = 0^{\circ}01'03.323''$$

4. Calculo del radio acimutal (R_{α})

$$R_{\alpha} = \frac{MN}{M \cos^2 \alpha_{CALV-AUTP} + N \text{sen}^2 \alpha_{CALV-AUTP}} = 6364787.140 \text{ m}$$

5. Calculo del desnivel $\Delta H_{CALV-AUTP}$ y $\Delta h_{CALV-AUTP}$

$$\Delta H_{CALV-AUTP} = 2(R_{\alpha} + H_{CALV}) \text{sen} \frac{\theta}{2} \times \frac{\text{sen} \frac{Z_{AUTP} - Z_{CALV}}{2}}{\cos \left[\frac{\theta}{2} + \frac{Z_{AUTP} - Z_{CALV}}{2} \right]}$$

$$\Delta H_{CALV-AUTP} = 147.284 \text{ m}$$



$$\Delta h_{CALV-AUTP} = 2(R_{\alpha} + h_{CALV}) \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \times \frac{\operatorname{sen} \frac{Z_{AUTP}-Z_{CALV}}{2}}{\cos \left[\frac{\theta}{2} + \frac{Z_{AUTP}-Z_{CALV}}{2} \right]}$$

$$\Delta h_{CALV-AUTP} = 147.285 \text{ m}$$

6. Cálculo de la altura (H_{AUTP}) y (h_{AUTP})

$$H_{AUTP} = 3929.701 + \Delta H_{CALV-AUTP} = 4076.985 \text{ msnm}$$

$$h_{AUTP} = 3977.851 + \Delta h_{CALV-AUTP} = 4125.136 \text{ m}$$

➤ **Cálculo de la altura de AUTP desde el punto P-27**

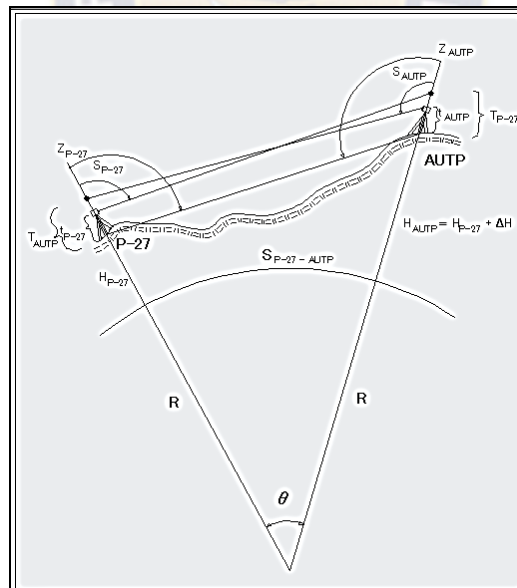


Figura 29 (Nivelación Trigonométrica Recíproca punto AUTP y P-27)



DATOS:

$$\varphi_m = 16^{\circ}30'13.076'' \quad \alpha_{P-27-AUTP} = 268^{\circ}39'19.140''$$

$$H_{P-27} = 3828.132 \text{ msnm} \quad h_{P-27} = 3876.274 \text{ m}$$

$$S_{P-27-AUTP} = 5967.034 \text{ m}$$

$$S_{P-27} = 87^{\circ}38'43.000'' \quad S_{AUTP} = 92^{\circ}23'59.500''$$

$$T_{P-27} = 1.600 \text{ m} \quad T_{AUTP} = 1.600 \text{ m}$$

$$t_{P-27} = 1.297 \text{ m} \quad t_{AUTP} = 1.546 \text{ m}$$

1. Reducción del Angulo de pendiente a la línea de unión.

$$Z_{AUTP} = S_{AUTP} + \Delta_{AUTP}$$

$$Z_{P-27} = S_{P-27} + \Delta_{P-27}$$

Donde;

$$\Delta_{AUTP} = \frac{T_{AUTP} - t_{AUTP}}{S_{P-27-AUTP} \text{sen} 1''} = 0^{\circ}0'01.867''$$

$$\Delta_{P-27} = \frac{T_{P-27} - t_{P-27}}{S_{P-27-AUTP} \text{sen} 1''} = 0^{\circ}0'10.474''$$

2. Una vez calculado la diferencia Δ_{CALV} sumamos al ángulo vertical.

$$Z_{AUTP} = S_{AUTP} + \Delta_{AUTP} = 92^{\circ}24'01.367''$$

$$Z_{P-27} = S_{P-27} + \Delta_{P-27} = 87^{\circ}38'53.474''$$

3. Calculo del ángulo "θ"

$$\theta = \frac{S_{P-27-AUTP}}{R} \times \frac{180^{\circ}}{\pi} = 0^{\circ}03'13.217''$$



4. Calculo del radio acimutal (R_α)

$$R_\alpha = \frac{MN}{M \cos^2 \alpha_{P-27-AUTP} + N \sin^2 \alpha_{P-27-AUTP}} = 6379837.527 \text{ m}$$

5. Calculo del desnivel $\Delta H_{P-27-AUTP}$ y $\Delta h_{P-27-AUTP}$

$$\Delta H_{P-27-AUTP} = 2(R_\alpha + H_{P-27}) \sin \frac{\theta}{2} \times \frac{\sin \frac{Z_{AUTP} - Z_{P-27}}{2}}{\cos \left[\frac{\theta}{2} + \frac{Z_{AUTP} - Z_{P-27}}{2} \right]}$$

$$\Delta H_{P-27-AUTP} = 248.209 \text{ m}$$

$$\Delta h_{P-27-AUTP} = 2(R_\alpha + h_{P-27}) \sin \frac{\theta}{2} \times \frac{\sin \frac{Z_{AUTP} - Z_{P-27}}{2}}{\cos \left[\frac{\theta}{2} + \frac{Z_{AUTP} - Z_{P-27}}{2} \right]}$$

$$\Delta h_{P-27-AUTP} = 248.211 \text{ m}$$

6. Calculo de la altura (H_{AUTP}) y (h_{AUTP})

$$H_{AUTP} = 3828.132 + \Delta H_{P-27-AUTP} = 4076.341 \text{ msnm}$$

$$h_{AUTP} = 3876.274 + \Delta h_{P-27-AUTP} = 4124.485 \text{ m}$$

MEDIA ARITMÉTICA PONDERADA

$$\bar{H} = \frac{P_1 H_1 + P_2 H_2}{P_1 + P_2} \quad \text{Donde: } P_1 = \frac{1}{S_1^2}; P_2 = \frac{1}{S_2^2}$$

DATOS:

$$(1) H_{AUTP} = 4076.985 \text{ msnm} \quad h_{AUTP} = 4125.136 \text{ m}$$

$$(2) H_{AUTP} = 4076.341 \text{ msnm} \quad h_{AUTP} = 4124.485 \text{ m}$$

$$\text{PROMEDIO} \quad \bar{H}_{AUTP} = 4076.923 \text{ msnm} \quad \bar{h}_{AUTP} = 4125.073 \text{ m}$$



3.14. RESULTADOS

Realizado el trabajo de campo y en gabinete se obtuvo los siguientes resultados que se muestran en las siguientes tablas.

COORDENADAS GEODESICAS OBTENIDAS EN GABINETE SISTEMA WGS - 84						
PTO.	COORDENADAS					
	LATITUD SUR			LONGITUD OESTE		
	°	'	''	°	'	''
CALV	16	30	32.643	68	08	55.138
AUTP	16	29	53.309	68	09	46.965

TABLA 7

PTO.	ALTURAS OBTENIDAS MEDIANTE LA NIVELACION TRIGONOMETRICA RECIPROCA	
	ALTURA (s.n.m.m.)	ALTURA ELIPSOIDAL(m)
CALV	3929.702	3977.852
AUTP	4076.923	4125.073

TABLA 8

COMPARACION DE DATOS PUNTO "CALV"

PTO.	COORDENADAS OBTENIDAS MENDIANTE EL AJUSTE DE MINIMOS CUADRADOS					
	LATITUD SUR			LONGITUD OESTE		
	°	'	''	°	'	''
CALV	16	30	32.643	68	8	55.138
AUTP	16	29	53.309	68	9	46.965

TABLA 9

PTO.	COORDENADAS DE LA RED GEODESICA DE LA CIUDAD DE LA PAZ						DIFERENCIA EN SEGUNDOS (")	
	LATITUD SUR			LONGITUD OESTE			LATITUD SUR	LONGITU D OESTE
	°	'	''	°	'	''		
CALV	16	30	32.652	68	8	55.140	0.009"	0.002"
AUTP	PUNTO DENSIFICADO							

TABLA 10



PUNTO "CALV"	Red Geodésica La Paz	Nivelación Trigonométrica	DIFERENCIA ALTURA (m)
"H" snmm	3929.102	3929.702	0.600
"h" ELIPSOIDAL (m)	3977.447	3977.852	0.405

TABLA 11





CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Se diseñó una triangulación adecuada para el trabajo, tomando en cuenta las características que requiere el diseño de un cuadrilátero para este tipo de trabajo.

Se consiguió las coordenadas y alturas de los puntos CALV y AOTP, más que todo dar coordenadas al punto de la autopista la cual servirá para la práctica de nuevas generaciones.

Se logró calcular las alturas a nivel medio del mar y la altura elipsoidal de los puntos CALV y AOTP empleando el método de nivelación trigonométrica recíproca.

Se comparó las coordenadas del punto CALV obtenidas mediante método de triangulación con las coordenadas de la red geodésica de La Paz como se muestra en las tablas de resultados donde se pudo ver que el error máximo con que se llegó es de $0.009''$ en latitud y en longitud $0.002''$.

Se comparó altura sobre el nivel medio del mar y la altura elipsoidal del punto CALV, obtenida mediante la nivelación trigonométrica recíproca con las alturas de la red geodésica de La Paz donde se pudo observar que el error máximo es de 0.600 metros sobre el nivel medio del mar, y 0.405 metros en altura elipsoidal.

Por lo tanto viendo los resultados del trabajo se llega a la conclusión, que la precisión de la triangulación es favorable, en cuanto a la nivelación trigonométrica recíproca no fue muy favorable en el presente trabajo.

4.2. RECOMENDACIONES

La primera recomendación es que para este tipo de trabajo se debe tener cuidado en seleccionar los vértices del cuadrilátero, es necesario que estos puntos tengan una excelente visibilidad entre ellos y lo más importante que cumpla con las condiciones geométricas de triangulación esto en distancia y ángulo.



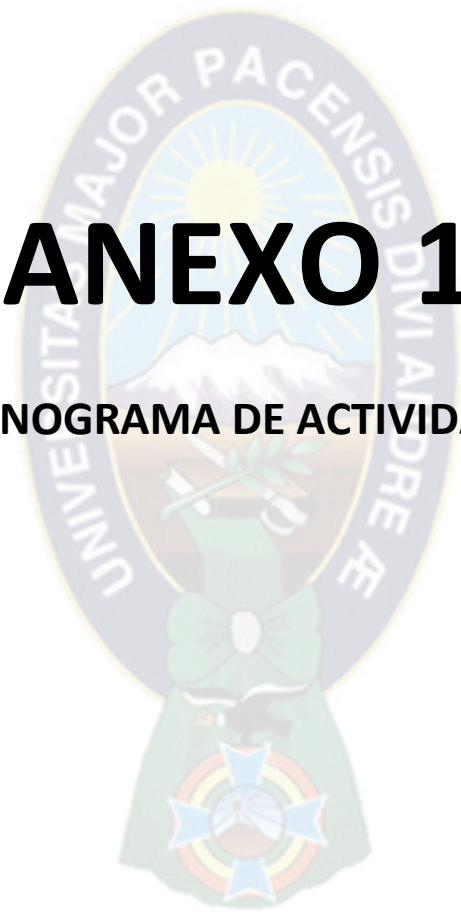
BIBLIOGRAFIA

- IGM Bolivia 1960, APUNTES DE GEODESIA.
- Fernando Martin Asin, Madrid 1983 GEODESIA Y CARTOGRAFIA MATEMATICA.
- Philip Kissan Madrid 1967, TOPOGRAFIA PARA INGINIERIA.
- Lic. Reynaldo Sirpa, APUNTES DE GEODESIA GEOMETRICA I Y ESTADISTICA.
- Lic. Daniel Flores, APUNTES DE GEODESIA GEOMETRICA II. APUNTES DE GEODESIA SATELITAL.



ANEXO 1

(CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES)



CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	NOVIEMBRE 2012																				DIAS
	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V		
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
RECOPILACION DE INFORMACION																				7	
RECONOCIMIENTO DE CAMPO																				6	
TRABAJO DE CAMPO																				1	
TRABAJO DE GABINETE																				5	



ANEXO 2

(MONOGRAGRAFIA DE PUNTOS DEL CUADRILATERO)

DESCRIPCION DEL PUNTO "AUTP"

DATOS GENERALES

Nombre del Punto: AUTP

Departamento: La Paz

Provincia: Murillo

Ciudad: La Paz

Zona: CEJA EL ALTO

COORDENADAS DEL PUNTO

Latitud: 16° 29' 53.309" S

Longitud: 68° 09' 46.965 W

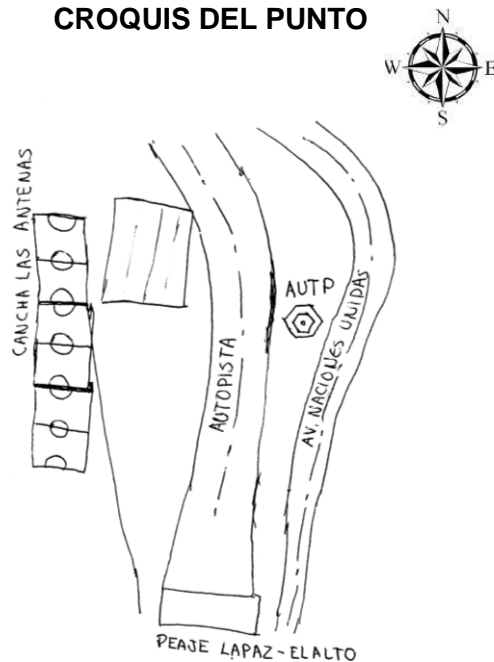
Altura: 4076.923 msnm

Altura Elipsoidal: 4125.073 m

MONOGRAFIA DEL PUNTO

El punto AUTP se encuentra en la Ceja de El Alto a unos 15 metros del mirador de la Autopista La Paz – El Alto, para llegar a este punto se debe partir del Peaje De la ceja de El Alto, la distancia del trayecto esta a aproximadamente unos 300 metros aminando por la autopista en dirección de bajada.

CROQUIS DEL PUNTO



CROQUIS DEL PUNTO



FOTOGRAFIA DEL PUNTO



CARACTERISTICAS DE LA MARCA: DISCO DE ACERO

INSCRIPCION EN EL DISCO: NINGUNA

FOTOGRAFIA PANORAMICA



DESCRIPCION DEL PUNTO "CALV"

DATOS GENERALES

Nombre del punto: CALV
Departamento: La Paz
Provincia: Murillo
Ciudad: Nuestra Señora de La Paz
Zona: Villa Nueva Potosí

COORDENADAS DEL PUNTO

Latitud: 16° 30' 32.652" S
Longitud: 68° 08' 55.140" W
Altura: 3929.102 m s n m
Altura Elipsoidal: 3977.447 m

MONOGRAFIA DEL PUNTO

El punto Geodésico CALV se encuentra en el mirador de la zona Villa Nueva Potosí, para llegar al punto se debe tomar el micro "Z" que pasa por la plaza faro murillo de la Ceja de El Alto, hasta intersección con la avenida final Alcoreza, continuar por esta avenida hasta llegar a un desvío a mano derecha a la calle Tocopilla, continuar por la calle Tocopilla hasta llegar al mirador, la estación se encuentra a una distancia aproximada de 2 metros al este de la cruz, y esta materializado por un pilote y no con disco de bronce, que se encuentra empotrado sobre el piso de cemento.

CROQUIS DEL PUNTO



CROQUIS DEL PUNTO



FOTOGRAFIA DEL PUNTO



CARACTERISTICAS DE LA MARCA: PILOTE QUE SOBRESALE

INSCRIPCION EN EL DISCO: NINGUNA

FOTOGRAFIA PANORAMICA



DESCRIPCIÓN DEL PUNTO “P-28”

DATOS GENERALES

Nombre del Punto: P-28

Departamento: La Paz

Provincia: Murillo

Ciudad: La Paz

Zona: Cruz de Villa Armonia

COORDENADAS DEL PUNTO

Latitud: 16° 30' 21.994" S

Longitud: 68° 06' 20.494" W

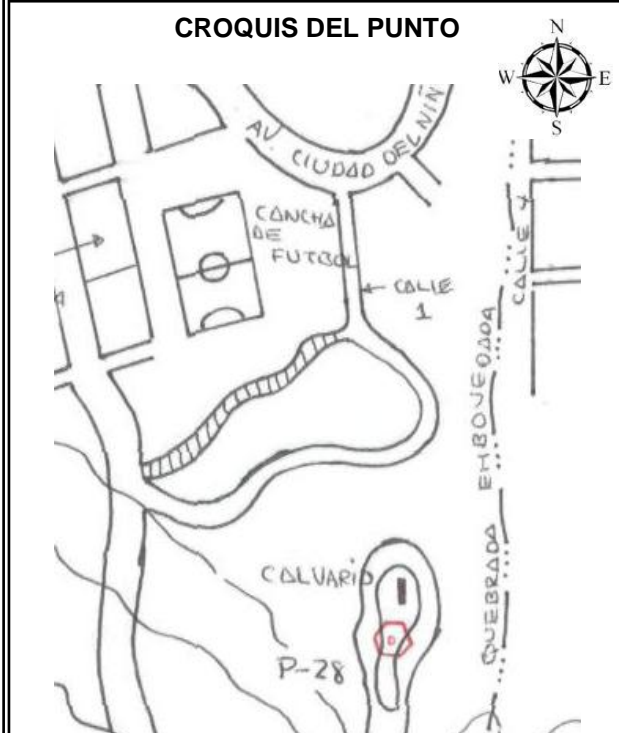
Altura: 3757.951 msnm

Altura Elipsoidal: 3806.106 m

MONOGRAFIA DEL PUNTO

El punto P-28 se encuentra en la zona Villa Armonía, para ocupar este punto se debe llegar primero a la zona de Pampahasi Bajo que se encuentra al este de la ciudad de La Paz, se debe tomar una movilidad que diga Samapa que se encuentra en Pampahasi, se encuentra una distancia aproximada de 1 km se debe quedar en la entrada de Panpahasi y seguir a la derecha por la calle Itenez, seguir la misma hasta encontrar la cruz de Villa Armonía. La estación se encuentra a una distancia aproximada de 8 metros hacia el sur de la cruz y esta materializado por concreto y lleva un disco de bronce de aproximadamente 6 cm de diámetro.

CROQUIS DEL PUNTO



CROQUIS DEL PUNTO



FOTOGRAFIA DEL PUNTO



CARACTERISTICAS DE LA MARCA: DISCO DE BRONCE DE 6 cm DE DIAMETRO EMPOTRADO EN CONCRETO

INSCRIPCION EN EL DISCO: IGM P-28 1977

FOTOGRAFIA PANORAMICA



DESCRIPCIÓN DEL PUNTO "P - 27"

DATOS GENERALES

Nombre del Punto: P - 27

Departamento: La Paz

Provincia: Murillo

Ciudad: La Paz

Zona: Alto Pampahasi

COORDENADAS DEL PUNTO

Latitud: 16° 29' 48.781" S

Longitud: 68° 06' 25.819" W

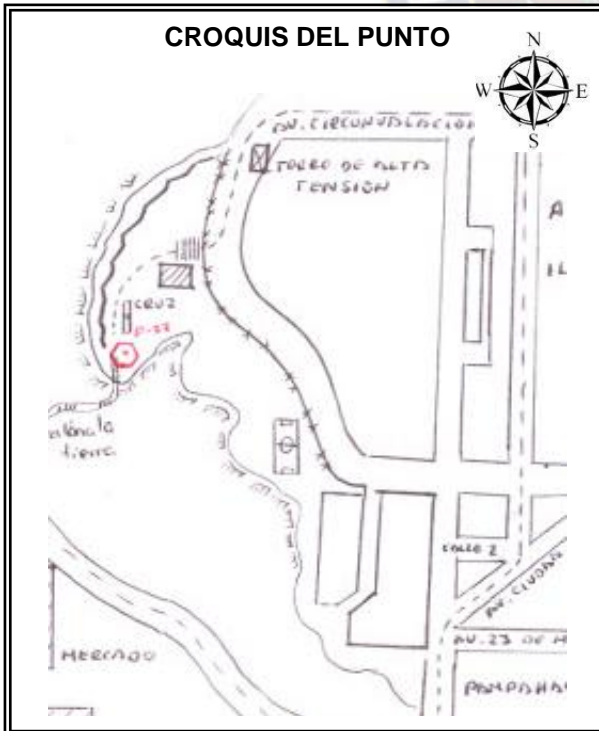
Altura: 3828.132 msnm

Altura Elipsoidal: 3876.274 m

MONOGRAFIA DEL PUNTO

Para llegar al punto se debe partir desde el cruce de Villa San Antonio, Seguir por la avenida Octavio Campero que conduce a la zona de Pampahasi, el cual continua por la avenida Ciudad del Niño hasta llegar a la planta de de Aguas del Illimani, luego girar a la izquierda por la avenida circunvalación, donde se encuentra un poste de alta tensión sobre la avenida, y el parque mirador que en su interior esta la cruz. La estación se encuentra al este de la cruz a una distancia aproximada de 2 metros esta materializado por un monumento de concreto y lleva empotrado un disco de bronce de 5 cm de diámetro.

CROQUIS DEL PUNTO



CROQUIS DEL PUNTO



FOTOGRAFIA DEL PUNTO



CARACTERISTICAS DE LA MARCA: DISCO DE BRONCE ENPOTRADO
INSCRIPCION EN EL DISCO: GEODESICO INTER AMERICANO P-27 2005

FOTOGRAFIA PANORAMICA





ANEXO 3

(PLANILLA DE SERIES ANGULOS HORIZONTALES)

PLANILLA DE SERIES ANGULOS INTERNOS

ESTACION: AUDP (AUTOPISTA)

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

EST.	NUM. SERIE	PTO. OBS.	LECTURA						LECTURA REDUCIDA						PROM. SERIE			
			DIRECTA			INVERSA			DIRECTA			INVERSA						
			°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"	°
AUDP	I	P-27	0	0	40	180	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-28	9	32	58	189	32	34	9	32	18	9	31	53	9	32	5.5	
		CALV	39	32	3	219	31	43	39	31	23	39	31	2	39	31	12.5	
	II	P-27	45	0	30	225	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		P-28	54	32	45	234	32	30	9	32	15	9	31	51	9	32	3	
		CALV	84	31	47	264	31	36	39	31	17	39	30	57	39	31	7	
	III	P-27	90	0	10	270	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		P-28	99	32	26	279	32	9	9	32	16	9	31	52	9	32	4	
		CALV	129	31	29	309	31	16	39	31	19	39	30	59	39	31	9	
	IV	P-27	135	0	15	315	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		P-28	144	32	38	324	32	19	9	32	23	9	31	59	9	32	11	
		CALV	174	31	48	354	31	33	39	31	33	39	31	13	39	31	23	
	V	P-27	180	0	10	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		P-28	189	32	29	9	31	59	9	32	19	9	31	55	9	32	7	
		CALV	219	31	35	39	31	9	39	31	25	39	31	5	39	31	15	
	VI	P-27	224	0	40	44	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		P-28	233	33	0	53	32	27	9	32	20	9	31	56	9	32	8	
		CALV	263	32	7	83	31	38	39	31	27	39	31	7	39	31	17	
	VII	P-27	269	0	45	89	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		P-28	278	33	0	98	32	43	9	32	15	9	31	51	9	32	3	
		CALV	308	32	2	128	31	49	39	31	17	39	30	57	39	31	7	
	VIII	P-27	315	0	15	135	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		P-28	324	32	36	144	32	4	9	32	21	9	31	57	9	32	9	
		CALV	354	31	44	174	31	16	39	31	29	39	31	9	39	31	19	

PLANILLA DE SERIES ANGULOS EXTERNOS

ESTACION: AUDP (AUTOPISTA)

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

EST.	NUM. SERIE	PTO. OBS.	LECTURA						LECTURA REDUCIDA						PROM. SERIE				
			DIRECTA			INVERSA			DIRECTA			INVERSA							
			o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'
AUDP	I	CALV	0	0	40	180	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	320	29	40	140	29	47	320	29	0	320	29	7	320	29	3.5		
		P-28	330	1	29	150	1	32	330	0	49	330	0	52	330	0	50.5		
	II	CALV	45	0	30	225	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	5	29	26	185	29	32	320	28	56	320	29	3	330	28	59.5		
		P-28	15	1	17	195	1	12	330	0	47	330	0	30	330	0	38.5		
	III	CALV	90	0	10	270	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	50	29	8	230	29	16	320	28	58	320	29	5	320	29	1.5		
		P-28	60	0	58	240	1	2	330	0	48	330	0	51	330	0	49.5		
	IV	CALV	135	0	15	315	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	95	29	1	275	29	8	320	28	46	320	28	53	320	28	49.5		
		P-28	105	0	57	285	1	0	330	0	42	330	0	45	330	0	43.5		
	V	CALV	180	0	10	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	140	29	12	320	29	21	320	29	2	320	29	9	320	29	5.5		
		P-28	150	1	0	330	1	5	330	0	50	330	0	53	330	0	51.5		
	VI	CALV	224	0	40	44	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	184	29	34	4	29	38	320	28	44	320	29	1	320	28	52.5		
		P-28	194	1	26	14	1	26	330	0	46	330	0	49	330	0	47.5		
	VII	CALV	269	0	45	89	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	229	29	37	49	29	43	320	28	52	320	28	59	320	28	55.5		
		P-28	239	1	30	59	1	32	330	0	45	330	0	48	330	0	46.5		
	VIII	CALV	315	0	15	135	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	275	29	5	95	29	10	320	28	50	320	28	57	320	28	53.7		
		P-28	285	0	59	105	1	0	330	0	44	330	0	47	330	0	5.5		

PLANILLA DE SERIES ANGULOS INTERNOS

ESTACION: CALV (VILLA NUEVA POTOSI)

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

EST.	NUM. SERIE	PTO. OBS.	LECTURA						LECTURA REDUCIDA						PROM. SERIE				
			DIRECTA			INVERSA			DIRECTA			INVERSA							
			°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'
CALV	I	AUTP	0	0	40	179	59	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	124	53	27	304	52	54	124	52	47	124	53	4	124	52	55.5		
		P-28	137	44	15	317	44	1	137	43	35	137	44	11	137	43	53		
	II	AUTP	45	0	30	225	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	169	53	14	349	53	25	124	52	44	124	53	1	124	52	52.5		
		P-28	182	43	59	2	44	49	137	43	29	137	44	25	137	43	57		
	III	AUTP	90	0	10	270	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	214	52	56	34	53	10	124	52	46	124	53	3	124	52	54.5		
		P-28	227	43	44	47	44	18	137	43	34	137	44	11	137	43	52.5		
	IV	AUTP	135	0	15	315	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	259	53	8	79	53	19	124	52	53	124	53	10	124	53	1.5		
		P-28	272	44	2	92	44	32	137	43	52	124	44	23	137	44	7.5		
	V	AUTP	180	0	10	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	304	52	55	124	53	11	124	52	45	124	53	2	124	52	53.5		
		P-28	317	43	41	137	44	16	137	43	31	137	44	7	137	43	48.5		
	VI	AUTP	224	0	40	44	0	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	348	53	19	168	53	39	124	52	39	124	52	56	124	52	47.5		
		P-28	1	43	59	181	44	38	137	43	19	137	43	55	137	43	37		
	VII	AUTP	269	0	45	89	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	33	53	40	213	53	58	124	52	55	124	53	12	124	53	3.5		
		P-28	46	44	36	226	45	13	137	43	51	137	44	27	137	44	9		
	VIII	AUTP	315	0	15	135	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-27	79	53	7	259	53	21	124	52	52	124	53	9	124	53	0.5		
		P-28	92	44	0	272	44	28	137	43	45	137	44	16	137	44	0.5		

PLANILLA DE SERIES ANGULOS EXTERNOS

ESTACION: CALV (VILLA NUEVA POTOSI)

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

EST.	NUM. SERIE	PTO. OBS.	LECTURA						LECTURA REDUCIDA						PROM. SERIE				
			DIRECTA			INVERSA			DIRECTA			INVERSA							
			o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'
CALV	I	P-28	0	0	40	180	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	222	17	47	42	16	41	222	17	7	222	15	56	222	16	31.5		
		P-27	347	9	59	167	9	51	347	9	19	347	9	6	347	9	12.5		
	II	P-28	45	0	30	225	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	267	17	29	87	16	12	222	16	59	222	15	48	222	16	23.5		
		P-27	32	9	45	212	9	26	347	9	15	347	9	2	347	9	8.5		
	III	P-28	90	0	10	270	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	312	17	5	132	15	53	222	16	55	222	15	44	222	16	19.5		
		P-27	17	9	23	257	9	9	347	9	13	347	9	0	347	9	6.5		
	IV	P-28	135	0	15	315	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	357	17	6	177	15	51	222	16	51	222	15	40	222	16	15.5		
		P-27	122	9	26	302	9	9	347	9	11	347	8	58	347	9	4.5		
	V	P-28	180	0	10	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	42	17	11	222	15	57	222	17	1	222	15	7	222	16	4		
		P-27	167	9	26	347	9	10	347	9	16	347	9	3	347	9	9.5		
	VI	P-28	224	0	40	44	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	86	17	43	266	16	30	222	17	3	222	15	52	222	16	27.5		
		P-27	211	9	57	31	9	42	347	9	17	347	9	4	347	9	10.5		
	VII	P-28	269	0	45	89	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	131	17	32	311	16	16	222	16	47	222	15	36	222	16	11.5		
		P-27	256	9	54	76	9	36	347	9	9	347	8	46	347	8	57.5		
	VIII	P-28	315	0	15	135	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	177	17	24	357	16	10	222	17	9	222	15	58	222	16	33.5		
		P-27	302	9	35	10	7	3	347	9	20	347	6	51	347	8	5.5		

PLANILLA DE SERIES ANGULOS INTERNOS

ESTACION: P-28 (CRUZ DE VILLA ARMONIA)

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

EST.	NUM. SERIE	PTO. OBS.	LECTURA						LECTURA REDUCIDA						PROM. SERIE			
			DIRECTA			INVERSA			DIRECTA			INVERSA			o	'	"	
			o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"				
P-28	I	CALV	0	0	40	180	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	12	17	18	192	17	13	12	16	38	12	16	28	12	16	33	
		P-27	85	18	36	265	18	32	85	17	56	85	17	47	85	17	51.5	
	II	CALV	45	0	30	225	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	57	17	11	137	16	59	12	16	41	12	16	31	12	16	36	
		P-27	130	18	33	310	18	21	85	18	3	85	17	53	85	17	58	
	III	CALV	90	0	10	270	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	102	16	50	252	16	40	12	16	40	12	16	29	12	16	34.5	
		P-27	175	18	9	355	18	0	85	17	59	85	17	49	85	17	54	
	IV	CALV	135	0	15	315	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	147	16	50	327	16	43	12	16	35	12	16	25	12	16	30	
		P-27	220	18	4	40	17	59	85	17	14	85	17	41	85	17	27.5	
	V	CALV	180	0	10	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	192	16	46	12	16	37	12	16	36	12	16	27	12	16	31.5	
		P-28	265	18	3	85	17	55	85	17	53	85	17	45	85	17	46.5	
	VI	CALV	224	0	40	44	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	236	17	26	56	17	18	12	16	46	12	16	36	12	16	41	
		P-28	309	18	52	129	18	45	85	18	12	85	18	3	85	18	7.5	
	VII	CALV	269	0	45	89	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	281	17	19	101	17	11	12	16	34	12	16	24	12	16	29	
		P-29	354	18	34	174	18	26	85	17	49	85	17	39	85	17	44.5	
	VIII	CALV	315	0	15	135	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		AUTP	327	16	52	147	16	40	12	16	37	12	16	27	12	16	32	
		P-29	40	18	8	220	17	58	85	17	53	85	17	45	85	17	49	

PLANILLA DE SERIES ANGULOS EXTERNOS

ESTACION: P-28 (CRUZ DE VILLA ARMONIA)

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

EST.	NUM. SERIE	PTO. OBS.	LECTURA						LECTURA REDUCIDA						PROM. SERIE				
			DIRECTA			INVERSA			DIRECTA			INVERSA							
			o	'	''	o	'	''	o	'	''	o	'	''	o	'	''	o	'
P-28	I	P-27	0	0	40	180	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	274	42	45	94	42	40	274	42	5	274	42	13	274	42	9		
		AUTP	286	59	15	106	59	26	286	58	35	286	58	59	286	58	47		
	II	P-27	45	0	30	225	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	319	42	23	139	42	22	274	41	53	274	41	51	274	41	52		
		AUTP	331	58	59	151	59	14	286	58	29	258	58	43	286	58	36		
	III	P-27	90	0	10	270	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	4	42	9	184	42	9	274	41	59	274	41	57	274	41	58		
		AUTP	16	58	42	196	58	58	286	58	32	286	58	46	286	58	39		
	IV	P-27	135	0	15	315	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	49	42	12	229	42	6	274	41	57	274	41	55	274	41	56		
		AUTP	61	58	46	241	58	56	286	58	31	286	58	45	286	58	38		
	V	P-27	180	0	10	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	94	42	5	274	42	6	274	41	55	274	41	53	274	41	54		
		AUTP	106	58	40	286	58	57	286	58	30	286	58	44	286	58	37		
	VI	P-27	224	0	40	44	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	138	42	43	318	42	41	274	42	3	274	42	1	274	42	2		
		AUTP	150	59	14	330	59	28	286	58	34	286	58	48	286	58	41		
	VII	P-27	269	0	45	89	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	183	42	54	3	42	53	274	42	9	274	42	7	274	42	8		
		AUTP	195	59	22	15	59	37	286	58	37	286	58	51	286	58	44		
	VIII	P-27	315	0	15	135	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	229	42	16	49	42	15	274	42	1	274	41	59	274	42	0		
		AUTP	241	58	48	61	59	3	286	58	33	286	58	47	286	58	40		

PLANILLA DE SERIES ANGULOS INTERNOS

ESTACION: P-27 (MIRADOR DE PAMPAHASI)

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

EST.	NUM. SERIE	PTO. OBS.	LECTURA						LECTURA REDUCIDA						PROM. SERIE			
			DIRECTA			INVERSA			DIRECTA			INVERSA			°	'	"	
			°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"				°
P-27	I	P-28	0	0	40	180	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	81	52	40	261	52	30	81	52	0	81	52	4	81	52	2	
		AUTP	97	27	35	277	27	31	97	26	55	97	27	5	97	27	0	
	II	P-28	45	0	30	225	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	126	52	34	306	51	25	81	52	4	81	51	1	81	51	32.5	
		AUTP	142	27	33	322	27	37	97	27	3	97	27	13	97	27	8	
	III	P-28	90	0	10	270	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	171	52	7	351	51	8	81	51	57	81	50	54	81	51	25.5	
		AUTP	187	26	59	7	27	13	97	26	49	97	26	59	97	26	54	
	IV	P-28	135	0	15	315	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	216	52	14	36	51	8	81	51	59	81	50	56	81	51	27.5	
		AUTP	232	27	8	52	27	15	97	26	53	97	27	3	97	26	58	
	V	P-29	180	0	10	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	261	52	5	81	51	0	81	51	55	81	50	52	81	51	23.5	
		AUTP	277	26	55	97	27	3	97	26	45	97	26	55	97	26	50	
	VI	P-30	224	0	40	44	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	305	52	44	125	51	42	81	52	4	81	51	1	81	51	32.5	
		AUTP	321	27	43	141	27	48	97	27	3	97	27	7	97	27	5	
	VII	P-31	269	0	45	89	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	350	52	46	170	51	39	81	52	1	81	50	58	81	51	29.5	
		AUTP	6	27	42	186	27	48	97	26	47	97	27	7	97	26	57	
	VIII	P-32	315	0	15	135	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		CALV	36	52	18	216	52	10	81	52	3	81	52	0	81	52	1.5	
		AUTP	52	27	16	231	51	21	97	27	1	97	27	11	97	27	6	

PLANILLA DE SERIES ANGULOS EXTERNOS

ESTACION: P-27 (MIRADOR DE PAMPAHASI)

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

EST.	NUM. SERIE	PTO. OBS.	LECTURA						LECTURA REDUCIDA						PROM. SERIE				
			DIRECTA			INVERSA			DIRECTA			INVERSA							
			o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'
P-27	I	AUTP	0	0	40	180	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		P-28	262	33	57	82	33	32	362	33	17	262	32	56	362	33	6.5		
		CALV	344	24	44	164	24	34	344	24	4	344	23	58	344	24	1		
	II	AUTP	45	0	30	255	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-28	307	33	41	127	33	15	362	33	11	362	32	51	362	33	1		
		CALV	29	24	31	209	24	19	344	24	1	344	23	55	344	23	58		
	III	AUTP	90	0	10	270	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-28	352	33	23	172	32	50	362	33	13	362	32	42	362	32	57.5		
		CALV	74	24	12	254	23	56	344	24	2	344	23	48	344	23	55		
	IV	AUTP	135	0	15	315	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-28	37	33	22	217	32	55	362	33	7	362	32	42	362	32	54.5		
		CALV	119	24	14	299	24	6	344	23	59	344	23	53	344	23	56		
	V	AUTP	180	0	10	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-28	82	33	16	262	32	56	362	33	6	362	32	42	362	32	54		
		CALV	164	24	8	344	24	4	344	23	58	344	23	50	344	23	54		
	VI	AUTP	224	0	40	44	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-28	126	33	59	306	33	31	362	33	19	362	32	56	362	33	7.5		
		CALV	208	24	45	28	24	34	344	24	5	344	23	59	344	24	2		
	VII	AUTP	269	0	45	89	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-28	171	33	52	351	33	40	362	33	7	362	32	53	362	33	0		
		CALV	253	24	48	73	24	44	344	24	3	344	23	57	344	24	0		
	VIII	AUTP	315	0	15	135	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		P-28	217	33	24	37	33	1	362	33	9	362	32	50	362	32	59.5		
		CALV	299	24	15	119	24	5	344	24	0	344	23	54	344	23	57		

The background features a large, faint watermark of the seal of the University of the Pacific. The seal is oval-shaped with a sunburst at the top, a central figure holding a staff, and a cross at the bottom. The text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS" is visible at the top and "UNIVERSITATIS MAJOR PACENSIS" at the bottom of the seal.

ANEXO 4

(PLANILLA DE SERIES ANGULOS ZENITALES)

PLANILLA DE SERIES ANGULOS ZENITALES

ESTACION: AUTP (AUTOPISTA)

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

ALTURA PRISMA: 1.600 m

ALTURA INSTRUMENTO: 1.546 m

ESTACION	NUMERO DE SERIE	PUNTO OBSERVADO	LECTURA						PROMEDIO SERIE			PROMEDIO ESTACION		
			DIRECTA			INVERSA			°	'	"	°	'	"
			°	'	"	°	'	"						
AUTP	I	CALV	94	18	10	265	42	2	94	18	4	94	18	3.5
		P-27	92	24	4	267	36	3	92	24	0.5	92	23	59.5
		P-28	92	57	59	267	2	18	92	57	50.5	92	57	50.25
	II	CALV	94	18	7	265	42	1	94	18	3			
		P-27	92	24	1	267	36	4	92	23	58.5			
		P-28	92	57	51	267	2	11	92	57	50			

PLANILLA DE SERIES ANGULOS ZENITALES

ESTACION: CALV (VILLA NUEVA POTOSI)

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

ALTURA PRISMA: 1.600 m

ALTURA INSTRUMENTO: 1.588 m

ESTACION	NUMERO DE SERIE	PUNTO OBSERVADO	LECTURA						PROMEDIO SERIE			PROMEDIO ESTACION		
			DIRECTA			INVERSA			°	'	"	°	'	"
			°	'	"	°	'	"						
CALV	I	P-27	91	16	13	268	43	42	91	16	15.5	91	16	16
		P-28	92	9	42	267	50	29	92	9	36.5	92	9	36.5
		AUTP	85	43	28	274	17	9	85	43	9.5	85	43	8.75
	II	P-27	91	16	21	268	43	48	91	16	16.5			
		P-28	92	9	37	267	50	24	92	9	36.5			
		AUTP	85	43	21	274	17	5	85	43	8			

PLANILLA DE SERIES ANGULOS ZENITALES

ESTACION: P-28 (CRUZ DE VILLA ARMONIA)

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

ALTURA PRISMA: 1.600 m

ALTURA INSTRUMENTO: 1.235 m

ESTACION	NUMERO DE SERIE	PUNTO OBSERVADO	LECTURA						PROMEDIO SERIE			PROMEDIO ESTACION		
			DIRECTA			INVERSA			°	'	"	°	'	"
			°	'	"	°	'	"						
P-28	I	CALV	87	53	9	272	7	17	87	52	56	87	52	54.75
		AUTP	87	4	43	272	55	30	87	4	36.5	87	4	37.25
	II	CALV	87	53	0	272	7	13	87	52	53.5			
		AUTP	87	4	41	272	55	25	87	4	38			

PLANILLA DE SERIES ANGULOS ZENITALES

ESTACION: P-27 (MIRADOR DE PAMPAHASI)

FECHA: 25 DE NOVIEMBRE DE 2012

OPERADOR: HECTOR CHOQUE CRUZ

INSTRUMENTO: SOKKIA SET 510

ALTURA PRISMA: 1.600 m

ALTURA INSTRUMENTO: 1.297 m

ESTACION	NUMERO DE SERIE	PUNTO OBSERVADO	LECTURA						PROMEDIO SERIE			PROMEDIO ESTACION		
			DIRECTA			INVERSA			°	'	"	°	'	"
			°	'	"	°	'	"						
P-27	I	CALV	88	45	43	271	14	17	88	45	43	88	45	42.5
		AUTP	87	38	57	272	21	33	87	38	42	87	38	43
	II	CALV	88	45	44	271	14	20	88	45	42			
		AUTP	87	38	48	272	21	20	87	38	44			