
Diseño, Observación y Cálculo del Marco de Referencia Geodésico del Instituto de Agrimensura MaRG_IA

Módulo de Investigación-(Geodesia)

2024-2025

Docentes:

- Ing. Agrim. Fabián Barbato (*Responsable*)
- Ing. Agrim. Jorge Faure
- Ing. Fernanda Camisay
- Ing. Agrim. Martín Wainstein
- Ing. Agrim. José Luis Fernández

- Bach. Valentina Varela

Estudiantes del Módulo:

- Matias López
- Gonzalo Clavijo
- Lucas Fernández
- Mauro Ferreira
- Juan Pablo Garcia
- Julia Garcia
- Maria Jose Bentancor
- Lucas Padilla
- Ana Pozzi
- Matias Sallaberry
- Rodrigo Soria
- Mauro Valverde
- Juan José Zanatta

Índice

1. Introducción.....	3
2. Marco Teórico.....	4
2.1. Redes Geodésicas	4
2.2. Redes Altimétricas.....	6
2.3. Sistema de Posicionamiento Global GNSS.....	7
2.4. Ajuste por Mínimos Cuadrados.....	9
2.4.1. Introducción	9
2.4.2. Definición del modelo Matemático	10
2.4.3. Métodos de resolución de Mínimos Cuadrados.....	10
2.4.4. Ajuste de Mínimos Cuadrados de las Magnitudes	10
3. Diseño de la Red Geodésica	11
4. Altimetría de la Red.....	15
4.1. Metodología.....	15
4.1.1. Preanálisis	15
4.1.2. Observaciones en campo	17
4.1.3. Análisis de los resultados	19
4.1.4. Ajuste por Mínimos Cuadrados – Algoritmo de las Magnitudes.....	22
5. Red GNSS	29
5.1 Diseño de la Red	29
5.2 Metodología.....	39
5.1.1 Simulación y Pre Análisis.....	39
5.1.2 Salidas a Campo.....	47
5.1.3 Procesamiento y Ajuste.....	52
5.1.4 CHCNAV CGO / Software de procesamiento GNSS.....	54
6. Conclusiones.....	60

1. Introducción

El presente módulo de investigación corresponde a la reestructuración del programa de Ingeniería en Agrimensura. Dado que se han suprimido algunas Unidades Curriculares, algunos estudiantes que están cursando el plan anterior tendrán una faltante de créditos en el área de geodesia, visto esto se resuelve realizar este Módulo para solucionar esta problemática y a su vez enriquecer los conocimientos que son insoslayables en la carrera profesional.

Esta actividad servirá como apoyo a la Unidad Curricular incorporada al nuevo Plan de Estudios denominada “Diseño y Cálculo de Redes Geodésicas”, además de que la información que se obtenga de las prácticas será útil como base de futuros proyectos e investigaciones, como así también para la densificación y mantenimiento de la Red MARGIA.

Todos los datos obtenidos se colectan a través de salidas a campo donde se utilizan instrumentos topográficos y geodésicos calibrados y precisos. La misma fue planificada en dos instancias, primero realizando una nivelación geométrica donde se busca obtener la altimetría de la malla y como segunda instancia se utilizan equipos GNSS para el posicionamiento geodésica y sus cálculos correspondientes.

Cabe aclarar que para realizar la nivelación se organizan equipos de trabajo, donde se subdivide y ordenan las tareas para que cada uno ocupe un lugar en la actividad y así minimizar errores, lo mismo para la actividad con GNSS. Finalmente para el procesamiento se unifica la información, y el procesamiento de los Datos es realizado en forma conjunta y asistida por los docentes.

2. Marco Teórico

2.1. Redes Geodésicas

Para realizar un trabajo topográfico necesitamos siempre “entidades o puntos” de referencia llamados **VÉRTICES**, que son aquellos puntos que poseen coordenadas con precisiones adecuadas y sobre los que “definiremos espacial y geoméricamente” el resto del trabajo. Los mismos además serán nuestras referencias para llevar un control posicional a lo largo del desarrollo del proyecto.

En un proyecto de este tipo, se suelen distinguir dos tipos de redes principales, la red Geodésica y la red Altimétrica. Las redes Geodésicas tienen la finalidad de establecer coordenadas geográficas (ϕ, λ, h) o coordenadas cartesianas (X, Y, Z) para determinar el posicionamiento en el espacio que ocupan los diferentes objetos geoméricos. Mientras que las redes altimétricas determinan las alturas con respecto a un plano de referencia, donde puede ser definido para cada proyecto en particular, y vincularlo oficialmente a un “Cero Altimétrico” de referencia.

Es una buena práctica referenciar este origen a un vértice de alturas o niveles conocidos en un sistema vertical de referencia, en este caso la altura de la red va a estar referida a los dos planos que se utilizan en Uruguay, al Cero Oficial y el plano de referencia del cero Wharton PRH (plano de referencia hidrométrico).

Para este proyecto no se habla de una red planimétrica y altimétrica por separado, sino que todos los vértices de la misma definen coordenadas planimétricas y altimétricas, componiendo lo que se conocerá como “Marco de Referencia Geodésico del Instituto de Agrimensura” o MARGIA en sus siglas definidas.

Una red geodésica es el conjunto de puntos sobre la superficie de la tierra, cuyas posiciones referidas a un sistema de referencia geodésico fueron determinadas con gran precisión. Las ubicaciones de estos puntos no son determinadas sin más, sino que son diseñadas y definidas con el objetivo de servir como una “base” sólida para la determinación y control de futuros puntos, siguiendo una serie de recomendaciones y buenas prácticas.

De esta manera, una red geodésica tiene como objetivo proporcionar una base precisa y confiable para la realización de proyectos, para lo cual habrá que definir puntos con coordenadas buscando una determinada precisión, tanto a nivel local como a escala global. A través de una red, es posible integrar diferentes trabajos topográficos garantizando redundancia, consistencia, integridad y exactitud en toda el espacio geográfico que abarque la misma.

Las redes geodésicas pueden estar constituidas por:

1. Vértices de control o puntos de referencia: Puntos colocados con buenas precisiones, siguiendo una metodología adecuada. Estos pueden ser reperes, hitos, mojones, etc.)
1. Observaciones geodésicas: Mediciones de ángulos, distancias y tiempos de viaje de señales GNSS, que permiten calcular la posición exacta de los puntos.
2. Redes de apoyo: Otras redes locales o regionales que complementan la red geodésica principal. En este punto recae la importancia de que los valores y coordenadas definidos por una red queden plasmados en diferentes documentos, como reportes de datos y monografías de puntos de apoyo, buscando que una red pueda ser utilizada como base para generar redes divergentes a esta en un futuro.

Dentro de la clasificación de redes geodésicas podemos diferenciar tres grandes grupos, haciendo referencia a la manera en que se conforman las mismas y a las precisiones asociadas a sus vértices geodésicos:

- Redes de primer orden: Se define una red de primer orden como las redes geodésicas de mayor precisión, siendo utilizadas principalmente para determinar la forma y tamaño de la tierra, o para obtener coordenadas geodésicas con un alto grado de precisión.
- Redes de segundo orden: Utilizadas para trabajos más específicos y locales, pero aún con una alta precisión.
- Redes de tercer orden: Son redes menos precisas pero útiles para levantamientos topográficos. Pueden ser generadas localmente por un

ingeniero agrimensor para realizar un control a lo largo de la elaboración de un proyecto. Un profesional de la geodesia puede determinar una red a altas precisiones si las tolerancias admitidas por un determinado proyecto así lo requieren, más allá de que no se tenga como objetivo determinar las dimensiones de la tierra. De esta manera las definiciones y clasificaciones no tienen tanta importancia

2.2. Redes Altimétricas

Una red altimétrica es un conjunto de vértices geodésicos distribuidos en una zona determinada, cuyos valores altimétricos han sido calculados con precisión mediante técnicas de nivelación. Estas redes se utilizan para determinar la elevación exacta de diversos vértices sobre la superficie terrestre referidos a un marco de referencia, permitiendo realizar trabajos de topografía donde el conocimiento de las alturas es fundamental.

Para su elaboración se utilizan instrumentos de medición de precisiones adecuadas donde a menudo se conecta con un sistema de referencia geodésico, como en este caso con el sistema materializado por el Marco de Referencia Geodésico de Montevideo (MRGMVD2025), para asegurar su coherencia y precisión a lo largo del área de trabajo. Las redes altimétricas son esenciales para la correcta planificación y ejecución de proyectos que involucren grandes infraestructuras, como carreteras, puentes, presas, y en la cartografía precisa del terreno.

En este caso el objetivo de la creación de la red es académico, es decir, no se utilizó con ningún fin de control estructural, sino que fue una práctica para entender el comportamiento y modelamiento de este tipo de elementos, para poder implementarlos en el futuro.

2.3. Sistema de Posicionamiento Global GNSS

Es un sistema de posicionamiento basado en la medición de la distancia a un mínimo de cuatro satélites simultáneos, que además transmiten sus posiciones estimadas. Estas distancias son medidas comparando la señal recibida desde el satélite con una réplica generada por el receptor.

Observando un mínimo de cuatro satélites, bien distribuidos en el cielo, el receptor puede calcular cuatro incógnitas, tres para la posición del receptor y una para la corrección del reloj local.

El sistema GNSS comprende tres segmentos diferentes:

- Segmento de control
- Segmento espacial
- Segmento del usuario

Segmento de control: tiene la función de supervisar y controlar continuamente el sistema satelital, determinar el tiempo del sistema GNSS, predecir efemérides satelitales y el comportamiento de los osciladores en los satélites, actualizar periódicamente la información de navegación para cada satélite en particular, etc.

A su vez rastrea los satélites GNSS, actualiza su posición orbital, calibra y sincroniza sus relojes, también determina la órbita de cada satélite y predice su trayectoria para las siguientes 24 horas.

Segmento espacial: consiste en 27 satélites distribuidos en seis planos orbitales inclinados 55° respecto al Ecuador. Los satélites se mueven a una altura aproximada de 20600 kilómetros, completando dos revoluciones por día sidéreo.

El segmento espacial está diseñado de tal forma que se puede contar con un mínimo de 4 satélites visibles por encima de un ángulo de elevación de 15° en cualquier punto de la superficie terrestre.

Segmento de usuario: comprende a cualquier que reciba la señal GNSS con un receptor, determinando su posición y/o la hora. Algunas aplicaciones típicas dentro

del segmento usuario son: navegación por tierra para excursionistas, ubicación de vehículos, topografía, navegación marítima, etc.

El principio del posicionamiento satelitario de un equipo GNSS es simple y se basa en relacionar tres componentes:

- Una cantidad conocida, que es la posición del satélite ($X(s)$, $Y(s)$, $Z(s)$)
- Una cantidad mensurable, que es la distancia satélite receptor, ρ
- Una cantidad desconocida, que es la posición del receptor ($X(r)$, $Y(r)$, $Z(r)$)

Entonces:

$$\rho = \sqrt{(X^S - X^R)^2 + (Y^S - Y^R)^2 + (Z^S - Z^R)^2}$$

Imagen N° 5: Distancia satélite - receptor

El objetivo de la medición es obtener la posición de nuestro receptor en el mismo sistema de referencia en el que se dan las coordenadas de los satélites.

Distancia satélite - receptor puede ser determinada por el receptor GNSS. La misma es medida a partir del tiempo de propagación de la señal emitida desde el satélite.

Satélites y receptores GNSS cuentan con relojes que controlan el tiempo de emisión y recepción de la señal respectivamente, de esta manera, la simple diferencia entre el instante de recepción y el de emisión proporciona el tiempo de propagación, o sea el tiempo que la señal empleó para viajar desde el satélite hasta el receptor.

Los errores que afectan la medida distancia satélite - receptor son los siguientes:

- Error de efemérides
- Error de reloj
- Errores atmosféricos
- Errores de multicamino
- Errores de medición
- Disponibilidad selectiva

2.4. Ajuste por Mínimos Cuadrados

2.4.1. Introducción

El ajuste por mínimos cuadrados es una técnica matemática fundamental, particularmente muy útil en el procesamiento de datos geodésicos; en el marco de aplicación de esta práctica se utilizó para obtener soluciones precisas y consistentes al procesar y analizar datos de las redes geodésicas.

Es un método de ajuste a las observaciones de forma tal que la suma cuadrática de los residuales debe ser mínima, modificando mínimamente las observaciones realizadas y realizando el ajuste con independencia del observador.

Por lo tanto, es un método que respeta al máximo las observaciones realizadas y no incorpora elementos subjetivos al ajuste (es independiente del operador). A través de él hallamos los valores compensados más probables de las observaciones realizadas.

Una red geodésica se compone de un conjunto de vértices cuya posición se determina mediante observaciones y mediciones, en este aspecto, el ajuste por mínimos cuadrados permite corregir las imperfecciones del conjunto de mediciones.

El objetivo principal del ajuste por mínimos cuadrados es encontrar el mejor conjunto de coordenadas tal que minimice la suma de los errores cuadráticos en las observaciones, permitiendo así obtener mejores resultados. Esta técnica es clave cuando se trabaja con redes geodésicas, ya que garantiza que los datos obtenidos de diferentes estaciones y puntos sean ajustados de manera consistente dentro de un marco de referencia común.

Mediante este proceso, se distribuyen de manera óptima los errores de medición entre todas las observaciones de la red, generando una solución ajustada que refleja la realidad del terreno con el menor grado de incertidumbre posible.

Para realizar un ajuste por mínimos cuadrados debemos definir un modelo matemático en conjunto con una serie de parámetros específicos.

2.4.2. Definición del modelo Matemático

Previo al ajuste es necesario definir lo que es un modelo matemático, siendo estas relaciones generales entre variables, parámetros, entidades para estudiar el comportamiento de sistemas complejos.

Si este vínculo se origina a través de vínculos geométricos y/o matemáticos entonces se tiene un modelo matemático.

Para definir un modelo matemático es importante definir el mínimo número de elementos necesarios que determinan el modelo, n_0 .

También se va a tener el número total de observaciones n .

Con esta información se define el grado de libertad o **redundancia** del modelo, el cual se obtiene: $r = n - n_0$, siendo el grado de libertad de una importancia fundamental ya que al tener una redundancia de datos es que se puede realizar el ajuste y también nos permite tener un control.

2.4.3. Métodos de resolución de Mínimos Cuadrados

La función que mejor se ajusta a los puntos observados, es aquella que cumple que la suma de las distancias de los puntos a la misma es mínima, estas distancias son las correlaciones v a aplicar a los puntos observados.

Hay dos métodos de resolución:

- AMC-M, Ajuste de mínimos cuadrados de las magnitudes
- AMC-C, Ajuste de mínimos cuadrados de las correcciones

2.4.4. Ajuste de Mínimos Cuadrados de las Magnitudes

Si bien ambos métodos resultan eficientes y reportan los mismos resultados, dadas las condiciones del trabajo a realizar se utilizó el método aquí descrito (AMC + M).

Este método de resolución permite el cálculo directo de las magnitudes y es el que se va a utilizar para realizar el ajuste.

Tiene las siguientes características:

- Las ecuaciones de condición incluyen observaciones y parámetros incógnita
- El número de ecuaciones de condición es el mismo que el de observaciones
- Cada ecuación contiene una sola observación con un coeficiente igual a 1

Forma de escribir las ecuaciones es la siguiente: $\bar{l} + B\Delta = d$.

Donde:

- \bar{l} , son las magnitudes ajustadas
- l , las magnitudes observadas
- v , los errores residuales

También es necesario definir:

- B , es la matriz formada por los coeficientes de los parámetros
- Δ , contiene los parámetros
- d , está formada por las constantes del método

Su algoritmo de resolución es el siguiente:

$$v + B\Delta = fW, \text{ matriz peso } N = B'WBt = B'Wf\Delta = N^{-1}t$$

3. Diseño de la Red Geodésica

La red del Instituto de Agrimensura se ubica en las proximidades del edificio de la Facultad de Ingeniería, con vértices que se distribuyen en las proximidades de este. Entender el por qué de la ubicación de los puntos y cómo se realizó el diseño geométrico de la red es fundamental. La posición de los mismos no es para nada arbitraria. En este caso, el diseño de la red fue elaborado por el equipo docente, siguiendo una serie de metodologías que se desarrollarán en este informe, pero no es redundante recalcar la importancia geométrica y topológica de la misma.

Como características generales, esta red cuenta con un total de 12 vértices entre estaciones de referencia y reperes FING, distribuidos de manera estratégica en las inmediaciones del edificio de facultad de ingeniería, en conjunto con un vértice

colocado en la azotea del mismo. Los mismos se encuentran distribuidos de la manera en que se representa en el siguiente croquis (Ver Imagen N°6):



Imagen N° 6: Distribución de vértices.

El vértice de referencia altimétrico seleccionado para la red MaRG_IA se visualiza en el croquis anterior (Ver Imágen N°6) como “PILARIMM”. Éste es un vértice que fue colocado previamente por la Intendencia de Montevideo en el marco de la elaboración de la red de nivelación MRGMVD2025. El mismo está ubicado como se aprecia en la foto en la explanada de la Facultad de Ingeniería, la materialización es de hormigón tronco de pirámide formando un pilar, el cual cuenta con dos referencias altimétricas, ambas referidas al cero oficial. Una de ellas se encuentra referida a una rosca preparada para colocar un receptor GNSS sobre el pilar, con un nivel de **20.714** metros medido hasta el tope de la rosca, mientras que la otra referencia que fue tomada en cuenta en la actividad, se encuentra en una chapa metálica, dentro de una cámara de de 20x20 cm ubicada a un lado del pilar con una nivel de **19.329** metros.

De esta manera, nuestra red de nivelación se enlaza a este vértice de nivel conocido. El mismo se encuentra descrito de manera precisa en la monografía que se puede ver más adelante (Ver Imagen N°7).

Cabe destacar esta diferencia y tenerlo en cuenta para realizar la nivelación, para encontrar el vértice de referencia altimétrica se debe retirar la tapa de la cámara y buscar la chapa referenciada, ya que de otra manera estaremos cometiendo un error.

Resulta más que importante contar con monografías claras y concisas para realizar este tipo de prácticas, no puede haber lugar a dudas a la hora de entender “hasta dónde” se midió.

ID: IM-IGM 034

COORDENADAS					ALTITUD			
LATITUD	34° 55' 08,7954" S				CERO OFICIAL	CHAPA	19,329	m
LONGITUD	56° 10' 02,9937" W					ROSCA	20,714	m
UTM	ZONA 21H	X	576042,78	m	DETERMINACIÓN NIVELACIÓN DE ALTA PRECISIÓN			
		Y	6135611,06	m	ELIPSOIDAL		35,355	m
SISTEMA DE REFERENCIA		SIRGAS ROU 98			DETERMINACIÓN		GNSS DE ALTA PRECISIÓN	
FECHA DE CONSTRUCCIÓN		OCTUBRE, 2023			FOTOGRAFÍA			
FECHA DE MEDICIÓN		NOVIEMBRE, 2023						
MUNICIPIO		BARRIO						
B		PUNTA CARRETAS						
UBICACIÓN					<p>OBSERVACIONES</p> <p>Nivelado desde IM-IGM 033.</p>			
<p>En explanada del instituto de Agrimensura en Facultad de Ingeniería (UdelaR), calle Julio Maria Sosa entre Av. Julio Herrera y Reissig y Av. Juan A. Cachón.</p>								
REFERENCIA GRÁFICA					<p>SEÑALIZACIÓN</p> <p>Rosca 5/8 en cara superior y chapa en cámara.</p>			

Imagen N° 7: Monografía - Punto de referencia, ID: IM-IGM 034

4. Altimetría de la Red

4.1. Metodología

4.1.1. Preamátesis

Previo a la salida de campo al tratarse de un trabajo de precisión es fundamental realizar un pre análisis, el cual nos indicará y definirá la metodología, el instrumental a utilizar y el ajuste que se deberá realizar.

Para esta instancia se utilizó un nivel marca Leica modelo Sprinter.

Para poder realizar el preanálisis es importante definir el número de tramos n , la distancia total k , la distancia entre miras D .

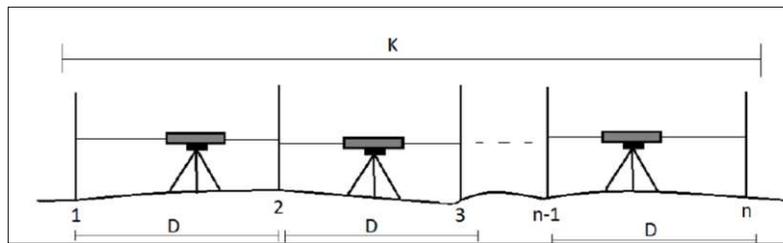


Imagen N° 8: Esquema de nivelación.

Si se estaciona una sola vez el instrumento tenemos que: $\sigma_{\Delta H} = \sqrt{2n}\sigma_L$.

Por lo tanto, para el método de doble plano colimador tenemos: $\sigma_{\Delta H} = \sqrt{n}\sigma_L$.

El instrumental que se utilizó fue un nivel electrónico y tiene las siguientes características:

Medición de altura	Desviación típica por km de doble nivelación (ISO 17123-2): <ul style="list-style-type: none"> Medición electrónica con mira de aluminio con código de barras Sprinter: 2.0 mm Medición óptica con mira de aluminio estándar con escala E/con graduación: 2.5 mm Desviación típica para lectura simple de mira: 0.6 mm (electrónica) y 1.2 mm (óptica) a 30m
Precisión de distancia (desviación estándar)	10 mm para $D \leq 10$ m Distancia en m x 0.001 para $D > 10$ m
Alcance	Rango de medición de distancias en medición electrónica con mira de aluminio estándar con código de barras: 2 m a 100 m.
Óptica - distancia mínima de enfoque	50 cm
Duración de una medición simple (Electrónica)	Típicamente 3 segundos en condiciones normales de iluminación diurna. Se requiere un tiempo mayor de medición en condiciones de iluminación débil (20 lux).
Nivel esférico	Sensibilidad del nivel esférico: 10'/2 mm

Imagen N° 9: Datos técnicos nivel electrónico.

De los datos técnicos observamos que la desviación estándar a las lecturas de las miras es de 2 milímetros, para las redes pequeñas se estimó 1 milímetro de los errores naturales, por lo tanto, se considera como tolerancia 3 milímetros por kilómetro.

Con esta tolerancia definida, puede establecer una metodología frente a datos que superen este valor:

- Se debe volver a campo para realizar la medición.
- Al tener redundancia de datos, se descartan estos datos que superan la tolerancia y se utilizan los datos que sí cumplan con esta.

A su vez para el cálculo del preanálisis se utiliza el software de topografía STARNET, donde calcula los siguientes valores:

Station	Elev	StdDev	95%	Description
PIMM	35.055000	0.002000	0.003920	PILAR FING IMM
A1	31.530000	0.002048	0.004015	
A2	38.136000	0.002051	0.004020	
A3	36.675000	0.002036	0.003990	
A4	24.954000	0.002040	0.003999	
A5	20.090000	0.002051	0.004020	
A6	23.480000	0.002046	0.004011	
A7	27.078000	0.002057	0.004032	

*Imagen N° 10: Resultados de preanálisis STAR*NET*

Cabe destacar que para dicho pre análisis se tomaron alturas ortométricas con un receptor GNSS conectado a la red NTRIP, este paso fue previo a realizar las prácticas. Si bien no calcula mediciones de altas precisiones, es un buen producto para realizar esta actividad descrita. El objetivo más directo de un preanálisis no es obtener los errores exactos con los que se realizará la actividad sino, obtener valores paramétricos para establecer las precisiones del trabajo, definir el instrumental y la metodología a realizar.

El pre análisis realizado con los datos levantados en campo calcularon una serie de resultados (Ver Imagen N°10), de los cuales se deduce lo siguiente:

- Intervalo de confianza al 95%: Este calcula un error máximo esperado de 4 mm siguiendo la metodología preestablecida, a partir de este resultado,

podemos definir una tolerancia admitida. De esta manera si durante las mediciones en los tramos de la red se detecta un error que supera los 4 mm, será necesario realizar de nuevo la nivelación de los tramos para corregir cualquier posible inconsistencia. Garantizando así que los datos altimétricos sean lo más precisos posible y se mantenga la calidad de la red altimétrica

4.1.2. Observaciones en campo

La actividad en campo se realizó mediante 3 equipos, los cuales estaban integrados por 4 y 5 estudiantes.

Primero se realizó una nivelación geométrica de los vértices A1, A2, A3, PILAR (PILAR 34FI perteneciente a la red MRGMVD2024), A4, A5, A6 y A7. Todos los grupos realizaron la misma actividad, es decir, una malla que pasará por los vértices antes descritos, no necesariamente siguiendo el mismo caminamiento.

Esto sirvió como un primer “filtro” de observaciones permitiendo tener datos comparables antes de comenzar el procesamiento de los mismos. Como se explica posteriormente, esto permitió realizar una depuración de los datos y eliminar los datos erróneos pertenecientes a uno de los grupos.

Los datos que se obtienen de las nivelaciones por cada grupo son los siguientes. En la columna de “Desniveles” se escribe el tramo según el sentido de la nivelación, por ejemplo: A1-A2 es la nivelación desde A1 hasta A2:

Grupo 1	Ana,Julia,Juan,Lucas,María		
Desniveles	PC1	PC2	Dist
A1-A2	6.611	6.611	204
A2-A3	-1.477	-1.476	60
A3-A4	-11.73	-11.729	229
A4-A5	-4.882	-4.883	85
A5-A6	3.407	3.406	98
A6-A7	3.583	3.583	110
A7-A1	4.491	4.491	108
A1-PILAR	2.349	2.349	184
PILAR-B1	1.166	1.166	43
B1-A3	1.62	1.62	60
PILAR-A4	-8.944	-8.944	127

Imagen N° 11: Nivelación Geométrica Grupo 1.

Grupo 2	Mauro,Juan,Lucas,Gonzalo,Juan		
Desniveles	PC1	PC2	Dist
A1-A2	6.608	6.608	178
A2-A3	-1.474	-1.474	60
A3-A4	-11.73	-11.731	232
A4-A5	-4.882	-4.882	86
A5-A6	3.409	3.409	98
A6-A7	3.582	3.582	122
A7-A1	4.49	4.489	100
A1-PILAR	2.351	2.351	206
PILAR-B1	1.166	1.166	44
B1-A3	1.619	1.619	58
PILAR-A4	-8.943	-8.943	132

Imagen N° 12: Nivelación Geométrica Grupo 2.

Grupo 3	Mauro,Matias,Matias,Rodrigo		
Desniveles	PC1	PC2	Dist
A1-A2	6.611	6.611	192
A2-A3	-1.477	-1.477	52
A3-A4	-11.731	-11.732	242
A4-A5	-4.884	-4.885	74
A5-A6	3.408	3.409	98
A6-A7	3.584	3.583	81
A7-A1	4.488	4.488	125
A1-PILAR	2.349	2.349	196
PILAR-B1	1.166	1.166	45
B1-A3	1.619	1.619	44
PILAR-A4	-8.943	-8.942	155

Imagen N° 13: Nivelación Geométrica Grupo 3.

El promedio y desviación que se obtiene entre los tres grupos para cada tramo son los siguientes:

Desniveles	Promedio	Desviación
A1-A2	6.61	0.002
A2-A3	-1.48	0.001
A3-A4	-11.73	0.001
A4-A5	-4.88	0.001
A5-A6	3.41	0.001
A6-A7	3.58	0.001
A7-A1	4.49	0.001
A1-PILAR	2.35	0.001
PILAR-B1	1.17	0.000
B1-A3	1.62	0.001
PILAR-A4	-8.94	0.001

Imagen N° 14: Nivelación Geométrica Promedio-Desviación.

4.1.3. Análisis de los resultados

Una vez realizadas las salidas a campo correspondientes es necesario analizar si los valores obtenidos están dentro de la tolerancia para determinar si alguno de los datos debe ser eliminado de la muestra. La tolerancia establecida de 4 mm se define en el apartado de “preanálisis”.

1. Se analizaron todas las mallas individualmente y se observó que la malla “grande” (exterior) correspondiente al grupo número 1 posee un error de cierre de 3,356 milímetros por kilómetro, visualizado en la planilla como la sumatoria de los desniveles parciales de esa malla, como se puede ver en la imagen N° 15. De esta manera, junto al equipo docente se determinó que dichos datos debían ser depurados de la muestra. Finalmente, la muestra constó de los datos relevados por los grupos número 2 y 3 (*Visualizar datos en Imagen N°18*) siendo estos los únicos datos que formarán parte del ajuste.

Grupo 1			
Desniveles	PC1	PC2	Dist
A1-A2	6,611	6,611	204
A2-A3	-1,477	-1,476	60
A3-A4	-11,730	-11,729	229
A4-A5	-4,882	-4,883	85
A5-A6	3,407	3,406	98
A6-A7	3,583	3,583	110
A7-A1	4,491	4,491	108
A1-PILAR	2,349	2,349	184
PILAR-B1	1,166	1,166	43
B1-A3	1,620	1,620	60
PILAR-A4	-8,944	-8,944	127
	0,003	0,003	894
	0,003		0,894
	3,000		
	3,356	mm.km	

Imagen N° 15: Desviación obtenida para el grupo 1.

Esto resalta la importancia de contar con un buen método para determinar las tolerancias admitidas y más aún, contar con redundancia de datos provenientes de diferentes fuentes, a efectos de poder realizar este tipo de análisis.

Con respecto a los datos restantes, podemos visualizar que los mismos cumplen la tolerancia establecida con creces, siendo así una fuente de información de alta calidad.

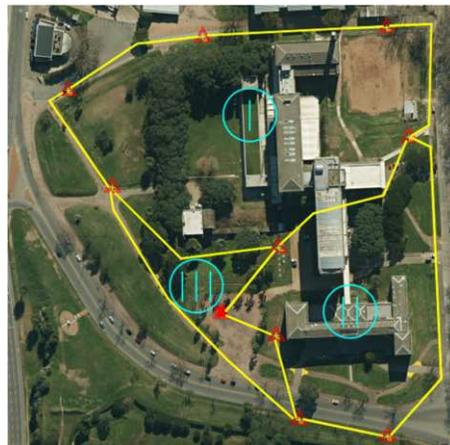


Imagen N° 16: Composición de mallas - Nivelación Geométrica.

Como podemos ver en la Imagen N°16 no se determina un sentido de cierre de las mallas, en realidad, para la actividad de campo no se estableció un sentido determinado, en definitiva cada equipo podía recorrer las mallas como quisiera,

teniendo en cuenta de marcar los sentidos de nivelar los vértices de la red. Finalmente, para el procesamiento de datos, se tomó como positivo el sentido horario.

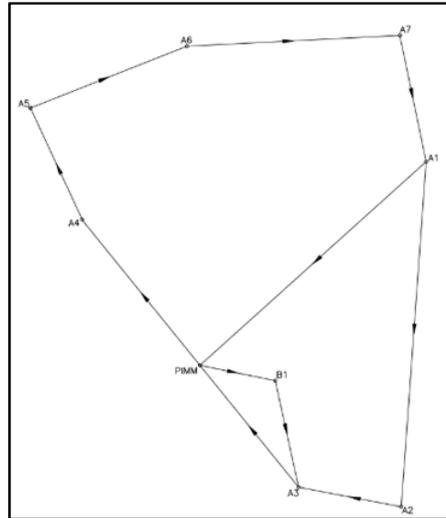


Imagen N°17: Observaciones

Grupo 3 OK				Grupo 2 OK			
Desniveles	PC1	PC2	Dist	Desniveles	PC1	PC2	Dist
A1-A2	6,611	6,611	192	A1-A2	6,608	6,608	178
A2-A3	-1,477	-1,477	52	A2-A3	-1,474	-1,474	60
A3-A4	-11,731	-11,732	242	A3-A4	-11,730	-11,731	232
A4-A5	-4,884	-4,885	74	A4-A5	-4,882	-4,882	86
A5-A6	3,408	3,409	98	A5-A6	3,409	3,409	98
A6-A7	3,584	3,583	81	A6-A7	3,582	3,582	122
A7-A1	4,488	4,488	125	A7-A1	4,490	4,489	100
A1-PILAR	2,349	2,349	196	A1-PILAR	2,351	2,351	206
PILAR-B1	1,166	1,166	45	PILAR-B1	1,166	1,166	44
B1-A3	1,619	1,619	44	B1-A3	1,619	1,619	58
PILAR-A4	-8,943	-8,942	155	PILAR-A4	-8,943	-8,943	132
	-0,001	-0,003	864		0,003	0,001	876
	-0,002		0,864		0,002		0,876
	-2,000	T=3mm.km			2,000		
	2,315	mm.km			2,283	mm.km	

Imagen N° 18: Valores obtenidos por Grupo 2 y 3

4.1.4. Ajuste por Mínimos Cuadrados – Algoritmo de las Magnitudes

Como se estableció anteriormente, la información que se utiliza es la depurada y proviene de la información de los grupos 2 y 3, siendo esta la siguiente:

Promedio	Promedio	Desviacion	FINAL
Distancias	Nivelacion	STD	Desniveles
185,000	6,610	0,002	A1-A2
56,000	-1,476	0,002	A2-A3
237,000	-11,731	0,001	A3-A4
80,000	-4,883	0,001	A4-A5
98,000	3,409	0,000	A5-A6
101,500	3,583	0,001	A6-A7
112,500	4,489	0,001	A7-A1
201,000	2,350	0,001	A1-PILAR
44,500	1,166	0,000	PILAR-B1
51,000	1,619	0,000	B1-A3
143,500	-8,943	0,001	PILAR-A4

Imagen N°19: Valores a utilizar en el ajuste

Para realizar el ajuste se utiliza la herramienta Excel, se adjuntan todos los resultados intermedios, resolución del algoritmo:

Algoritmo de resolución:

$$\begin{cases} v + B\Delta = f \\ W \\ N = B'WB \\ t = B'Wf \\ \Delta = N^{-1}t \end{cases}$$

Imagen N° 20: Algoritmo de resolución.

Para la resolución de este, se sabe que el valor ajustado es igual al valor medido más un residual, con esto se van a escribir las matrices f y B.

Tenemos:

n	11
no	8
r	3

En el caso del algoritmo de las magnitudes, se deberán proponer n ecuaciones.

Según el recorrido tenemos las siguientes ecuaciones:

- 1) $\bar{I}_1 = Cota A2 - Cota A1$
- 2) $\bar{I}_2 = Cota A3 - Cota A2$
- 3) $\bar{I}_3 = Cota A4 - Cota A3$
- 4) $\bar{I}_4 = Cota A5 - Cota A4$
- 5) $\bar{I}_5 = Cota A6 - Cota A5$
- 6) $\bar{I}_6 = Cota A7 - Cota A6$
- 7) $\bar{I}_7 = Cota A1 - Cota A7$
- 8) $\bar{I}_8 = Cota Pilar - Cota A1$
- 9) $\bar{I}_9 = Cota B1 - Cota Pilar$
- 10) $\bar{I}_{10} = Cota A3 - Cota B1$
- 11) $\bar{I}_{11} = Cota A4 - Cota Pilar$

Se obtienen las siguientes matrices:

f	-6,610
	1,476
	11,731
	4,883
	-3,409
	-3,583
	-4,489
	16,979
	-20,495
	-1,619
	-10,386

Imagen N° 21: Matriz f.

B

1	-1	0	0	0	0	0	0
0	1	-1	0	0	0	0	0
0	0	1	-1	0	0	0	0
0	0	0	1	-1	0	0	0
0	0	0	0	1	-1	0	0
0	0	0	0	0	1	-1	0
-1	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-1
0	0	-1	0	0	0	0	1
0	0	0	-1	0	0	0	0

Imagen N° 22: Matriz B.

Para la matriz W se considera el siguiente criterio, se considera la distancia más extensa como $W_0 = 237$ y para conformar esta matriz se divide esta distancia entre los demás valores, de esta forma se considera que la distancia más extensa es la que tiene más error y tiene peso 1.

W

1,28108108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	4,23214286	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	2,9625	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	2,41836735	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	2,33497537	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2,10666667	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1,17910448	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	5,3258427	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,64705882	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,65156794

Imagen N° 23: Matriz W.

Para obtener la matriz N:

Br.W

1.281081081	0	0	0	0	0	-2.106666667	1.179104478	0	0	0
-1.281081081	4.232142857	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-4.232142857	1	0	0	0	0	0	0	-4.647058824	0
0	0	-1	2.9625	0	0	0	0	0	0	-1.651567944
0	0	0	-2.9625	2.418367347	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-2.418367347	2.334975369	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-2.334975369	2.106666667	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	-5.325842697	4.647058824	0

Imagen N° 24: Multiplicación de matrices.

N
Bt.W.B

4,56685223	-1,2810811	0	0	0	0	-2,1066667	0
-1,2810811	5,51322394	-4,2321429	0	0	0	0	0
0	-4,2321429	9,87920168	-1	0	0	0	-4,6470588
0	0	-1	5,61406794	-2,9625	0	0	0
0	0	0	-2,9625	5,38086735	-2,4183673	0	0
0	0	0	0	-2,4183673	4,75334272	-2,3349754	0
-2,1066667	0	0	0	0	-2,3349754	4,44164204	0
0	0	-4,6470588	0	0	0	0	9,97290152

Imagen N° 25: Matriz N.

Para el cálculo de la matriz τ :

τ	21.00900952
Bt.W.f	14.71183219
	13.01006145
	19.88922569
	-22.71023782
	-0.122023311
	-1.090666995
	101.6295578

Imagen N° 26: Matriz τ .

Para el cálculo de las niveles es necesario calcular el inverso de la matriz N:

N inversa	0,42989761	0,19267921	0,12087256	0,11694302	0,1808113	0,25904995	0,34008284	0,05632282
	0,19267921	0,40945956	0,23879263	0,10911163	0,12616624	0,14705814	0,16869617	0,11126987
	0,12087256	0,23879263	0,27448736	0,10674105	0,10962503	0,11315791	0,11681696	0,12790249
	0,11694302	0,10911163	0,10674105	0,36160506	0,31167403	0,25050852	0,18715853	0,04973798
	0,1808113	0,12616624	0,10962503	0,31167403	0,55363178	0,43652791	0,31524176	0,05108182
	0,25904995	0,14705814	0,11315791	0,25050852	0,43652791	0,66440167	0,47214373	0,05272803
	0,34008284	0,16869617	0,11681696	0,18715853	0,31524176	0,47214373	0,63464933	0,05443303
	0,05632282	0,11126987	0,12790249	0,04973798	0,05108182	0,05272803	0,05443303	0,15987026

Imagen N° 27: Matriz N inversa.

Luego obtenemos los niveles ajustados:

Δ	16,980	Cota A1
	23,590	Cota A2
	22,114	Cota A3
	10,385	Cota A4
	5,501	Cota A5
	8,910	Cota A6
	12,492	Cota A7
	20,495	Cota B1

Imagen N° 28: Niveles ajustados.

Obtenidas los niveles ajustados corresponde calcular la desviación estándar de estas por propagación de cofactores.

Para esto primero se calcula la varianza referencial a posteriori de la siguiente

manera: $\sigma^2 = \frac{v^t W v}{r}$.

Primero se debe calcular la matriz $v = f - B\Delta$.

$B\Delta$	v
-6,6097377	0,0002
1,47542806	0,0001
11,7296274	0,0014
4,88359332	-0,0003
-3,4083294	-0,0004
-3,5823144	-0,0004
-4,4882672	-0,0005
16,9801208	-0,0011
-20,495201	0,0002
-1,6192299	0,0002
-10,384803	-0,0014

Imagen N° 29: Matriz v

El valor que se obtiene es:

σ^2	3.03E-06
------------	----------

Imagen N° 30: Valor σ^2

Para la propagación de cofactores se realizan las siguientes operaciones de matrices:

$$\begin{aligned}
 Q &= W^{-1} \\
 Q_{\Delta\Delta} &= N^{-1} \Rightarrow \Sigma_{\Delta\Delta} = \sigma_0^2 Q_{\Delta\Delta} \\
 Q_{vv} &= Q - BN^{-1}B^T \Rightarrow \Sigma_{vv} = \sigma_0^2 Q_{vv} \\
 Q_{\bar{ii}} &= BN^{-1}B^T \Rightarrow \Sigma_{\bar{ii}} = \sigma_0^2 Q_{\bar{ii}} \\
 \sigma_0^2 &= \frac{v^t W v}{r}
 \end{aligned}$$

Imagen N° 31: Propagación de cofactores.

En este caso como se calcula para las observaciones ajustadas, la matriz que nos interesa es $Q_{\Delta\Delta}$.

Obteniendo los siguientes resultados intermedios y final:

$Q_{\Delta\Delta}$

0,429897613	0,192679212	0,120872561	0,116943017	0,180811302	0,259049951	0,34008284	0,05632282
0,192679212	0,409459557	0,238792633	0,109111633	0,126166241	0,147058136	0,16869617	0,11126987
0,120872561	0,238792633	0,274487358	0,106741052	0,109625034	0,113157911	0,11681696	0,12790249
0,116943017	0,109111633	0,106741052	0,361605058	0,311674029	0,250508519	0,18715853	0,04973798
0,180811302	0,126166241	0,109625034	0,311674029	0,553631778	0,43652791	0,31524176	0,05108182
0,259049951	0,147058136	0,113157911	0,250508519	0,43652791	0,664401665	0,47214373	0,05272803
0,340082838	0,16869617	0,116816962	0,187158526	0,315241762	0,472143726	0,63464933	0,05443303
0,056322817	0,111269866	0,127902486	0,049737977	0,051081822	0,052728032	0,05443303	0,15987026

Imagen N° 32: Matriz $Q_{\Delta\Delta}$

$\Sigma_{\Delta\Delta}$

0.00000130	0.00000058	0.00000037	0.00000035	0.00000055	0.00000078	0.00000103	0.00000017
0.00000058	0.00000124	0.00000072	0.00000033	0.00000038	0.00000045	0.00000051	0.00000034
0.00000037	0.00000072	0.00000083	0.00000032	0.00000033	0.00000034	0.00000035	0.00000039
0.00000035	0.00000033	0.00000032	0.00000110	0.00000094	0.00000076	0.00000057	0.00000015
0.00000055	0.00000038	0.00000033	0.00000094	0.00000168	0.00000132	0.00000095	0.00000015
0.00000078	0.00000045	0.00000034	0.00000076	0.00000132	0.00000201	0.00000143	0.00000016
0.00000103	0.00000051	0.00000035	0.00000057	0.00000095	0.00000143	0.00000192	0.00000016
0.00000017	0.00000034	0.00000039	0.00000015	0.00000015	0.00000016	0.00000016	0.00000048

Imagen N° 33: Matriz $\Sigma_{\Delta\Delta}$

Por lo tanto, los resultados que se obtienen son los siguientes:

Sigma Cota A1	0.0011
Sigma Cota A2	0.0011
Sigma Cota A3	0.0009
Sigma Cota A4	0.0010
Sigma Cota A5	0.0013
Sigma Cota A6	0.0014
Sigma Cota A7	0.0014
Sigma Cota B1	0.0007

Imagen N° 34: Desviación estándar.

En la siguiente imagen se observa un croquis correspondiente a la nivelación geométrica realizada. Tomando como referencia los datos del pilar im34, dando por bueno el nivel del mismo. Además se corrobora el nivel obtenido con el vértice de la red CDM MONTEVIDEO DEL AÑO 1966, próximo en la Rambla.

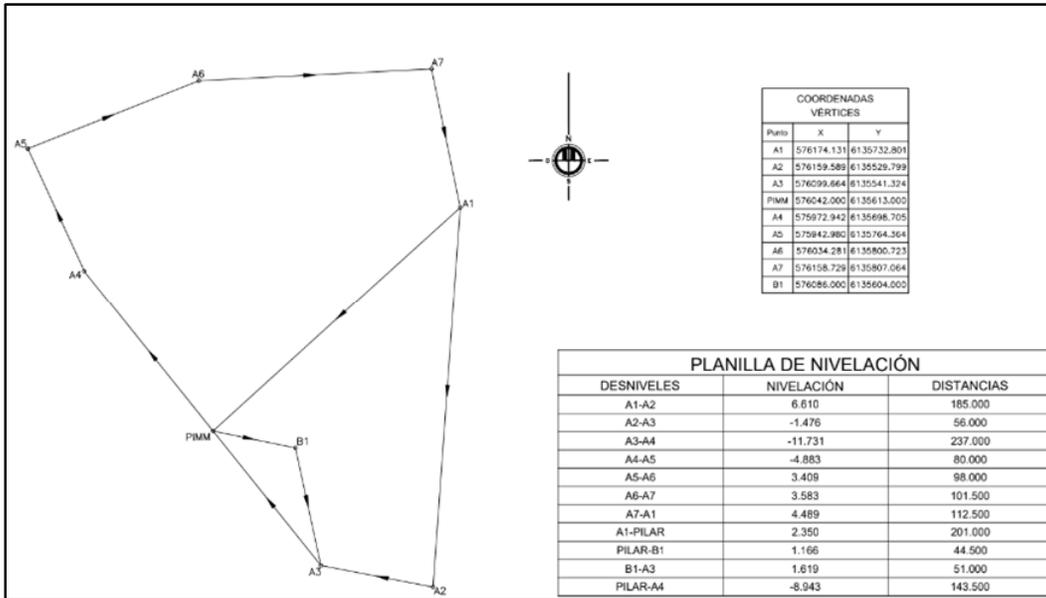


Imagen N° 35: Croquis - Nivelación Geométrica.

De esta manera, utilizando MatLab y Starnet se llega a los siguientes resultados finales. Como podemos ver, mediante el algoritmo utilizado en MatLab basado en el método de mínimos cuadrados se obtiene un valor de altura “h” para cada vértice y una desviación. Por otra parte, utilizando el software Starnet, operado por el equipo docente, se llega de la misma manera a una altura “h” y una desviación para cada vértice, en un intervalo de confianza del 95%.

ALGORITMO MATLAB			STARNET V13			
ID	h	σ	h	σ	95%	ID
A1	16.980	0.0011	16.980261	0.001212	0.002375	A1
A2	23.590	0.0011	23.590364	0.001182	0.002318	A2
A3	22.114	0.0009	22.114395	0.000968	0.001897	A3
A4	10.385	0.0010	10.384506	0.001111	0.002178	A4
A5	5.501	0.0013	5.501049	0.001375	0.002695	A5
A6	8.910	0.0014	8.909488	0.001507	0.002953	A6
A7	12.492	0.0014	12.491905	0.001472	0.002886	A7
B1	20.495	0.0007	20.495184	0.000739	0.001448	B1
PIMFING34	19.329	0	19.329	0	0	PIMFING34

Imagen N° 36 - Resultados finales del preanálisis.

5. Red GNSS

5.1 Diseño de la Red

En cuanto al diseño de la red GNSS, corresponde a la misma red descrita con anterioridad. Sin embargo, para el levantamiento GNSS se involucran más vértices o Estaciones de coordenadas conocidas para el posterior ajuste y georreferenciación de la red geodésica. Estos vértices ZERO son los siguientes:

- **UYMO**, vértice georreferenciado ubicado en la fortaleza del cerro.
- **MTV1**, vértice georreferenciado ubicado en la embajada estadounidense.
- **PILFIIM34** y **PILFIIM35**, vértices de referencia altimétrica colocados por la IM.
- **PILANP1** vértice georreferenciado localizado en la intersección de Escollera Sarandí y Rambla Francia

La elección de estos puntos no es aleatoria, como se explicó anteriormente, sino producto de realizar un pre análisis y simulación rigurosa considerando las diferentes posibilidades, intentando alcanzar las características geométricas que garanticen la figura con más fuerza posible, garantizando la estabilidad y precisión del ajuste de la red. Esta no es una decisión meramente geométrica, sino que fueron tenidos en cuenta diferentes factores de confiabilidad por el equipo docente.

Si se incorporan puntos más alejados, pierde fuerza la figura ya que queda más estirada, factor al cual se le atribuye una relevancia notable a la hora de realizar el ajuste; la calidad del ajuste depende (en gran parte) de la distribución de los puntos.

A continuación se describe el diseño y el modelo conceptual de la red Zero así como también de la red MARGIA. Ambas componen la red geodésica de la Facultad de Ingeniería, ya que si el día de mañana ocurre un imprevisto como que se extravíe alguno de los vértices geodésicos que componen la red MARGIA, hay que reconstruir la misma, y se reconstruye a partir de la red de orden cero llamada red Zero.

Red Zero

La Red Zero se basa en la distribución estratégica de puntos fijos con coordenadas conocidas por lo cual definen el Sistema de Referencia, asegurando que la configuración geométrica de la red maximice su estabilidad y minimiza los errores de ajuste.

Es diseñada para servir como base de referencia en el levantamiento GNSS dentro del estudio. Su diseño responde a la necesidad de establecer una infraestructura geodésica confiable y estable, permitiendo la correcta georreferenciación y nivelación del área de estudio. Es decir, se denomina red de orden cero ya que determina el marco de referencia y que a su vez también determina las coordenadas de los pilares PILFIIM34 y PILFIIM35. Luego, considerando esos vértices como fijos y por lo tanto libres de error, propagan mediante Ajustes las coordenadas hacia el resto de los vértices del A1FI al A7FI como también el vértice geodésico FING.

Vértices de la red ZERO:

- UYMO
- MTV1
- PILFIIM34
- PILFIIM35
- PILANP1
- FING (Pilar azotea Fing)

Inicialmente se tuvo en cuenta el vértice UYGM, como se observa en la Imagen N°55 correspondiente al preanálisis de la red Zero, ya que se consideraba que mejoraba la fuerza de la figura y por lo tanto también el ajuste. Finalmente se detectó que generaba errores que superan las tolerancias permitidas, y por este motivo se decide no tenerlo en cuenta. El entender qué factores provocaron que dicho vértice afectará las precisiones obtenidas excede al contenido de este trabajo, la decisión fue tomada por el equipo docente a cargo de curso.

Una vez que se resuelve la red, se le asigna las coordenadas finales a los vértices geodésicos IM34 e IM35 lo cual corresponde a una primera etapa. Luego, teniendo

las coordenadas de IM34 e IM35 ya fijadas, no se van a ajustar más ya que se toman como libre de error, generando el cálculo de la red MARGIA.

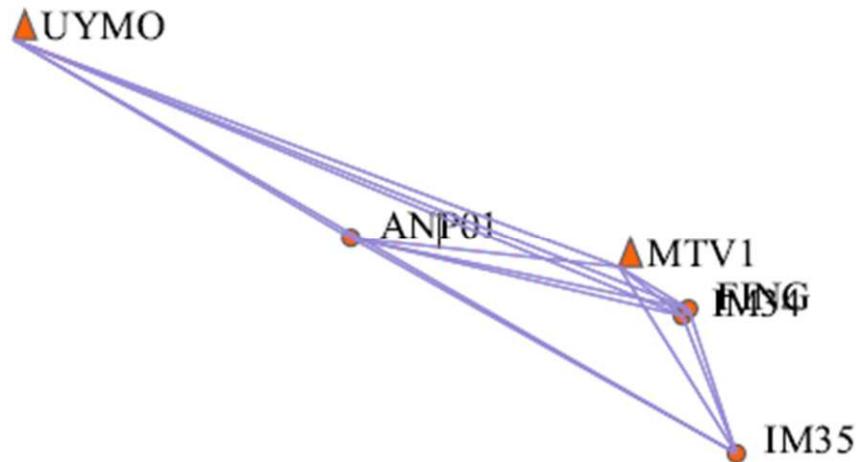


Imagen N° 37 - Red Zero

Red MARGIA - (MARCO DE REFERENCIA GEODESICO DEL INSTITUTO DE AGRIMENSURA)

La red MARGIA se basa en la distribución pre analizada y simulada de vértices geodésicos de manera que se asegure la mejor distribución geométrica posible que permita un ajuste ideal.

El diseño de la red se hizo en base a criterios geométricos y metodológicos que garantizan la optimización de la misma en cuanto a su precisión. Se considera a dicha red como una de primer orden debido a que se integra con los vertices PILFIIM34 y PILFIIM35, previamente calculados en la red de orden cero llamada red Zero, fijados y considerados libres de error. Esto permite que se procese y se calcule la red en base a un marco de referencia preestablecido, logrando grandes precisiones.

Los puntos que intervienen en la red son los vértices geodésicos **A1FI, A2FI, A3FI, A4FI, A5FI, A6FI y A7FI**, colocados en las inmediaciones de la FING y estratégicamente distribuidos, así como también el vértice **FING**, ubicado en la azotea de la misma. A estos se le suman posteriormente, luego de un minucioso

estudio, los vértices PILFIIM34 y PILFIIM35, considerados como fijos y libres de error. En un principio se toma al vértice FING como fijo y libre de error, pero se observó que esto no favorece a la red por lo cual se toma la decisión de dejarlo libre como los AiFI.

A continuación se realiza una descripción de cada uno de los vértices mencionados en la Red Zero con sus correspondientes monografías.

PILFIIM34:

Junto al pilar de hormigón determinado como "PILFIIM34", se encuentra un vértice altimétrico.

La materialización es de hormigón, formando un pilar, el cual cuenta con dos referencias altimétricas, ambas referidas al cero oficial. Una de ellas se encuentra referida a una rosca preparada para colocar un receptor GNSS sobre el pilar, con una nivel de 20.714 m medido hasta el tope de la rosca, mientras que la otra referencia que fue tomada en cuenta en la actividad, se encuentra en una chapa metálica, dentro de una cámara de de 20x20 cm ubicada a un lado del pilar con una nivel de 19.329 m.

Monografía IGM Originales Antes del Procesamiento:

COORDENADAS					ALTITUD			
LATITUD		34° 55' 08,7954" S			CERO OFICIAL	CHAPA	19,329	m
LONGITUD		56° 10' 02,9937" W				ROSCA	20,714	m
UTM	ZONA	X	576042,78	m	DETERMINACIÓN NIVELACIÓN DE ALTA PRECISIÓN			
	21H	Y	6135611,06	m	ELIPSOIDAL		35,355	m
SISTEMA DE REFERENCIA		SIRGAS ROU 98			DETERMINACIÓN		GNSS DE ALTA PRECISIÓN	
FECHA DE CONSTRUCCIÓN		OCTUBRE, 2023			FOTOGRAFÍA			
FECHA DE MEDICIÓN		NOVIEMBRE, 2023						
MUNICIPIO		BARRIO						
B		PUNTA CARRETAS			OBSERVACIONES			
UBICACIÓN					Nivelado desde IM-IGM 033.			
En explanada del instituto de Agrimensura en Facultad de Ingeniería (UdelaR), calle Julio Maria Sosa entre Av. Julio Herrera y Reissig y Av. Juan A. Cachón.								
REFERENCIA GRÁFICA								
SEÑALIZACIÓN								
Rosca 5/8 en cara superior y chapa en cámara.								

Imagen N° 38: Monografía PILFIIM34 - IM IGM 034

Vértice PILANP1:

Se encuentra en la intersección de las calles Sarandí y Rambla Francia, sobre un monumento piramidal de 1,20 metros de alto.

Este vértice, al igual que el anterior cuenta con dos referencias altimétricas, la primera a una rosca de 5/8" en su cara superior y la segunda en la parte inferior sobre una chapa ubicada en una cámara subterránea de 20 cm por 20 cm.

El punto en la rosca posee una altura de 5,907 metros y la chapa una altura de 4,601 metros, referidas al cero oficial. A continuación se adjunta parte de la monografía generada por la Intendencia de Montevideo:

COORDENADAS				ALTITUD			
LATITUD	34°54'37"8420 S			ELIPSOIDAL	Chapa		
LONGITUD	56°12'47"5988 W				Rosca 5/8"		20,650 m
UTM	ZONA	X:	571873,663	Determinación: GPS L1-L2			
	21 H	Y:	6136598,351	N. M. M.	Cero Oficial	Chapa	4,601 m
Sistema de Referencia: SIRGAS-ROU 98						Rosca 5/8"	5,907 m
Determinación: GPS L1-L2				Determinación: Nivelación de Alta Precisión			
Fecha de Construcción:		Noviembre 2011		Cero Warthon	Chapa	5,511 m	
Fecha de Medición:		Diciembre 2011			Rosca 5/8"	6,817 m	
UBICACIÓN				Determinación: Nivelación de Alta Precisión			
Intersección de Rambla Francia y calle Sarandí.				FOTOGRAFÍAS			
REFERENCIA GRÁFICA							
SEÑALIZACIÓN							
Monumento tronco piramidal de 1,20m de altura con rosca de 5/8" en su cara superior. Chapa de Nivelación de IGM e identificación de la ANP ubicada en cámara subterránea de 20 cm por 20 cm.							
OBSERVACIONES							
NMM: Nivel Medio del Mar Cero Oficial Ley del 20/03/1949							

Imagen N° 39: Monografía PILANP1

Vértice PILFIIM35:

El vértice denominado "PILFIIM35" se encuentra ubicado en la Rambla Ghandi

Al igual que el resto de los vértices, cuenta con dos referencias altimétricas, la primera a una rosa de 5/8" y la segunda a una chapa en la parte inferior dentro de una cámara de 20x20 cm.

El punto en la rosca posee una altura de 8,608 metros y en la chapa una altura de 7,297 metros, referidas al cero oficial. A continuación se adjunta parte de la monografía generada por la Intendencia de Montevideo:

COORDENADAS			
LATITUD	34° 56' 04,9067" S		
LONGITUD	56° 09' 35,6616" W		
UTM	ZONA	X	576721,79 m
	21H	Y	6133876,71 m
SISTEMA DE REFERENCIA	SIRGAS ROU 98		
DETERMINACIÓN	GNSS DE ALTA PRECISIÓN		
FECHA DE CONSTRUCCIÓN	SEPTIEMBRE, 2023		
FECHA DE MEDICIÓN	NOVIEMBRE, 2023		
MUNICIPIO	BARRIO		
CH	PUNTA CARRETAS		
UBICACIÓN			
Desde Rambla Ghandí por acceso vehicular y peatonal hacia el Faro de Punta Carretas. Al NE del Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental de la IM.			
REFERENCIA GRÁFICA			
SEÑALIZACIÓN			
Rosca 5/8 en cara superior y chapa en cámara.			
ALTITUD			
CERO OFICIAL	CHAPA	7,297	m
	ROSCA	8,608	m
DETERMINACIÓN	NIVELACIÓN DE ALTA PRECISIÓN		
ELIPSOIDAL		23,183	m
DETERMINACIÓN	GNSS DE ALTA PRECISIÓN		
FOTOGRAFÍA			
OBSERVACIONES			
Nivelado desde marcador m.l.u.			

Imagen N° 40: Monografía PILFIIM 35 - IM IGM 035

Vértice UYMO:

Se encuentra ubicado en el cerro, sobre la azotea de la Fortaleza "Gral. Artigas", en la localidad de Montevideo, con una altura de 143,175 metros referidas al cero oficial.

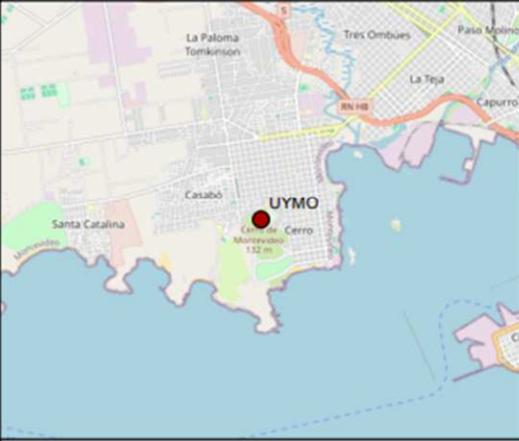
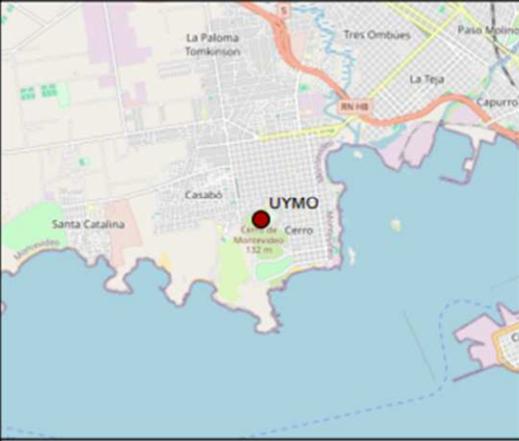
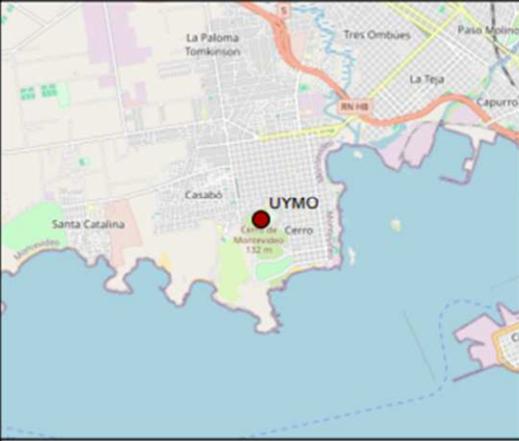
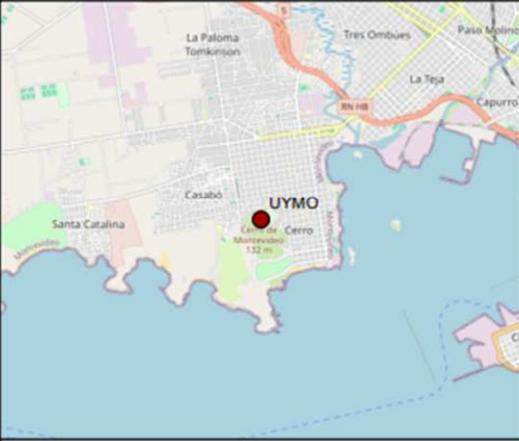
COORDENADAS					ALTURA			
LATITUD		34° 53' 17,951" S			ELIPSOIDAL		158,083	m
LONGITUD		56° 15' 35,576" W			Determinación		GNSS	
UTM	ZONA	X	567629,266	m	N.M.M (Cero Oficial)		143,175	m
	21H	Y	6139091,900	m	Determinación		Nivelación de Alta Precisión	
Sistema de referencia		SIRGAS ROU-98			Punto de referencia		I - FORTALEZA	
Determinación		GNSS			FOTOGRAFÍA			
DEPARTAMENTO		LOCALIDAD/PARAJE						
Montevideo		Montevideo						
UBICACIÓN								
Fortaleza "Gral. Artigas".								
UBICACIÓN ESPECÍFICA								
Sobre azotea de la Fortaleza.								
REFERENCIA GRÁFICA								
								
ÚLTIMA INSPECCIÓN								
10/02/2021								

Imagen N° 41: Monografía UYMO

Vértice EMB-USA MTV1:

Por último, se adjunta la información referida al vértice MTV1.

MTV100URY

Map Photos

Country/Region: Montevideo, Uruguay
Latitude, Longitude: -34.913592, -56.176300
Elevation: 40.7 (m)

Station Information	
Receiver - Firmware	NOV OEM6 - D28CBA70
Antenna - Radome	TPSCR.G5 - TPSH
Antenna Calibration	ROBOT
Clock	EXTERNAL CESIUM / RCVR1
Last RINEX Data - Primary Data Center	2024-11-19 (v2) - CDDIS
Constellation - RINEX	GPS
Constellation - RealTime	
DOMES Number	42323S001
Nearby Tide Gauge	MONTEVIDEO (PUNTA LOBOS) - 7384m

Imagen N° 42: Información Punto MTV100URY

MTV100URY

IGS

Map Photos

Country/Region: Montevideo, Uruguay
Latitude, Longitude: -34.913592, -56.176300
Elevation: 40.7 (m)

Equipment		
Receiver - Firmware	Antenna - Radome	Date
NOV OEM6 - D28CBA70	TPSCR.G5 - TPSH	Oct. 20, 2021
ITT 3750300 - V3.2.14	TPSCR.G5 - TPSH	Sept. 18, 2015

Analysis Center Usage	
AC	Final
MIT	Sept
JPL	Aug.

N° 43: Información Punto MTV100URY

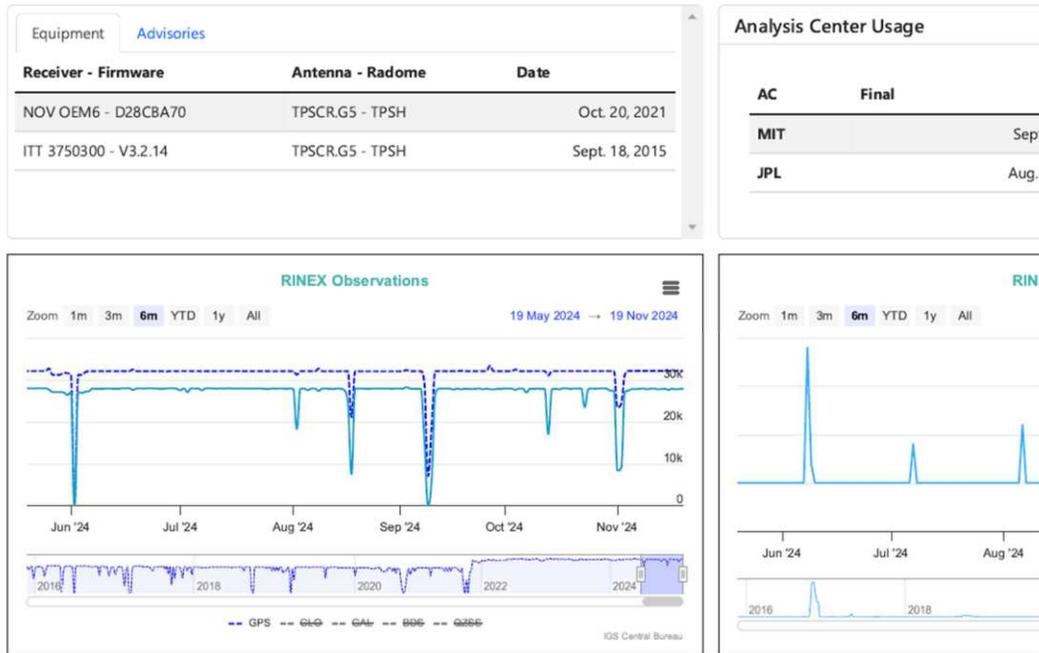


Imagen N° 44: Información Punto MTV100URY

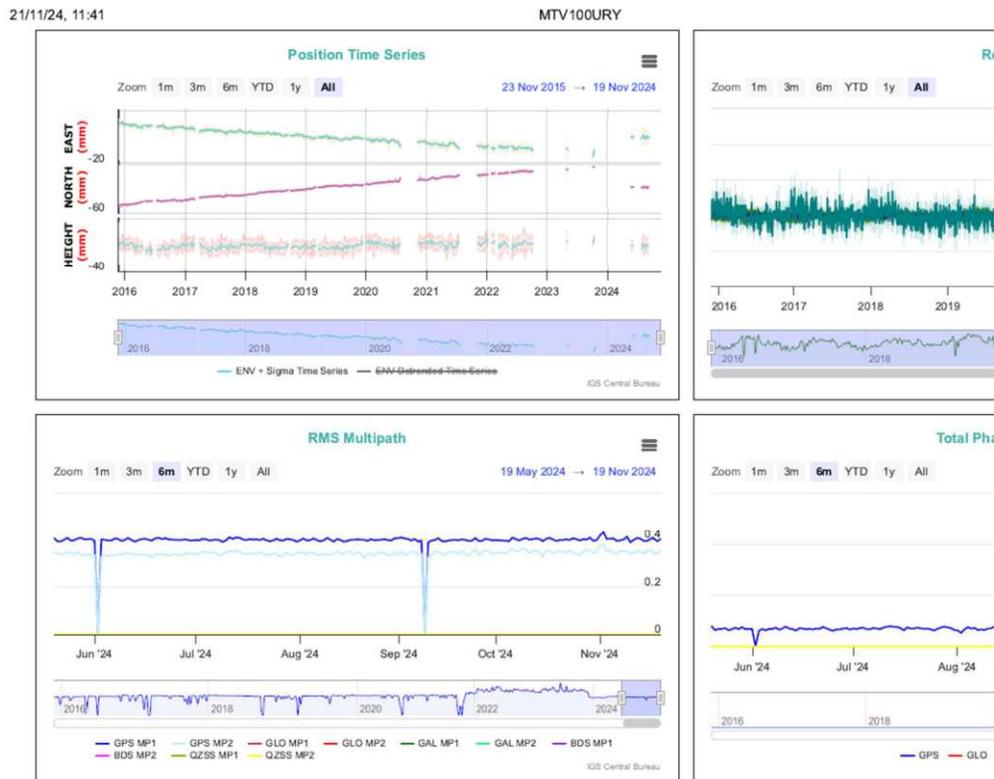


Imagen N° 45: Información Punto MTV100URY

5.2 Metodología

5.1.1 Simulación y Pre Análisis

Se realiza un preanálisis de errores a efectos de evaluar las precisiones esperadas en la práctica de campo. Para el procedimiento se trabajó con Star Net, el cual es un software que se utiliza para el proceso y ajuste de redes de levantamientos topográficos. Es una herramienta clave a la hora de analizar la calidad de una red geodésica. El preanálisis, como veremos posteriormente, brindó errores muy similares a los que se obtuvieron finalmente, lo cual habla de la calidad con la que se realizaron tanto el preanálisis como las actividades de campo.

De la misma manera, dicho software fue una gran herramienta en el proceso de diseño de la red y de las prácticas a realizar. Con un suficiente conocimiento de manejo del mismo, se puede utilizar para evaluar las diferentes alternativas para realizar la actividad de campo y optar por la que mejor se adapte a nuestros objetivos. De esta manera se define tanto el instrumental como la metodología a seguir.

Preanálisis red MARGIA, agregando 34FI

Para el preanálisis de la red MARGIA con la incorporación del punto PILFIIM34, se utiliza el software STARNET, estableciendo los siguientes parámetros iniciales.

STAR*NET Run Mode	: Preanalysis
Type of Adjustment	: 3D
Project Units	: Meters; DMS
Coordinate System	: UTM-21S
Geoid Height	: 0.0000 (Default, Meters)
Longitude Sign Convention	: Positive West
Input/Output Coordinate Order	: East-North
Angle Data Station Order	: At-From-To
Distance/Vertical Data Type	: Slope/Zenith
Convergence Limit; Max Iterations	: 0.001000; 10
Default Coefficient of Refraction	: 0.070000
Create Coordinate File	: Yes
Create Geodetic Position File	: Yes
Create Ground Scale Coordinate File	: No
Create Dump File	: Yes
GPS Vector Standard Error Factors	: None
GPS Vector Centering (Meters)	: None
GPS Vector Transformations	: None

Imagen N° 46: Información Punto MTV100URY

Se consideran un total de 9 estaciones, 8 de ellas libres y una fija que es el pilar PILFIIM34 (Ver Imagen N°50), el cual se puede observar en la imagen de la red.

El software calcula los primeros resultados que corresponden a las coordenadas de cada vértice.

Fixed Stations	E	N	Elev
PILFIIM34	576042.780000	6135611.060000	35.355000
Free Stations	E	N	Elev
A1FI	576174.131000	6135732.801000	31.530000
A2FI	576159.589000	6135529.799000	38.136000
A3FI	576099.664000	6135541.324000	36.675000
A4FI	575972.942000	6135698.705000	24.954000
A5FI	575942.980000	6135764.364000	20.090000
A6FI	576034.281000	6135800.723000	23.480000
A7FI	576158.729000	6135807.064000	27.078000
PILFIAZ	576119.868000	6135699.872000	71.894000

Imagen N° 47: Coordenadas UTM de cada vértice del preanálisis de la red MARGIA.

A partir de la configuración inicial, el software genera la matriz de las desviaciones estándar de las coordenadas de cada estación. Se obtienen errores en torno a milímetros, lo cual a priori es un buen indicio.

Station	E	N	Elev
A1FI	0.001000	0.001000	0.001334
A2FI	0.001001	0.001001	0.001334
A3FI	0.001000	0.001000	0.001334
A4FI	0.001000	0.001000	0.001334
A5FI	0.001000	0.001000	0.001334
A6FI	0.001000	0.001000	0.001334
A7FI	0.001001	0.001001	0.001334
PILFIIM34	0.000000	0.000000	0.000000
PILFIAZ	0.001000	0.001000	0.001334

Imagen N° 48: Desviaciones estándar de las coordenadas UTM para cada vértice que conforma el preanálisis de red MARGIA.

Finalmente se realiza un chequeo de tolerancia posicional con una tolerancia permitida de tres milímetros, donde no se registran fallos.

Positional Tolerance Check (Meters)				
Allowable Tolerance = 0.0030 + 0 PPM				
Tolerance Check Confidence Region = 95%				
Listing Failures Only				
Stations		Horizontal	Semi-Major-Axis	Ratio
From	To	Distance	Actual Allowed	Actual/Allowed
Connections Checked = 36				
Number of Failures = 0				

Imagen N° 49: Resultados del chequeo posicional.

Cómo podemos ver en la siguiente imagen, brindada por Starnet, dentro de los vértices que participan en el preanálisis de errores de la red MARGIA, el vértice PILFIIM34 se introduce con coordenadas fijas, ya que el mismo será nuestro vértice de apoyo ,luego de Ajustar la Red Zero, como se explicó anteriormente. En un paso posterior a este, se incorporará también el vértice PILFIIM35 cumpliendo la misma función.

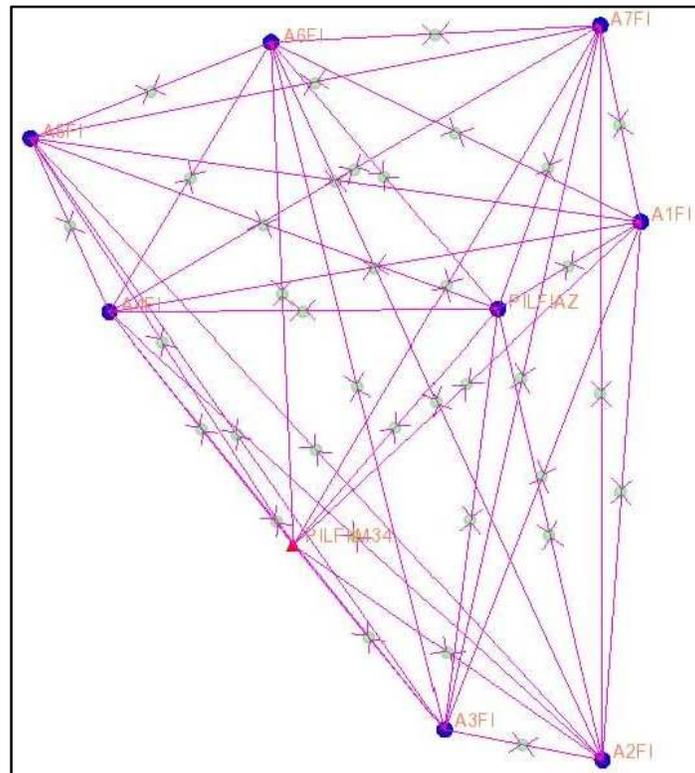


Imagen N° 50: Preanálisis red MARGIA.

Pre Análisis Red Zero

Para la Red Zero se realiza un pre análisis utilizando el software STARNET configurando un ajuste tridimensional en coordenadas UTM-21S y aplicando los siguientes parámetros.

STAR*NET Run Mode	: Preanalysis
Type of Adjustment	: 3D
Project Units	: Meters; DMS
Coordinate System	: UTM-21S
Geoid Height	: 0.0000 (Default, Meters)
Longitude Sign Convention	: Positive West
Input/Output Coordinate Order	: East-North
Angle Data Station Order	: At-From-To
Distance/Vertical Data Type	: Slope/Zenith
Convergence Limit; Max Iterations	: 0.001000; 10
Default Coefficient of Refraction	: 0.070000
Create Coordinate File	: Yes
Create Geodetic Position File	: Yes
Create Ground Scale Coordinate File	: No
Create Dump File	: Yes
GPS Vector Standard Error Factors	: None
GPS Vector Centering (Meters)	: None
GPS Vector Transformations	: None

Imagen N° 51: Parámetros establecidos para el preanálisis de la red zero con el software STARNET.

En el preanálisis se consideran un total de 6 estaciones, de las cuales 3 fueron fijadas como referencia, donde se obtienen los siguientes resultados para las coordenadas de cada estación:

Fixed Stations	E	N	Elev
UYMO	567629.266000	6139091.900000	158.083000
UYGM	577625.306000	6139879.483000	88.946000
MTV1	575247.000000	6136230.000000	40.700000
Free Stations	E	N	Elev
PILFIIM34	576042.780000	6135611.060000	35.355000
PILFIIM35	576721.790000	6133876.710000	23.183000
PILANP1	571873.663000	6136598.351000	20.650000

Imagen N° 52: Coordenadas UTM de cada vértice del preanálisis de la red Zero.

A partir de la configuración inicial, STARNET genera la matriz de desviaciones estándar de las coordenadas para cada estación, donde las estaciones fijas presentan errores nulos, justamente porque se encuentran fijas y libres de error, y los puntos libres tienen errores del entorno de un milímetro, lo cual es un buen indicador.

Station Coordinate Standard Deviations (Meters)			
Station	E	N	Elev
PILFIIM34	0.001230	0.001230	0.001538
PILFIIM35	0.001316	0.001316	0.001614
PILANP1	0.001292	0.001292	0.001572
UYMO	0.000000	0.000000	0.000000
UYGM	0.000000	0.000000	0.000000
MTV1	0.000000	0.000000	0.000000

Imagen N° 53: Desviaciones estándar de las coordenadas UTM para cada vértice que conforma el preanálisis de red Zero.

Finalmente se realiza un análisis de tolerancia posicional con una tolerancia permitida de tres milímetros donde se registran un total de doce fallas.

Positional Tolerance Check (Meters)					
Allowable Tolerance = 0.0030 + 0 PPM					
Tolerance Check Confidence Region = 95%					
Listing Failures Only					
Stations From Actual/Allowed	To	Horizontal Distance	Semi-Major-Axis Actual	Allowed	Ratio
MTV1 *	PILANP1	3393.3884	0.0032	0.0030	1.0538
MTV1 *	PILFIIM34	1008.1431	0.0030	0.0030	1.0037
MTV1 *	PILFIIM35	2777.2251	0.0032	0.0030	1.0735
PILANP1 *	PILFIIM34	4284.4230	0.0037	0.0030	1.2437
PILANP1 *	PILFIIM35	5559.8260	0.0039	0.0030	1.3014
PILANP1 *	UYGM	6621.7237	0.0032	0.0030	1.0538
PILANP1 *	UYMO	4922.6713	0.0032	0.0030	1.0538
PILFIIM34 *	PILFIIM35	1862.5317	0.0036	0.0030	1.2034
PILFIIM34 *	UYGM	4552.3426	0.0030	0.0030	1.0037
PILFIIM34 *	UYMO	9105.1340	0.0030	0.0030	1.0037
PILFIIM35 *	UYGM	6070.3892	0.0032	0.0030	1.0735
PILFIIM35 *	UYMO	10481.9941	0.0032	0.0030	1.0735
Connections Checked = 15					
Number of Failures = 12					

Imagen N° 54: Resultados del chequeo posicional para los vértices de la Red zero.

Para la Red Zero, como se explicó en el apartado de diseño de la red, en primera instancia se tuvo en cuenta el punto UYGM, el cual formó parte del preanálisis de la misma, pero finalmente fue eliminado, es por esto que forma parte de la figura que se puede ver a continuación. La justificación se encuentra en la parte del procesamiento de la red cuando se realiza el primer ajuste.

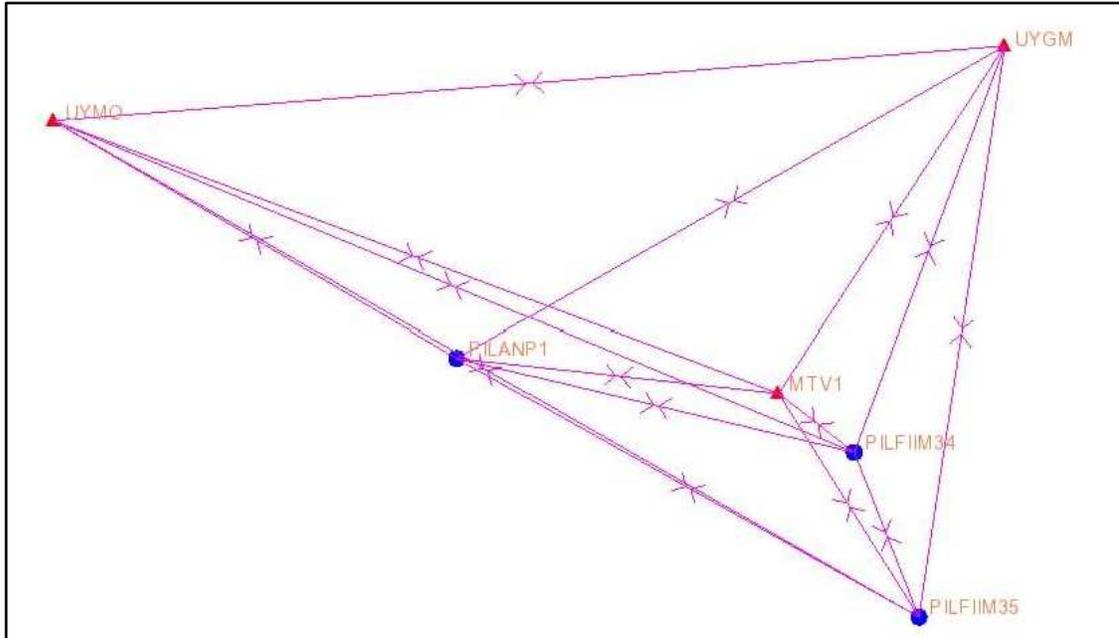


Imagen N° 55: Croquis del pre análisis de la Red Zero.

Pre Análisis MARGIA, agregando IM34 e IM35.

Para el preanálisis de la red MARGIA, agregando 34 y 35 también se utiliza el software STARNET, configurando un ajuste tridimensional, en coordenadas UTM-21S y aplicando los siguientes parámetros:

STAR*NET Run Mode	: Preanalysis
Type of Adjustment	: 3D
Project Units	: Meters; DMS
Coordinate System	: UTM-21S
Geoid Height	: 0.0000 (Default, Meters)
Longitude Sign Convention	: Positive West
Input/Output Coordinate Order	: East-North
Angle Data Station Order	: At-From-To
Distance/Vertical Data Type	: Slope/Zenith
Convergence Limit; Max Iterations	: 0.001000; 10
Default Coefficient of Refraction	: 0.070000
Create Coordinate File	: Yes
Create Geodetic Position File	: Yes
Create Ground Scale Coordinate File	: No
Create Dump File	: Yes
GPS Vector Standard Error Factors	: None
GPS Vector Centering (Meters)	: None
GPS Vector Transformations	: None

Imagen N° 56: Parámetros establecidos para el preanálisis de la red Margia agregando los vértices PILFIIM34 y PILFIIM35 con el software STARNET.

Se consideran un total de 10 estaciones, incorporando los puntos **PILFIIM34** y **PILFIIM35** como estaciones fijas, donde se obtienen los resultados en cuanto a las coordenadas este, norte y elevación de cada estación.

Fixed Stations	E	N	Elev
PILFIIM34	576042.780000	6135611.060000	35.355000
PILFIIM35	576721.790000	6133876.710000	23.183000
Free Stations	E	N	Elev
A1FI	576174.131000	6135732.801000	31.530000
A2FI	576159.589000	6135529.799000	38.136000
A3FI	576099.664000	6135541.324000	36.675000
A4FI	575972.942000	6135698.705000	24.954000
A5FI	575942.980000	6135764.364000	20.090000
A6FI	576034.281000	6135800.723000	23.480000
A7FI	576158.729000	6135807.064000	27.078000
PILFIAZ	576119.868000	6135699.872000	71.894000

Imagen N° 57: Coordenadas UTM de cada vértice del preanálisis de la red Margia agregando los vértices PILFIIM34 y PILFIIM35.

Se obtienen desviaciones estándar en las coordenadas de cada estación con errores en torno al milímetro, salvo las estaciones que se usaron como referencia que no presentan errores, ya que fueron utilizadas como referencia.

Station Coordinate Standard Deviations (Meters)			
Station	E	N	Elev
A1FI	0.000833	0.000833	0.001104
A2FI	0.000832	0.000832	0.001103
A3FI	0.000832	0.000832	0.001103
A4FI	0.000833	0.000833	0.001104
A5FI	0.000833	0.000833	0.001104
A6FI	0.000833	0.000833	0.001104
A7FI	0.000833	0.000833	0.001104
PILFIIM34	0.000000	0.000000	0.000000
PILFIIM35	0.000000	0.000000	0.000000
PILFIAZ	0.000832	0.000832	0.001104

Imagen N° 58: Desviaciones estándar de las coordenadas UTM para cada vértice que conforma el preanálisis de red Margia agregando los vértices PILFIIM34 y PILFIIM35.

Al final del pre análisis, se realiza un análisis de precisión posicional con una tolerancia permitida de tres milímetros donde no se registran fallas.

Positional Tolerance Check (Meters)
 Allowable Tolerance = 0.0030 + 0 PPM
 Tolerance Check Confidence Region = 95%
 Listing Failures Only

Stations From Allowed	To	Horizontal Distance	Semi-Major-Axis Actual	Allowed	Ratio Actual/
Connections Checked = 45					
Number of Failures = 0					

Imagen N° 59: Resultados del chequeo posicional para los vértices de la Red Margia agregando los vértices PILFIIM34 y PILFIIM35.

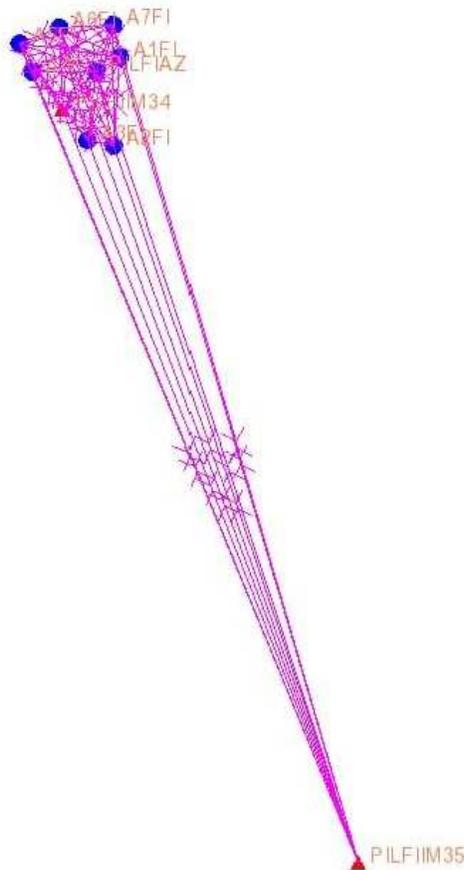


Imagen N° 60: Croquis del preanálisis de la Red Margia agregando los vértices PILFIIM34 y PILFIIM35.

La imagen N° 60 es la correspondiente al preanálisis de la red MARGIA incorporando los vértices PILFIIM34 y PILFIIM35, tal cual fue lo implantado finalmente. Por este motivo se puede considerar también como la imagen correspondiente a la red MARGIA descrita en el diseño de la red gnss.

5.1.2 Salidas a Campo

Una vez realizado el preanálisis, se procede con la práctica de campo. Esta consiste en “ocupar”, es decir, colocar un receptor GNSS en cada uno de los vértices que conforman la red geodésica, durante un tiempo aproximado de 3 horas. Para ello, no únicamente se necesita información de los 7 vértices de la red geodésica, sino que también es necesario “ocupar” 4 vértices ZERO, fundamentales para llevar adelante el ajuste de la misma.

Los equipos se organizaron de la siguiente forma:

VERTICES	Ocupacion Estaciones	Receptores
A1FI	Mauro Ferreira-Matias Sallaberry	CHC
A2FI	Gonzalo Clavijo-Mauro Valverde	CHC
A3FI	Lucas Padilla-Juan Zannatta	CHC
A4FI	Ana Pozzi-Julia Garcia	CHC
A5FI	Lucas Fernandez-Juan Garcia	CHC
A6FI	Matias Lopez-Martin Wainstein	CHC
A7FI	Maria Bentancur-Rodrigo Soria	CHC
AZFI	Jorge Faure-Fabian Barbato	LEICA
IM34	Jorge Faure-Fabian Barbato	LEICA
ANP1	Rodolfo Mendez-Jose Fernandez	CHC
IM35	Esteban Striewe-Hebenor Bermudez	CHC

Imagen N° 61: Conformación de grupos para la práctica de campo

La práctica de campo tuvo lugar el 9/11/2024 en las proximidades de la facultad de Ingeniería. Una vez proporcionados los equipos, se estacionan estos en los vértices ya mencionados, los cuales quedarán fijos por un tiempo determinado de observación (3 hs aproximadamente). El relevamiento comenzó a las 08:00 de ese día, momento desde el cual se comienzan a grabar datos, en cada una de los receptores GNSS, los cuales se encuentran correctamente colocados en cada uno de los vértices mencionados anteriormente.

Inicialmente el tiempo preestablecido consiste de una duración de 3 hs, debido a que el equipo del punto A3FI tuvo inconvenientes, fue necesario cambiar de

receptor y como consecuencia de esto el horario de relevamiento se extendió a 4 horas aproximadamente para algunos de los receptores GNSS.

Cada equipo tiene como instrumental de campo:

- Trípodes de aluminio o madera
- Bases nivelantes y bastones extensor
- Receptores GNSS
- Cintas métricas contrastadas

Se procede a colocar el receptor GNSS sobre el trípode, garantizando el centrado y verticalidad sobre el vértice geodésico en cuestión. Una vez se tiene certeza de una correcta colocación del trípode y receptor GNSS, se procede a medir mediante una cinta métrica la altura inclinada entre, el vértice de la red materializado en el terreno y el centro de fase del receptor, para esto se utiliza la placa de nivelación que se coloca en simultáneo al “enroscar” el bastón extensor. Se chequea con mucho cuidado que la medida anotada sea la correcta ya que será clave y fundamental para el postproceso de los datos (*Ver imagen 62*).

Para el caso donde el receptor GNSS se coloca sobre el pilar, se conoce la altura de este pilar por las monografías realizadas por IGM para este punto fijo. Sin embargo, se debe de tener en cuenta que para estos casos, la altura que se utiliza es la cabeza de la rosca hembra que sobresale de la parte superior del pilar, sumada a la altura de la base nivelante (*Ver imagen 63*).

Una vez se cuenta con el instrumento correctamente colocado, se procede a iniciar la recolección de datos crudos, esto se realiza mediante la creación de un nuevo proyecto y generar el modo de trabajo específico para este tipo de función.

Una vez que todos los equipos están en condiciones de trabajo se comienza la recolección de las observaciones en simultáneo.

Es importante destacar que es necesario corroborar durante la práctica que el trípode junto con el receptor no haya sufrido perturbaciones y no generen un “descentrado” y/o cambio en la altura inclinada entre el vértice geodésico y el centro de fase del receptor.

En los siguientes bosquejos se pueden visualizar, lo explicado anteriormente, remarcando la importancia de la altura inclinada que es impredecible medir con precisión y cuidado. Están graficadas las dos situaciones posibles, correspondientes a cuando el vértice de la red es un tornillo en el terreno o como lo es un vertice materializado en un pilar de hormigón.

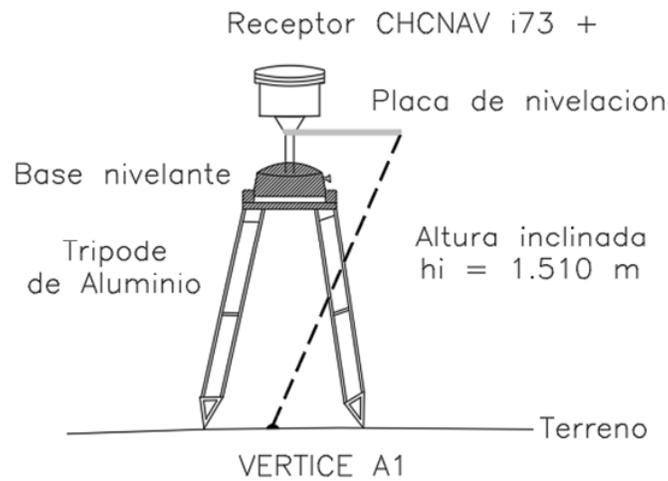


Imagen N° 62: Croquis de cómo se midió la altura en cada vértice geodésico A1FI - A7FI.

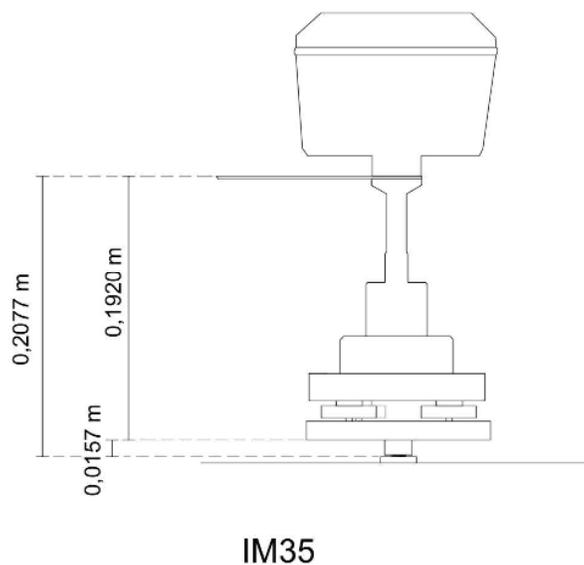


Imagen N° 63: Croquis de cómo se midió la altura en los pilares PILFIIM34, PILFIIM35, PILANP1 y FING.

Es importante mencionar que el día de la práctica a las 08:00 hs, la temperatura era de 20,8°, humedad de 65,5%, una presión atmosférica de 1016,8 hPa, datos medidos en la ubicación del barrio Prado de Montevideo, proporcionados por INUMET.

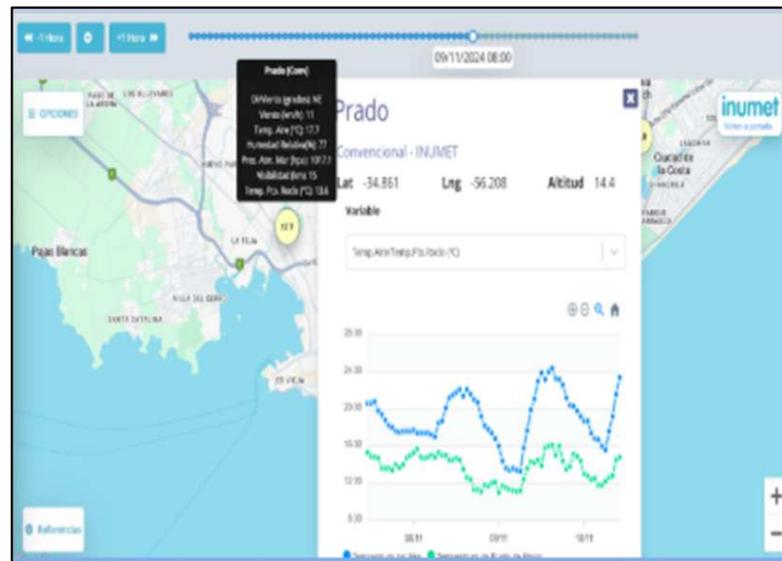
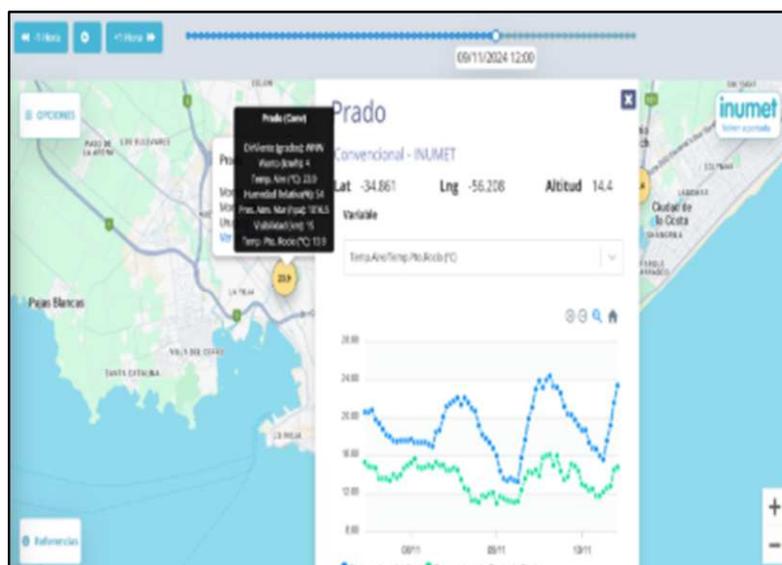


Imagen N° 64: Datos meteorológicos del día 09/11/2024 a las 8:00:00 hs en Montevideo.



Imágen N° 65: Datos meteorológicos del día 09/11/2024 a las 12:00:00 hs en Montevideo.



Imagen N° 66: Alumnos y docentes una vez finalizada la jornada de campo



5.1.3 Procesamiento y Ajuste

El procesamiento se realiza con el software CHC Geomatics Office. Se detallan a grandes rasgos los pasos a seguir y cuidados para un buen procesamiento y ajuste para la utilización de este software.

El marco de referencia en el cual se procesarán los datos, y por ende se obtendrán los resultados de las redes geodésicas, es SIRGAS-IGS20 week 2336, EPOCH: 2024-10-16, 12:00:00.

SIRGAS IGS-20 es la más reciente realización del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS).

Se trata de un sistema de referencia geodésico basado en el marco internacional ITRF 2020 (International Terrestrial Reference Frame 2020).

Uruguay al ser un país miembro de SIRGAS, poco a poco ha ido actualizando su red geodésica nacional a las nuevas realizaciones del sistema, garantizando que los datos de coordenadas sean cada vez más precisos y se encuentren dentro de los estándares internacionales. Por ende, esta es la importancia de trabajar y obtener resultados en este marco de referencia, ya que son datos comparables y con la posibilidad de trabajar de manera global.

Para dicho ajuste, se toman en cuenta las observaciones realizadas para cada uno de los vértices geodésicos, las observaciones de la base UYMO ubicada en el cerro de Montevideo y las observaciones de la base MTV1 ubicada en la embajada de EEUU.

Los datos de la base UYMO y la base MTV1 se obtienen desde un servidor web. Se debe tener en cuenta, que al tratarse de un relevamiento sumamente preciso, es necesario descargar las efemérides precisas de los mismos.

La red se dividirá en subredes, la primera llamada red ZERO, la cual en principio se definirá con los vértices UYMO, MTV1, PILFIIM34, PILFIIM35, PILANP1, UYGM y FING. Al igual que como fue planteado en reiteradas ocasiones en este informe, la elección de los vértice que conforman la red no es para nada aleatoria, sino que para la misma se realizó, entre otras cosas, un estudio

geométrico que calcula resultados muy positivos respecto a la fuerza de la figura determinada.

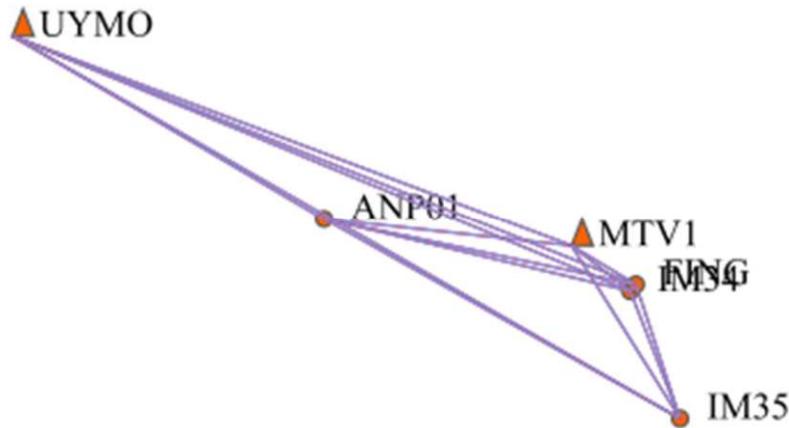


Imagen N° 67: líneas base de Red Zero una vez que se excluye el vértice UYGM.

Se procede a realizar un primer ajuste. Con los resultados se identifica la Estación UYGM excediendo las tolerancias preestablecidas, y es por eso que se concluye de apartarla de nuestra red de orden cero.

Entonces nuestra red de orden cero queda constituida por: UYMO, MTV1, PILFIIM34, PILFIIM35, PILANP1 y PFING. Se procede a ajustar nuevamente con el objetivo de poder obtener las coordenadas de PILFIIM34 y PILFIIM35 ajustadas, para posteriormente ser consideradas libres de error.

En principio se trabaja con una red de orden cero y una vez que esta está ajustada y resuelta es que se puede obtener las coordenadas de PILFIIM34 y PILFIIM35 ajustadas. [La red Zero determina el marco de referencia y las coordenadas finales de los dos pilares PILFIIM34 y PILFIIM35.](#)

Una vez que se consideran a las coordenadas de los vértices PILFIIM34 y PILFIIM35 como libres de error, se calcula la red geodésica MarG_IA, propagando las coordenadas hacia los vértices que la conforman, A1FI a A7FI, el vértice de la azotea (AZFI) y los vértices de los pilares PILFIIM34 y PILFIIM35.

Es de destacar que estos dos ajustes/redes componen la red geodésica de la Facultad de Ingeniería, ya que en caso de perder los puntos de la red geodésica MarG_IA, se puede volver a reconstruir la misma, a partir de la red cero.

5.1.4 CHCNAV CGO / Software de procesamiento GNSS

El procesamiento de datos se realizó en el Software CGO CHCNAV.

Se inicia con la creación de un proyecto, donde se definirá el sistema de referencia y donde se introducen los datos de las observaciones, tanto de las bases disponibles como de los receptores móviles colocados sobre los puntos fijos.

En este tipo de actividades resulta fundamental chequear varias veces a lo largo del procedimiento, la altura medida en cada caso, así como dejar un registro de cómo se mide dicha altura, los errores asociados a la medida de la altura son los más comunes, y se pueden evitar realizando medidas claras y dejando la información respaldada en un cuaderno de campo.

En cada caso, el software de procesamiento nos preguntará “hasta donde” está medida la altura. En esta práctica, todas las alturas fueron medidas de manera “inclinada” desde el punto en cuestión hasta la placa de hierro para la medición de alturas que viene en los kits de cada receptor, este procedimiento se encuentra esquematizado en la *Imagen N° 62*.

Se trabajó con el formato RINEX de intercambio *.RNX para las observaciones, esto es recomendable en este tipo de situaciones en las que se combinan diferentes orígenes de receptores (Leica y CHCNAV, en este caso). Cada fabricante tiene su formato propio pero ambos receptores permiten grabar datos en el formato de intercambio universal RINEX.

Una vez que se tienen las observaciones y efemérides cargadas, y realizado el chequeo correspondiente, se procede con el procesamiento de datos. Para esto lo primero es fijar tanto las coordenadas de UYMO y MTV1, esto es de hecho ya que de estos Vértices se obtienen las coordenadas ajustadas semanalmente por SIRGAS, y el ajuste final de los puntos observados en la práctica, estará referenciado a estas bases UYMO y MTV1, en una época determinada.

Se configura el procesamiento, teniendo en cuenta la forma en la que se crean las líneas de base en el software, ya que siempre, todas aquellas líneas que incluyan tanto a UYMO como MTV1 deben salir de ellos, ej: UYMO-ANP001.

A continuación se definen algunos parámetros importantes a configurar:

Tipo de efemérides: Precisas

Modelo Troposférico: GPT2

Modelo Ionosférico: Auto

Modelo de resolución de ambigüedades: Lambda

Luego de realizar la configuración, se procesan las líneas bases:

Index	Baseline ID	Baseline Type	Begin Point	End Point	Solution	Usage Rate(%)	Observation Session	Ratio	RMS(m)	Qual
1	B01(uymo31)	Static	UYMO	MTV1	L1 Fix	97.08	03:59:59.000	52.9	0.0093	Conf
2	B02(uymo31)	Static	UYMO	ANP01	L1 Fix	100	02:59:59.000	49.3	0.0070	Conf
3	B03(mtv1314)	Static	MTV1	ANP01	L1 Fix	100	02:59:59.000	99.0	0.0058	Conf
4	B04(uymo31)	Static	UYMO	IM34	L1 Fix	100	03:30:23.000	47.1	0.0092	Conf
5	B05(mtv1314)	Static	MTV1	IM34	L1 Fix	100	03:30:23.000	99.0	0.0061	Conf
6	B06(3445530)	Static	ANP01	IM34	L1 Fix	99.72	02:59:59.000	99.0	0.0079	Conf
7	B07(uymo31)	Static	UYMO	IM35	Lc Fix	100	03:38:28.000	19.8	0.0122	Conf
8	B08(mtv1314)	Static	MTV1	IM35	L1 Fix	100	03:38:28.000	49.8	0.0054	Conf
9	B09(3445530)	Static	ANP01	IM35	L1 Fix	100	02:59:59.000	99.0	0.0079	Conf
10	B10(IM34314)	Static	IM34	IM35	L1 Fix	100	03:30:23.000	99.0	0.0067	Conf

Imagen N° 68: Reporte luego de realizar el procesamiento de las líneas bases

A partir del procesamiento se chequea lo siguiente:

- La solución debe ser fija
- Los estimadores de precisión, en particular el valor Ratio y el RMS del vector (los cuales pueden ser previamente configurados). El rms límite es 0.4, el ratio límite es 1; es la relación entre el segundo mínimo y el mínimo rms de todos los vectores.
- El tipo de solución, esta puede ser tanto L1FIX, lo que significa que no está usando la combinación libre ionosfera, ó LCFix que significa que usó la combinación libre ionosférica, probablemente por la longitud del vector.

Después de tener en cuenta todo esto, se procede a ajustar la red, acá también debemos configurar algunas cosas importantes como:

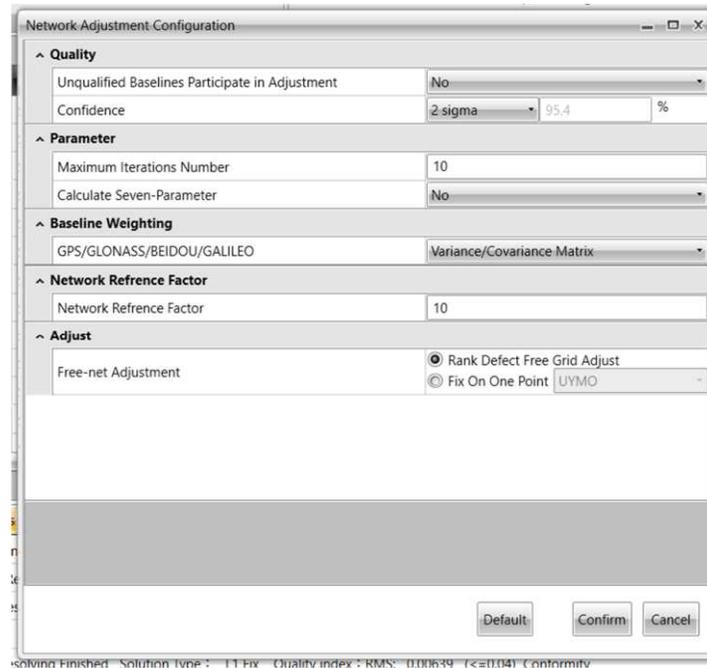


Imagen N° 69: Configuración del ajuste a realizar.

Nivel de confianza IC Incertidumbre = 95%

Con la opción Rank Defect Free Grid Adjust podemos hacer, en paralelo al ajuste, un ajuste libre. Este ajuste libre nos puede permitir detectar error, debido a que en la red libre no se fija nada y si existe un movimiento excesivo de una base es posible que contenga un error. Si la red está bien igualmente puede existir un movimiento pero dentro de cierta tolerancia.

En el apartado Control Points, se indican las coordenadas cartesianas de los puntos de control previamente indicados. Para esto se busca en la página de SIRGAS las coordenadas de las bases de referencia, en este caso, las correspondientes a la semana GNSS 2336.

Las coordenadas cartesianas geocéntricas que se extraen son las siguientes:

ESTACIÓN	X (m)	Y (m)	Z (m)
MTV1	2914537.03216	-4349790.42248	-3630033.28865
UYMO	2909133.01889	-4355451.44129	-3627801.02286

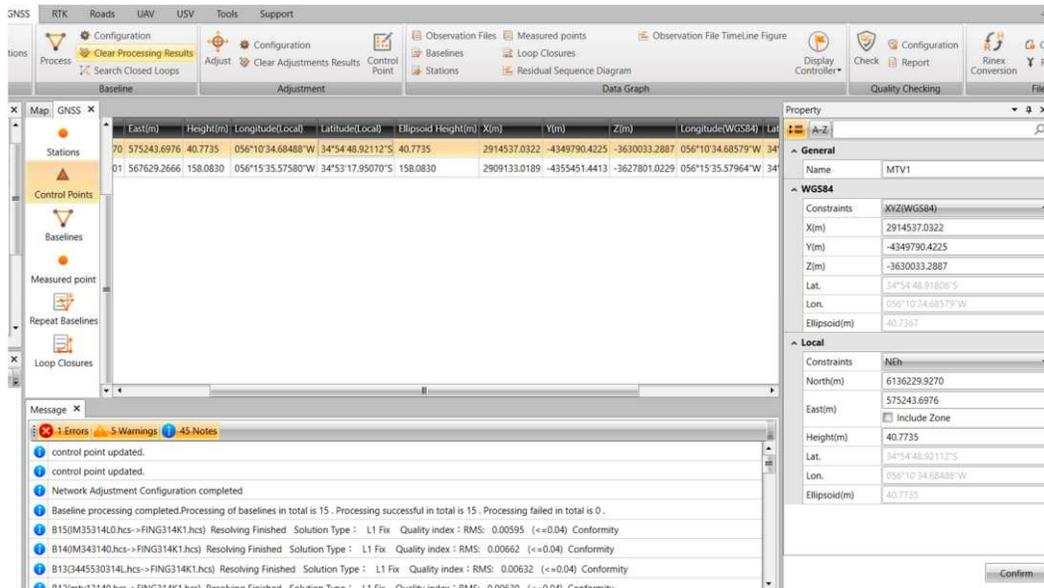


Imagen N° 70: Proceso en el Software

Luego clickeamos en el botón de ajuste y seleccionamos manual 3D y se indica el sistema de coordenadas WGS84.

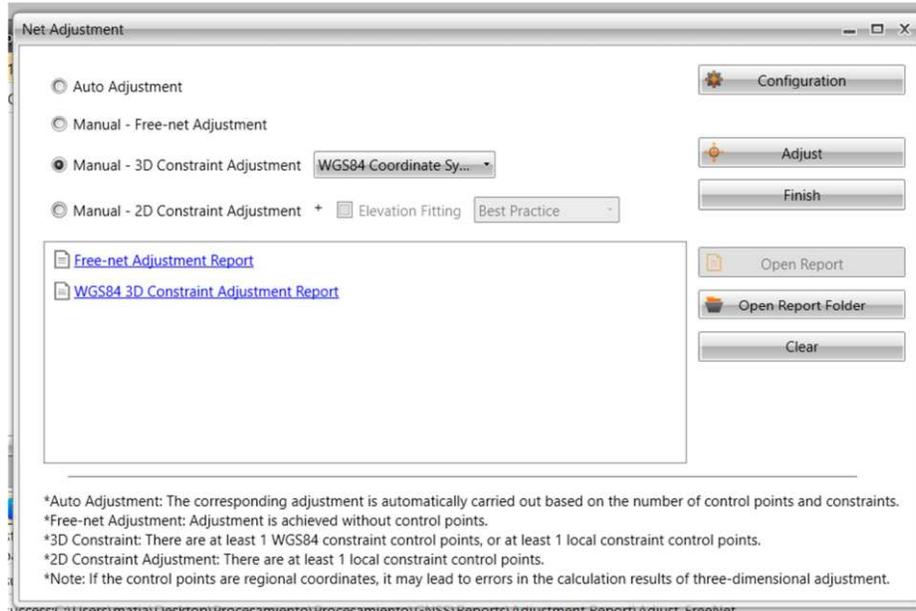


Imagen N° 71: Exportación del reporte.

En el reporte generado hay que poner atención en el apartado número 2 “**Adjustment Statistics**”, ya que podemos visualizar la precisión obtenida tanto en horizontal como en vertical.

Red Zero: conformada por los vértices MTV1, UYMO, ANP01, IM34, IM35 FING, se fijan los vértices **MTV1** y **UYMO** y se consideran libres de error. Luego, se procede a obtener las coordenadas ajustadas de los demás vértices de dicha red, con sus correspondiente elipse de error.

Point ID	East(m)	East Err.(m)	North(m)	North Err.(m)	Elev.(m)	Elev. Err.(m)
MTV1	575243.67548	0.00000	6136230.02134	0.00000	40.7367	0.0000
UYMO	567629.17167	0.00000	6139092.25455	0.00000	158.0968	0.0000
ANP01	571873.58951	0.00182	6136598.69967	0.00217	20.6825	0.0024
IM34	576042.69028	0.00168	6135611.41176	0.00206	35.3837	0.0025
IM35	576721.70426	0.00187	6133877.07978	0.00225	23.2181	0.0026
FING	576119.79272	0.00190	6135700.22091	0.00226	71.8828	0.0027

Imagen N° 72: Coordenadas ajustadas.

4.10 Error Elipse

Point ID	Major Axis(m)	Short Axis(m)	Azimuth
MTV1	0.0000	0.0000	0°0'0.00000"
UYMO	0.0000	0.0000	0°0'0.00000"
ANP01	0.0022	0.0018	160°31'46.31929"
IM34	0.0021	0.0017	170°8'38.50966"
IM35	0.0023	0.0019	5°21'1.65996"
FING	0.0023	0.0019	2°48'53.55685"

Imagen N° 73: Elipses de error - Red Zero.

Red MarG_IA: conformada por los vértices IM34, IM35, FING, y los vértices A1 al A7, para este red se utilizan las coordenadas ajustadas obtenidas anteriormente y se consideran libres de error para este nuevo ajuste. Se obtienen las coordenadas de los vértices FING, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 ajustadas y sus correspondientes elipse de error..

4.6 Adjusted Grid Coordinates and Height in Local System

Point ID	East(m)	East Err.(m)	North(m)	North Err.(m)	Elev.(m)	Elev. Err.(m)
IM34	576042.69028	0.00000	6135611.41176	0.00000	35.3837	0.0000
IM35	576721.70426	0.00000	6133877.07978	0.00000	23.2181	0.0000
FING	576119.79252	0.00096	6135700.21989	0.00110	71.8788	0.0014
A1	576174.05866	0.00101	6135733.16063	0.00119	31.6509	0.0018
A2	576159.49685	0.00118	6135530.15705	0.00148	38.2480	0.0014
A3	576099.57495	0.00083	6135541.68168	0.00104	36.7788	0.0011
A4	575972.84677	0.00095	6135699.05342	0.00107	25.0563	0.0014
A5	575942.88748	0.00109	6135764.70466	0.00151	20.1810	0.0013
A6	576034.17564	0.00120	6135801.07178	0.00142	23.5859	0.0022
A7	576158.64138	0.00119	6135807.41721	0.00138	27.1621	0.0017

Imagen N° 74 y 75: Coordenadas Ajustadas y Elipses de error - Red MarG_IA.

6. Conclusiones

Para la definición de la altimetría de la red de nivelación y alcanzar la precisión requerida es fundamental trabajar con instrumental adecuado. Por eso es que se utiliza instrumental específico y calibrado, como lo es el caso del nivel y las miras.

Con el fin de mejorar la precisión del en los resultados se usaron bípodes para que el error de verticalidad de la mira no afecte de forma considerable.

En cuanto a las salidas de campo, el hecho de que la nivelación fuera realizada por tres grupos nos permite trabajar con adecuada redundancia de datos para el posterior ajuste. Como se menciona anteriormente, los datos del Grupo 1 no contemplan las precisiones buscadas teniendo la opción de volver a campo o descartar estos datos, al contar con redundancia de datos para el ajuste la opción que se toma es descartar estos datos.

Con respecto a los datos descartados, la primer nivelación se realiza un día con mucho viento y de momentos con sol de frente, estás condiciones meteorológicas no son las más convenientes, ya que de a momentos el nivel no pudo leer las miras y con el viento se tuvieron dificultades para la colocación de las miras en los galápagos. Todas estas complicaciones se trasladaron al resultado final por más que se utilizara el método del doble plano colimador para tener un control en campo.

Las consideraciones que quizás se debieron tomar es optar por otro día para realizar la nivelación, quizás una mejor aplicación del método de doble plano colimador ya que si se analizan los datos de la primer salida a campo las lecturas de mira no varían y por lo tanto el plano colimador tampoco y en los tramos de mayor desnivel una opción puede buscar la forma más óptima de achicar los tramos de nivelación con la finalidad de no obtener lecturas de mira muy próximas al terreno ni muy altas en la otra mira.

Con respecto a esto, sin dudas que el método del doble plano colimador es un método fiable al momento de realizar la nivelación ya que a los demás grupos los resultados que obtuvieron están dentro de la tolerancia.

Como nos encontramos con valores que están dentro de tolerancia, el paso siguiente es realizar el ajuste. Para ello, se utiliza la herramienta de Office Excel y se comparan los datos con los obtenidos por el software STAR*NET y Matlab. El cuidado que se tiene al realizar el ajuste por Excel es que se utilicen todas las cifras para los cálculos.

Se observa que los resultados que se obtienen son los mismos que los software, lo mismo pasa con el cálculo de las desviaciones estándar de las niveles calculadas, las diferencias se ven recién a la milésima del milímetros y se entiende que esta diferencia no es considerable ya que las niveles están calculadas y ajustadas al milímetro.

Por lo tanto se considera que los resultados obtenidos son correctos y acordes al relevamiento en cuestión, el cual es la confección de una red geodésica y las precisiones que la misma implica.

Por más que se le denomina ajuste el proceso que se realiza es una **optimización** y cumple con las condiciones del mismo, siendo:

- Se cumple con las ecuaciones de condición.
- Se cumple con mínimos cuadrados.
- Precisiones finales ajustadas por mínimos cuadrados da mejor.

En la “agrimensura local” lamentablemente se trabaja poco con “Ajuste de redes” el cual es un concepto ampliamente estudiado, utilizado y desarrollado en todo el mundo.

Entender cómo trabajan estos software como el *Trimble Business Center*, *Leica Infinity* y el utilizado en este caso, *CHCNAV CGO*, y cual es el trasfondo de un procesamiento de datos es esencial para que podamos sacarles el mayor provecho.

Para el ajuste se establecieron tiempos de observación superiores a los mínimos requeridos usualmente, anticipando posibles errores operativos o fallas en el equipamiento de medición. Este enfoque preventivo resultó fundamental, ya que efectivamente se presentaron fallas técnicas durante el proceso de levantamiento. Sin embargo, gracias a la previsión adoptada, se contó con datos suficientes y de

calidad adecuada para realizar el ajuste de la red de manera correcta y precisa. La estrategia de planificación, basada en tiempos de observación extendidos, permitió mitigar los efectos negativos de los inconvenientes registrados. Esto demuestra la importancia de contemplar márgenes de seguridad en la duración de las observaciones para garantizar la integridad y confiabilidad de los resultados en proyectos topográficos de alta precisión.

Revisión y Validación 19-08-2025:



Prof.Ing.Fabián Barbato

fbarbato@fing.edu.uy

Jefe del Departamento de Geodesia

Departamento de Geodesia – Instituto de Agrimensura