



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



FACULTAD DE
INGENIERÍA
UDELAR

DENSIFICACION DE REDES GEODESICAS GNSS E INTEGRACION CON REDES 3D EDM

Matías Daniel Castro Leguisamo

Mateo Viñales Dinardi

Proyecto de grado presentado en Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención del título de Ingeniero Agrimensor

Tutores:

Ing. Agrim. Fabián Barbato

Ing. Agrim. Martin Wainstein

Montevideo, Uruguay

Abril de 2026

Página de Aprobación

Facultad de Ingeniería

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la Tesis de Investigación:

Título:

.....
.....

Autores:

.....
.....

Tutores:

.....
.....

Carrera:

.....

Puntaje:

.....

Tribunal:

Profesor (nombre y firma)

Profesor (nombre y firma)

Profesor (nombre y firma)

Abril, 2026

Agradecimientos

Quisiéramos expresar nuestro más profundo agradecimiento:

A nuestros tutores, el Ing. Agrim. Fabián Barbato y el Ing. Agrim. Martin Wainstein, por su guía experta, su tiempo y por compartir sus conocimientos fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Al Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería, por brindarnos las instalaciones, el instrumental de alta precisión y el marco académico necesario para nuestra formación.

A los compañeros de la unidad curricular de Diseño y Cálculo de Redes Geodésicas, con quienes compartimos las intensas jornadas de campo, desde la monumentación hasta las campañas de observación GNSS.

A nuestros compañeros de carrera y amigos de vida, con quienes compartimos lo más importante, el tiempo, haciendo que el camino hacia este título fuera mucho más ameno.

Finalmente, agradecemos de todo corazón a nuestras familias, por ser el pilar fundamental en nuestras vidas, por su apoyo incondicional y por los valores que nos permitieron llegar a esta meta. Asimismo, agradecemos a nuestras parejas, por su paciencia, su compañía y por creer en nuestra capacidad en cada momento de este proceso.

”La geodesia es la ciencia de medir y monitorear la Tierra; la agrimensura es el arte de darle un lugar preciso a cada sueño sobre ella.”

Los autores

RESUMEN

En éste trabajo se desarrolla el proceso de densificación del Marco de Referencia del Instituto de Agrimensura (MaRGIA) desde la planificación del diseño de la red, hasta la monumentación, medición y cálculo de coordenadas de los puntos. Este proceso se realizó utilizando posicionamiento GNSS combinado con nivelaciones geométricas para maximizar la exactitud de los resultados obtenidos, luego se procesó utilizando los software Star*Net y CHC Geomatic Office.

Adicionalmente se detalla la incorporación de la Red Interna del Instituto de Agrimensura a MaRGIA, y las operaciones realizadas para lograr ésto.

Palabras claves:

Geodesia, Topografía, Redes Geodésicas, GNSS, Densificación.

ABSTRACT

This work develops the densification process of the Institute of Surveying's Reference Framework (MaRGIA) from the planning of the network design to the monumentation, measurement, and calculation of point coordinates. This process was carried out using GNSS positioning combined with geometric levelling to maximize the accuracy of the results obtained, which were then processed using Star*Net and CHC Geomatic Office software. In addition, the incorporation of the Internal Network of the Institute of Surveying into MaRGIA is detailed, along with the operations carried out to achieve this.

Keywords:

Geodesy, Topography, Geodesic Networks, GNSS, Densification.

Lista de figuras

3.1	Marco de referencia ECEF	7
3.2	Elipsoide de referencia	8
3.3	Geoide	10
3.4	Esquema de alturas.	11
3.5	Datum vertical.	13
3.6	Transversa Mercator.	17
3.7	Estación Total Trimble S5	19
3.8	Equialtímetro Electrónico Leica Sprinter 150M.	20
3.9	Receptor GNSS CHC i73.	21
3.10	Esquema de nivelación con el Método del Punto Medio	24
3.11	Esquema de nivelación trigonométrica	26
3.12	Esquema de uso de Estación Total	30
3.13	Posicionamiento con cuatro satélites.	31
3.14	Esquema de técnicas GNSS.	33
4.1	Ejemplo de diseño topológico de una Red Geodésica	43
4.2	Ejemplo red sin datum altimétrico.	47
4.3	Ejemplo red con datum altimétrico.	48
4.4	Centro de antena. Esquema	52
4.5	Esquema de altura del instrumento.	53
4.6	Densificación de una red geodésica	62
4.7	Método de levantamiento radial con 1 vértice fijo.	63
4.8	Método de levantamiento radial con 2 vértices fijos.	64
4.9	Método de mallas y fuerza de red.	65
5.1	Configuración de MaRGIA.	70
5.2	Situación de la Red Zero MaRGIA.	71
5.3	Esquema de RInIA.	75

5.4	Diseño de nueva Red Zero MaRGIA.	78
5.5	Vértices 31FI, 32FI y 33FI.	85
5.6	Vértice 0AZFI en la primera campaña de observación.	88
5.7	Vértice 31FI en la primera campaña de observación.	89
5.8	Vértice 32FI en la primera campaña de observación.	90
5.9	Vértice 33FI en la primera campaña de observación.	91
5.10	Puntos de control de Red Zero MaRGIA.	95
5.11	Fuerza de la figura según configuración elegida.	104
5.12	Comparación de figuras según distribución de los vértices	106
5.13	Puntos de densificación de Red MaRGIA	108
5.14	Observación de vértice 0AZFI.	111
5.15	Observación de vértice 1BFI.	113
5.16	Observación de vértice 2BFI.	113
5.17	Observación de vértice 3BFI.	114
5.18	Observación de vértice 4BFI.	114
5.19	Observación de vértice 5BFI.	115
5.20	Observación de vértice 6BFI.	115
5.21	Líneas base generadas en la densificación de Red MaRGIA. . . .	123
5.22	Configuración de la red agregando estaciones permanentes. . . .	125
5.23	Ubicación de vértices para enlace.	128
5.24	Esquema de ángulos y medidas	131
5.25	Puntos ubicados en Google Earth	134
5.26	Croquis de distribución de los puntos de RInIA	135
5.27	Croquis de RInIA	144
5.28	Vértices involucrados en la nivelación.	149
5.29	Nivelación Simple	151
5.30	Nivelación Compuesta	152
5.31	Planificación de segunda campaña de nivelación.	157

Lista de tablas

3.1	Relación entre línea base, tiempo de observación y precisión . . .	34
4.1	Matriz Marco Lógico	40
4.2	Aspectos generales de la técnica estática.	51
4.3	Recomendaciones de tiempos.	52
4.4	Fenómenos a tomar en cuenta.	54
5.1	Estadísticas de ajuste de la Red Zero MaRGIA.	94
5.2	Coordenadas de Red Zero MaRGIA en sistema local (NEH). . .	95
5.3	Errores de coordenadas de Red Zero MaRGIA en sistema local (NEH).	96
5.4	Coordenadas para preanálisis de STAR*NET.	101
5.5	Desviaciones estándar generadas por preanálisis.	102
5.6	Desviaciones estándar del preanálisis usando AZFI y 34FI. . . .	104
5.7	Desviaciones estándar del preanálisis usando AZFI, 34FI y 35FI.	105
5.8	Desviaciones estándar del preanálisis usando AZFI, 34FI, 35FI y 32FI.	105
5.9	Especificaciones de las mediciones GNSS	112
5.10	Indicador <i>Usage Rate</i> en procesamiento de la densificación. . . .	118
5.11	Indicador de multicamino en densificación.	119
5.12	Líneas bases procesadas.	119
5.13	Estadísticas generales del ajuste restringido.	121
5.14	Coordenadas <i>iBFI</i> ajustadas en sistema local.	122
5.15	Desviaciones de las coordenadas <i>iBFI</i> ajustadas en sistema local.	122
5.16	Resultados estadísticos del ajuste con diferente configuración. .	126
5.17	Coordenadas ajustadas y errores estándar considerando diferen- te configuración.	126
5.18	Coordenadas de 34FI	136

5.19	Coordenadas de 2AFI	137
5.20	Coordenadas observadas de 1CFI	138
5.21	Promedio y desviación de 1CFI	138
5.22	Nivelación IM34-1CFI (a)	139
5.23	Nivelación IM34-1CFI (b)	140
5.24	Diferencias de cotas del punto 1CFI	140
5.25	Coordenadas utilizadas en el segundo estacionamiento.	141
5.26	Coordenadas observadas de IAFI	142
5.27	Coordenadas de IAFI	142
5.28	Coordenadas medidas de D1	145
5.29	Coordenadas medidas de D2	145
5.30	Coordenadas medidas de D3	145
5.31	Coordenadas medidas de D4	145
5.32	Coordenadas medidas de D5	146
5.33	Coordenadas medidas de D6	146
5.34	Coordenadas medidas de D7	146
5.35	Coordenadas medidas de R1	147
5.36	Coordenadas medidas de R2	147
5.37	Coordenadas medidas de R3	147
5.38	Coordenadas medidas de R4	148
5.39	Coordenadas medidas de PC	148
5.40	Elevaciones ajustadas y propagación de errores.	155
5.41	Resultados de la primera campaña de nivelación.	156
5.42	Resultados de la segunda campaña de nivelación.	158
5.43	Resultados de la Malla 1.	159
5.44	Resultados de la Malla 2.	159
5.45	Resultados de la Malla 3.	159
5.46	Resultados de la nivelación de tramos problemáticos.	160
5.47	Resultados de la malla 3 con correcciones.	160
5.48	Resultados de la malla general con correcciones.	160
5.49	Resultados del procesamiento y ajuste de altimetría de la Red MaRGIA(D).	161

Tabla de contenidos

Lista de figuras	VI
Lista de tablas	VIII
Lista de símbolos	IX
Notaciones	IX
Lista de siglas	IX
1 Introducción	1
2 Objetivos	3
2.1 Objetivos Generales	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 Marco Teórico	5
3.1 Sistema de Referencia	5
3.2 Marco de Referencia	6
3.3 Superficies de Referencia	8
3.3.1 Elipsoide	8
3.3.2 Geoide	9
3.3.3 Modelo Geoidal EGM2008	10
3.4 Alturas	11
3.4.1 Altura Ortométrica	12
3.4.2 Altura Elipsoidal	12
3.4.3 Datum Altimétrico	12
3.5 Sistemas de Coordenadas	14
3.6 Proyección Cartográfica	16

3.6.1	Transversa Mercator	17
3.7	Instrumentos de Medición en Geodesia	18
3.7.1	Estación Total	18
3.7.2	Equialtímetro Electrónico	19
3.7.3	Receptor GNSS	20
3.8	Metodologías de Medición Empleadas en el Proyecto	22
3.8.1	Nivelación Geométrica	22
3.8.2	Nivelación Trigonométrica	25
3.8.3	Ajustes y Control de Cierre de Nivelación	27
3.8.4	Tolerancia	29
3.8.5	Método de Radiación con Estación Total	30
3.8.6	GNSS	31
4	Redes Geodésicas	36
4.1	Generalidades	36
4.2	Objetivo de una Red Geodésica	38
4.3	Marco Lógico	39
4.4	Fases de Implementación y Cálculo de una Red Geodésica	41
4.4.1	Diseño	41
4.4.2	Diseño Topológico	42
4.4.3	Definición del Modelo Matemático	45
4.4.4	Selección del Datum	46
4.4.5	Planificación, Preanálisis y Simulaciones de Redes	49
4.4.6	Componentes de la Implantación y Observación	50
4.4.7	Calidad de Archivos de Observación RINEX	55
4.4.8	Procesamiento y Cálculo de la Red	56
4.4.9	Ajuste de las observaciones	58
4.5	Densificación de Redes Geodésicas	61
4.5.1	Densificación de una Red Existente	61
4.5.2	Métodos y Estrategias de Densificación	62
4.5.3	Comparación con la Creación de una Red Geodésica Nueva	66
5	Diseño, Implementación y Desarrollo del Proyecto	67
5.1	Estado de MaRGIA	69
5.1.1	Red Zero MaRGIA	70
5.1.2	Red MaRGIA	72

5.1.3	RInIA	74
5.2	Ampliación de la Red Zero MaRGIA 2025	76
5.2.1	Preanálisis de la Ampliación de la Red Zero	80
5.2.2	Vértices Implantados	83
5.2.3	Primer Campaña Geodésica	86
5.2.4	Procesamiento y Análisis	92
5.3	Densificación Red MaRGIA: Vértices BFI	98
5.3.1	Preanálisis de la Densificación	100
5.3.2	Estudio del Preanálisis de la Densificación de MaRGIA .	102
5.3.3	Implantación de Vértices	107
5.3.4	Segunda Campaña de Observación	109
5.3.5	Procesamiento y Análisis	116
5.3.6	Análisis comparativo del ajuste con y sin incorporación de estaciones fiduciales	124
5.4	Densificación Red MaRGIA: Enlace MaRGIA-RInIA	127
5.4.1	Consideraciones generales	129
5.4.2	Preanálisis del Enlace MaRGIA - RInIA	131
5.4.3	Trabajo de Campo	136
5.5	Altimetría Red MaRGIA(D)	149
5.5.1	Preanálisis	151
5.5.2	Preanálisis Altimétrico Calculado en Starnet	154
5.5.3	Primera Campaña de Nivelación y Análisis	156
5.5.4	Segunda Campaña de Nivelación y Análisis	158
5.5.5	Procesamiento y Ajuste de Altimetría de la Red MaR- GIA(D)	161
6	Resultados y Conclusiones	162
6.1	Resumen Ejecutivo	162
6.2	Comentarios Finales	163
	Bibliografía	165
	Anexo	167
	Monografías de los Puntos BFI	169
	Reporte del Ajuste de la Red Zero	181
	Reporte del Preanálisis de la Red MaRGIA(D)	191
	Reporte del Ajuste de la Red MaRGIA(D)	199

TABLA DE CONTENIDOS

XIII

Reporte del Preanálisis Altimetría de MaRGIA(D)	211
Reporte del Ajuste de Altimetría de MaRGIA(D)	215

Capítulo 1

Introducción

Durante el año 2024, y en respuesta a la necesidad de la enseñanza de la agrimensura de contar con un Marco de Referencia preciso para el desarrollo de actividades académicas, prácticas de campo e investigaciones vinculadas a las unidades curriculares del área de Topografía y Geomática, se llevó a cabo el diseño, la materialización y el cálculo del Marco de Referencia Geodésico del Instituto de Agrimensura, denominado MaRGIA. Esta red fue concebida y ejecutada a través de un trabajo conjunto entre docentes y estudiantes del Módulo de Investigación de apoyo al nuevo curso denominado Diseño y Cálculo de Redes Geodésicas, consolidándose como una infraestructura fundamental para el apoyo a la enseñanza y a la investigación.

Desde su puesta en funcionamiento, MaRGIA ha sido utilizado como referencia en distintas asignaturas, permitiendo el desarrollo de actividades prácticas con un marco geométrico confiable y acorde a estándares geodésicos. No obstante, en su etapa inicial, la red fue implantada exclusivamente dentro del predio de la FING y sus inmediaciones, abarcando un área acotada que limita su aprovechamiento para determinadas aplicaciones académicas y técnicas. Por tal motivo, surgió la necesidad de densificar la red existente, entendiendo por densificación la incorporación de nuevos vértices debidamente materializados y con coordenadas de alta precisión, con el fin de ampliar la cobertura espacial y fortalecer su utilidad operativa.

Paralelamente, el IA dispone en sus instalaciones de una red interna conformada por un pilar de centrado forzoso, así como por una serie de reperes y dianas utilizados para la realización de prácticas topográficas dentro del propio edificio de la facultad. Dicha red, conocida como RInIA (Red Interna del Instituto de Agrimensura), se encontraba hasta el momento definida en un sistema de coordenadas arbitrario, adecuado para fines básicos, pero desvinculado de MaRGIA. Esta condición impedía la integración de ambas redes y limitaba la posibilidad de desarrollar trabajos referidos a un sistema de coordenadas común.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo principal la densificación de la red MaRGIA mediante la incorporación de nuevos vértices estratégicamente ubicados, así como la vinculación de RInIA a dicho marco geodésico, integrando dos redes, una GNSS y otra EDM (*Electronic Distance Measurement*), conformando una única red geodésica, la cual será denominada ReGIA (Red Geodésica del Instituto de Agrimensura). Para ello se desarrollaron tareas de observación GNSS, nivelación de precisión, procesamiento de datos, control de calidad y ajustes correspondientes, con el propósito de obtener coordenadas confiables que garanticen la coherencia geométrica entre ambas redes. De esta manera, se busca consolidar un marco de referencia ampliado, integrado y de precisión adecuada para su uso continuo en actividades académicas, prácticas, de investigación, y de amplia utilización de instrumental, tanto GNSS como niveles y equipos EDM.

Capítulo 2

Objetivos

El objetivo de este trabajo es desarrollar un procedimiento robusto para el análisis, la medición y el cálculo sobre la densificación de redes geodésicas, incorporando además el estudio de sus parámetros de precisión e incorporación de redes tridimensionales EDM.

Esta densificación se da en un contexto en el cual el Instituto de Agrimensura contaba con dos redes: una red geodésica (MaRGIA) y otra que funcionaba como tal (RInIA). Ambas se encontraban en sistemas de coordenadas distintos y en un entorno geográfico muy pequeño, por lo cual era necesario unificar a un mismo sistema de coordenadas y aumentar la extensión de la red, de modo que fuera más útil para tareas de enseñanza e investigación.

Como MaRGIA fue diseñada desde un comienzo como red geodésica se decidió densificarla transformando RInIA a su mismo sistema de coordenadas, y agregándole nuevos puntos para aumentar su extensión geográfica.

2.1. Objetivos Generales

Diseñar una metodología robusta para el análisis, medición, cálculo y estudio analítico de parámetros de precisión relativo a la densificación de Redes Geodésicas.

Dicho objetivo principal se compone de dos objetivos subsidiarios:

- Densificación de la red del Marco de Referencia Geodésico del Instituto de Agrimensura.
- Incorporación de la Red Interna del Instituto de Agrimensura a la red MaRGIA como componente de la densificación.

2.2. Objetivos Específicos

Para lograr los objetivos generales se deben desarrollar una serie de hitos u objetivos específicos.

- Preanálisis de las operaciones geodésicas a realizar.
- Análisis y redefinición de la Red Zero MaRGIA.
- Incorporación de nuevos vértices a la Red Zero MaRGIA.
- Diseño de la densificación de MaRGIA.
- Monumentación de los nuevos vértices de la Red MaRGIA(D).
- Cálculo, procesamiento y ajuste de las coordenadas de los nuevos vértices de la red MaRGIA(D).
- Análisis de la incidencia de los puntos de la Red Zero utilizados en la medición de los puntos de la densificación.
- Incorporación de RInIA a MaRGIA a través de operaciones topográficas y geodésicas.
- Cálculo y ajuste de las coordenadas de los puntos de RInIA en la proyección de MaRGIA.
- Análisis final de los resultados obtenidos.

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1. Sistema de Referencia

En el ámbito de la geodesia, el sistema de referencia constituye la base conceptual, matemática y geométrica que permite garantizar la coherencia, precisión y compatibilidad de las coordenadas utilizadas para describir la posición de los puntos sobre la superficie terrestre.

Específicamente, se denomina sistema de referencia a la definición teórica e ideal de una estructura geométrica utilizada para referenciar coordenadas de entidades en el espacio, basada en un sistema tridimensional de ejes ortogonales y caracterizada por un origen, la orientación de los ejes, la escala, parámetros, y modelos convencionales, así como algoritmos para transformaciones espaciales y temporales (Berné, 2014). Estos parámetros se asocian a un elipsoide de referencia definido por sus propiedades geométricas y físicas, como forma, tamaño, constante gravitacional y velocidad de rotación.

En un mundo donde la georreferenciación se apoya cada vez más en el uso de técnicas espaciales, como el posicionamiento utilizando diferentes constelaciones del mercado, ya sea *GPS*, *GLONASS*, *Galileo* o *BeiDou*, se vuelve imprescindible que las redes geodésicas locales estén alineadas con sistemas de referencia globales, como el *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF). Esto asegura que las mediciones no solo sean internamente consistentes, sino también interoperables con datos obtenidos en cualquier parte del mundo.

La correcta definición de un sistema de referencia es fundamental para la precisión de las actividades topográficas, cartográficas y de ingeniería en general, así como para el seguimiento de fenómenos dinámicos como la deformación de la corteza terrestre.

Un sistema de referencia permite garantizar la compatibilidad, mantener la precisión temporal mediante la consideración de desplazamientos y variaciones, y facilitar la integración de datos obtenidos por diferentes métodos y tecnologías. Por todo ello, su definición, adopción y mantenimiento son requisitos fundamentales para la operatividad y confiabilidad de cualquier infraestructura geodésica moderna.

3.2. Marco de Referencia

Con el avance de los sistemas de posicionamiento GNSS, comienza a ser necesario la utilización de un único sistema de referencia global con el cual se puedan utilizar los distintos datos de manera simultánea. Además, la naturaleza global de las observaciones de estos implica que la geodesia adquiere mayor importancia en las actividades topográficas y cartográficas. (Aguilera, 2003)

Sin embargo, el sistema de referencia, en principio, es solo un concepto teórico. Para llevarlo al terreno, se necesita un marco de referencia, el cual constituye la materialización práctica del sistema.

Un marco de referencia se compone de un conjunto de puntos fiduciaros, materializados físicamente, cuyas coordenadas son determinadas con técnicas de posicionamiento precisas (GNSS, VLBI, SLR, etc.). Estos puntos, al estar fijados en el terreno, permiten conectar y referir otros trabajos geodésicos y topográficos. (Seeber, 1993)

El marco de referencia utilizado para representar las coordenadas cartesianas en los sistemas globales se llama ECEF, del inglés *Earth Centered, Earth Fixed* y es un marco de referencia terrestre centrado en la Tierra y fijo a ella, tal como se representa en la Figura 3.1. A menudo es llamado CTS (Sistema Terrestre Convencional).

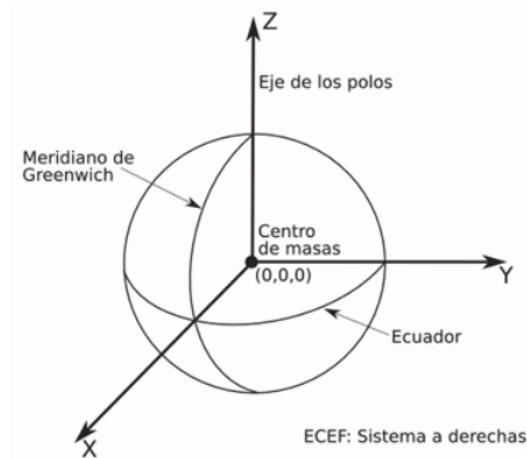


Figura 3.1: Marco de referencia ECEF

En el caso de la geodesia moderna, un ejemplo de esta materialización es el ITRF2020 (IGS20), la más reciente realización oficial del sistema de referencia terrestre global, desarrollado por el *International Earth Rotation and Reference Systems Service* (IERS). Este marco de referencia cumple que:

- Es **geocéntrico**, definido con respecto al centro de masa de la Tierra (incluyendo océanos y atmósfera).
- Utiliza como unidad de longitud el metro del Sistema Internacional (SI), con una escala coherente con la teoría relativista de la gravitación.
- Su **orientación** se basa en la definición inicial del BIH de 1984 y evoluciona en el tiempo sin producir rotaciones residuales respecto a la corteza terrestre.
- Se determina mediante la combinación de **observaciones** de técnicas como VLBI (Interferometría de Base Muy Larga), SLR (Láser Satelital), GNSS, DORIS y PRARE
- Utiliza como **elipsoide** de referencia el GRS80.

De esta forma, el ITRF20/IGS20 constituye la referencia práctica para aplicaciones de alta precisión en GNSS, monitoreo de movimientos tectónicos, navegación, y geodesia en general; siendo la conexión entre la teoría del sistema de referencia y la realidad física de los puntos medidos en el terreno. (Aguilera, 2003)

3.3. Superficies de Referencia

Las superficies de referencia constituyen los modelos que se adoptan para representar la forma de la Tierra y permitir la vinculación de las mediciones realizadas en el terreno. Desempeñan un rol fundamental en la Geodesia, ya que proporcionan el soporte teórico necesario para el tratamiento, ajuste e interpretación de las observaciones geodésicas, asegurando la compatibilidad entre los datos medidos y los modelos matemáticos utilizados para su análisis y representación. Gracias al empleo de estas superficies, es posible transformar observaciones reales en información posicionada de manera precisa, facilitando la determinación de coordenadas confiables y la materialización de marcos de referencia geodésicos.

3.3.1. Elipsoide

La forma real de la Tierra es la de un volumen irregular, sin embargo, a efectos de la realización de cálculos sobre la superficie de la misma, puede aproximarse teóricamente mediante un elipsoide de revolución, generado al rotar una elipse alrededor de su eje menor. Este elipsoide se define por parámetros geométricos, representados en la Figura 3.2, como el semieje mayor (a), semieje menor (b), el achatamiento (f) y la primera excentricidad (e), los cuales se relacionan entre sí mediante fórmulas matemáticas específicas.

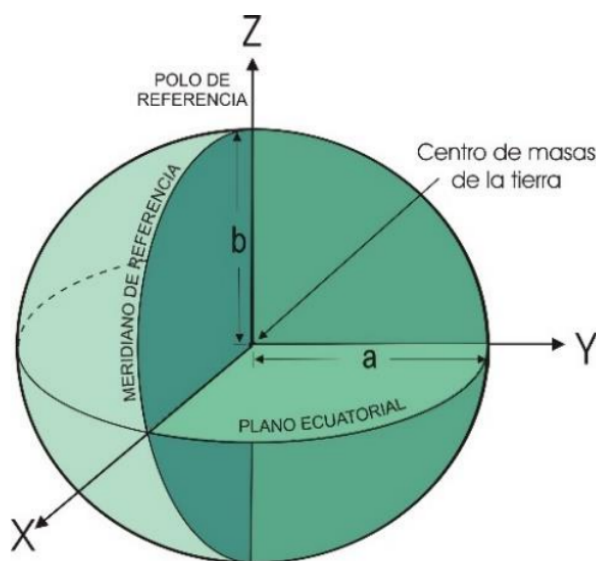


Figura 3.2: Elipsoide de referencia

Además, se considera que un elipsoide es global cuando su origen coincide con el centro de masa terrestre y sus ejes están alineados con el CTS, es decir, que el eje Z apunta al Polo Internacional Convencional (CIO), el eje X hacia el meridiano de Greenwich y el eje Y completa un sistema dextrógiro.

La superficie elipsoidal es suave y apta para cálculos matemáticos, por lo que se emplea ampliamente como referencia para coordenadas horizontales en redes geodésicas. Sin embargo, no es adecuada para representar alturas físicas, ya que no sigue la forma real del campo gravitatorio terrestre, y por tanto, se deben tener consideraciones al respecto.

3.3.2. Geoide

Así como el elipsoide es utilizado como superficie de referencia para medir las coordenadas geocéntricas, el geoide es la superficie de referencia que se utiliza para medir las alturas físicas modelado por la gravedad.

El geoide es la superficie matemática de la Tierra, definida como una superficie equipotencial de la gravedad para un valor especial de constante W_0 .

Siendo más ilustrativos, el geoide puede imaginarse como la superficie idealizada de los océanos en reposo, extendida bajo las masas continentales. Aunque se trata de una superficie en constante variación debido a fenómenos dinámicos, como lo demuestra la Figura 3.3, su definición teórica la convierte en la referencia más adecuada para expresar altitudes ortométricas y estudiar variaciones en el campo gravitatorio.

En resumen, mientras el elipsoide es una representación matemática regular utilizada principalmente para coordenadas y cálculos geodésicos, el geoide refleja mejor la forma física de la Tierra, condicionada por su gravedad, y por ello es esencial para la determinación precisa de alturas.

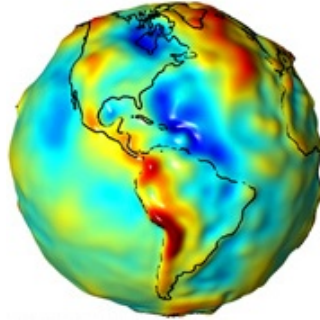


Figura 3.3: Geoide

3.3.3. Modelo Geoidal EGM2008

Es un modelo geoidal global que ha sido publicado por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial estadounidense (NGA). Los cálculos del geoide se basan en la filosofía Helmert de condensación: la topografía se condensa en una capa delgada sobre el geoide, mientras que el efecto directo de la anomalía de la gravedad tiende hacia abajo del geoide. Numéricamente, esto se hace mediante la sustitución de la anomalía de la gravedad por la anomalía de Falle.

Este modelo ofrece una buena resolución y precisión. El logro de mejores resultados en los cálculos, utilizando el geoide EGM08, dependerá de la forma en que las reducciones topográficas y de gravedad se lleven a cabo.

3.4. Alturas

Como se explicó en la sección anterior, en el ámbito de la Agrimensura, es usual utilizar distintas superficies de referencia según el tipo de operaciones que se deseen realizar. Por ende, resulta necesario establecer relaciones entre estas superficies, lo cual se logra mediante el uso de diferentes tipos de alturas.

Las alturas constituyen el componente geodésico que permite vincular las distintas superficies de referencia utilizadas. Cada tipo de altura expresa la separación entre un punto del terreno y una superficie específica, como el elipsoide o el geoide.

De esta forma, al conocer diferentes tipos de alturas correspondientes a un mismo punto, es posible establecer relaciones entre dichas superficies. Este principio se materializa en la conocida relación entre la altura ortométrica (H), la altura elipsoidal (h) y ondulación geoidal (N), tal como se observa en la figura 3.4, lo que permite integrar resultados de distintas técnicas de medición, realizando la analogía con este proyecto, como el posicionamiento GNSS y la nivelación geométrica.

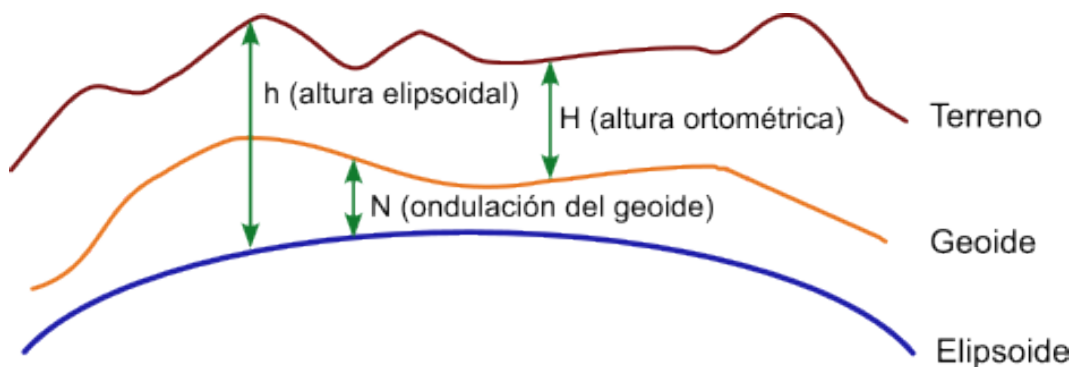


Figura 3.4: Esquema de alturas.

3.4.1. Altura Ortométrica

La altura ortométrica (H), se define como la distancia medida a lo largo de la vertical del lugar, curva tangente a la dirección de la gravedad en el punto considerado, entre la superficie física de la Tierra y la superficie del geoide.

3.4.2. Altura Elipsoidal

Por su parte, la altura elipsoidal (h) corresponde a la distancia medida a lo largo de la normal al elipsoide, entre la superficie topográfica y la superficie elipsoidal. Se trata de una magnitud puramente matemática, ya que no está asociada a un principio físico directo. La diferencia entre la altura elipsoidal y la ortométrica se denomina ondulación geoidal (N), que es la distancia medida sobre la normal elipsoidal, que separa la superficie elipsoidal de la superficie geoidal.

3.4.3. Datum Altimétrico

Las primeras bases de referencia modernas para la altimetría en el Uruguay fueron definidas mediante un decreto en el año 1948. Antes de este decreto, se definía un plano de referencia particular utilizado principalmente por el Puerto de Montevideo y la red ferroviaria, siendo la fecha del último decreto el año 1887. Surgen dos planos de referencia o dos datum verticales a cuales referenciar la altimetría del país, ilustrado en la Figura 3.5. En lo sustancial:

- Se define un plano horizontal denominado Cero Wharton, siendo éste el único plano de referencia para los ceros de las escalas hidrométricas instaladas en el país.
- El plano Wharton pasa a 23.88m por debajo de un repere especialmente instalado en el Cabildo de la ciudad de Montevideo.
- Se fija el nivel medio de las aguas del Puerto de Montevideo como base única para los acotamientos verticales del relieve en todo el territorio nacional.
- Este plano pasa a 22.97m por debajo del repere mencionado anteriormente y a 0.91 m por encima del plano Cero Wharton.

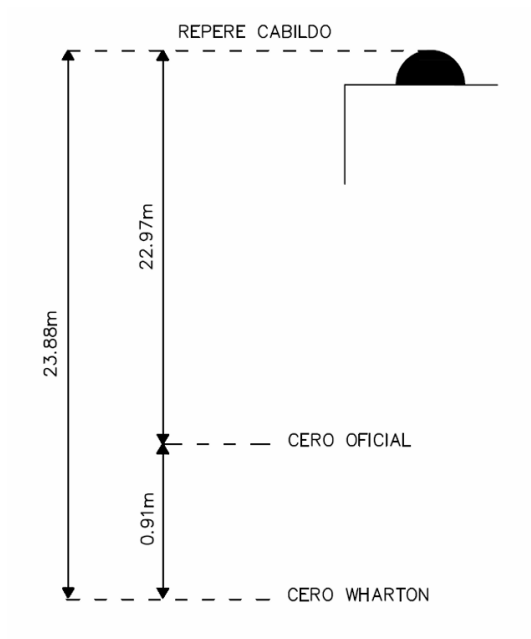


Figura 3.5: Datum vertical.

3.5. Sistemas de Coordenadas

Los sistemas de coordenadas son diseños matemáticas diseñadas para describir de forma precisa y unívoca la posición de puntos en el espacio. En términos generales, un sistema de coordenadas se compone de un conjunto de convenciones y valores que permiten determinar de manera única la posición de cualquier punto en un espacio de una o varias dimensiones, permitiendo también describir relaciones entre un punto en el espacio y otro. Para definirlo completamente, es necesario especificar:

- **Ubicación del origen**, punto de referencia a partir del cual se miden todas las posiciones.
- **Orientación** de los ejes, que determina cómo se define la dirección de cada coordenada.
- **Parámetros** que describen la posición de un punto respecto al sistema, como distancias, ángulos o proporciones.
- **Unidad de medida**, que asegura uniformidad y comparabilidad en los cálculos.

En geodesia, las coordenadas no se pueden medir directamente; en cambio, se calculan a partir de observaciones de magnitudes físicas como distancias, ángulos o diferencias de tiempo, siempre referidas a un sistema bien definido.

Los principales tipos de sistemas de coordenadas empleados son:

- **Coordenadas cartesianas tridimensionales globales** (ECEF: Earth Centered, Earth Fixed): Sistema XYZ con origen en el centro de masas de la Tierra, fijo respecto a la corteza terrestre.
- **Coordenadas elipsoidales**: Representan las coordenadas cartesianas proyectadas sobre un elipsoide de referencia, expresadas como latitud, longitud y altura elipsoidal.
- **Coordenadas proyectadas o cartográficas**: Mediante una proyección cartográfica, las coordenadas elipsoidales se representan sobre un plano. Usualmente se expresan como E (este), N (norte) y h (altura elipsoidal); y, combinando un modelo geoidal se obtiene H (altura ortométrica).
- **Coordenadas locales**: Se generan estableciendo un plano tangente a un punto específico sobre la superficie terrestre, expresadas comúnmente

como e, n, u (este, norte, arriba) o x, y, z. Su aplicación es limitada, ya que la curvatura terrestre introduce errores y deformaciones crecientes al alejarse del punto de origen.

3.6. Proyección Cartográfica

Las proyecciones cartográficas son herramientas fundamentales en geodesia, topografía y cartografía, ya que permiten representar la superficie curva de la Tierra sobre un plano para su análisis, medición y representación gráfica. En este trabajo, la definición de una única proyección a utilizar permite que todos los vértices de la red MaRGIA(D) se encuentren en un mismo marco, y por tanto, sean de fácil utilización en conjunto para distintas prácticas o investigaciones.

Una proyección cartográfica se define como la correspondencia matemática bi-unívoca entre los puntos del elipsoide de referencia y sus puntos homólogos en el plano u otra superficie intermedia desarrollable, siguiendo una ley geométrica determinada (D'Alvia, s.f.). En otras palabras, es un procedimiento matemático que transforma coordenadas geodésicas (latitud y longitud) en coordenadas planas, facilitando así el uso y la interpretación de la información espacial.

Estos procedimientos siempre deben tener en cuenta las deformaciones inherentes al proceso de representar superficies curvas sobre superficies planas. Por ende, se clasifican en función de las propiedades métricas que preservan:

- **Conformes:** conservan los ángulos, manteniendo la forma local de las figuras pequeñas.
- **Equivalentes:** conservan las áreas, lo que permite mantener relaciones proporcionales de superficie.
- **Equidistantes:** preservan distancias a lo largo de líneas específicas.
- **Afilácticas:** no conservan estrictamente ángulos, áreas o distancias, pero distribuyen las deformaciones de manera equilibrada entre estas.

La proyección de un elipsoide sobre una superficie desarrollable (como un plano, un cono o un cilindro) siempre implica deformaciones, ya que el elipsoide no es desarrollable en ninguna de estas superficies sin distorsión. Según la proyección utilizada, las deformaciones pueden afectar la forma, el área, la distancia o la dirección. Por ello, la elección de la proyección depende de las necesidades y prioridades del trabajo cartográfico o geodésico que se va a realizar.

3.6.1. Transversa Mercator

La proyección transversa de Mercator (TM) es una proyección cilíndrica conforme, en la que el cilindro se coloca transversalmente al eje de la Tierra, representada en la Figura 3.6. Esto significa que su eje de revolución es perpendicular al eje terrestre. El cilindro puede ser tangente (tocando el elipsoide a lo largo de un meridiano) o secante (intersectando el elipsoide en dos meridianos).

Para definir una proyección transversa de Mercator se deben establecer los siguientes parámetros:

- **Meridiano central:** eje longitudinal de referencia para la proyección.
- **Paralelo origen:** referencia para las coordenadas Norte.
- **Factor de escala en el meridiano central:** valor que corrige la deformación longitudinal.
- **Falso Este y falso Norte:** valores arbitrarios añadidos a las coordenadas proyectadas para evitar valores negativos.
- **Elipsoide de referencia**

Esta proyección es especialmente útil para representar áreas de extensión reducida en sentido este-oeste, ya que minimiza la deformación en torno al meridiano central. En aplicaciones de pequeña escala, una proyección transversa de Mercator bien parametrizada permite obtener una representación muy cercana a la realidad.

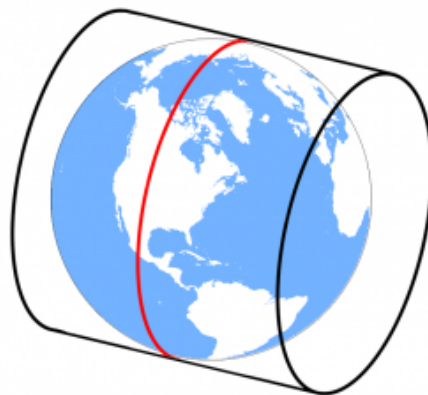


Figura 3.6: Transversa Mercator.

3.7. Instrumentos de Medición en Geodesia

La topografía es un elemento esencial en el desarrollo del entorno humano desde el comienzo de la historia (aproximadamente hacia el año 5000 a.C.). Desde entonces, es fundamental para la planificación y ejecución de la delimitación del territorio ocupado por las sociedades, así como para el desarrollo de todo tipo de construcciones. Los instrumentos de medición más antiguos y sencillos se empleaban en tareas como el levantamiento de edificaciones, la desviación de cursos de agua y la delimitación de parcelas en el terreno.

Esta necesidad de ubicar y definir con precisión los elementos del territorio impulsó el desarrollo progresivo de los instrumentos de medición. De esta manera, con el paso del tiempo se fueron creando nuevas herramientas cada vez más precisas y tecnológicamente avanzadas, hasta llegar a los equipos de medición utilizados en la actualidad.

3.7.1. Estación Total

La Estación Total, ilustrada en la Figura 3.7, es un instrumento topográfico electrónico que permite la medición simultánea de ángulos y distancias. Su funcionamiento se basa en la combinación de círculos graduados internos, cuya lectura se realiza de forma electrónica a partir de la rotación del anteojo, y en la emisión y recepción de ondas infrarrojas o láser, mediante las cuales se determina la distancia a un punto a partir del tiempo de propagación de la señal.

Las estaciones totales constituyen una herramienta fundamental en los trabajos topográficos, dado que permiten ejecutar una amplia variedad de operaciones de manera eficiente y precisa, además de posibilitar el almacenamiento, procesamiento y gestión de los datos directamente en campo, optimizando así los tiempos y la calidad de los relevamientos.



Figura 3.7: Estación Total Trimble S5

3.7.2. Equialtímetro Electrónico

El Equialtímetro Electrónico, también denominado nivel electrónico, mostrado en la Figura 3.8, es un instrumento topográfico utilizado para la determinación de diferencias de altura entre puntos. Su funcionamiento se basa en la incorporación de sensores electrónicos capaces de interpretar automáticamente el código de barras presente en las miras, a partir de lo cual se obtienen las lecturas necesarias para el cálculo del desnivel correspondiente.

La automatización de este proceso, en contraposición a la lectura manual, permite reducir la influencia del operador y optimizar los tiempos de medición, aunque generalmente conlleva precisiones inferiores a las alcanzables mediante técnicas de nivelación de mayor rigor. No obstante, cuando se requiere mejorar la precisión obtenida con un equialtímetro electrónico convencional, es posible emplear equipos compatibles con miras INVAR. Estas miras, fabricadas con materiales de alta estabilidad dimensional y cuidadosamente calibradas, utilizadas en conjunto con el equialtímetro adecuado y un sistema de soporte estable, permiten alcanzar precisiones significativamente superiores en los trabajos de nivelación.



Figura 3.8: Equialtímetro Electrónico Leica Sprinter 150M.

3.7.3. Receptor GNSS

El receptor GNSS, representado en la Figura 3.9, es un instrumento topográfico y geodésico destinado a la determinación precisa de coordenadas mediante la recepción y procesamiento de señales emitidas por constelaciones de satélites de navegación global. Su principio de funcionamiento se basa en la medición del tiempo de propagación de las señales desde los satélites hasta el receptor, lo que permite calcular la distancia entre ambos y, a partir de la intersección de dichas distancias, determinar la posición tridimensional del punto observado.

Los sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) comprenden diversas constelaciones satelitales. La capacidad de los receptores modernos para utilizar simultáneamente múltiples sistemas incrementa significativamente la disponibilidad de satélites, mejora la geometría de observación y reduce los efectos adversos de obstrucciones, contribuyendo así a una mayor precisión y confiabilidad en los resultados obtenidos.

En el ámbito topográfico, los receptores GNSS permiten la realización de mediciones tanto en tiempo real como en posprocesamiento, adaptándose a distintas estrategias de levantamiento. En los métodos de posicionamiento relativo, el cálculo de coordenadas se realiza mediante la comparación simultánea de ob-

servaciones efectuadas en dos o más estaciones, lo que posibilita la eliminación o reducción de errores comunes, tales como los asociados a la atmósfera o a los relojes de los satélites. Por su parte, las técnicas de posicionamiento en tiempo real, como RTK (*Real Time Kinematic*), permiten obtener coordenadas precisas de forma inmediata, optimizando notablemente los tiempos de trabajo en campo.

La precisión alcanzable con receptores GNSS depende de múltiples factores, entre los que se incluyen la calidad del equipo, la duración de las observaciones, la geometría satelital, las condiciones del entorno y la estrategia de medición adoptada. En condiciones favorables y mediante una planificación adecuada, estos instrumentos permiten obtener resultados con precisiones del orden centimétrico o incluso milimétrico, lo que los convierte en herramientas indispensables para la materialización de redes geodésicas, el control topográfico y la ejecución de proyectos de alta exigencia técnica.



Figura 3.9: Receptor GNSS CHC i73.

3.8. Metodologías de Medición Empleadas en el Proyecto

En el desarrollo de la red MaRGIA(D), fue necesario emplear diferentes metodologías de medición, dependiendo del tipo de observables que se deseaba determinar y de las condiciones del trabajo de campo.

Por un lado, se encuentran los métodos destinados a la determinación de la componente altimétrica, dentro de los cuales se destacan la nivelación geométrica y la nivelación trigonométrica. Por otro lado, existen técnicas orientadas a la determinación de la posición de los puntos, como el método de radiación mediante estación total. Finalmente, los sistemas de posicionamiento global por satélite permiten determinar posiciones tridimensionales mediante observaciones espaciales.

En los siguientes apartados se describen las metodologías empleadas en el presente trabajo, así como los controles y criterios utilizados para garantizar la calidad de las observaciones realizadas.

3.8.1. Nivelación Geométrica

Cuando se busca determinar la diferencia de nivel entre dos puntos con gran precisión, como es el caso de la determinación de la componente altimétrica de una red geodésica, se debe recurrir a la nivelación geométrica; ésto se debe a que teniendo un punto con cota conocida, la nivelación geométrica permite dar cota a cuantos puntos se desee con muy buena precisión.

Para realizar una nivelación geométrica se recurre al uso de instrumentos llamados equialtímetros o niveles de topografía, los cuales se basan en un elemento nivel de burbuja o similar y por lo tanto son considerados instrumentos gravimétricos de nivelación, con los que se puede calcular la diferencia de alturas mediante la comparación directa de lecturas horizontales hacia miras, o reglas, verticales colocadas sobre dichos vértices.

Cuando la distancia entre los puntos de los cuales se desea determinar el desnivel es lo suficientemente reducida como para realizar una única estación del

instrumento y obtener directamente la diferencia de lecturas, se considera que se lleva a cabo una nivelación geométrica simple. En cambio, cuando la separación entre estos excede el alcance visual del instrumento, o cuando existen accidentes topográficos que impiden la visual simultánea de ambos, resulta necesario efectuar varias estaciones intermedias y observar sucesivas diferencias de nivel, caso en el cual se realiza una nivelación geométrica compuesta.

Esta técnica, en conjunto con una estrategia de medición y buena metodología práctica, permite alcanzar precisiones altas, mitigando posibles errores y generando redundancia para un futuro ajuste. Por estas razones, se tomó como método principal para la determinación de la altimetría de MaRGIA(D).

Si bien el instrumental utilizado debe estar correctamente calibrado para que el trabajo a realizar no esté expuesto a errores sistemáticos, existen aplicaciones adecuadas para minimizarlos y, asimismo, tener un control sobre ellos.

Método del Punto Medio o de la Mediatriz

Suponiendo el caso de una nivelación geométrica simple, el método consiste en colocar las miras en los puntos entre los cuales se requiere observar el desnivel y estacionar el nivel topográfico en un punto intermedio equidistante de ambos vértices, no necesariamente en la misma alineación. En el caso de usar este método, no es necesario estacionar el equialtímetro en un lugar predefinido, ni medir la altura de la estación, lo que además de agilizar el proceso, elimina una serie de posibles errores, como lo son el error de colimación del instrumento o el propio error de estación. Por ende, en caso de que se trate de una nivelación geométrica simple (Figura 3.10), el cálculo corresponde a la diferencia entre la lectura de atrás y de adelante.

$$\Delta_{AB} = l_A - l_B$$

En caso de que exista un error de colimación, dado que la distancia entre el equialtímetro y las miras es igual, el error introducido en las lecturas será del mismo valor; por tanto, se “cancelará” a la hora de calcular el desnivel entre los puntos.

Para nivelaciones geométricas compuestas, los métodos son análogos a los de la nivelación geométrica simple, teniendo en cuenta que se repiten los procesos para cada tramo de la nivelación.

Por tanto, el desnivel entre los puntos de interés será la sumatoria de las lecturas de atrás menos la sumatoria de las lecturas de adelante.

$$\Delta_{AB} = \Sigma l_A - \Sigma l_B$$

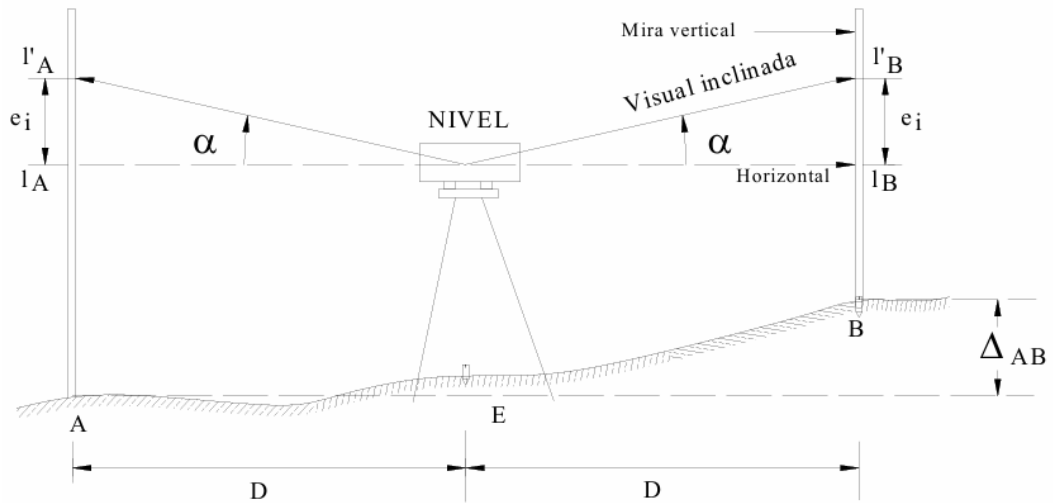


Figura 3.10: Esquema de nivelación con el Método del Punto Medio

3.8.2. Nivelación Trigonométrica

En la sección anterior se mencionó que la nivelación geométrica es la predilecta para calcular la altimetría de una red geodésica, sin embargo esto no siempre es posible, como por ejemplo cuando no se puede acceder a un vértice, este es el caso de la incorporación de RInIA a la red MaRGIA. Al encontrarse RInIA dentro del edificio central de la Facultad de Ingeniería, lo cual se explica con mayor detalle en el transcurso del trabajo, el realizar una nivelación geométrica es poco práctico, y los resultados a obtener tienen gran probabilidad de verse afectados por errores en la nivelación, y por tanto emplear la nivelación trigonométrica es una muy buena alternativa, ya que se logra el traslado de cota sin sacrificar mucha precisión.

Mientras uno se encuentra en un entorno local, se pueden despreciar los efectos de la curvatura y refracción de la Tierra. Dentro de los límites del campo topográfico altimétrico, la nivelación trigonométrica se puede definir como un método que utiliza la medición de ángulos verticales y distancias para la determinación del desnivel entre dos puntos, comúnmente realizada con la ayuda de la estación total.

De la Figura 3.11, se puede observar que el desnivel para la nivelación trigonométrica está dado por:

$$\Delta_{AB} = h_i + t - l_m$$

$$\Delta_{AB} = h_i + d * \text{Cos}(\phi) - l_m$$

Donde:

- h_i es la altura del instrumento.
- d es la distancia inclinada.
- ϕ es el ángulo vertical.
- l_m es la lectura de la mira.

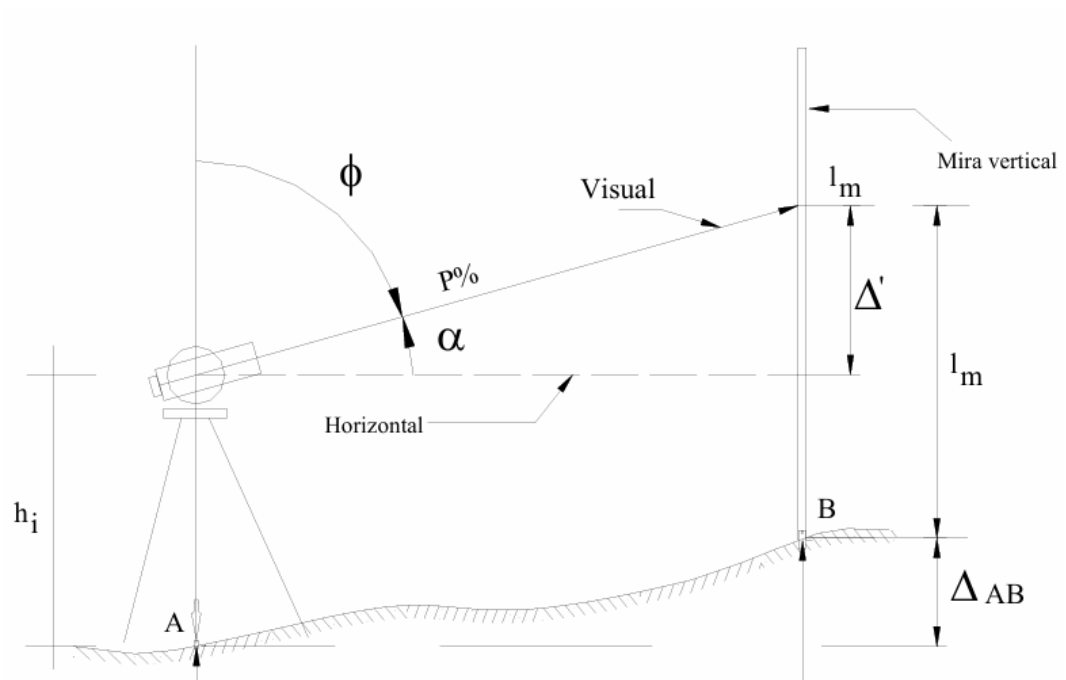


Figura 3.11: Esquema de nivelación trigonométrica

3.8.3. Ajustes y Control de Cierre de Nivelación

El ajuste de una nivelación se realiza generalmente mediante el método de los mínimos cuadrados, específicamente utilizando el método de las correcciones. Este permite distribuir los errores de las observaciones de forma óptima, minimizando sus discrepancias y obteniendo resultados más precisos y consistentes.

En lo mencionado hasta el momento, se ha podido comprobar las operaciones aritméticas, pero no la magnitud de los errores sistemáticos y/o accidentales, los cuales son inevitables en todo proceso topográfico.

Siempre es necesario determinar el error de cierre de una nivelación, lo que dependerá en gran medida del itinerario que se realice desde un punto de partida hasta el punto final.

Se discriminan tres posibles casos:

- **Nivelación cerrada:** Se da cuando se comienza y termina la nivelación en un mismo punto; por ende, la suma de los desniveles calculados debe resultar en cero.
- **Nivelación enmarcada:** Se da cuando se comienza y termina la nivelación en puntos distintos con cotas conocidas; por ende, se pueden controlar los valores de desnivel obtenidos.
- **Nivelación abierta:** Se presenta cuando no se conoce alguna de las cotas, ya sea la inicial, la final, o ambas.

Con respecto al control en un itinerario altimétrico, si se tienen dos puntos de altitud conocida, puede ser suficiente efectuar la nivelación una sola vez, lo que se denomina nivelación sencilla, para así tener un control de la tarea realizada. Sin embargo, en itinerarios de gran extensión, realizar una nivelación cerrada puede requerir esfuerzos adicionales, lo que implica mayores gastos de tiempo y un posible aumento de costos. De esta manera, puede ocurrir que no haya puntos con cota conocida en las proximidades del trabajo. Por ello, resulta necesario tener una forma de control en campo, o realizar operaciones para evitar cualquier error o equivocación, el cual recién se pondría de manifiesto al final de trabajo.

Existen distintas maneras de llevar a cabo un control en la nivelación geométrica, en el presente trabajo se aborda exclusivamente la nivelación por doble plano colimador, por considerarse la técnica más adecuada para el tipo de prácticas desarrolladas. Este procedimiento consiste en efectuar, en cada tramo, las lecturas correspondientes de atrás y adelante, para luego levantar el instrumento, volver a estacionarlo y repetir las observaciones por segunda vez. Una vez obtenidos ambos conjuntos de lecturas, se calculan los desniveles y se comparan entre sí. Si la diferencia entre los desniveles calculados es inferior a la tolerancia establecida para el tramo, se continúa con la nivelación; en caso contrario, el tramo debe repetirse. Este proceso se reitera hasta completar la totalidad del itinerario.

Este método es equivalente a realizar una ida y vuelta ficticia, con la ventaja de no requerir la ejecución física del recorrido en dos oportunidades, permitiendo además verificar los resultados en el mismo momento de la medición. Asimismo, contribuye a la reducción de los errores aleatorios mediante el cálculo del promedio de los desniveles finales obtenidos. No obstante, es fundamental destacar que durante la aplicación de este método las miras no deben ser desplazadas entre observaciones, ya que cualquier error en su emplazamiento o en su verticalidad afecta de igual manera a ambas nivelaciones, comprometiendo la validez de la comparación.

3.8.4. Tolerancia

La tolerancia que se tiene para un proyecto o trabajo no es algo fijo, sino que la misma puede variar dependiendo de la precisión buscada, el instrumental usado, y de las normas técnicas que haya sobre el tema.

Cuando se trata de nivelaciones geométricas, la tolerancia de cierre suele expresarse como:

$$T_n = m\sqrt{K}$$

Donde: T_n es la tolerancia para el error de cierre en mm, m un valor dependiente de los instrumentos, método y tipo de nivelación requerida, y K la longitud total del recorrido en km.

Si al comparar el error de cierre con la tolerancia admitida resulta que el error es mayor, es necesario repetir la nivelación; sin embargo, en caso de verificarse que el error de cierre es menor que la tolerancia, se procede a compensar la nivelación, en general, usando alguno de los siguientes métodos.

Compensación proporcional a la distancia nivelada: Este método se basa en que la tolerancia depende de la distancia nivelada, y por tanto propone que el ajuste se realice distribuyendo el error de forma proporcional a las distancias de cada tramo de la nivelación.

Compensación sobre los puntos de cambio: Este método supone que el error se comete sobre los puntos de cambio y es independiente de la distancia nivelada, respondiendo a un promedio.

3.8.5. Método de Radiación con Estación Total

El método de radiación es un método topográfico que se utiliza para realizar levantamientos de puntos de mediana y gran extensión (si se apoya en puntos fijos o en una poligonal). Este método es muy útil cuando se busca determinar las coordenadas planas de una serie de puntos en un entorno cercano, ya que solo requiere que los puntos sean intervisibles con la estación base, como es el caso de la incorporación de RInIA a MaRGIA. Este método no es recomendado para extensiones largas, ya que el error de medición aumenta rápidamente con la incorporación de estaciones intermedias.

Como se ilustra en la Figura 3.12, este consiste en ubicar la estación total en un vértice (el cual se considera a priori con coordenadas conocidas) y definir un origen angular, para luego medir distancias a los puntos (d) y ángulos con respecto al Norte (Az), y de esta forma, poder calcular sus coordenadas.

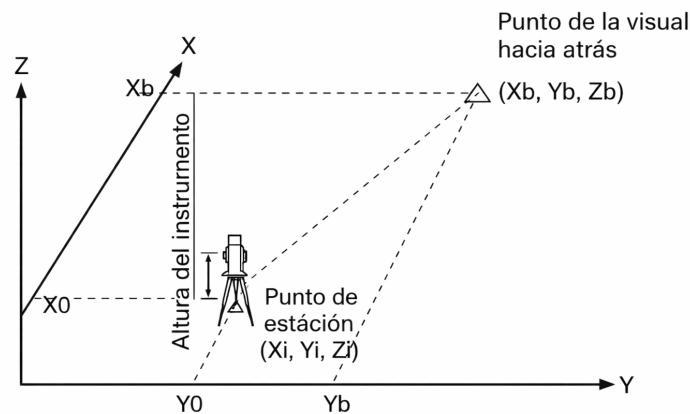


Figura 3.12: Esquema de uso de Estación Total

Demostrado con formulas, las coordenadas del punto objetivo son:

$$X = X_0 + d * \text{Sin}(Az)$$

$$Y = Y_0 + d * \text{Cos}(Az)$$

$$Z = Z_0 - d * \text{Sin}(\hat{z} - 90)$$

3.8.6. GNSS

El término GNSS es el nombre genérico que engloba a los Sistemas de Navegación por Satélite que proporcionan un posicionamiento geoespacial de cobertura global, tanto de forma autónoma como con sistemas de aumentación.

Desde que el sistema GNSS se presentó como una técnica de posicionamiento de gran precisión, bajo costo, y disponible continuamente en todas las condiciones meteorológicas e incluso en tiempo real, se abrieron casi un número ilimitado de posibilidades para su uso dentro de la geodesia.

En este trabajo, la determinación de coordenadas mediante el uso de GNSS fue elegido como método predilecto para la medición de los puntos *iBFI*, ya que permitía obtener muy buenas precisiones, sin verse afectado por las distancias entre los distintos vértices, donde el utilizar métodos tradicionales como la radiación producirían rebajas en las precisiones debido a la necesidad de realizar estaciones intermedias por la distancia entre los puntos y su mala intervisibilidad.

El posicionamiento utilizando esta técnica, se basa en el cálculo de la posición del receptor, mediante el conocimiento preciso de la posición de al menos cuatro satélites (transmitidas por las Efemérides) y de la distancia de los mismos al receptor (calculadas), tal como lo muestra la figura 3.13.

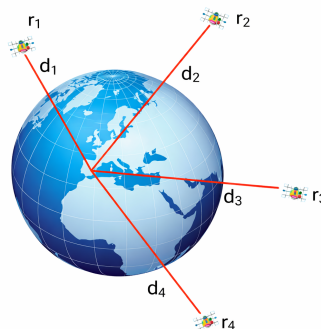


Figura 3.13: Posicionamiento con cuatro satélites.

Teniendo en cuenta la estructura de los sistemas GNSS, se distinguen tres segmentos o sectores claramente diferenciados:

Segmento Espacial

Está compuesto por los satélites que forman el sistema de navegación y comunicación, así como por las diferentes señales que envían y reciben cada uno de los receptores.

Segmento de Control

Está formado por estaciones centrales de seguimiento que controlan los satélites. Es el encargado de controlar y corregir las órbitas de los satélites del segmento espacial, así como sus relojes u osciladores. La información obtenida de este segmento es enviada a la denominada Estación Principal, la cual se encarga de calcular las órbitas futuras de los satélites como una función del tiempo. Los cálculos realizados y las correcciones de los relojes de los satélites se encuentran introducidos en el mensaje de navegación.

Segmento Usuario

Se constituye por todos los equipos utilizados para la recepción de las señales emitidas por los satélites y empleados para el posicionamiento, ya sea estático o cinemático, para navegación o para la determinación del tiempo con precisión.

En el campo de la georreferenciación con GNSS, ha habido dos líneas de investigación principales, las cuales han ido acompañadas entre sí; estas son la aplicación en campo del sistema, y la mejora en precisión de la posición y en la velocidad de su determinación. El desarrollo de esto ha sido grandemente influido por las mejoras tecnológicas, que han venido en tres sentidos (Lichten, 1991):

- La tecnología del receptor.
- La tecnología de la antena.
- Los algoritmos de cálculo.

Por otro lado, también ha influido la evolución de las constelaciones de satélites, que, si bien tanto la constelación NAVSTAR GPS (norteamericana) como GLONASS (rusa) han estado presentes desde el comienzo, últimamente se han lanzado operaciones satelitales tales como GALILEO (Unión Europea) y BEIDOU (China) proporcionando aún más datos y mayor cobertura.

El GNSS es un sistema que permite utilizar distintos métodos de observación para determinar posiciones. Cuál método se utilizará dependerá del instrumento, la precisión buscada y el uso que se le dará a los observables a determinar. Por ello, es natural establecer una clasificación para las técnicas GNSS, tal como se muestra en la Figura 3.14, basándose en los criterios establecidos para las condiciones previamente mencionadas.

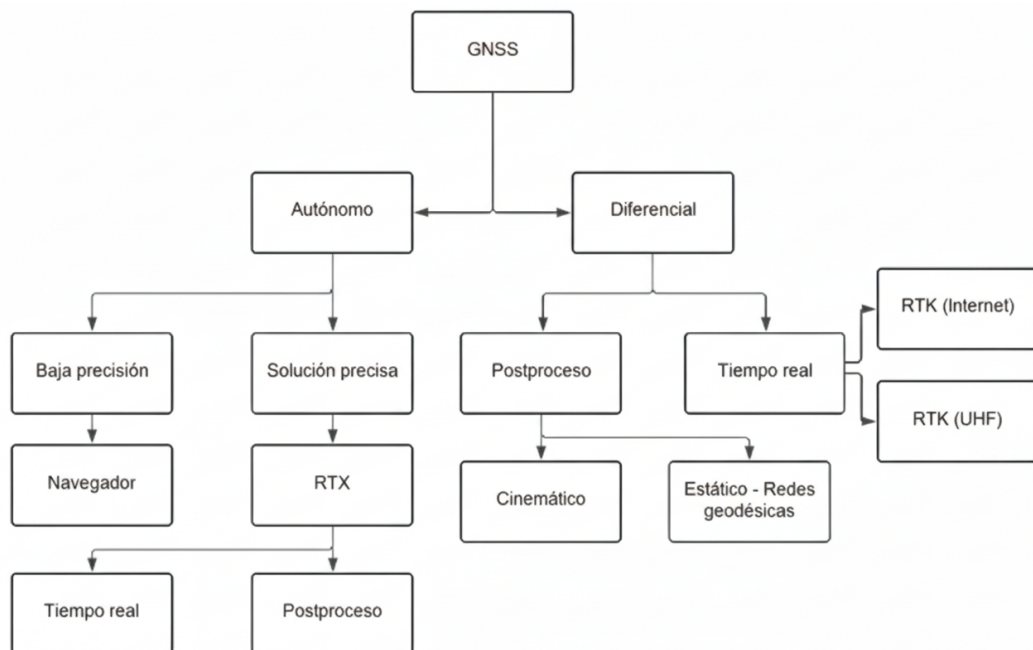


Figura 3.14: Esquema de técnicas GNSS.

Si bien la determinación de la red podría, a priori, realizarse utilizando métodos de geodesia tradicional, el uso de GNSS en modo estático es mejor ya que las precisiones obtenidas con observaciones espaciales son más precisas y coherentes, no es el caso de las observaciones en tiempo real, y las señales observadas con estos métodos suelen servir de apoyo a las técnicas clásicas, consideradas normalmente como menos precisas y más aleatorias.

Debido a que las precisiones para la densificación de la Red MaRGIA(D) deben ser las máximas posibles, comúnmente se considera que el método de levantamiento estático con postproceso es el más apropiado para esta tarea, debido a que es el que menor error arroja si se realiza un correcto procedimiento.

Este método de observación es utilizado en geodesia y topografía de precisión, donde se estacionan receptores GNSS en los distintos puntos a observar de manera simultánea, y se deja recolectando datos por un periodo de tiempo. Estos tiempos de observación recomendados varían dependiendo de las distancias entre los receptores (longitud de la línea base) y la calidad del instrumental, en la Tabla 3.1 se observan algunas recomendaciones.

Tabla 3.1: Relación entre línea base, tiempo de observación y precisión

Línea base	Tiempo	Precisión
≤ 20 km	1 hora	3 mm + 1 ppm
20–50 km	2 horas	3 mm + 1 ppm
50–100 km	Mínimo 2 horas	3 mm + 1 ppm
> 100 km	Mínimo 3 horas	4 mm + 1 ppm

La ventaja principal del método es que, cuando los receptores observan el mismo conjunto de satélites en simultáneo, la mayoría de los efectos atmosféricos en las mediciones se compensan, y por tanto no influyen en el cálculo de línea base.

En el caso de las observaciones destinadas a la captura de puntos de apoyo, se considera como sesión de observación el periodo transcurrido desde el inicio del registro de los receptores fijos hasta su finalización, mientras que a las observaciones de los puntos de apoyo realizadas para cada sesión se las denomina observaciones de apoyo discretas.

Cada uno de los estacionamientos efectuados puede ser almacenado en un fichero nativo bruto, de tal manera que posteriormente este sea transformado a formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), o pueden estar directamente en dicho formato. La utilización del formato RINEX permite emplear los datos de distintos instrumentos, sean de la misma compañía o no.

El registro de datos por sesión se realiza en proyectos o carpetas diferentes dentro de cada receptor. En el caso de aquellos receptores que se mantengan fijos entre sesiones, no se duplicará dicho proyecto, pero se debe tener en cuenta el período de tiempo para su postproceso. La descarga de los datos de los receptores se realizará mediante una computadora, donde se procederá a realizar los ajustes o cálculos necesarios.

Un ejemplo de los cuidados a tener es que se deben utilizar accesorios con un dispositivo óptico de centrado preciso, dotado de elementos de nivelación que nos permitan garantizar en todo momento un posicionamiento sobre el vértice con buena precisión, como puede ser una base nivelante.

Otro ejemplo es que a lo largo de una jornada geodésica, los receptores GNSS se pueden ubicar en diferentes zonas y lugares, distinguiendo estacionamientos sobre pilares y trípodes. Los pilares o monolitos, son una estructura confiable debido a que permanecen estáticos ante cualquier movimiento a su alrededor, por lo cual si se emplea una base nivelante no debería de haber mayor preocupación. En cambio, cuando se estaciona sobre trípodes, se recomienda únicamente emplear trípodes de madera, robustos y ajustados, no se recomienda emplear trípodes de aluminio bajo ninguna circunstancia ya que son más sensibles a sufrir pequeños movimientos que pueden introducir errores en las observaciones.

Capítulo 4

Redes Geodésicas

Una red geodésica se define como un conjunto de vértices materializados en el terreno mediante señales permanentes o temporales adecuadas, cuyas posiciones han sido determinadas a través de observaciones de tipo geodésico. Su propósito fundamental es obtener coordenadas con un alto nivel de precisión y fiabilidad dentro de un sistema de referencia previamente establecido.

4.1. Generalidades

Las redes geodésicas están constituidas por:

- **Datum geodésico y datum vertical**, constantes específicas de un sistema de coordenadas usadas para el control geodésico.
- **Vértices de control** o vértices de referencia, colocados con buenas precisiones, siguiendo una metodología adecuada. Estos pueden ser hitos, mojones, etc.
- **Observaciones geodésicas**, mediciones de ángulos, distancias y tiempos de viaje de señales, que permiten calcular la posición exacta de los puntos.
- **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 la red pueda ser utilizada como base para generar nuevas redes en el futuro.

A su vez, en un proyecto se pueden distinguir, a grandes rasgos, dos tipos de redes:

- Las redes **geodésicas**, las cuales están destinadas a establecer coordenadas tridimensionales (latitud, longitud, altura, o bien X, Y, Z).
- Las redes **altimétricas**, las cuales están orientadas a determinar la altura ortométrica sobre el geoide mediante nivelaciones de alta precisión.

Por otra parte, tradicionalmente las redes se establecen en distintos órdenes jerárquicos en función de la extensión y precisión requeridas. El problema de llevar a cabo el diseño de una red y su solución está repartido en cuatro órdenes o etapas de diseño.

- **Red de Orden Zero (ZOD)**

Aparte de ser una red en sí, son el marco de referencia a partir del cual se crean otras redes. El problema surge del hecho de que las coordenadas de los puntos no se determinan de manera unívoca a partir de las observaciones de cantidades relativas, como ángulos y distancias; por lo tanto, surge el problema de la elección óptima del datum de referencia.

- **Red de Primer Orden (FOD)**

Son redes geodésicas de mayor precisión, utilizadas principalmente para determinar la forma y tamaño de la tierra, o para obtener coordenadas geodésicas con un alto grado de precisión.

- **Red de Segundo Orden (SOD)**

Son redes utilizadas para trabajos más específicos, pero aún mantienen una alta precisión.

- **Red de Tercer Orden (THOD)**

Son menos precisas que las anteriores, que son útiles para levantamientos topográficos. Pueden ser generadas localmente por un ingeniero agrimensor para llevar a cabo un control a lo largo de la elaboración de un proyecto. El decir que estas redes son menos precisas es, quizás, algo arbitrario, un profesional de la geodesia puede determinar una red con alta precisión si las tolerancias admitidas por un determinado proyecto así lo requieren.

4.2. Objetivo de una Red Geodésica

La creación y mantenimiento de una red geodésica persigue diversos objetivos de gran relevancia para la geodesia y disciplinas afines, tales como establecer un marco de referencia principal sobre el cual puedan basarse observaciones, determinar la forma y dimensiones de la Tierra, o detectar y monitorear movimientos de la corteza terrestre.

De estos objetivos, el primero responde a una necesidad práctica esencial, ya que todo levantamiento topográfico debe estar vinculado a una red geodésica para garantizar su correcta referencia en términos de posición, escala y orientación. De este modo, una red geodésica puede entenderse como una estructura de control que permite supervisar y respaldar otros levantamientos y operaciones de ingeniería.

4.3. Marco Lógico

El Marco Lógico (MLOG) es una herramienta estratégica de planificación, ejecución y evaluación que permite establecer una relación racional y trazable entre los diferentes niveles de un proyecto:

- **Finalidad:** el propósito general o la razón del diseño de la red.
- **Propósito específico:** los objetivos concretos que la red debe alcanzar.
- **Resultados:** los productos obtenidos (informes, documentación).
- **Actividades:** las tareas técnicas necesarias para lograr dichos resultados (observaciones, procesamiento, ajuste y validación).

Una red geodésica está conformada por una sucesión de etapas o pasos que deben cumplirse detalladamente e incluyen el planeamiento, preparación, las observaciones de campo y el procesamiento. Estos pasos permitirán obtener el resultado de la red propuesta tanto en el campo como en la documentación en gabinete.

En este contexto, el marco lógico asegura que cada decisión técnica, desde la elección de parámetros, la configuración topológica, la planificación de sesiones y el modelo de ajuste, se alinee con los objetivos de exactitud, confiabilidad e integridad definidos para la red.

Para estructurar el MLOG del presente proyecto, se elaboró una matriz de marco lógico, la cual permite organizar los distintos componentes del trabajo, facilitando además el seguimiento y la evaluación del proyecto mediante la definición de indicadores y criterios de verificación.

La matriz de marco lógico, representada en la Tabla 4.1, se estructura en distintos niveles (fin, propósito, resultados y actividades) y se complementa con elementos que permiten evaluar el cumplimiento de las metas establecidas.

- **IVOs (Indicadores Verificables Objetivamente):** corresponden a métrica, cualitativa o cuantitativa, que permiten determinar si los objetivos o resultados del proyecto han sido alcanzados.
- **MdV (Medios de Verificación):** corresponden a las fuentes de información que permiten comprobar el valor de los indicadores definidos.

- **SyR (Supuestos y Riesgos):** representan las condiciones externas que pueden influir en el desarrollo del proyecto.

Tabla 4.1: Matriz Marco Lógico

Nivel	IVOs	MdV	SyR
Fin	Marco de Referencia Geodésico estable para el uso de proyectos de ingeniería	Portal de datos	Apoyo institucional continuo
Propósito	$\hat{\sigma}(X, Y) \leq 8$ mm; $\hat{\sigma}(Z) \leq 15$ mm; $\bar{r} \geq 0.4$; repetibilidad $H \leq 10$ mm, $V \leq 20$ mm	Informe de ajuste (B,W,f, Q_{xx}), archivos SINEX, control de Calidad	Clima favorable, buena logística y disposición de instrumental
Resultados	100 % monumentación; $\geq 2-3$ sesiones en bases críticas; $\hat{\sigma}_0 \in [0.8, 1.2]$; outliers < 5 %	Fichas, archivos RINEX, reportes de Data Snooping y VCE	Calendario satelital estable; personal entrenado
Actividades	Plan diseñado, campo ejecutado, ajuste y publicación. Monografías y memoria completados en plazo	Plan de trabajo, bitácoras, repositorio y manual	Licencias de programas, instrumental adecuado, accesos en tiempo y forma

4.4. Fases de Implementación y Cálculo de una Red Geodésica

4.4.1. Diseño

Diseñar una red GNSS es, en esencia, definir una lógica matemática y geométrica entre los datos de observación y el modelo elegido.

En general, el diseño es la etapa en la que se decide cómo va a ser la red antes de medirla y ajustarla. Es el proceso de planificación y organización de los vértices, observaciones, instrumentos y precisiones necesarias para construir una red capaz de determinar coordenadas confiables y cumplir un objetivo geodésico específico.

El diseño de la red cumple así un doble propósito, por un lado, posibilita la inferencia espacial, permitiendo estimar y simular posiciones, orientaciones y escalas dentro de un marco de referencia; por otro, proporciona mecanismos para evaluar la calidad de dichas estimaciones mediante redundancias en las observaciones.

Desde esta perspectiva, el diseño de una red es un sistema compuesto por distintos aspectos con relación entre sí, el diseño topológico, el geométrico y el estocástico. La topología describe cómo se vinculan las estaciones y qué relaciones de observación se establecen; la geometría se relaciona con la disposición espacial de los vértices, que influye en la precisión de las estimaciones; y el modelo estocástico representa el grado de confianza asociado a las observaciones, mediante ponderaciones, varianzas y correlaciones. De esta manera, la confiabilidad de la red depende tanto de la organización de las observaciones como de la adecuada distribución de las redundancias.

4.4.2. Diseño Topológico

En términos generales, la topología es una rama de las matemáticas y la geometría que estudia aquellas propiedades de los objetos que se mantienen ante posibles deformaciones continuas, como la conectividad o la continuidad.

En este contexto, permite describir de qué manera se vinculan los vértices de una red, considerando las relaciones de observación que existen entre ellos. Dichas relaciones pueden materializarse, por ejemplo, a través de vectores entre estaciones (líneas base) o mediante tramos de nivelación.

Desde este punto de vista, el análisis se centra principalmente en la estructura de las conexiones entre los puntos, más que en su geometría absoluta, es decir, sin considerar necesariamente valores específicos de coordenadas, distancias u orientaciones.

La estructura topológica se representa mediante los siguientes componentes:

- **Nodos** (vértices): estaciones o puntos geodésicos.
- **Aristas** (*edges*): observaciones que vinculan los vértices (líneas base, desniveles, vectores).
- **Sub-redes o sesiones**: conjuntos de observaciones simultáneas o parciales dentro del sistema global.

El axioma fundamental es que la topología define la redundancia lógica entre vértices, la existencia de trayectos cerrados (*loops*) y la robustez frente a fallos u observaciones erróneas. En decir, que se define el espacio de posibilidades para la calidad, ya que una topología pobre limitará cualquier intento posterior de mejorar el modelo estocástico o la precisión geométrica. Esto debido a que diseñar no es dibujar líneas al azar, sino que implica fijar objetivos de precisión y condiciones operativas, y con ello, escoger las opciones suficientes para alcanzarlos, anclados en la realidad del terreno. En la Figura 4.1 se muestra un ejemplo de diseño topológico de una Red Geodésica, específicamente la Red Geodésica del Salvador.

Dentro del diseño topológico se utilizan ciertos indicadores que reflejan cuánta capacidad tiene el ajuste si algo sale mal, siendo las diferentes métricas topológicas:

- **Conectividad:** denota si la red es conexa.
- **Puntos de articulación:** son vértices que, si fallan, cortan la red. Lo ideal es que no haya ninguno.
- **Grado promedio:** promedio de aristas por nodo valor que, si es mayor, suele dar sustento para control y calidad.
- **Conectividad algebraica** de autovalores no orientados en paralelo: asegura que la red sea más rígida ante fallas y errores locales.
- **Longitud media de caminos:** caminos más cortos llevan a menores errores.

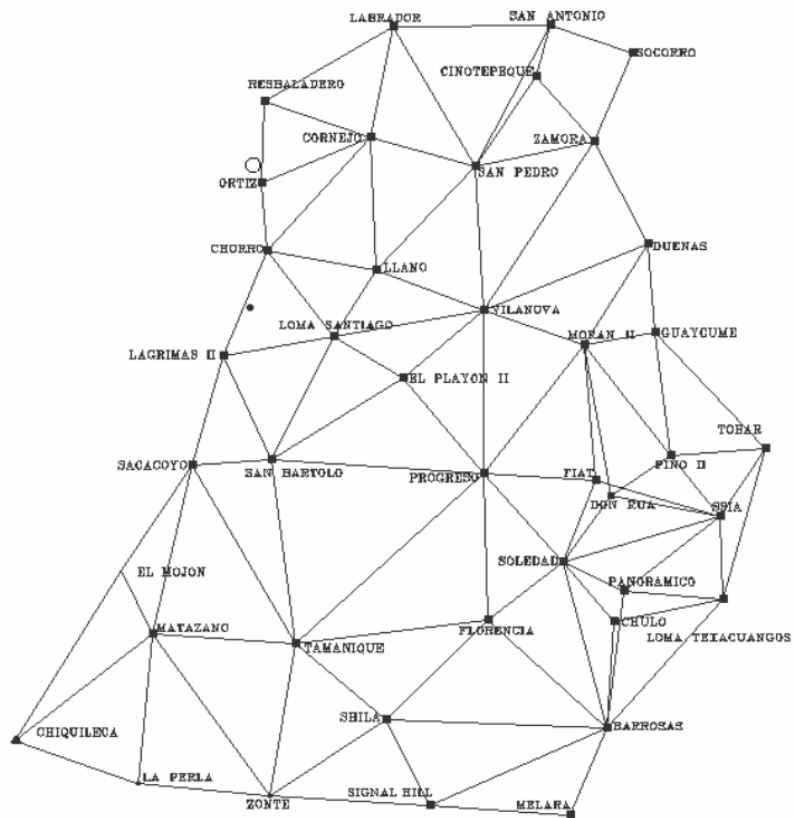


Figura 4.1: Ejemplo de diseño topológico de una Red Geodésica

Por otra parte, cuando se habla de diseño geométrico, se hace referencia a la configuración espacial de los vértices de la red, tanto entre sí como en relación con el campo de satélites u otros puntos de interés. Aunque dos redes puedan compartir una misma topología, su calidad puede diferir si la disposición de los puntos resulta muy alargada, colineal o presenta una distribución altimétrica limitada.

Por ello, a lo largo de este trabajo se procuró encontrar posiciones con horizontes despejados para obtener buen campo satelital en las observaciones y que sean de fácil acceso para la nivelación entre los vértices.

Una red con buena geometría es más estable, robusta y eficiente en la estimación de parámetros, donde también hay métricas de diseño geométrico que deben ser tomadas en cuenta, como:

- **Distribución de longitudes:** la combinación de líneas cortas, medias y largas mejora el condicionamiento.
- **Ángulos de cruce:** se deben evitar enlaces casi paralelos; triángulos bien formados distribuyen la información de manera eficiente.
- **Redundancia por observación:** número de observaciones por incógnita; las altas redundancias locales (r_i) mejoran la detección de errores.
- **Condicionamiento del ajuste:** una geometría variada produce elipses de error más redondas, reduciendo las correlaciones entre parámetros.
- **Control de elipses:** Dependiendo de las elipses de error generadas, pueden variar las características de las observaciones.
- **Ángulos internos:** evitar ángulos pequeños (< 30).
- **Compactitud ($4\pi A/P^2$):** mide el equilibrio de las figuras; valores altos indican una distribución eficiente.

4.4.3. Definición del Modelo Matemático

El diseño estocástico representa la tercera capa del diseño de una red geodésica, el mismo define el peso (W), representado como una medida de confiabilidad que determina la influencia en el ajuste, y las covarianzas entre observaciones.

Dicho de otra forma, el modelo estocástico busca reflejar de la manera más realista posible, las condiciones bajo las cuales se obtienen los datos, por ende, se deben considerar distintos factores que afectan al proyecto para visualizarlo de una forma estadística como los siguientes.

- Asignación de precisiones a priori realistas según la distancia, máscara de elevación o tipo de sesión.
- Consideración de heterocedasticidad (distintas precisiones por tipo de observación o entorno).
- Inclusión de correlaciones cuando existen observaciones simultáneas o modelos atmosféricos comunes.

El modelo matemático también necesita definir variables que permitan definir correctamente las ecuaciones de condición, como:

- n : Número de observaciones.
- n_0 : Número de observaciones necesarias para el cálculo de la red.
- r : Redundancia de datos.
- W : Matriz peso de las observaciones.

Tomando de ejemplo el caso de este proyecto, así como se va a detallar en las correspondientes secciones del trabajo, las variables fueron las siguientes.

- $n = 16$: Fueron 12 las líneas base observadas entre los vértices nuevos hacia los vértices fijos, 3 líneas base se generaron entre los pares de vértices de cada sesión (3 sesiones) y 1 línea base entre los vértices fijos.
- $n_0 = 12$: Para calcular una red geodésica se necesita por lo menos 2 vértices fijos, por ende, si son 6 los vértices nuevos, el número de observaciones necesarias para el cálculo de la red son 12.
- $r = 4$: resultado de realizar $n - n_0$.
- W : El peso asignado a cada línea base no fue el mismo, sino que dependiendo de la distancia de la línea base y la calidad de los datos obtenidos

Finalmente, la validez del modelo estocástico se verifica mediante la Estimación de Componentes de Varianza (VCE), comparando las varianzas a priori con las obtenidas a posteriori en el ajuste.

4.4.4. Selección del Datum

En toda red geodésica, el datum constituye el marco de referencia que otorga significado físico y coherencia a las coordenadas obtenidas. Si bien las observaciones GNSS proporcionan posiciones relativas con alta precisión, estas no poseen valor absoluto hasta que se vinculan a un sistema de referencia mediante puntos de control.

Para obtener coordenadas, es necesario definir el datum, lo cual implica introducir condiciones de fijación (*constraints*) que eliminen los denominados defectos de datum (*datum defect*), asociados a la traslación, rotación y escala. Definir el anclaje de una red no implica forzar coordenadas, sino establecer hipótesis físicas y geométricas razonables. Esta elección incide directamente en el comportamiento estadístico de la red, afectando las varianzas, las correlaciones y la estabilidad temporal de las coordenadas estimadas.

Por tal motivo, resulta fundamental seleccionar una cantidad justa y necesaria de vértices fijos. Una cantidad insuficiente de puntos de control puede derivar en un sistema de referencia pobremente definido; en cambio, la imposición de un número excesivo de vértices fijos puede afectar el ajuste, transfiriendo inconsistencias hacia los vértices libres e introduciendo errores adicionales no deseados. Por ello, para materializar este anclaje, se utilizan puntos fiduciaros, estaciones cuyas coordenadas son conocidas con precisión en el sistema de referencia elegido.

Defecto de Datum

El defecto de datum aparece cuando la red no contiene información suficiente para definir completamente su posición, orientación o escala en el espacio. Es decir, hay más incógnitas que condiciones absolutas, lo que genera la indeterminación del sistema. Este no es un error, sino una propiedad geométrica de las redes geodésicas libres, reflejo de su naturaleza relativa.

- Las observaciones GNSS determinan diferencias de posición (vectores), no posiciones absolutas. Por tanto, un ajuste libre presenta 6 defectos de datum: 3 traslaciones: ejes X, Y, Z; y 3 rotaciones alrededor de los mismos ejes.
- En las redes altimétricas, las observaciones son diferencias de altura, por lo que solo falta definir una traslación vertical. Por ello, estas redes poseen un solo defecto de datum.

Para ilustrar el defecto de datum, considérese una red de nivelación como se muestra en la Figura 4.2, compuesta por cuatro vértices A, B, C, D , cuyos desniveles observados son l_1, l_2, l_3, l_4 . Ninguno de estos considerados como fijos, es decir, no hay datum altimétrico.

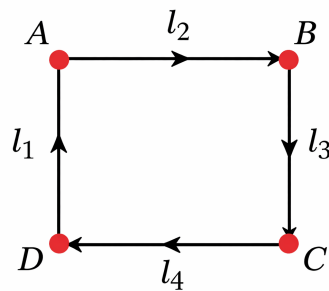


Figura 4.2: Ejemplo red sin datum altimétrico.

Partiendo de la ecuación fundamental del ajuste $v + B\Delta = f$, al no imponer datum altimétrico, todas las cotas son incógnitas, por ello, las ecuaciones del sistema se escriben de la siguiente manera:

$$\begin{cases} v_1 + D - A = -l_1 \\ v_2 + A - B = -l_2 \\ v_3 + B - C = -l_3 \\ v_4 + C - D = -l_4 \end{cases}$$

De este modo, la matriz de diseño B queda:

$$B = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

Tomando el sistema normal $B^T W B x = B^T W f$, al no imponerse un vértice fijo, se obtiene que $\det(B^T W B) = 0$ y, como $\text{rango}(B^T W B) < n$, siendo $n = 4$ el número de incógnitas, se trata de un sistema compatible indeterminado, el sistema no posee una solución única sino infinitas. Se puede encontrar la relación entre los vértices pero no el resultado específico.

Por otro lado, se ilustra en la Figura 4.3 el ejemplo con un vértice fijo, en este caso el vértice D .

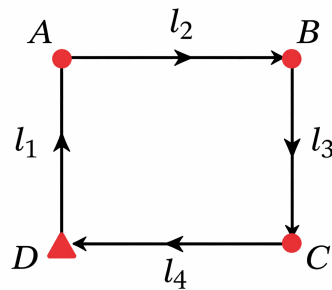


Figura 4.3: Ejemplo red con datum altimétrico.

Al imponer un vértice como datum altimétrico, el número de incógnitas disminuye a $n = 3$, por ende, la matriz de diseño B pasa a ser:

$$B = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Siguiendo la misma lógica, en este caso $\text{rango}(B^T W B) = n = 3$ y $\det(B^T W B) \neq 0$, por lo tanto, la matriz es invertible y es un sistema compatible determinado, el cual posee una única solución.

4.4.5. Planificación, Preanálisis y Simulaciones de Redes

En el desarrollo de una red geodésica, las etapas de planificación, preanálisis y simulación constituyen una instancia previa importante al trabajo de campo. A través de estas etapas se busca organizar tanto las campañas de observación satelital, como el trabajo de nivelación, de manera que las mediciones puedan realizarse con mayor eficiencia, considerando los recursos disponibles o las dificultades que se puedan generar.

La planificación permite establecer criterios generales para el desarrollo de la campaña, definiendo aspectos como la logística, la manera de obtener las observaciones y las condiciones bajo las cuales se realizarán las mediciones. En este proceso resulta fundamental tener presente el propósito del trabajo, ya que las características de la red y el tipo de observaciones a realizar deben adecuarse al uso final de los datos que se pretenden obtener.

En este sentido, todo proceso de planificación debe tener presente las tolerancias establecidas, que determinarán las precisiones buscadas ya que esto dependerá de las técnicas de medición necesarias o en los instrumentos que se deberán utilizar.

Por ejemplo, en observaciones obtenidas mediante GNSS es sabido que la componente vertical, además de ser una altura geométrica, presenta generalmente menor precisión que las componentes horizontales. Por esta razón, para mejorarla se determina la cota del vértice mediante una nivelación geométrica, obteniendo así una altura física mucho más precisa. En este proyecto, se decidió observar matemática y geoméricamente la red por GNSS, y físicamente nivelando los vértices con niveles.

El preanálisis y las simulaciones permiten explorar de manera anticipada el comportamiento esperado de la red. Mediante estas herramientas es posible analizar la geometría de las observaciones, estimar de forma preliminar la precisión que se alcanza y detectar posibles debilidades en el diseño antes de realizar las mediciones en campo.

En el desarrollo del presente trabajo, las simulaciones realizadas mediante el software *Star*Net* adquieren un papel importante. Este tipo de programas permite modelar distintos escenarios y analizar cómo se comportan las mediciones dentro de la red, otorgando una visión tangible del proyecto incluso antes de realizar alguna observación.

A través de estas simulaciones es posible analizar alternativas en la disposición de las estaciones o en la estrategia de medición, lo que permite comprender mejor el potencial del proyecto y orientar las decisiones al trabajo de campo.

En consecuencia, esta etapa es dimensionante dentro del proceso de diseño de la red, ya que no solo permite anticipar posibles resultados, sino también adentrarse el análisis del proyecto antes de iniciar las mediciones.

4.4.6. Componentes de la Implantación y Observación

La etapa de implantación y observación constituye el momento en el que el diseño de la red se materializa en el terreno mediante la instalación de los vértices (en caso de ser necesario) y la realización de las mediciones. En esta fase intervienen diversos aspectos que influyen directamente en la calidad de los datos obtenidos, tales como el tipo de observables utilizados, la estrategia de observación adoptada y las condiciones bajo las cuales se registran las mediciones.

En las siguientes secciones se describen algunos de los criterios y consideraciones más relevantes asociados a esta etapa, incluyendo las técnicas de observación empleadas, las condiciones de medición y ciertos parámetros instrumentales y de procesamiento que resultan necesarios para garantizar la consistencia y calidad de las observaciones.

Campaña de Observación

Desde el punto de vista del proyecto, las precisiones que se quieren alcanzar son las máximas posibles, por ende, los parámetros y técnicas de observación inciden en el procedimiento, donde se deben tener pautas para una correcta ocupación de un vértice geodésico. La técnica de observación GNSS adoptada,

especificada en la Tabla 4.2, es la técnica estática con mediciones de código y fase, es obligatoria la combinación de doble frecuencia para conseguir precisiones altas y eliminar errores ionosféricos.

Tabla 4.2: Aspectos generales de la técnica estática.

Uso	Densificación de redes, estudio de deformaciones, etc.
Estado receptor	Estático
Observables	Obligatoria medición por código (C/A) y fase (L1, L2 y combinaciones)
Observación	Se estacionará un receptor en un punto de coordenadas conocidas y un segundo sobre el punto a determinar sus coordenadas. Ambos receptores registrarán información durante el mismo período de tiempo. Se recomienda exceder los tiempos mínimos estimados de observación, especialmente en aquellos puntos de ocupación dificultosa.
Longitud línea base	Menos de 20 km.
Tiempo de observación	Ver tabla 4.3.
Condiciones de observación	Máscara de elevación de al menos 15° sobre el horizonte. Recomendado el registro de épocas cada 1 segundo. Recomendado un mínimo de 6 satélites en el horizonte. GDOP < 6.
Tipo receptor	Bifrecuencia.
Precisión	Milimétrica.

Condiciones de Observables

Deben quedar especificadas las propiedades y particularidades del entorno del punto sobre el que se va a realizar la medida. Con ello, también quedan definidas las condiciones de observación en lo que respecta a tiempos mínimos en cada línea base, GDOP máximo permitido, intervalo entre épocas, máscara de elevación a emplear y el número mínimo de satélites.

En trabajos de exactitud posicional media o alta, la distancia de línea base determina el tipo de receptor a emplear y obviamente, sus tiempos de observación quedan supuestos a las características antes nombradas. En este ámbito, la ocupación de un punto debe ser lo suficientemente amplia en tiempo y forma, para que se garantice la determinación de ambigüedades.

No existe una fórmula exacta para determinar los tiempos de observación necesarios debido a múltiples variables, los valores que se exponen en la Tabla 4.3 son meramente una referencia temporal.

Tabla 4.3: Recomendaciones de tiempos.

Tiempos mínimos de observación (minutos)						
Línea Base (Km)	4 satélites		5 satélites		6 o más satélites	
	Mono	Bi	Mono	Bi	Mono	Bi
1 – 5	60	20	36	12	24	8
5 – 20	75	25	45	15	30	10
20 – 50	105	35	75	25	60	20
> 50	180	60	135	45	90	30

Receptores y Antenas

Es indispensable conocer el tipo de receptor y antena de cada equipo antes de proceder al procesamiento, así como cualquier otro instrumental que se utilice, teniendo siempre un riguroso control de la información. El tipo de receptor afecta en la estimación de las correcciones de reloj, mientras que el tipo de antena es fundamental para poder estimar correctamente las coordenadas, principalmente la altura.

Como lo representa la Figura 4.4, las antenas GNSS poseen un punto de referencia (ARP), a donde refieren las coordenadas de control o desde donde se debe medir la altura del instrumento. Sin embargo, la señal es recibida en el centro eléctrico de la misma (APC) y cambia según la onda portadora. Luego, las antenas son calibradas y es posible conocer la diferencia o corrección al centro de fase de cada modelo de antena (*Antenna Offset*).

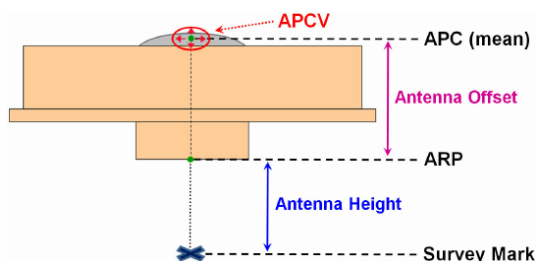


Figura 4.4: Centro de antena. Esquema

Altura de Instrumento

Antes de comenzar una sesión de observación GNSS, resulta conveniente verificar que el receptor se encuentre configurado de acuerdo con las especificaciones establecidas para el trabajo. Mantener un criterio consistente en la instalación de los equipos es importante, ya que pequeñas variaciones en este proceso pueden repercutir en la calidad de las observaciones.

Cuando los equipos se instalan sobre trípodes, es importante prestar atención al estado y correcto ajuste de las bases nivelantes, procurando que se encuentren adecuadamente calibradas. Asimismo, adquiere especial importancia la determinación de la altura del instrumento, dado que este parámetro interviene en la correcta referenciación de las observaciones.

Generalmente, la medición de la altura se realiza tomando como referencia un punto fijo definido en la antena, tal como se ilustra en la Figura 4.5, y, con el fin de reducir posibles errores, es habitual efectuar esta medición al menos 3 veces.

Este aspecto será retomado en distintos momentos del informe, ya que el trabajo fue desarrollado de manera conjunta entre varios integrantes. Dado que la determinación de la altura del instrumento influye en la calidad de la red geodésica, resulta conveniente mantener un criterio único de medición, de modo que la metodología aplicada sea consistente en todas las observaciones.

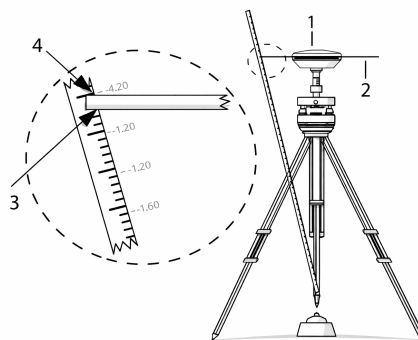


Figura 4.5: Esquema de altura del instrumento.

Efemérides, Relojes Satelitales y Parámetros de Orientación Terrestre (EOPs)

El uso de productos precisos del IGS (*International GNSS Service*) es indispensable para un procesamiento geodésico de alta exactitud.

- **Efemérides precisas** (.sp3): determinan las posiciones de los satélites con precisión centimétrica.
- **Relojes precisos** (.clk): corrigen desviaciones de los osciladores de satélites y estaciones IGS.
- **Parámetros de orientación terrestre** (.erp): permiten vincular el sistema de referencia terrestre con el celeste.

Constantes, Modelos y Correcciones para el Procesamiento GNSS

Así como se debe cuidar la calidad de las observaciones, es necesario introducir o definir en el procesamiento ciertos modelos correctivos de efectos generales del sistema tierra.

- El modelo de potencial terrestre y atmosféricos
- Tipo de combinación de observables (*ion-free, wide-lane, narrow-lane*).
- La resolución de ambigüedades (métodos LAMBDA u OMEGA).
- La carga oceánica y atmosféricas.
- El efecto de mareas de la tierra sólida.

A modo de ejemplo, en el procesamiento de la red SIRGAS se utilizan los detallados en la siguiente Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Fenómenos a tomar en cuenta.

Fenómeno	Modelo	Magnitud
Campo Gravitatorio Terrestre	EGM2008	Hasta metros en altura geoidal
Carga Oceánica	FES2014	Centimétrica
Mareas Terrestres Sólidas	IERS2020	Variaciones milimétricas
Cargas Atmosféricas	Ray y Ponte 2003	Milímetros según precisión local

4.4.7. Calidad de Archivos de Observación RINEX

Cuando se va a calcular una red geodésica en base a observaciones GNSS, es fundamental comenzar con la preparación y análisis de calidad de las observaciones, para posteriormente realizar un pre-procesamiento de la información, detectando *outliers* e inconsistencias en los datos. Muchas veces es necesario reducir o cortar datos que no cumplen con los criterios de calidad requeridos para ser considerados como observables en la estimación de parámetros mientras se mantenga el modelo de distribución gaussiana.

En el caso de los observables GNSS, existen varios programas que han sido diseñados para este fin, siendo de naturaleza libre o comercial. Independientemente, es importante analizar ciertas cuestiones que afectan la calidad de las observaciones realizadas:

- Continuidad de los datos, o disponibilidad de cada satélite, detectando saltos de ciclo o cortes de señal (*cycle slip* o *gap*).
- Elevación de cada satélite, considerando que aquellos que se encuentren cercanos al horizonte tendrán mayores errores de refracción.
- Factor de dilución de la precisión (PDOP), el cual debe ser menor que 5.
- Relación señal-ruido, siendo valores aceptables mayores a 34 dbHz.
- Efecto multicamino o *multipath*, siendo esperable valores menores a 0.5m.

4.4.8. Procesamiento y Cálculo de la Red

Una vez finalizadas las sesiones de observación en campo, las mediciones obtenidas requieren atravesar una etapa de tratamiento posterior comúnmente denominada postproceso, con el objetivo de transformar las observaciones crudas registradas por los receptores en información útil para la determinación de posiciones.

En términos generales, el postproceso es el conjunto de operaciones mediante las cuales se integran, organizan y analizan los datos provenientes de los distintos vértices observados. A diferencia de los datos obtenidos directamente en el campo, el tratamiento posterior permite aplicar modelos más completos y evaluar la calidad de las observaciones realizadas.

Como se nombró anteriormente, los diferentes archivos RINEX generados en la campaña de observación de los vértices en estudio, contienen las observaciones realizadas a los satélites visibles y constituyen la base de la cual se desarrollan los cálculos posteriores. A partir de estos datos, el postproceso permite establecer relaciones entre los vértices de la red mediante el cálculo de vectores o líneas base, centrándose en la comparación simultánea de las observaciones registradas en diferentes puntos, lo que permite reducir o mitigar diversos errores que afectan a las mediciones GNSS. De esta manera, el análisis conjunto de las observaciones contribuye a mejorar la precisión relativa entre los vértices de la red.

En el software es necesario tener definidos los parámetros de procesamiento, como los siguientes, ya que con estos se conforman las líneas base que constituyen la red. Algunos de estos también se pueden configurar en el propio receptor.

- **Máscara de elevación:** define el ángulo mínimo sobre el horizonte a partir del cual se aceptan observaciones satelitales.
- **Intervalo de muestreo:** corresponde al tiempo entre observaciones consecutivas registradas por el receptor.
- **Resolución de ambigüedades:** durante el procesamiento de fase de portadora es necesario estimar las ambigüedades enteras asociadas al número de ciclos de la señal.

- **Modelado atmosférico:** se incorpora modelos para reducir los efectos de la ionosfera y la troposfera sobre la señal GNSS, como el nombrado modelo geoidal EGM08.
- **Efemérides satelitales:** dependiendo el momento de procesamiento, pueden utilizarse efemérides transmitidas, precisas o finales.
- **Ponderación de observaciones:** permite asignar distintos pesos a las mediciones según su calidad o condiciones de observación, formando parte del modelo estocástico del procesamiento.
- **Criterios y tests de control de calidad:** incluyen distintos indicadores y umbrales utilizados para evaluar la consistencia de los resultados. Comúnmente se utilizan el Test Global del modelo Chi-Cuadrado y Test de Baarda.

Esto se realiza manualmente o mediante rutinas automáticas del software, siempre verificando la coherencia y utilizando criterios como, utilizar la mayor cantidad posible de observaciones válidas, priorizar vectores cortos y evitar que receptores con observaciones deficientes actúen como nodos principales.

Dependiendo de las herramientas informáticas que se utilicen, la forma de estimar y mostrar los resultados que se tendrá, por ello, es fundamental realizar el análisis posterior, permitiendo evaluar la calidad de cada línea base.

- **Tipo de solución:** solo deben aceptarse soluciones fijas; las flotantes deben revisarse o descartarse.
- **Estimadores de precisión:** revisar resultados de los tests, desviaciones estándar y covarianzas de coordenadas.
- **Residuos:** analizar su distribución temporal y espacial; no deben mostrar patrones sistemáticos.

Cuando se dispone de observaciones redundantes, es necesario realizar un ajuste con el fin de obtener un único conjunto de coordenadas para cada vértice de la red geodésica. Los programas de procesamiento suelen incluir herramientas específicas para esta tarea, permitiendo combinar los vectores y establecer puntos de control según la estrategia de ajuste seleccionada, las cuales fueron especificadas anteriormente.

4.4.9. Ajuste de las observaciones

Posteriormente, los resultados obtenidos a partir del procesamiento de las líneas base se integran en un ajuste de red, en el cual se consideran simultáneamente todas las observaciones disponibles, obteniendo coordenadas de los vértices y garantizando que la red esté correctamente alineada a un marco de referencia.

Las magnitudes que se ajustan son los vectores que han superado previamente las pruebas de calidad e integridad, proceso comúnmente llamado "Quality Check", garantizando así la confiabilidad de las entidades utilizadas.

Es un procedimiento matemático y estadístico que busca la mejor estimación de las coordenadas de una red de vértices, haciendo coherentes las observaciones disponibles, ya sean ángulos, distancias, diferencias de nivel o vectores GNSS, mediante la minimización de los errores residuales. El método más comúnmente utilizado es el ajuste por mínimos cuadrados, el cual distribuye los errores de manera estadísticamente óptima, garantizando que la suma ponderada de los cuadrados de los residuos sea mínima.

Según el programa de procesamiento que se utilice, se presentan diferentes estrategias para el ajuste, comúnmente se pueden identificar:

- **Ajuste libre** (*free network*): Se ajustan los diferenciales de cada línea base en el marco de referencia definido, permitiendo estimar coordenadas de sitio sin aplicar ningún tipo de restricción debido a no introducir un datum. Permite que la red "flote", encontrando la solución más óptima, permite identificar errores groseros en el procedimiento.
- **Ajuste con restricciones mínimas** (*minimum constraint adjustment*): Se imponen condiciones que eliminan los defectos de datum sin distorsionar la geometría interna. La red se ajusta realizando una roto-traslación de las observaciones y se procesa hacia el marco de referencia que se desea utilizar como control, materializado en el grupo de coordenadas fijas adoptadas.

Método de Mínimos Cuadrados en Resolución de Redes Geodésicas

El método de mínimos cuadrados es una herramienta ampliamente utilizada en estadística, que también se utiliza en el tratamiento de observaciones geodésicas. Su aplicación se fundamenta en considerar que las variables involucradas en las mediciones pueden interpretarse como variables aleatorias y que la distribución de las observaciones se aproxima a una distribución normal.

En este contexto, el ajuste por mínimos cuadrados busca combinar los vectores obtenidos de manera independiente en una solución única y coherente para la red. A partir de este proceso se estiman las coordenadas ajustadas de las estaciones que la componen, al mismo tiempo que pueden determinarse otros parámetros que formen parte del modelo adoptado para el ajuste.

Desde el punto de vista matemático, el modelo de observación del ajuste se expresa como:

$$\mathbf{f} = \mathbf{B}\mathbf{X} + \mathbf{v} \quad (4.1)$$

Donde \mathbf{f} representa el vector de observaciones, \mathbf{B} la matriz de diseño, \mathbf{X} el vector de incógnitas a estimar y \mathbf{v} el vector de residuos asociado a las observaciones.

Considerando además la matriz de pesos \mathbf{W} , el principio de mínimos cuadrados establece que la solución del sistema se obtiene minimizando la función:

$$F = \mathbf{v}^T \mathbf{W} \mathbf{v} \quad (4.2)$$

Lo que conduce al sistema de ecuaciones normales:

$$\mathbf{N} = \mathbf{B}^T \mathbf{W} \mathbf{B} \quad (4.3)$$

$$\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{N}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{W} \mathbf{f} \quad (4.4)$$

Este método permite obtener información sobre la precisión de los resultados alcanzados, ya que el ajuste se realiza a partir de un conjunto redundante de observaciones, lo que posibilita evaluar la consistencia interna de los datos y

estimar la incertidumbre asociada a las coordenadas obtenidas. En general, cuando la red presenta un mayor grado de redundancia en sus observaciones, las estimaciones tienden a mostrar un comportamiento más estable y confiable.

Una vez estimados los parámetros del modelo, los residuos ($\hat{\mathbf{v}}$) de las observaciones pueden determinarse, así como la redundancia de observaciones (R_{ii}).

$$\hat{\mathbf{v}} = \mathbf{f} - \mathbf{B}\hat{\mathbf{X}} \quad (4.5)$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{B}(\mathbf{B}^T\mathbf{W}\mathbf{B})^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{W} \quad (4.6)$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{I} - \mathbf{H} \quad (4.7)$$

En especial en este proyecto, continuamente se habla de altas precisiones y estándares de calidad, por lo que resulta importante realizar un ajuste que permita tanto minimizar los errores como obtener estimaciones de precisión para su posterior evaluación.

Por otra parte, los resultados del ajuste se expresan en distintos sistemas de referencia. En algunos casos se opta por mantener las coordenadas en el mismo sistema al que están referidas las observaciones GNSS, mientras que en otros resulta conveniente expresarlas en un sistema de referencia local.

Para lograr esta vinculación con el sistema de referencia deseado, durante el proceso de ajuste se introducen coordenadas conocidas o información adicional correspondiente a las estaciones de la red. En el caso particular de trabajar con un sistema local, el modelo matemático debe considerar también la transformación que relaciona dicho sistema con el sistema global en el que originalmente se expresan las coordenadas GNSS.

4.5. Densificación de Redes Geodésicas

4.5.1. Densificación de una Red Existente

La estructura geodésica primaria de un proyecto suele establecerse a partir de una red de referencia oficial, la cual proporciona el marco geodésico nacional dentro del cual se desarrollan los trabajos posteriores.

Sin embargo, desde el punto de vista operativo y de precisión, no siempre resulta adecuado trabajar localmente apoyándose en los vértices de una red geodésica principal. Debe ser posible implantar estaciones o vértices adicionales que permitan aproximar el marco de referencia a las zonas donde se desarrollan los trabajos, ya que beneficia al proyecto desde el punto de vista geométrico. Proceso conocido como densificación de redes geodésicas.

En términos generales, la densificación consiste en aumentar la cantidad de vértices dentro de una red existente, interpolando y/o extrapolando de su zona geográfica, agregando nuevos vértices que se determinan a partir de observaciones vinculadas a los ya conocidos. De esta manera, se incrementa la densidad de vértices por unidad de área, manteniendo al mismo tiempo la coherencia con el sistema de referencia definido por la red original, tal como se muestra en la Figura 4.6.

Independientemente de la metodología empleada, el objetivo principal de la densificación es ampliar la disponibilidad de vértices, manteniendo el sistema de referencia. Para ello, los nuevos vértices deben tener una vinculación topológica con los existentes, la cual se realiza mediante la red fundamental o con alguna estrategia necesaria para el caso.

Desde el punto de vista del presente proyecto, uno de los objetivos consiste en densificar la Red MaRGIA, la cual ya cuenta con una red fundamental denominada Red Zero MaRGIA. En este sentido, la estrategia de vinculación entre los vértices existentes y los nuevos a implantar se basa en utilizar vértices comunes pertenecientes a dicha red de orden cero, los cuales también fueron empleados en el cálculo y ajuste de la red previamente establecida.

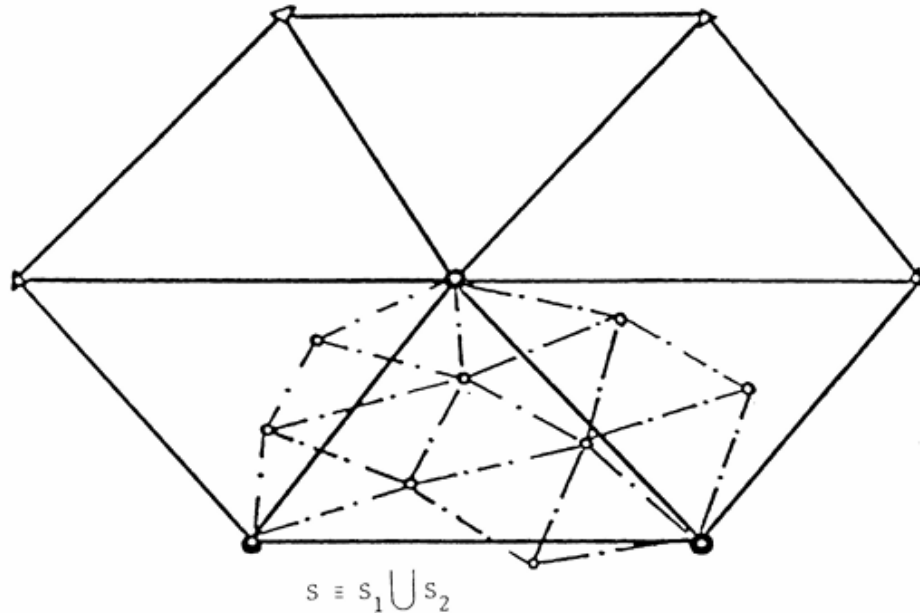


Figura 4.6: Densificación de una red geodésica

4.5.2. Métodos y Estrategias de Densificación

Habiendo determinado los vértices fiduciales que serán utilizados, se deben vincular los nuevos vértices a las estaciones de referencia. Para ello se comienza en un vértice de control, conectando todos los otros que se ocuparán por los receptores en una sesión. Si se cuenta con dos receptores, esa será una línea base entre dos vértices, en cambio si los receptores fuesen cuatro, esto equivaldrá a seis líneas base entre cuatro vértices o una sesión.

Dejando un receptor por lo menos como pivote, se mueven los otros receptores a los nuevos puntos, repitiéndose la geometría de las líneas. El proceso se repite de esta forma hasta que se hayan conectado todos los nuevos puntos y los puntos de control en una red fuerte. Existen variados métodos que se utilizan para la medición de redes, a continuación se detallan los más utilizados.

Método de Levantamiento Radial Redundante con GNSS

Generalmente se utiliza este método para aumentar la densidad de redes existentes, para establecer control u otras necesidades. En este levantamiento, indicado en la Figura 4.7, se elige un vértice de Referencia y uno o más Móviles operan con respecto a él. El Receptor de Referencia se ubica por lo general sobre un vértice conocido, también llamado estación fija. El período de tiempo que los Móviles deberán observar en cada punto, dependerá de la longitud de la línea base desde la Referencia y del GDOP.

Cuando se trabaja con dos o más Móviles, es necesario asegurarse que todos los receptores están operando simultáneamente sobre cada vértice ocupado.

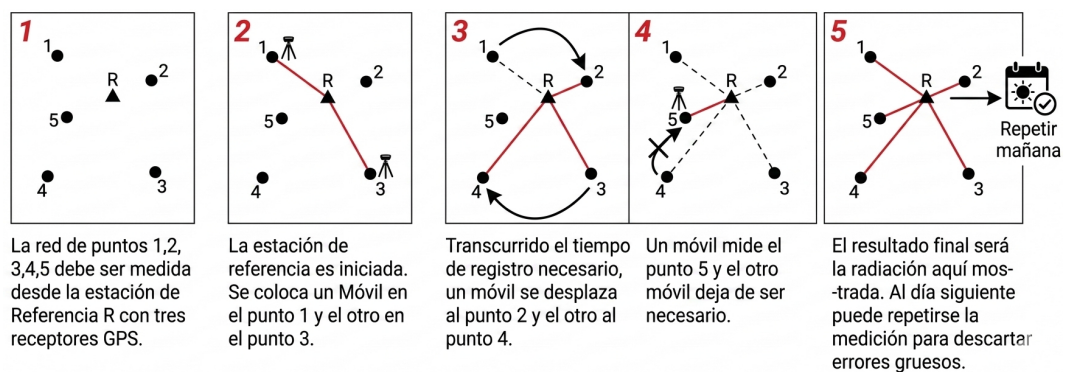


Figura 4.7: Método de levantamiento radial con 1 vértice fijo.

La aplicación de este método, en estas condiciones, no es viable para la medición de redes geodésicas. Aunque, el procedimiento desarrollado es el más utilizado, no se debe caer en el error conceptual asumiendo como correcta esta metodología para constituir una red.

Este diseño es práctico a la hora de realizar las mediciones y presenta múltiples facilidades sobre todo para el traslado del personal y los equipos de medición. Sin embargo, se presentan limitaciones técnicas, ya que no todos los vectores de la red son medidos, lo que limita el ajuste a realizarse de la red, por ende la red no puede asumirse como una red geodésica, pues no está asegurado el modelo matemático a partir de una redundancia adecuada.

A fin de poder utilizar este método para medir una red, es necesario contar, por lo menos, con dos estaciones de referencia y utilizar un móvil para ocupar

los vértices restantes a medir (estableciendo un mínimo de tres equipos), tal como se muestra en la Figura 4.8.

Desde el punto de vista del proyecto, esta fue la metodología teórica adoptada para la densificación de la Red MaRGIA, con la diferencia de que se cuenta con un número de instrumental mayor. Esta estrategia es ideal para un área de estudio acotada, contando con al menos dos vértices de referencia cercanos, al igual que sucede con MaRGIA(D), ya que es una forma rápida y de buena calidad.

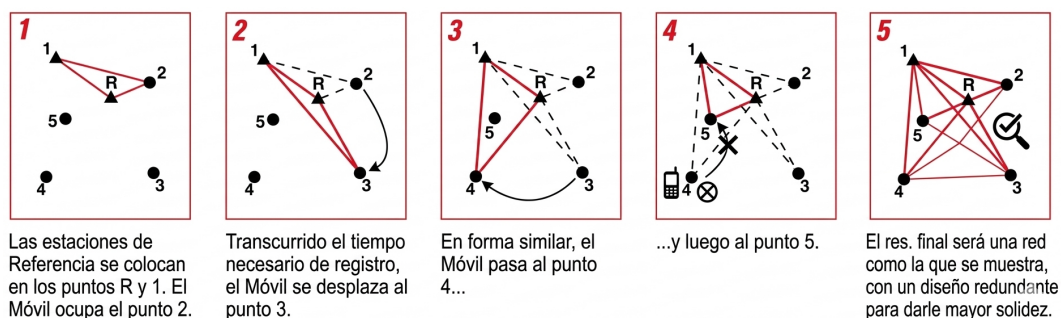


Figura 4.8: Método de levantamiento radial con 2 vértices fijos.

En caso de contar con un número importante de instrumental, siempre y cuando sea la misma cantidad de vértices a densificar, en conjunto con los vértices fijos, cabe la posibilidad de realizar el levantamiento de manera simultánea, lo que genera la redundancia máxima y la mayor cantidad de líneas base en una sola sesión de observación. Esto, si bien es costoso, facilita de gran manera la observación de la totalidad de la red, y si tanto el diseño como la práctica es buena, las precisiones obtenibles seguramente sean elevadas.

Método de Levantamiento en Mallas

En esencia, el levantamiento en mallas puede entenderse como una extensión del método radial aplicada a redes de mayor escala, donde se busca equilibrar la redundancia de las observaciones, la fortaleza de la figura y el costo-beneficio del trabajo.

En el diseño de una red geodésica, siempre resulta deseable obtener la mayor cantidad posible de líneas base entre los vértices, ya que esto incrementa la redundancia y mejora el control de las observaciones. Sin embargo, cuando

el número de vértices crece, la observación de todas las posibles combinaciones implica un aumento significativo en el tiempo de trabajo y en los costos de campo. Es en este contexto donde el levantamiento en circuito adquiere relevancia.

Este método se basa en organizar las observaciones de modo que los vértices queden conectados mediante figuras cerradas o mallas, generando estructuras geométricas que aportan rigidez a la red. A través de estas, se delimitan secciones de observación bien definidas, permitiendo establecer interconexiones suficientes entre los distintos vértices sin necesidad de observar todas las líneas base posibles.

Las mallas deben conectarse mediante sesiones de observación simultánea contando al menos con dos vértices de cada malla simultáneamente, observando también vértices fiduciales en simultáneo.

A modo ilustrativo, en la Figura 4.9 pueden considerarse distintos diseños de red con circuitos delimitados. En general, se busca que las mallas del armazón conecten los vértices mediante poligonales cerradas, evitando configuraciones con tramos paralelos extensos y pocos lazos transversales. Aplicando este concepto es evidente que el diseño de la derecha constituye una red más firme que el ejemplificado en la izquierda.

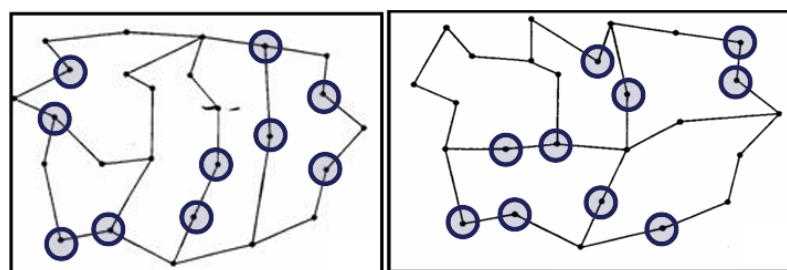


Figura 4.9: Método de mallas y fuerza de red.

Si bien este método no se aplica directamente en el presente proyecto, debido a que la densificación de la Red MaRGIA(D) no involucra un número elevado de nuevos vértices, resulta pertinente mencionarlo. Un diseño adecuado, que contemple la geometría de las figuras, la redundancia de observaciones y una correcta selección de estaciones de referencia, permite obtener resultados de alta calidad.

4.5.3. Comparación con la Creación de una Red Geodésica Nueva

A diferencia de los procesos de densificación, donde se parte de vértices ya materializados y ajustados que actúan como referencia, en este caso es necesario definir íntegramente tanto la geometría de la red como su vinculación al sistema de referencia adoptado.

En este tipo de proyectos, las primeras etapas se centran en el diseño de la red, definiendo la distribución y jerarquía de los vértices en función del área a cubrir, la precisión requerida y el tipo de trabajo que se pretende realizar posteriormente.

Por ejemplo, la red MaRGIA ya implantada en el año 2024 tuvo un importante proceso, debiendo también crear, calcular y ajustar una red de orden cero (Red Zero MaRGIA), que será la de mayor jerarquía y la indicada para propagar sus coordenadas a los vértices necesarios.

La importancia de la Red Zero radica en la vinculación al sistema de referencia oficial. En una red creada desde cero, es necesario establecer vértices iniciales que permitan referenciar la red al marco geodésico correspondiente, como lo son las estaciones permanentes. En cambio, en un proceso de densificación esta vinculación ya está resuelta a través de la red existente.

Desde el punto de vista del procesamiento y ajuste, las diferencias también aparecen. Por ejemplo, en una red completamente nueva, el ajuste debe resolver la totalidad de la estructura observacional, estableciendo las relaciones entre todos los vértices y evaluando la calidad geométrica global de la red. En una densificación, por el contrario, el ajuste suele apoyarse en vértices previamente calculados y tomados como libres de error (Estaciones fijas), que actúan como puntos de control o restricción, permitiendo incorporar nuevos puntos sin modificar sustancialmente la estructura original.

Capítulo 5

Diseño, Implementación y Desarrollo del Proyecto

Las redes geodésicas constituyen la infraestructura fundamental sobre la que se apoyan todos los trabajos de ingeniería, materializando un sistema de referencia preciso. Su utilidad depende de su precisión absoluta, de su cobertura, accesibilidad y densidad.

La ampliación de una red geodésica se vuelve necesaria cuando la red de primer orden no es suficiente para atender los requerimientos de determinados proyectos. Esto genera limitaciones prácticas, como recorridos largos o no abastecimiento del área, dificultades de visibilidad entre vértices o la imposibilidad de utilizar ciertos métodos de levantamiento de manera directa.

La densificación de una red geodésica, y en particular este trabajo, justifica un proceso necesario para garantizar continuidad, precisión, accesibilidad y permanencia de la infraestructura geodésica proporcionada por el Instituto.

Por ende, el trabajo correspondiente al diseño e implantación de la red MaR-GIA(D) se organizó en cuatro etapas principales, cada una de ellas con procesos técnicos complejos y fuertemente relacionados. Aunque el objetivo central del proyecto fue densificar, la primer parte del trabajo se desarrolló en colaboración con la Intendencia de Montevideo (IM) y el Instituto Geográfico Militar (IGM), lo que enriquece sustancialmente la calidad técnica y el alcance insti-

tucional de los resultados obtenidos.

En el marco de esta colaboración, se realizaron mediciones sobre 40 vértices geodésicos del departamento de Montevideo, correspondientes a la remediación de la red MRGMVD2025 mantenidas por la IM, donde la FING en convenio firmado, fue la responsable técnica del cálculo y validación de todos los resultados. Entre ellos se identificaron tres nuevos vértices de interés mutuo con el proyecto MaRGIA(D), ubicados en el entorno de la Rambla de Montevideo, próximos a Playa Ramírez (descritos en el apartado siguiente), los cuales fueron observados, procesados y calculados con el fin de incorporarlos formalmente a la red. Su inclusión no solo fortaleció la conexión con las redes oficiales, sino que constituyó una oportunidad formativa de gran valor al trabajar con instituciones responsables de la geodesia departamental y nacional.

Además de lo mencionado, se proyectó implementar seis nuevos vértices, diseñados exclusivamente para la red MaRGIA(D). Su diseño surgió del trabajo conjunto entre el equipo docente, los autores del proyecto y el curso de Cálculo de Redes Geodésicas. Estos vértices se ubican en zonas de prácticas curriculares, principalmente en las inmediaciones del Teatro de Verano y en las cercanías de Bulevar Artigas, donde fue necesario disponer de puntos con coordenadas confiables, estables y precisas para actividades académicas e investigaciones futuras.

Una vez implantados los nuevos vértices, se realizó la nivelación geométrica de la red, etapa extensa y fundamental para obtener cotas altimétricas de alta calidad. Se diseñó el caminamiento, las mallas de nivelación, los cierres y los controles necesarios para garantizar un ajuste. Para ello se consideraron los errores instrumentales, las tolerancias admisibles y las buenas prácticas recomendadas.

La fase final del proyecto comprendió el procesamiento integral de todas las observaciones, su ajuste, la validación de resultados y la generación de la documentación técnica para cada vértice. Este proceso asegura que la red MaRGIA(D) cuente con coordenadas planimétricas y altimétricas confiables, con un respaldo metodológico claro y con fichas descriptivas que registran su materialización, estabilidad, condiciones de observación y exactitudes finales.

5.1. Estado de MaRGIA

Como características generales, puede señalarse que, desde finales del año 2024 y comienzos de 2025, se cuenta con una red geodésica completamente calculada, materializada y consolidada, destinada a brindar apoyo a trabajos académicos de todas las áreas de la Facultad de Ingeniería. Esta red fue diseñada por el equipo docente del propio Instituto de Agrimensura, y su implantación se llevó a cabo en conjunto con estudiantes de la carrera de Ingeniería en Agrimensura, en el marco de actividades del Módulo de Geodesia.

La red MaRGIA se localiza en las inmediaciones del edificio de la Facultad de Ingeniería, distribuyendo sus vértices alrededor de este, lo cual se muestra en la Figura 5.1. Su configuración responde a criterios geométricos y topológicos cuidadosamente definidos. Es importante destacar que la ubicación de cada punto no es arbitraria ya que cada vértice se seleccionó atendiendo a condiciones de visibilidad, estabilidad, accesibilidad y contribución a la robustez del ajuste.

En total, la red está compuesta por doce vértices, diferenciados entre estaciones de referencia y reperi FING, incluyendo además un punto especialmente implantado en la azotea del edificio principal de la Facultad, para una futura estación CORS (*Continuously Operating Reference Station*). Esta configuración mixta brinda una base sólida tanto para trabajos de topografía clásica como para aplicaciones modernas de geodesia.

Se considera que esta red constituye un hito fundacional para el Instituto de Agrimensura dentro del ámbito geodésico. Representa un punto de partida que permitirá su evolución y ampliación en futuros proyectos.

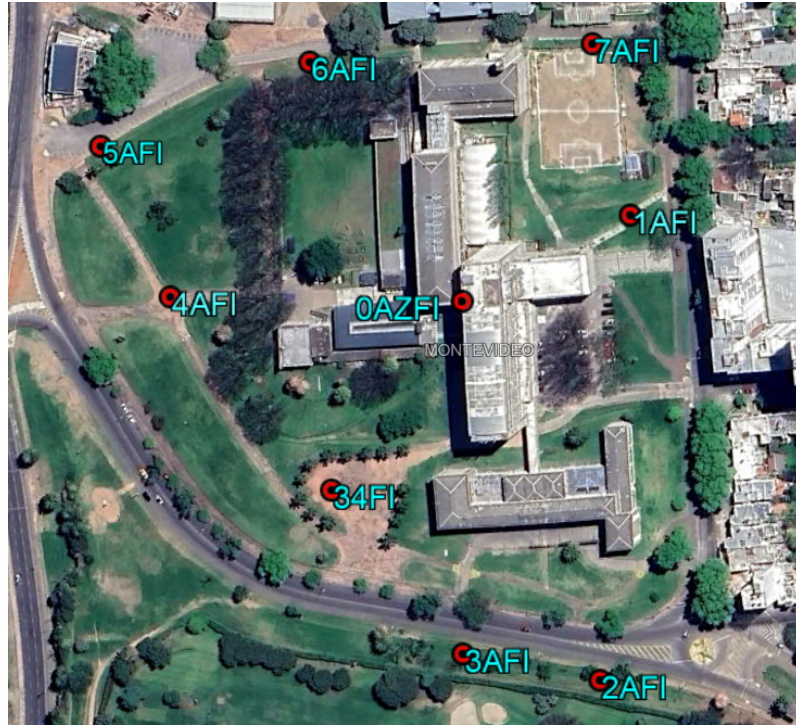


Figura 5.1: Configuración de MaRGIA.

5.1.1. Red Zero MaRGIA

De manera análoga a lo expuesto en el apartado teórico, la red MaRGIA se encuentra referida a una red fundamental de orden cero (también llamada Red Zero) compuesta por estaciones con coordenadas conocidas y de alta confiabilidad. Esta red está vinculada al sistema oficial REGNA-ROU del IGM (Instituto Geográfico Militar), y está diseñada para servir como base de referencia en el levantamiento de todas las observaciones satelitales del proyecto. Su configuración responde a la necesidad de disponer de una infraestructura geodésica estable, precisa y duradera, que permita la posterior densificación de los nuevos vértices que integran la red MaRGIA.

La Red Zero MaRGIA (2024) se encuentra conformada por los siguientes vértices, representados en la Figura 5.2:

- **UYMO**, vértice georreferenciado ubicado en la Fortaleza del Cerro.
- **MTV1**, vértice georreferenciado ubicado en la embajada estadounidense.
- **34FI** y **35FI**, vértices de referencia altimétrica colocados por la Intendencia de Montevideo.

- **ANP1** vértice georreferenciado localizado en la intersección de Escollera Sarandí y Rambla Francia.

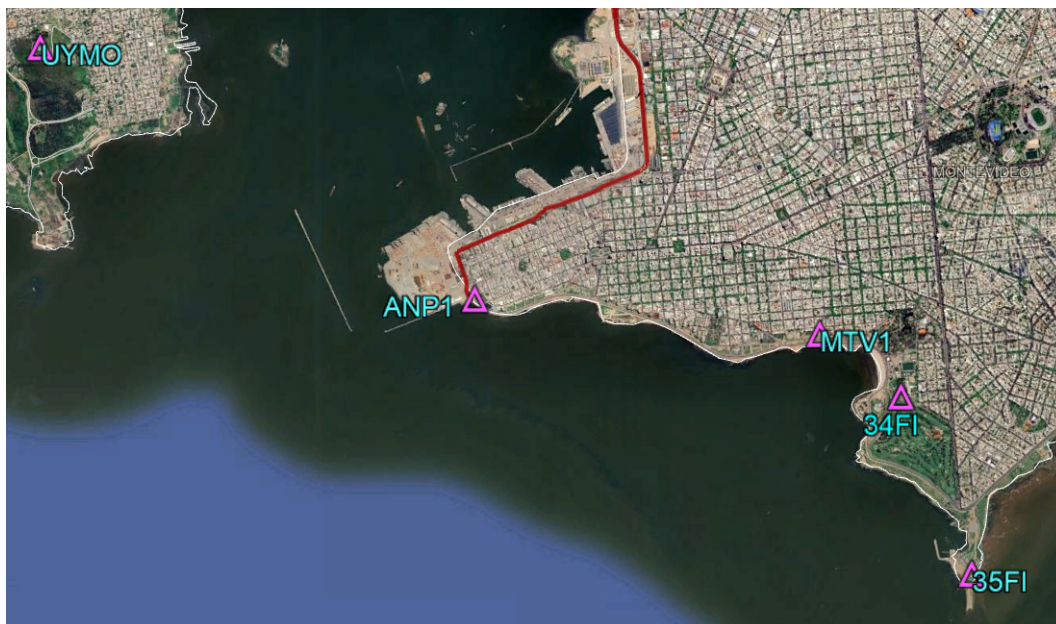


Figura 5.2: Situación de la Red Zero MaRGIA.

La elección de estos puntos, lejos de ser arbitraria, obedece a criterios de estabilidad, visibilidad, robustez geométrica, adecuada distribución espacial y continuidad histórica de datos, factores imprescindibles para garantizar la confiabilidad de la red y minimizar la propagación de errores en los niveles inferiores.

La importancia de tener una red fundamental confiable y que perdure en el tiempo recae en la necesidad para extender una red de orden inferior, o incluso su reparación en caso de que suceda algún inconveniente en vértices de una nueva red, ya que si los vértices de la Red Zero se mantienen en buen estado, es posible situarse en ellos y encontrar la posición del vértice perdido para nuevamente monumentarlo, o para ubicar y monumentar nuevos vértices.

Dentro de la Red Zero se definen dos vértices de máxima confiabilidad, denominados estaciones de referencia. Estos puntos se consideran exentos de error (error nulo) a efectos del ajuste debido a su naturaleza como estaciones GNSS de observación continua, siendo estos los vértices UYMO y MTV1. Ambas propagan sus coordenadas hacia los restantes vértices de la Red Zero,

permitiendo determinar sus posiciones con precisión milimétrica y asegurando un armazón geodésico robusto para el desarrollo de la red MaRGIA y sus futuras extensiones.

5.1.2. Red MaRGIA

La red MaRGIA se sustenta en una red de orden primario, diseñada a partir de una distribución previamente analizada y simulada de vértices geodésicos, con el objetivo de garantizar la mejor configuración geométrica posible. Este diseño busca maximizar la robustez de la figura, minimizar la propagación de errores y asegurar un ajuste confiable tanto en el componente planimétrico como en el altimétrico.

Los vértices que integran la red son:

- **1AFI, 2AFI, 3AFI, 4AFI, 5AFI, 6AFI y 7AFI**, implantados estratégicamente en las inmediaciones de la Facultad de Ingeniería.
- **0AZFI (Azotea)**, ubicado en la azotea del edificio, elegido para incrementar la redundancia geométrica y mejorar la visibilidad en determinados azimutes.
- **34FI y 35FI**, vértices proporcionados por la Intendencia de Montevideo, utilizados como puntos fijos. Dado su carácter oficial y su estabilidad comprobada, se los considera libres de error para efectos del ajuste.

La configuración espacial respeta estrictamente criterios geométricos y topológicos, priorizando la fuerza de la figura como elemento esencial para lograr una red estable. Para ello, se empleó software avanzado de simulación y preanálisis, que permitió evaluar y justificar el diseño estocásticamente.

En el componente altimétrico se optó por realizar una nivelación geométrica enlazada con todos los vértices de la red. En el estudio se consideraron los errores instrumentales, metodológicos y ambientales, y se utilizó un software especializado para el cálculo del preanálisis del circuito de nivelación. Como resultado, se definió una tolerancia admisible de 4 mm, correspondiente a un intervalo de confianza del 95 %, acorde con las exigencias de una red de orden primario.

El vértice altimétrico seleccionado como referencia altimétrica para la red MaRGIA es el pilar 34FI, ubicado en la explanada oeste del edificio de la Facultad. Este punto fue implantado previamente por la Intendencia de Montevideo como parte de la red de nivelación MARGMVD2025 de acuerdo al convenio UDELAR-FING-IM.

El pilar está materializado mediante un tronco piramidal de hormigón, y dispone de dos referencias altimétricas, ambas cotas están referidas al Cero Oficial del país y permiten una vinculación estable, precisa y perfectamente compatible con las redes oficiales existentes.

- **Nivel superior (20.714 m):** ubicada en una rosca metálica en la parte superior del pilar, diseñada para permitir el montaje de receptores GNSS.
- **Nivel inferior (19.329 m):** situada en una chapa metálica dentro de una cámara subterránea junto al pilar, empleada como referencia altimétrica clásica.

5.1.3. RInIA

Como parte del proceso de densificación de la red MaRGIA, el proyecto contempla la vinculación geodésica de la Red Interna del Instituto de Agrimensura (RInIA) a la Red Geodésica del Instituto de Agrimensura (ReGIA), la cual constituirá el soporte geométrico y operativo de la futura Base de Contratación de Equipamiento Topográfico del Instituto. Esta integración es fundamental para asegurar coherencia geométrica entre las infraestructuras geodésicas internas y externas, permitiendo que cualquier medición realizada en la base de contratación se encuentre adecuadamente referida al sistema geodésico oficial adoptado por el Instituto.

RInIA consiste en un conjunto de puntos con coordenadas locales distribuidos en la extensión del propio Instituto, dentro de la facultad. Sus materializaciones están dadas de varias formas, reperes, dianas, y principalmente un pilar en forma de pirámide de hormigón, que también proporciona la posibilidad de estacionamiento de instrumental topográfico, siendo el vértice más importante.

Uno de los objetivos principales del presente proyecto es vincular e integrar RInIA al sistema de referencia geodésico de ReGIA mediante la vinculación del vértice principal de RInIA, correspondiente al pilar de hormigón previamente descrito, y propagar sus coordenadas a los puntos restantes, integrándose a un sistema de coordenadas dentro de una proyección cartográfica específica. Esta integración permitirá, unificar la referencia espacial de las mediciones realizadas tanto en la red interna como en la red externa y facilitar el mantenimiento, expansión y reutilización futura de ambas redes, preservando coherencia geométrica a lo largo del tiempo.

En la Figura 5.3, se observa la configuración de dichas materializaciones donde D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7 corresponden a dianas, R1, R2, R3 y R4 corresponden a reperes; P corresponde a pilar de hormigón, y PC corresponde al punto de referencia de dirección azimutal.

El pilar y los reperes son los que mayor precisión tienen debido a su muy buena materialización, en cambio, las dianas poseen menor precisión pero se mantienen ya que se justifican para probar diversas operaciones de agrimensura.

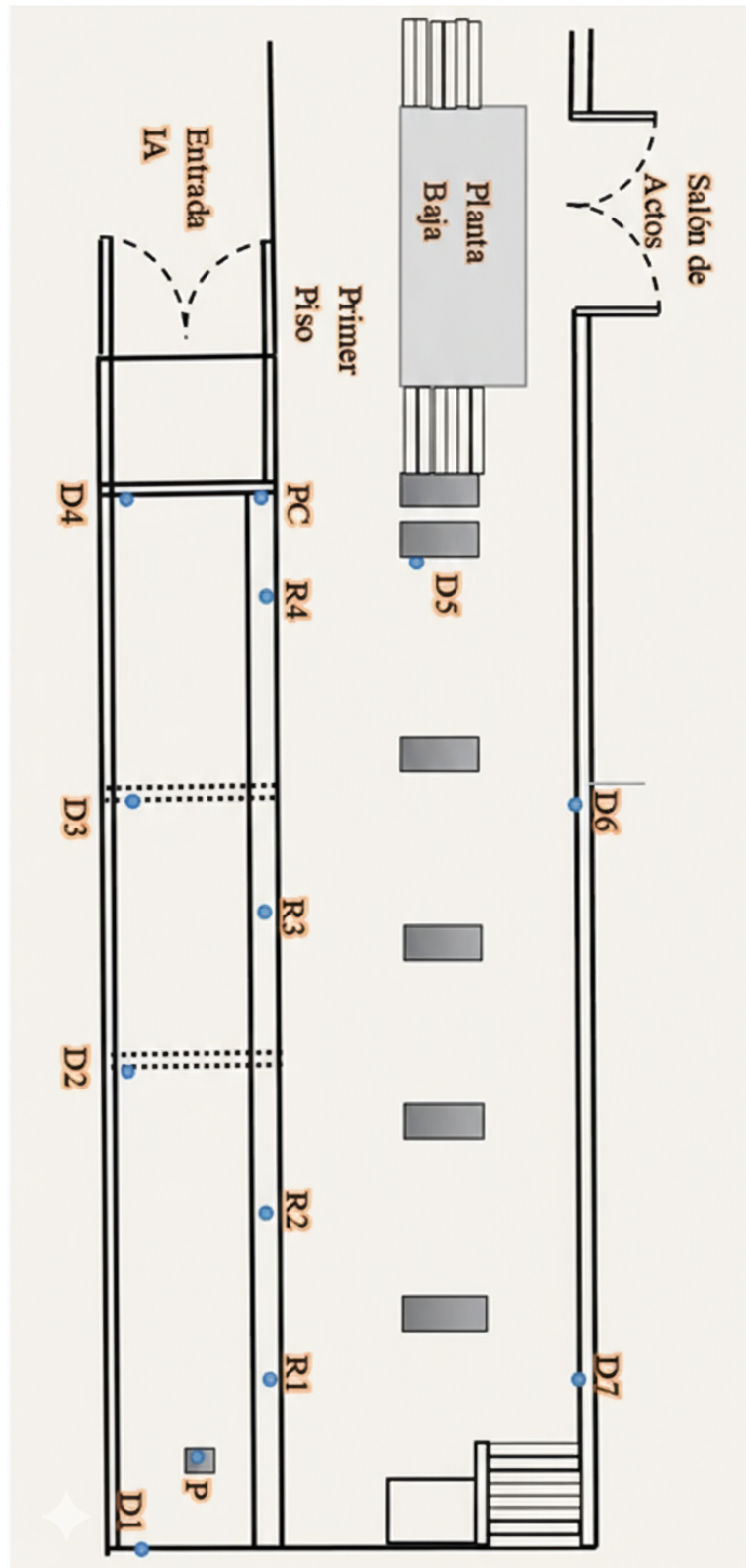


Figura 5.3: Esquema de RInIA.

5.2. Ampliación de la Red Zero MaRGIA 2025

Como se mencionó anteriormente, la red de orden cero constituye la base de la estrategia y, con ello, el fundamento de la red geodésica, ya que está integrada por un conjunto de vértices estratégicamente distribuidos, cuyas coordenadas son conocidas con alta precisión. Estos puntos definen el sistema de referencia geodésico y permiten, posteriormente, la propagación de coordenadas hacia redes de menor jerarquía, además de estar referenciadas a la red nacional oficial REGNA-ROU.

Durante el proyecto se mantuvo un intercambio permanente con el equipo docente respecto a la necesidad de mejorar y ampliar la Red Zero MaRGIA, con el fin de optimizar su capacidad de control y su cobertura espacial.

Dentro de los puntos seleccionados para integrar la Red Zero existen diferentes niveles de jerarquía, determinados principalmente por la calidad de las observaciones disponibles, el tipo de monumentación y el estado de mantenimiento de cada vértice. La clasificación general agrupa los puntos en tres categorías principales:

- **Vértices fiduciaros.** Poseen coordenadas consideradas conocidas con alta precisión, ya que derivan de soluciones generadas en el marco del Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS). Por este motivo, presentan una calidad claramente superior al resto y constituyen la referencia fundamental para toda la red.
- **Estaciones permanentes.** Son receptores GNSS que operan de manera ininterrumpida, registrando datos durante las 24 horas del día. Esta continuidad permite obtener soluciones de posición altamente precisas y estables en el tiempo, lo que las convierte en puntos esenciales para la materialización del marco de referencia.
- **Pilares geodésicos.** Son hitos especialmente diseñados para permitir la instalación del instrumental mediante centrado forzoso. Este tipo de monumentación mejora notablemente la repetibilidad y la calidad de las observaciones.

Se seleccionaron vértices nuevos para integrar la Red Zero MaRGIA que, junto a los ya establecidos, corresponden a:

- **UYMO**, Estación permanente implantada por el Instituto Geográfico Militar. Ubicada en el Cerro, localidad de Montevideo, sobre la azotea de la Fortaleza “Gral. Artigas”.
- **UYLM** Estación permanente implantada por el Instituto Geográfico Militar. Ubicada en la localidad de La Montañesa en el departamento de Canelones, sobre la azotea del Grupo de Artillería de Defensa Antiaérea N°1.
- **UYIF** Estación permanente, ubicada en la Isla de Flores.
- **MTV1**, Estación CORS implantada por la Embajada de los Estados Unidos, en su respectivo edificio en el departamento de Montevideo.
- **ANP1** Pilar implantado por la Administración Nacional de Puertos, ubicado en la intersección de las calles Sarandí y Rambla Francia, en el departamento de Montevideo.
- **ESNAL** Pilar nuevo implantado por en la Escuela Naval, en el departamento de Montevideo.
- **0AZFI**, Pilar implantado por la Facultad de Ingeniería, ubicado en la azotea del edificio, en Montevideo, sobre un monumento cilíndrico.
- **31FI**, Vértice implantado en un pilar sobre el muro de la Rambla República Argentina, en frente de Plaza Bolívar, en Montevideo.
- **32FI**, Vértice implantado en un pilar sobre el muro de la Rambla República Argentina, ubicado en el “*skate park*”, entre las calles Eduardo Acevedo y Juan D. Jackson,
- **34FI**, Pilar implantado por la Intendencia de Montevideo, ubicado en la explanada oeste de la Facultad de Ingeniería.
- **35FI**, Pilar implantado por la Intendencia de Montevideo, ubicado en Rambla Gandhi, específicamente en las oficinas de Servicio de Evaluación de la Calidad y Control Ambiental de la Intendencia de Montevideo.

En la Figura 5.4 se presenta la disposición espacial general de los vértices que integran la Red Zero MaRGIA, permitiendo visualizar su cobertura y la relación geométrica existente entre los distintos puntos de control.

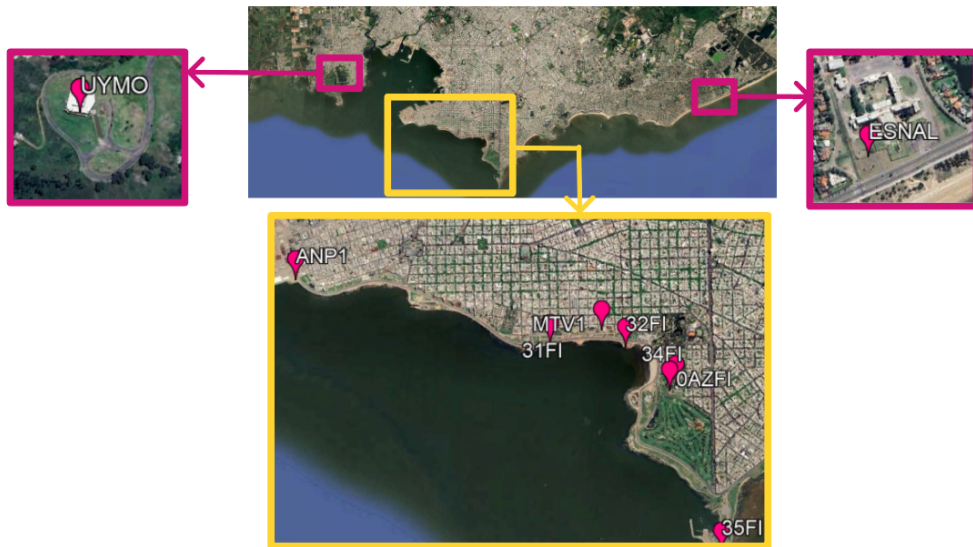


Figura 5.4: Diseño de nueva Red Zero MaRGIA.

Si bien existen diferencias de precisión entre estos vectores base, es imprescindible que todos los vértices se encuentren unificados dentro de un mismo sistema de referencia, manteniendo coherencia interna y un nivel de precisión adecuado para cumplir su función. En consecuencia, la propagación de coordenadas se realiza desde los vértices de mayor calidad, los fiduciaros, hacia el resto de los puntos de la red.

Bajo este criterio, para el diseño de la Red Zero MaRGIA se adoptó como estrategia la realización de un ajuste geodésico mediante el cual los vértices fundamentales se consideran libres de error, permitiendo que las coordenadas de los demás puntos se determinen en función de ellos.

En este proyecto, los vértices asumidos como fijos corresponden a las estaciones permanentes CORS: UYMO, UYLM, UYIF y MTV1, todas ellas con soluciones confiables y consolidadas. Esto se validó con un ajuste particular de solución libre como chequeo adicional.

El objetivo principal de esta etapa fue obtener, a partir de dicho ajuste, las coordenadas precisas y homogéneas de cada uno de los vértices integrantes de la Red Zero MaRGIA, ya que sobre esta base se realizará posteriormente la propagación hacia la Red MaRGIA.

Finalmente, puede plantearse la interrogante acerca de por qué no se ajustan en conjunto la Red MaRGIA y la Red Zero MaRGIA. La razón es estrictamente técnica, ya que la Red Zero posee una extensión territorial considerablemente mayor, por lo que incluirla dentro de un único ajuste junto con la Red MaRGIA, cuyos vértices se encuentran muy próximos entre sí, implicaría introducir incertidumbres innecesarias asociadas a líneas base excesivamente largas. Al mantener ambos ajustes separados se garantiza la calidad del marco de referencia y se evitan errores derivados de configuraciones geométricas poco favorables. Adicionalmente de esta manera la Red Zero oficia de red de referencia que no entra en los ajustes de la red densificada.

El trabajo de re procesar MaRGIA, a partir de la Red Zero actualizada 2025, queda pendiente para in trabajo a encarar en el futuro inmediato por el IA.

5.2.1. Preanálisis de la Ampliación de la Red Zero

El preanálisis constituye una etapa fundamental en el desarrollo de cualquier proyecto de ingeniería geodesica, ya que permite establecer las bases técnicas y operativas sobre las cuales se estructurará el trabajo posterior. A través de este proceso preliminar se evalúa la viabilidad del proyecto, se identifican posibles restricciones y se determinan las estrategias más adecuadas para su ejecución. El preanálisis ayuda a anticipar dificultades, optimizar recursos y definir criterios metodológicos que aseguren la calidad y eficiencia de las tareas a realizar.

Asimismo, esta fase inicial brinda un marco de justificación para las decisiones adoptadas durante el desarrollo del proyecto, tales como la selección de metodología, instrumental, ubicaciones o materiales. De este modo, el preanálisis no solo contribuye a una planificación más precisa, sino que también mejora la seguridad, reduce la posibilidad de errores y favorece la obtención de resultados confiables.

En este proyecto, esta etapa fue fundamental para garantizar un trabajo de alta calidad, por lo que fue necesario realizar el preanálisis correspondiente a cada actividad. Para ello se emplearon herramientas que permiten efectuar cálculos complejos de forma precisa y confiable. En particular, se utilizó el software *STAR*NET*, desarrollado por *MicroSurvey*, el cual permite ajustar y analizar redes de levantamientos en dos o tres dimensiones mediante métodos de mínimos cuadrados. Esta herramienta permite mejorar la precisión y confiabilidad de los resultados al minimizar errores de observación y generar soluciones de red consistentes, junto con informes estadísticos detallados.

La utilización de este programa hizo posible calcular las desviaciones estándar con un intervalo de confianza del 95%. Esto permite determinar los factores esenciales que intervienen en el diseño de la red, ya que, dependiendo de la topología y de la estrategia de observación seleccionada, la calidad de los resultados puede variar significativamente.

En el caso particular de la ampliación de la Red Zero MaRGIA 2025, que fue ampliada a más vértices, el diseño adoptado no fue elaborado por el equi-

po actual sino por el equipo docente encargado también de las observaciones, cálculos y ajustes correspondientes a la red MaRGIA del año anterior. A diferencia de lo ocurrido en 2024, en esta ocasión no se presentaron las mismas dificultades, ya que se contó con la disponibilidad de las estaciones permanentes UYLM (La Montañesa) y UYIF (Isla de Flores), cuya calidad y geometría fortalecen notablemente el diseño.

Además, se dispuso de nuevos vértices materializados en pilares que no habían sido considerados en el diseño del año anterior, entre ellos el vértice ESNAL (ubicado en la Escuela Naval), y los vértices 31FI y 32FI, observados en la red de nivelación de Montevideo correspondiente a este mismo año. Estos se suman a los vértices 34FI y 35FI, que sí fueron utilizados en el diseño previo de la red Zero MaRGIA.

De este modo, los vértices seleccionados para el diseño de la Red Zero MaRGIA 2025 son:

- Vértice 31FI
- Vértice 32FI
- Vértice 34FI
- Vértice 0AZFI
- Vértice 35FI
- Vértice ESNAL
- Vértice ANP1
- Estacion CORS: UYMO, UYLM, UYIF, y MTV1

El preanálisis comienza con la selección de los vértices de manera que la red posea una topología adecuada. Si bien el término de una topología correcta se refiere a lograr una configuración geométrica equilibrada, basada en triángulos semejantes y con divisiones angulares bien distribuidas. No obstante, aunque la topología influye fuertemente en la calidad del diseño, lo más relevante son los resultados finales.

En la práctica, no siempre es posible alcanzar una geometría óptima; por ello, el criterio principal es seleccionar la configuración que ofrezca los mejores resultados. En este sentido, se emplea una herramienta tan potente como *STAR*NET*,

que permite no solo realizar un preanálisis y un ajuste estocástico, sino también simular el comportamiento de la red con total fiabilidad antes de ejecutarla.

A partir de los vértices seleccionados, se determina cuáles funcionarán como estaciones fijas y cuáles como estaciones libres. Las estaciones fijas se consideran sin error, aunque en la realidad toda coordenada presenta un error residual. Sin embargo, es indispensable aplicar estas restricciones para que el ajuste pueda realizarse correctamente; de lo contrario, todas las estaciones tendrían error, lo que provocaría que la red “flotara” dentro del sistema de referencia, imposibilitando un ajuste coherente.

Por este motivo, las estaciones fijas seleccionadas son las estaciones permanentes proporcionadas por el IGM, cuyas coordenadas son calculadas diariamente por SIRGAS, lo que respalda su calidad. En consecuencia, las estaciones UY-MO, UYIF y UYLM se consideran fijas y libres de error. A estas se suma la estación CORS MTV1, gestionada por la embajada estadounidense como estación del IGS, la cual también ofrece elevada confiabilidad en sus soluciones de coordenadas.

Estas estaciones fijas propagan sus coordenadas hacia las estaciones libres mediante el cálculo de líneas base entre ellas. La redundancia de estas líneas base exige posteriormente la realización de un ajuste, del cual derivarán las incertidumbres necesarias para validar si el preanálisis es correcto y si, en consecuencia, el diseño adoptado es el adecuado.

En el caso del preanálisis de la ampliación de la Red Zero, la simulación fue trivial, ya que se contaba con los resultados obtenidos para el diseño de la Red Zero original, y debido a que las condiciones para la ampliación eran análogas, era de esperarse obtener precisiones similares, y por tanto, dentro de las tolerancias establecidas.

5.2.2. Vértices Implantados

El diseño de una red geodésica implica la selección estratégica de las ubicaciones y la determinación de la cantidad de vértices a monumentalizar o señalar, con el objetivo de incorporarlos posteriormente al sistema de referencia. Esta etapa define la precisión alcanzable y la perdurabilidad de toda la infraestructura geodésica.

Numerosos factores intervienen en el proceso de diseño, entre los cuales destacan:

- La configuración y topología de la red, clave para garantizar redundancia y estabilidad.
- La intervisibilidad entre vértices, necesaria para la aplicación de métodos topográficos clásicos.
- La calidad de la visibilidad satelital, indispensable para obtener mediciones GNSS confiables y minimizar errores.
- La adecuada vinculación al marco de referencia MRGMVD2025, que asegura coherencia con la geodesia departamental.
- La preservación y mantenimiento a largo plazo, considerando riesgos de impacto urbano, accesibilidad, seguridad y estabilidad del terreno.

A pesar de la influencia de estos factores técnicos, la selección final de los vértices depende del criterio fundamentado del equipo, en este caso, el cuerpo docente y los suscritos, quienes definen la ubicación óptima según la finalidad y utilidad proyectada. En cualquier red geodésica, los vértices deben cumplir exigentes condiciones de estabilidad dimensional, material y espacial, de modo que su posición no se altere con el paso del tiempo.

Entre los requisitos esenciales se destacan:

- Resistencia física y durabilidad del material.
- Identificación inequívoca del punto.
- Posibilidad de estacionamiento seguro de instrumentos.
- Accesibilidad para futuras campañas de medición.
- Intervisibilidad con al menos otro vértice, cuando la metodología lo requiera.

- Terreno firme y ausencia de factores de inestabilidad.
- Cielo despejado, indispensable para observaciones GNSS de alta calidad, minimizando el multipath.

Los sitios elegidos cumplen satisfactoriamente estas condiciones, garantizando su utilidad para trabajos presentes y futuros, tanto académicos como institucionales.

El proyecto se desarrolla en dos etapas complementarias:

- Observación de vértices que amplían la Red Zero MaRGIA, en conjunto con organismos gubernamentales.
- Observación de vértices que densifican la Red MaRGIA, correspondiente al curso de Cálculo y Ajuste de Redes Geodésicas del Instituto de Agrimensura.

Esta primera etapa consiste en la observación y posterior cálculo de tres vértices estratégicos, pertenecientes al proceso de remediación de la red MRGMVD2025, por ende, los vértices descritos no fueron implantados por el grupo. Su elección responde al interés común de integrarlos a la Red Zero de la red MaRGIA. Dichos vértices se encuentran ubicados sobre la Rambla de Montevideo, como lo muestra la Figura 5.5, los cuales fueron nombrados anteriormente.

- **Vértice 31FI** – Implantado en 2022 por la Intendencia de Montevideo; materializado con una rosca metálica sobre un pilar de granito, ubicado sobre la franja costera de la Rambla.
- **Vértice 32FI** – Implantado en 2022 por la Intendencia de Montevideo; mantiene la misma tipología constructiva que el Vértice 31, ubicado sobre la franja costera de la Rambla.
- **Vértice 33FI** – Implantado por el Servicio Geográfico Militar sobre una roca en la cercanía del Club de Pesca Ramírez.



Figura 5.5: Vértices 31FI, 32FI y 33FI.

5.2.3. Primer Campaña Geodésica

Las observaciones GNSS constituyen el método principal de adquisición de datos para este proyecto, dado que satisfacen los requisitos técnicos necesarios para asegurar la calidad, redundancia y control en el cálculo y ajuste de la red geodésica. La evaluación de la geometría de la red es un aspecto crítico, ya que aunque las técnicas GNSS no requieren intervisibilidad entre estaciones, la configuración espacial de los vértices influye directamente en el ajuste, en la propagación de errores y, en última instancia, en la precisión final de las coordenadas obtenidas.

El diseño y la metodología de observación deben responder a la estructura jerárquica de la red. En este proyecto se distinguen dos etapas claramente diferenciadas:

- Remedición de la red MRGMVD2025, donde el Instituto de Agrimensura participa en la ocupación de los vértices 31FI, 32FI, 33FI, 34FI y 0AZ.
- Observación de los seis nuevos vértices de densificación de la Red MaRGIA (1BFI–6BFI), realizados posteriormente al ajuste de la Red Zero MaRGIA, junto con la ocupación simultánea de los vértices 34FI y 0AZ-FI.

La planificación de las sesiones contempla factores que influyen significativamente en la calidad de los resultados, como las condiciones atmosféricas que pueden dificultar la instalación de instrumental o afectar la estabilidad, los efectos ionosféricos y troposféricos responsables de retrasos en las señales GNSS, la calidad instrumental con el uso de receptores de doble frecuencia y antenas calibradas, y obviamente la dependencia de la geometría satelital (DOP) para evitar configuraciones geométricas débiles.

En ambas campañas se empleó el método estático clásico, que consiste en el estacionamiento de los receptores sin alterar su posición durante toda la sesión, debido a que este método proporciona, alta precisión, capacidad para resolver ambigüedades y posibilidad de ajustes por mínimos cuadrados. Sin embargo, por otro, lado la precisión final depende principalmente del tiempo de observación, cuanto mayor, mejor estimación de las ambigüedades.

Esta primera salida de campo se desarrolló el día viernes 29 de agosto del año 2025, con el objetivo de ocupar y observar los vértices definidos en la etapa de planificación para el fortalecimiento del marco de referencia geodésico MaRGIA. Esta jornada constituyó una instancia fundamental para asegurar la calidad del ajuste posterior, ya que la observación simultánea de los vértices de la Red Zero MaRGIA es un requisito indispensable para garantizar la coherencia interna.

Para las observaciones se emplearon receptores GNSS CHCNAV I73, instalados en los vértices 31FI, 32FI, el Pilar 34FI, el vértice 0AZFI ubicado en la azotea de la Facultad de Ingeniería, así como en diversos puntos del Marco de Referencia Altimétrico de Montevideo. Estas ocupaciones adicionales se realizaron debido al carácter colaborativo del proyecto, llevado a cabo en conjunto con la Intendencia de Montevideo (IM) y el Instituto Geográfico Militar (IGM).

Dado que la simultaneidad de observación es esencial en redes GNSS estáticas, todos los vértices de la Red Zero MaRGIA debieron ser ocupados en algún intervalo coincidente. La distribución final fue la siguiente.

- **Vértice 31FI:** Alumnos del Instituto de Agrimensura.
- **Vértice 32FI:** Alumnos del Instituto de Agrimensura.
- **Vértice 34FI:** Grupo docente del Instituto de Agrimensura.
- **Vértice 35FI:** Instituto Geográfico Militar.
- **Vértice 0AZFI:** Grupo docente del Instituto de Agrimensura.
- **Vértice ESNAL:** Instituto Geográfico Militar.
- **Vértice ANP1:** Intendencia de Montevideo.
- **Vértice UYMO:** Estación permanente GNSS.
- **Vértice UYLM:** Estación permanente GNSS.
- **Vértice UYIF:** Estación permanente GNSS.
- **Vértice MTV1:** Estación CORS.

La jornada comenzó a las 04:30 horas, con la reunión del equipo en la Facultad de Ingeniería para la distribución del instrumental, verificación del estado del equipamiento y asignación de responsabilidades.

Uno de los factores críticos en campañas GNSS es la correcta determinación de la altura de antena, debido a que constituye una de las principales fuentes sistemáticas de error en el procesamiento. Por ello, se exigió la confección de croquis detallados de cada montaje, indicando:

- Método de medición empleado (altura inclinada, altura vertical o altura al centro de fase).
- Elementos de referencia utilizados.
- Características del soporte.
- Posibles particularidades del punto observado.

Se enfatizó especialmente la necesidad de utilizar métodos estandarizados y repetibles para evitar inconsistencias.

El primer receptor fue instalado en el vértice 0AZFI, el cual se muestra en la Figura 5.6, iniciando la sesión alrededor de las 05:15 horas. La altura se midió desde el tope del pilar hasta el centro de fase de la antena, la cual resultó ser 0,153m.



Figura 5.6: Vértice 0AZFI en la primera campaña de observación.

De forma paralela, se instaló un segundo equipo en el Pilar 34FI, ubicado en la explanada oeste de la Facultad. Su operación comenzó a las 05:45 horas, midiendo la altura desde el tornillo Phillips superior del pilar hasta el centro de fase de la antena, siguiendo las especificaciones del fabricante.

En el caso de los vértices 31FI (Figura 5.7) y 32FI (Figura 5.8), no fue necesario utilizar trípodes ya que ambos están materializados sobre pilares de granito. Sin embargo, se emplearon bases nivelantes, esenciales para asegurar el asentamiento adecuado sobre las roscas metálicas de los reperes. Las alturas fueron medidas verticalmente desde la superficie superior del pilar hasta la ménsula de referencia, obteniéndose valores de 0,152m y 0,158m, respectivamente.

En el caso de los últimos tres vértices nombrados, debido a que sus reperes sobresalen de manera mínima de los pilares de granito, se midió y estimó también dicha diferencia, dado que la precisión objetivo del trabajo es milimétrica.



Figura 5.7: Vértice 31FI en la primera campaña de observación.



Figura 5.8: Vértice 32FI en la primera campaña de observación.

Las observaciones comenzaron formalmente a las 06:00 horas, bajo la modalidad de GNSS estático de larga duración, con sesiones mínimas de tres horas. Este aspecto resalta la importancia de la simultaneidad de observaciones (sesiones), asegurando que todos los instrumentos registren bajo condiciones comparables y favoreciendo un procesamiento más confiable en el posterior ajuste de la red. Durante el período de observación se extremaron cuidados para evitar perturbaciones externas al instrumento, verificando de forma periódica el centrado de la burbuja de nivelación en la base.

Posteriormente, aprovechando la marea baja, se procedió a la ocupación del Vértice 33, emplazado en una formación rocosa ubicada aproximadamente a 20 metros dentro del Río de la Plata frente a playa Ramírez, representado en la Figura 5.9. Este punto, materializado por el IGM, pudo ser accedido y observado durante dos horas.

El instrumental empleado en este caso fue de trípode y base nivelante, teniendo cuidado en el centrado de la última sobre el vértice y manteniendo una buena verticalización. Si bien este vértice no será incluido en el ajuste definitivo, se determinó igualmente su posición con el fin de disponer de información complementaria para enriquecer el análisis general del marco geodésico costero.



Figura 5.9: Vértice 33FI en la primera campaña de observación.

La campaña se desarrolló sin inconvenientes operativos, registrándose todos los datos crudos necesarios para el procesamiento y ajuste posterior de la red. Las observaciones se realizaron bajo condiciones controladas y con estricto cumplimiento de los procedimientos establecidos, asegurando la coherencia interna y la calidad de los datos colectados.

5.2.4. Procesamiento y Análisis

Del mismo modo que se emplea un software robusto como *STAR*NET* para el preanálisis, también se utiliza una herramienta de alto nivel para el procesamiento de datos. El software seleccionado fue CHCNAV Geomatic Office, para el cual el Instituto de Agrimensura dispone de licencias académicas destinadas a los estudiantes.

El procesamiento correspondiente a la Red Zero MaRGIA fue realizado íntegramente por el equipo docente, en el marco de la creación de dicha red para el presente año. Por este motivo, no se dispone de información detallada sobre las dificultades específicas que pudieron haber surgido durante ese procesamiento; tales consideraciones sí se desarrollarán en el apartado referente a la densificación. No obstante, resulta fundamental presentar los resultados obtenidos, ya que se cuenta con los reportes exportados directamente del *software*.

Tal como se indicó en el preanálisis, la Red Zero MaRGIA está compuesta por 11 vértices, de los cuales 4 fueron seleccionados como estaciones fijas o de referencia, debido a su superior jerarquía en comparación con los demás puntos. Los archivos RINEX utilizados para el procesamiento provienen de la campaña de observación previamente mencionada, en la cual se adquirieron los datos crudos de los vértices sujetos a ajuste:

- 31FI.
- 32FI.
- 34FI.
- 0AZFI.
- 35FI.
- ESNAL.
- ANP1.

Por otro lado, los archivos RINEX correspondientes a las estaciones fijas se descargaron en línea, dado que se trata de estaciones GNSS permanentes cuyos datos son de libre acceso:

- UYMO.
- UYLM.

- UYIF.
- MTV1.

En cuanto al procesamiento, CGO ofrece una interfaz intuitiva que facilita la importación de datos, el control de calidad, la generación de líneas base y el posterior ajuste. Es fundamental, al iniciar el procesamiento, verificar y definir correctamente los parámetros generales del proyecto, tales como:

- Elipsoide de referencia: WGS84.
- Proyección cartográfica: UTM 21S.
- Modelo Geoidal: EGM08.
- Efemérides precisas a la fecha de observación.

Previo al procesamiento de las líneas base, se efectuaron los respectivos controles de calidad de los archivos RINEX mediante el *software* Leica SPIDER QC, así como también los "quality checks" integrados en CGO. Una vez verificada la calidad de las observaciones, se procedió a procesar las líneas base correspondientes.

Cabe destacar que la redundancia de la Red Zero MaRGIA es máxima, dado que la observación se llevó a cabo de manera simultánea, lo que implica que todos los vértices estuvieron "conectados" durante un periodo mínimo de tres horas.

Completado el procesamiento y efectuado el ajuste, se generó el reporte de la red, obteniéndose resultados plenamente satisfactorios.

Los resultados obtenidos para la Red Zero MaRGIA satisfacen ampliamente los criterios de tolerancia establecidos, evidenciando una muy buena calidad tanto en el diseño como en el procesamiento y ajuste de la red.

Desde el punto de vista estadístico, tal como se muestra en la Tabla 5.1, se verificó que el test de Chi-cuadrado fue superado correctamente, lo que confirma la consistencia general del ajuste y la adecuada modelización de las observaciones. Para un intervalo de confianza de 2σ (95 %), se obtuvo un promedio de precisiones de 5,1mm en el componente horizontal y 4,6mm en el componente

vertical, valores que pueden considerarse excelentes para la geometría y topología empleada.

Tabla 5.1: Estadísticas de ajuste de la Red Zero MaRGIA.

Nombre	Valor
<i>Network Reference Factor</i>	22.2703671112677
<i>Chi Square Test</i>	<i>Pass</i>
<i>Chi Square Value</i>	132.98548
<i>Range of Chi Square Test</i>	100.72842 – 165.24254
<i>Ratio of Test Weight Standard Error</i>	1.00755
<i>Precision Confidence Level</i>	2-sigma
<i>Horizontal Asymmetry</i>	5.1
<i>Vertical Asymmetry</i>	4.6
<i>Check Result</i>	<i>Confirmity</i>

Estos resultados resultan particularmente destacables si se tiene en cuenta que, si bien el diseño presenta mejoras respecto al año anterior, no corresponde a una geometría óptima debido a la marcada variación en las longitudes de las líneas base, representada en la Figura 5.10. Este fenómeno es claramente visible en el sector comprendido entre los vértices 31FI, 32FI, 34FI y 35FI, cuyas distancias mutuas son significativamente menores en comparación con las líneas trazadas hacia las estaciones permanentes, generando una configuración asimétrica de la red.

En forma particular, las coordenadas procesadas y ajustadas de cada vértice, junto con sus respectivas desviaciones estándar para el 95 % de confianza, se ilustran en la Tabla 5.2 y Tabla 5.3 respectivamente.

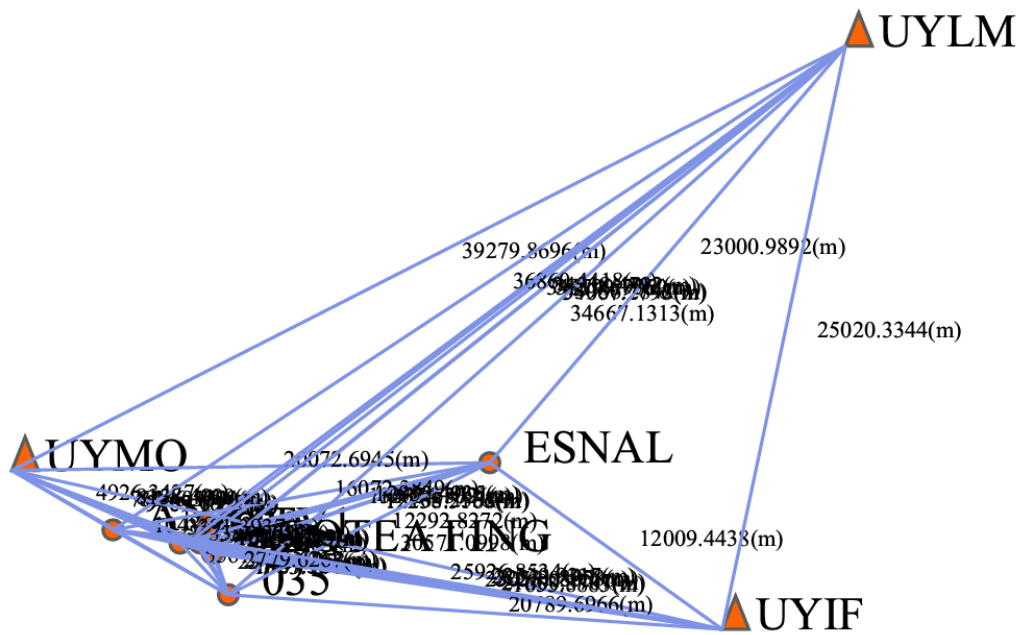


Figura 5.10: Puntos de control de Red Zero MaRGIA.

Tabla 5.2: Coordenadas de Red Zero MaRGIA en sistema local (NEH).

Station ID	Norte (m)	Este (m)	Elev. (m)
UYMO	6139092.26412	567629.16892	158.0945
0AZFI	6135703.97102	576110.86939	71.0415
34FI	6135611.43371	576042.68281	35.3871
31FI	6136043.02356	574688.87949	20.7723
32FI	6136053.65744	575527.22335	20.4568
35FI	6133877.09260	576721.69503	23.2083
ESNAL	6139415.10844	587691.98974	19.4698
ANP1	6136598.71059	571873.58658	20.7862
UYLM	6156899.32807	602626.37892	53.8384
UYIF	6132426.70676	597454.22102	55.9241
MTV1	6136230.03120	575243.67201	40.7365

Tabla 5.3: Errores de coordenadas de Red Zero MaRGIA en sistema local (NEH).

Station ID	Norte Err. (m)	Este Err. (m)	Elev Err. (m)
UYMO	0.00000	0.00000	0.0000
0AZFI	0.00216	0.00182	0.0030
34FI	0.00173	0.00157	0.0026
31FI	0.00204	0.00164	0.0025
32FI	0.00219	0.00171	0.0026
35FI	0.00208	0.00180	0.0033
ESNAL	0.00238	0.00211	0.0038
ANP1	0.00267	0.00242	0.0033
UYLM	0.00000	0.00000	0.0000
UYIF	0.00000	0.00000	0.0000
MTV1	0.00000	0.00000	0.0000

Del análisis de estos resultados se observa que, para los componentes E y N, ninguno de los vértices ajustados presenta errores superiores a 3mm, lo cual resulta notable considerando la estrategia de observación implementada y la planificación general adoptada. Cabe recordar que el preanálisis previo de la Red Zero MaRGIA ya había arrojado precisiones muy similares a las obtenidas en el ajuste final, lo que confirma la validez de la simulación realizada en dicha etapa.

En cuanto a la componente vertical (Elev), si bien se esperan desviaciones levemente superiores respecto a los componentes horizontales, producto de la propia sensibilidad de la medición GNSS en altura, los valores obtenidos se mantienen dentro de los rangos admisibles, no superando los 4mm en todos los casos, establecidos por la tolerancia definida para el proyecto de una red geodésica académica.

Del reporte de procesamiento se desprende que la línea base de peor comportamiento fue la correspondiente entre los vértices 0AZFI y 34FI. Dado que se trata de una línea base de corta longitud, este comportamiento no puede atribuirse a la distancia entre los puntos, sino que resulta probable que esté asociado a factores relacionados a efectos de multicamino o posibles obstrucciones del entorno. Esto es entendible debido a que la ubicación del vértice 34FI no es la mejor, ya que esta cercano a un gran edificio y rodeado de árboles que pueden incidir.

Por otra parte, el vértice con peores indicadores estadísticos fue ANP1, el cual presentó la mayor desviación estándar y la elipse de error de mayor tamaño dentro del conjunto de puntos ajustados. Aun así, sus valores permanecen dentro de los límites aceptables de precisión definidos en el proyecto.

No obstante estas particularidades, los resultados se consideran plenamente conformes a las exigencias de tolerancia, lo que permite concluir que la resolución de la Red Zero MaRGIA fue altamente satisfactoria, respaldando la solidez del diseño, la estrategia de observación adoptada y el proceso de ajuste realizado.

5.3. Densificación Red MaRGIA: Vértices BFI

Posteriormente, y de forma análoga al procedimiento aplicado en la Red Zero, fue necesario desarrollar el diseño geométrico de la Red MaRGIA(D), correspondiente a la densificación del marco de referencia implantado el año anterior. Este proceso no fue lineal ni inmediato, por el contrario, requirió múltiples iteraciones, evaluaciones, verificaciones en campo y ajustes conceptuales hasta alcanzar una configuración geométrica sólida y técnicamente justificable.

Todo esto teniendo en cuenta que se buscaba expandir el alcance de MaRGIA por la zona de las Canteras del Parque Rodó y Bulevar Artigas, ya que es de especial interés para las prácticas de los distintos cursos de Agrimensura, y las diversas investigaciones realizadas.

El punto de partida consistió en un diseño preliminar, en el que se definieron de manera aproximada seis vértices destinados a cubrir el área de estudio. La delimitación del área de trabajo resultó ser un factor determinante en la toma de decisiones, dado que la eficiencia geométrica y la estabilidad del ajuste dependen directamente de la correcta distribución espacial de los puntos. Con este primer diseño, los autores realizaron recorridas sistemáticas por las ubicaciones propuestas, constatando que varios de los puntos presentaban limitaciones importantes, tales como dificultades de acceso, obstrucciones para la observación GNSS, o condiciones inadecuadas para la futura monumentación.

Este diagnóstico inicial dio lugar a un proceso de retroalimentación continua entre el equipo docente y los autores del proyecto. Para mejorar el diseño, se utilizó un receptor GNSS conectado por NTRIP a UYMO, lo cual permitió registrar posiciones tentativas y evaluar en tiempo real la calidad geométrica y operativa de los posibles emplazamientos. Gracias a estas observaciones preliminares y al análisis posterior, se redefinieron varias ubicaciones.

Con la información de campo recolectada, se empleó el software de simulación *STAR*NET* para realizar un preanálisis riguroso de precisión bajo diferentes configuraciones posibles. La herramienta permitió modelar la red propuesta,

evaluar la fortaleza geométrica de cada alternativa y seleccionar finalmente las posiciones que ofrecían errores proyectados del orden milimétrico.

Este proceso culminó con la determinación definitiva de los seis vértices que integran la densificación, denominados “*iBFI*”, cuyas ubicaciones cumplen adecuadamente con los criterios de estabilidad, accesibilidad, visibilidad satelital y fortaleza geométrica.

Es importante destacar que el diseño de la Red MaRGIA(D) debía incorporar necesariamente dos o más vértices pertenecientes a la Red Zero MaRGIA, ya que estos constituyen la base para la propagación de coordenadas hacia los nuevos puntos. La selección de estos vértices debía realizarse con criterio, considerando principalmente la proximidad, la calidad de las coordenadas y la robustez geométrica del ajuste. En consecuencia, los vértices más distantes, como UYMO, UYLM o UYIF, fueron descartados por su escasa utilidad en un entorno de trabajo relativamente compacto y por el incremento innecesario del tamaño de las líneas base. Así, los vértices 34FI y 0AZFI fueron definidos como puntos fundamentales para el ajuste de la densificación, sin perjuicio de considerar también la influencia cercana del vértice fiducial MTV1, cuya precisión resulta valiosa para el fortalecimiento del sistema y como auditoria del ajuste.

Finalmente, es imprescindible recordar que, para el proceso de observación GNSS, los vértices seleccionados de la Red Zero MaRGIA deben ser observados simultáneamente con los nuevos vértices de la Red MaRGIA(D). Mediante la observación simultánea en una sesión es posible garantizar la correcta propagación de coordenadas y asegurar la consistencia del marco de referencia en toda la red densificada.

5.3.1. Preanálisis de la Densificación

En el caso del diseño de los vértices correspondientes a la densificación de la Red MaRGIA, denominados con la forma $iBFI$, donde i representa el número asignado a cada uno, fue realizado en conjunto con el equipo docente y los estudiantes del curso “Diseño y Cálculo de Redes Geodésicas”.

La elección final de este, respondió a dos criterios principales. El primero estuvo orientado a fortalecer la cobertura en los alrededores de las canteras del Parque Rodó, área donde se desarrollan habitualmente prácticas topográficas por parte de los estudiantes del Instituto de Agrimensura. El segundo criterio se vinculó con la implantación de vértices adicionales sobre Bulevar Artigas, con el objetivo de ampliar el área cubierta y mejorar la estructura topológica de la red. La incorporación de dos vértices adicionales sobre esta avenida aumenta la robustez geométrica de la figura, lo que a su vez incrementa la calidad general del diseño.

Antes de realizar el preanálisis, y considerando la planificación necesaria, se consideraron algunas complejidades que afectan de cierta manera el desarrollo de la futura práctica, tales como el número de receptores disponibles y el período de tiempo necesario para realizar la totalidad de esta, debido a que se realiza con un numeroso conjunto de personas. Con ello, se realizó una programación de observación, que se destaca por tener tres series de observaciones de 2 vértices en simultáneo cada una, tal y como se nombró en la planificación, tomando en cuenta la cercanía y transcurso de tiempo.

A estos, se suman los dos vértices provenientes de la Red Zero MaRGIA, 34FI y 0AZFI, los cuales, para el propósito de la densificación, se consideran adecuados tanto en ubicación como en calidad. Sin embargo, es importante señalar que sería ideal contar con un conjunto más amplio de vértices de la Red Zero MaRGIA próximos a la zona de estudio. Aun así, como se ha mencionado reiteradamente, el objetivo es resolver el diseño de la mejor manera posible dentro de la tolerancia y respaldado por una justificación técnica adecuada.

Definidos los vértices $iBFI$ y conocidas sus ubicaciones aproximadas, se procede a generar el proyecto en el software *STAR*NET*. Al igual que en el preanáli-

sis de la Red Zero MaRGIA, es necesario definir qué vértices actuarán como estaciones libres y cuáles serán estaciones fijas, es decir, consideradas libres de error, para que estas propaguen sus coordenadas hacia el resto de los puntos, tal como se muestra en la Tabla 5.4. Esta propagación permite obtener coordenadas ajustadas para todos los vértices, siendo indispensable realizar el método por mínimos cuadrados y, finalmente, calcular las desviaciones estándar correspondientes.

Tabla 5.4: Coordenadas para preanálisis de STAR*NET.

Est. Fijas	Este	Norte	Elevación	Descripción
0AZFI	576110.870470	6135730.972150	71.046600	Red Zero
34FI	576042.682800	6135611.435680	35.386500	Red Zero
Est. Libres	Este	Norte	Elevación	Descripción
1BFI	575738.000000	6134932.000000	2.000000	Densificación
2BFI	575836.000000	6135670.000000	5.000000	Densificación
3BFI	575880.000000	6135523.000000	4.850000	Densificación
4BFI	575739.000000	6135204.000000	5.000000	Densificación
5BFI	576525.000000	6136093.000000	5.000000	Densificación
6BFI	576490.000000	6135945.000000	18.260000	Densificación

La elección de las estaciones fijas en esta etapa resulta sencilla, ya que en la zona de trabajo se encuentran dos vértices pertenecientes a la Red Zero MaRGIA previamente calculada, 34FI y 0AZFI. Si bien ambos vértices presentan sus propios errores residuales derivados del proceso de ajuste original, en este preanálisis, y eventualmente en el ajuste final dependiendo de los resultados, se consideran libres de error. Esta decisión es necesaria, ya que permite imponer directamente el sistema y el marco de referencia del proyecto.

Una vez ingresadas las coordenadas aproximadas de todos los vértices, se ejecuta el archivo correspondiente en el software, obteniéndose un resultado altamente satisfactorio.

El preanálisis y la simulación de la red geodésica MaRGIA(D) correspondiente a los vértices *iBFI* indican que, las desviaciones estándar se encuentran alrededor de los 4mm en sus dos ejes principales, identificados en la Tabla 5.5. Estos valores se encuentran por debajo de la tolerancia establecida y demuestran que el diseño, y con ello la futura red densificada, cuenta con un respaldo matemático sólido en esta etapa preliminar.

Tabla 5.5: Desviaciones estándar generadas por preanálisis.

Estaciones	Este	Norte	Elevación
1BFI	0.003770	0.003770	0.003940
2BFI	0.003768	0.003768	0.003938
3BFI	0.003768	0.003768	0.003938
4BFI	0.003744	0.003744	0.003896
5BFI	0.003744	0.003744	0.003896
6BFI	0.003770	0.003770	0.003940

Es importante destacar que el preanálisis solo refleja resultados potenciales. En un ajuste final posterior al trabajo de campo, es probable que no se alcancen exactamente estos valores debido a las limitaciones inherentes al proceso de observación, tales como efectos de multicamino u otras fuentes de error. Además, en el preanálisis se considera que las observaciones no están correlacionadas, lo cual no es completamente correcto en la práctica. No obstante, obtener precisiones tan altas en esta fase sugiere que, siempre que la estrategia de observación se ejecute de manera adecuada, los resultados finales serán altamente satisfactorios.

5.3.2. Estudio del Preanálisis de la Densificación de MaRGIA

La selección de los vértices de la Red Zero MaRGIA utilizados para la medición correspondiente a la densificación no constituyó una decisión arbitraria. Con el objetivo de fundamentar técnicamente dicha elección, se realizaron simulaciones previas mediante el uso del software *MicroSurvey STAR*NET*, a fin de evaluar las precisiones esperadas bajo distintas configuraciones de estaciones fijas y analizar su incidencia en el ajuste posterior de la red.

Como se expuso anteriormente, para poder materializar correctamente el ajuste, era indispensable contar como mínimo con dos vértices de la red fundamental que actuaran como estaciones fijas, permitiendo vincular el conjunto de observaciones al sistema de referencia adoptado. No obstante, desde la expectativa teórica no existe un límite máximo preestablecido respecto a la cantidad de puntos fijos que pueden incorporarse al modelo de ajuste.

En este contexto, y con el propósito de determinar la configuración más adecuada para el presente trabajo, se simularon distintos escenarios, variando progresivamente la cantidad de estaciones fijas consideradas en la medición de los puntos *iBFI*. Cada alternativa fue evaluada en términos de precisión esperada, comportamiento geométrico de la red y efecto esperado sobre el ajuste global, permitiendo así realizar una comparación objetiva y seleccionar la opción óptima en función de criterios técnicos y de diseño geodésico.

Es importante notar que las consideraciones de diseño expuestas en el marco teórico, tanto desde el punto de vista topológico como geométrico, influyeron de manera determinante en la toma de decisiones. En efecto, la funcionalidad y confiabilidad de una red geodésica no dependen exclusivamente de los parámetros estadísticos, sino también de la configuración espacial y la solidez estructural del conjunto, factores que fueron considerados en la definición de la solución adoptada.

A modo de referencia, se toma como punto de partida los resultados obtenidos en el preanálisis adoptado para la ejecución de la densificación final, los cuales se presentan en la Tabla 5.6. Asimismo, en conjunto con la Figura 5.11, se denotan las diferentes características del diseño elegido:

- Distribución de longitudes: Posee una distribución de longitudes equilibrada, siendo las líneas bases de menor y mayor longitud de 100m y 1300m respectivamente, mientras que las restantes se mantienen semejantes.
- Redundancia por observación: Considerando la redundancia máxima, se generan 7 líneas base por cada vértice involucrado.
- Control de elipses: debido a que en los preanálisis no se consideran correlaciones que afecten el cálculo de los errores residuales, las elipses de error calculadas toman la figura de un círculo, lo cual es lo ideal.
- Ángulos internos: Si bien existen triángulos que poseen ángulos menores a 30°, la distribución es relativamente pareja, esto debido a la correcta ubicación de los vértices.
- Compactitud: posee un valor de 0.616.

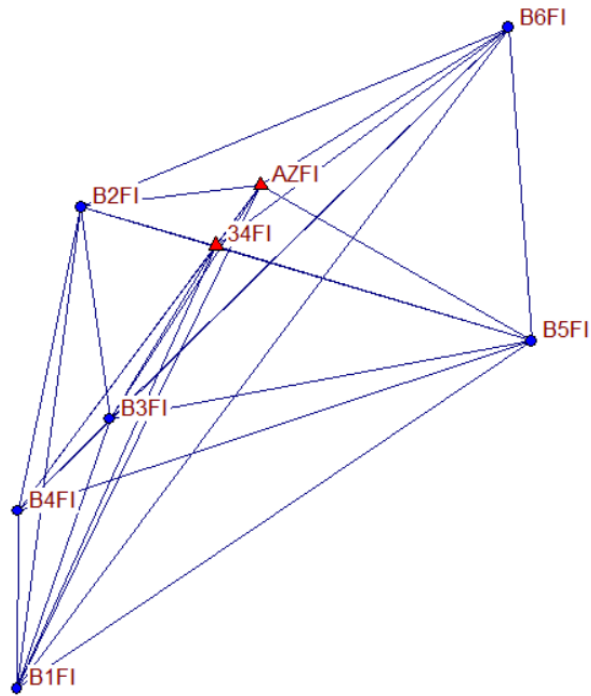


Figura 5.11: Fuerza de la figura según configuración elegida.

Tabla 5.6: Desviaciones estándar del preanálisis usando AZFI y 34FI.

Estación	E (m)	N (m)	Elev (m)	Tipo
AZFI	-	-	-	Fija
34FI	-	-	-	Fija
B1FI	0.003770	0.003770	0.003940	Libre
B2FI	0.003768	0.003768	0.003938	Libre
B3FI	0.003768	0.003768	0.003938	Libre
B4FI	0.003744	0.003744	0.003896	Libre
B5FI	0.003744	0.003744	0.003896	Libre
B6FI	0.003770	0.003770	0.003940	Libre

Para realizar las comparaciones correspondientes, se realizaron los preanálisis de las diferentes configuraciones:

- Agregando el vértice 35FI, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.7.
- Agregando los vértices 32FI y 35FI, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.7: Desviaciones estándar del preanálisis usando AZFI, 34FI y 35FI.

Estación	E (m)	N (m)	Elev (m)	Tipo
AZFI	-	-	-	Fija
34FI	-	-	-	Fija
35FI	-	-	-	Fija
B1FI	0.003115	0.003115	0.003277	Libre
B2FI	0.003115	0.003115	0.003277	Libre
B3FI	0.003114	0.003114	0.003276	Libre
B4FI	0.003089	0.003089	0.003234	Libre
B5FI	0.003089	0.003089	0.003234	Libre
B6FI	0.003116	0.003116	0.003278	Libre

Tabla 5.8: Desviaciones estándar del preanálisis usando AZFI, 34FI, 35FI y 32FI.

Estación	E (m)	N (m)	Elev (m)	Tipo
AZFI	-	-	-	Fija
34FI	-	-	-	Fija
35FI	-	-	-	Fija
32FI	-	-	-	Fija
B1FI	0.002722	0.002722	0.002878	Libre
B2FI	0.002721	0.002721	0.002877	Libre
B3FI	0.002720	0.002720	0.002877	Libre
B4FI	0.002696	0.002696	0.002837	Libre
B5FI	0.002697	0.002697	0.002837	Libre
B6FI	0.002723	0.002723	0.002879	Libre

Se puede observar, que las precisiones esperadas son de 3.7mm para el caso de utilizar solamente 0AZFI y 34FI, 3.1mm para el caso de incorporar el punto 35FI, y 2.7mm para el caso de incorporar adicionalmente 32FI.

Con ello, se optó por la utilización solamente de los puntos 0AZFI y 34FI; esto fue por las siguientes razones:

- La precisión que se deseaba obtener era de aproximadamente 3mm, por lo que todas las simulaciones dieron resultados satisfactorios.
- Tanto la incorporación de los puntos 35FI como 32FI resultaba en la ampliación de la figura, lo que resultaba en vectores más largos, los cuales eventualmente tendrían menos fuerza en el ajuste, como se muestra en la Figura 5.12. 32FI está a 900 m del centroide del polígono de los puntos a densificar y 35FI a 1700 m, cuando 0AZFI y 34FI se encuentran a menos de 200 m del mismo.

- Se contaba con 4 receptores GNSS CHC, por lo cual la incorporación de puntos fijos al medir significaba un aumento en la cantidad de sesiones, y por tanto, un aumento en el costo; así mismo, traía problemas de logística, ya que al pasar de 3 a 6 sesiones, se acomplejaba en gran medida la planificación de la jornada.

Estas razones llevaron a que el costo de introducir más puntos fijos fuera mayor que el beneficio que se obtenía, siendo esta una red de primer orden, por lo cual optar por solo usar dos puntos fue lo considerado más favorable.



Figura 5.12: Comparación de figuras según distribución de los vértices

5.3.3. Implantación de Vértices

Previo al inicio de las observaciones GNSS, se procedió a la materialización de los vértices correspondientes a la densificación de la Red MaRGIA, etapa indispensable para garantizar la estabilidad física y la confiabilidad geométrica de la red. Si bien el procedimiento no presentó mayores dificultades operativas, resulta importante destacar la calidad de los materiales utilizados, repere metálicos de alta resistencia y durabilidad, así como la selección precisa de las ubicaciones, definidas y justificadas durante el análisis preliminar de campo y gabinete.

La materialización se llevó a cabo el día miércoles 12 de noviembre, instalando repere metálicos en el terreno y correctamente fijados para asegurar su inmovilización a lo largo de su vida útil. Se cuidó especialmente la verticalidad, la profundidad de anclaje y el aislamiento frente a potenciales perturbaciones.

La zona de trabajo se encuentra definida en la Figura 5.13, todos ellos ámbitos habituales de prácticas estudiantiles, donde se requiere disponer de vértices con coordenadas confiables y estabilidad comprobada, comprendiendo inmediaciones del Teatro de Verano, las Canteras del Parque Rodó y sectores sobre Bulevar Artigas.

Los vértices implantados en esta etapa son:

- **Vértice 1BFI** – Implantado en 2025 por estudiantes; materializado mediante un repere metálico.
- **Vértice 2BFI** – Implantado en 2025 por estudiantes; materializado mediante un repere metálico.
- **Vértice 3BFI** – Implantado en 2025 por estudiantes; materializado mediante un repere metálico.
- **Vértice 4BFI** – Implantado en 2025 por estudiantes; materializado mediante un repere metálico.
- **Vértice 5BFI** – Implantado en 2025 por estudiantes; materializado mediante un repere metálico.
- **Vértice 6BFI** – Implantado en 2025 por estudiantes; materializado mediante un repere metálico.

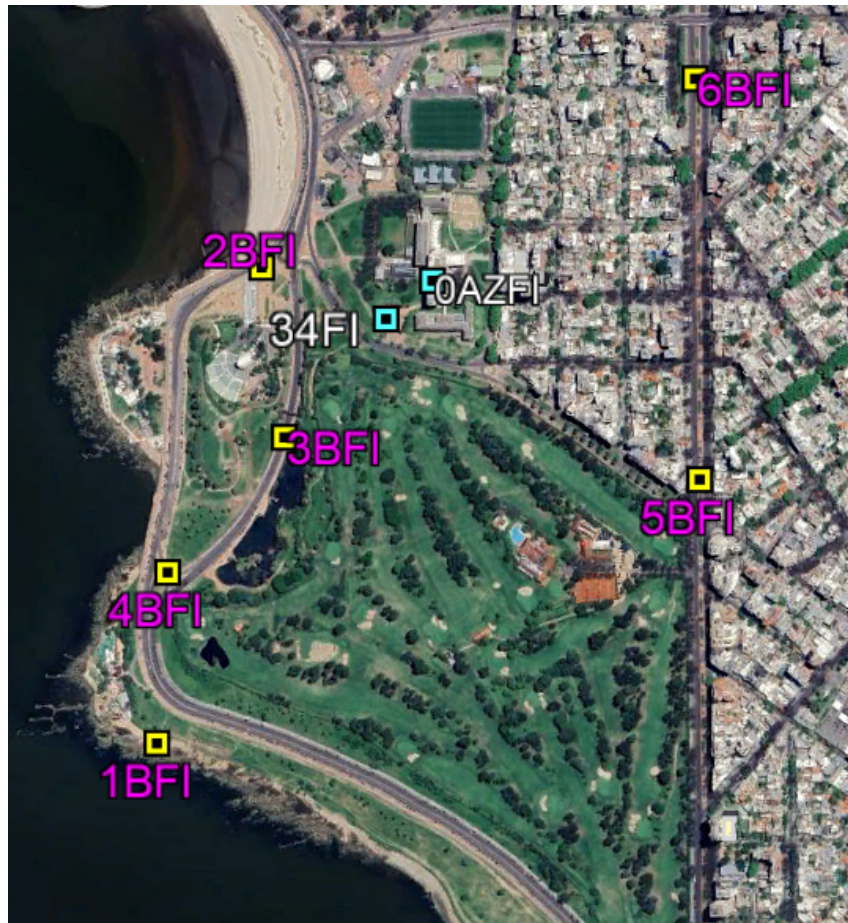


Figura 5.13: Puntos de densificación de Red MaRGIA

5.3.4. Segunda Campaña de Observación

La segunda campaña requirió una planificación distinta, debido a diferentes obstáculos. Para ella se tenía que el número de vértices a ocupar era mayor, y era necesario observar simultáneamente al menos dos puntos de la Red Zero (34FI y 0AZFI), adicionalmente a los puntos a densificar, todo esto con una disponibilidad limitada de instrumental (4 receptores GNSS).

Dado que las distancias entre los vértices de la Red MaRGIA(D) son cortas, no fue necesario emplear sesiones de larga duración. Se definió una duración óptima de 60 minutos, suficiente para asegurar precisión milimétrica.

En cuanto a la estrategia de ocupación, se dispuso que los vértices 34FI y 0AZFI fueran ocupados de manera continua, cada uno con un receptor. Los dos receptores restantes se desplazaron secuencialmente entre los seis vértices nuevos.

Esto genera tres etapas de observación, cada una de una hora.

- Primera hora: 6BFI y 5BFI (zona de Bulevar Artigas).
- Segunda hora: 2BFI y 3BFI (Teatro de Verano y Lago de las Canteras de Parque Rodó).
- Tercera hora: 4BFI y 1BFI (Memorial del Holocausto Judío y abertura de la Rambla Willson).

Con esta estrategia se garantizó que todos los vértices fueran observados simultáneamente con al menos dos vértices de la Red Zero, condición indispensable para la propagación precisa de coordenadas. Los parámetros utilizados en esta campaña fueron:

- Receptores: GNSS CHCNAV I73 (doble frecuencia).
- Modo de observación: estático.
- Intervalo de registro: 1 Hz (1 s).
- Duración de sesión: 60 minutos.
- Máscara de elevación: 10°.
- Formato de almacenamiento: RINEX y propietario.

A diferencia de la campaña anterior, correspondiente a la determinación de la Red Zero MaRGIA, en esta instancia la responsabilidad operativa recayó exclusivamente en el Instituto de Agrimensura, a través de estudiantes del curso Cálculo y Ajuste de Redes Geodésicas, docentes del área y los integrantes del presente proyecto. Esto implicó una planificación más estricta, particularmente por la limitada disponibilidad instrumental.

El Instituto dispone de cuatro receptores GNSS, mientras que la densificación requiere la ocupación de ocho vértices. Por tanto, quedó descartada desde el inicio la posibilidad de realizar una observación simultánea de todos los puntos, siendo necesario diseñar una estrategia escalonada. A esto se suma una segunda restricción fundamental, ya que es indispensable ocupar de manera continua al menos dos vértices de la Red Zero MaRGIA, para permitir la propagación confiable de sus coordenadas hacia los vértices de densificación y asegurar consistencia en el ajuste final.

Los vértices correspondientes a la Red Zero seleccionados para esta función fueron, 34FI, ubicado en la explanada de la Facultad y 0AZFI, situado en la azotea del edificio. Su elección se fundamenta en razones de proximidad y en la minimización de errores asociados a líneas base largas. Ocupar vértices más distantes implicaría introducir mayores incertidumbres debido al aumento significativo de los efectos topológicos.

Dado que solo dos receptores quedaban disponibles para la ocupación secuencial de los seis vértices restantes, se estableció una estructura de trabajo basada en tres sesiones de observación, cada una con una duración de una hora. Este tiempo de ocupación es suficiente para lograr precisiones adecuadas, debido a la corta distancia entre vértices y la baja susceptibilidad a efectos ionosféricos en líneas base cortas.

De esta forma, todos los vértices de densificación mantienen simultaneidad con los dos vértices de la Red Zero en algún momento del proceso, que es la condición central del diseño.

La campaña de observación se llevó a cabo el día martes 18 de noviembre. El equipo se reunió en el Instituto de Agrimensura a las 14:30 horas para distri-

buir instrumentales y definir roles.

Se organizó el trabajo en tres grupos: el grupo 1, dependiente de la ocupación continua de 34FI y 0AZFI, y los grupos 2 y 3, dependientes de la ocupación rotativa de los vértices de la densificación.

Al igual que en la campaña de la Red Zero MaRGIA, se prestó especial atención a la determinación de la altura de antena, elaborando croquis detallados para cada montaje. La correcta medición de alturas es crítica debido a su impacto directo en el cálculo final de las coordenadas y constituye una de las principales fuentes potenciales de error sistemático.

El primer vértice ocupado corresponde al 0AZFI, Figura 5.14, ubicado en el pilar de la azotea de la Facultad de Ingeniería, donde su función comenzó a las 15:00 horas. La altura determinada fue de 0.142m desde la superficie del tope del pilar hacia el centro de fase de la antena.



Figura 5.14: Observacion de vértice 0AZFI.

El grupo a cargo del vértice 34FI estableció el instrumental en su lugar, comenzando a recolectar datos a las 15:30 horas. La altura determinada fue de 0.038m, determinada de manera vertical, medida desde el tornillo de referencia al tope del pilar.

Por otra parte, comenzando con los vértices correspondientes a la densificación, en todos se utilizaron trípodes y base nivelante para el centrado y verticalización sobre el punto. Los datos de horario de recolección, altura de antena e identificación se describen en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9: Especificaciones de las mediciones GNSS

Vértice	Altura	Tipo	Altura	Referencia	Inicio	Fin	Figura
0AZFI	0.142m	Centro de Fase		Tope Pilar	15:00	20:15	-
34FI	0.038m	Vertical		Tope Pilar	15:30	20:00	-
5BFI	1.342m	Inclinada		Vértice	15:56	17:07	5.19
6BFI	1.323m	Inclinada		Vértice	16:07	17:07	5.20
2BFI	1.404m	Inclinada		Vértice	17:38	18:38	5.16
3BFI	1.419m	Inclinada		Vértice	17:30	18:36	5.17
1BFI	1.076m	Inclinada		Vértice	18:56	19:56	5.15
4BFI	1.420m	Inclinada		Vértice	18:58	19:58	5.18

La campaña se ejecutó exitosamente, obteniéndose datos GNSS de calidad suficiente para su posterior procesamiento, análisis y ajuste. El cumplimiento riguroso de la metodología planteada permitió optimizar los recursos disponibles y garantizar la confiabilidad geométrica de la densificación de la Red MaRGIA.

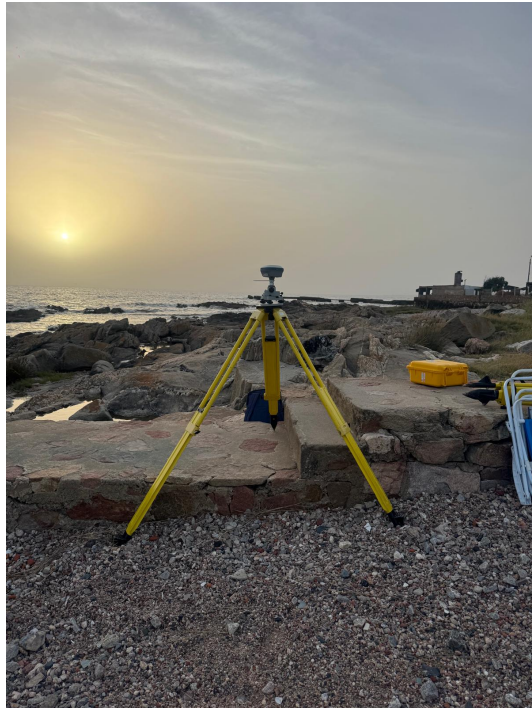


Figura 5.15: Observación de vértice 1BFI.



Figura 5.16: Observación de vértice 2BFI.



Figura 5.17: Observación de vértice 3BFL.



Figura 5.18: Observación de vértice 4BFL.



Figura 5.19: Observación de vértice 5BFI.



Figura 5.20: Observación de vértice 6BFI.

5.3.5. Procesamiento y Análisis

En comparación con el procesamiento de la Red Zero MaRGIA, el cual fue realizado por el equipo docente, este fue ejecutado íntegramente por los suscritos, como parte del proceso formativo y de aprendizaje.

Previo a la utilización del software CHCNAV Geomatic Office (CGO), se efectuó un control de calidad de los archivos RINEX obtenidos durante la campaña de observación de los vértices *iBFI*, así como de los vértices 0AZFI y 34FI pertenecientes a la Red Zero MaRGIA. Para esta tarea se utilizó el software Leica Spider QC, el cual permitió identificar las primeras indicaciones sobre posibles dificultades asociadas a la calidad de algunas observaciones.

Si bien el control de calidad no constituye un requisito excluyente para proceder al procesamiento en CGO, su realización responde a la buena práctica adoptada durante todo el proyecto, permitiendo anticipar y comprender eventuales complejidades que puedan reflejarse luego en el ajuste. En este análisis preliminar se constató que, si bien ningún archivo RINEX cumplió de manera absoluta con todos los criterios de calidad, condición habitual dada la robustez de los estándares exigidos por el software, dos vértices presentaron inconsistencias más relevantes que el resto, correspondientes a los puntos 5BFI y 6BFI.

Posteriormente, se procedió al análisis y preparación de los datos en CGO, herramienta a la cual se otorgó especial énfasis debido a su relevancia en la evaluación detallada de cada etapa del proceso, permitiendo la interpretación de las complejidades observadas y la extracción de conclusiones técnicas.

Al igual que en el procesamiento de la Red Zero MaRGIA, se mantuvieron los mismos parámetros geodésicos de referencia:

- Elipsoide de referencia: WGS84.
- Proyección cartográfica: UTM 21S.
- Modelo Geoidal: EGM08.
- Efemérides: Precisas para la fecha de observación (18/11/2025).

Uno de los cuidados principales estuvo centrado en la correcta importación de los datos, verificando con especial atención la información asociada a cada observación, tales como el modelo del receptor, modelo de antena, altura de antena y referencia de dicha altura, como se indicó anteriormente en la Tabla 5.9. La experiencia demuestra que una gran parte de los errores de procesamiento GNSS se encuentran vinculados a la incorrecta gestión de las alturas de antena, motivo por el cual durante toda la planificación y ejecución del trabajo se enfatizó la utilización de croquis detallados y planillas de control, garantizando la coherencia en cada estación.

Se dispuso de archivos RINEX para un total de 8 vértices, de los cuales 6 pertenecen a la densificación *iBFI* y 2 a la Red Zero MaRGIA (34FI y 0AZFI). Estos últimos actúan como puntos de control o estaciones fijas, imprescindibles para realizar un ajuste restringido.

Su elección responde a dos razones principales. En primer lugar, para evitar un ajuste completamente libre que dejaría a toda la red flotando sin definir un sistema de referencia estable. En segundo término, porque al fijar estos vértices es necesario imponer sus coordenadas como constantes, sirviendo de anclaje del sistema de referencia para la propagación de coordenadas al resto de la red.

Las coordenadas utilizadas fueron las siguientes:

- **0AZFI**: Coordenadas extraídas del procesamiento de la Red Zero MaRGIA del 2025.
- **34FI**: Coordenadas correspondientes al procesamiento de la Red Zero MaRGIA del 2024.

Este punto resulta particularmente importante, ya que se optó por utilizar el conjunto de coordenadas del vértice 34FI de la campaña del año anterior debido a que sus residuos presentaban mejores características estadísticas respecto a los obtenidos en el procesamiento de 2025. Esto no implica que la Red Zero MaRGIA esté mal determinada, sino que la incorporación de nuevas estaciones modifica inevitablemente el comportamiento de los vértices no tratados como fijos dentro del ajuste.

Una vez importados los datos, se ejecutó el apartado “*CHECK*” del software, encargado de verificar, diagnosticar y validar la calidad de los RINEX cargados. Este procedimiento es equivalente al realizado en Leica Spider QC, aunque con una capacidad de evaluación menos exhaustiva, y permite identificar potenciales inconvenientes previos al cálculo de líneas base.

Entre los resultados más relevantes se analizó es el *Usage Rate*, indicador que representa el porcentaje de observaciones GNSS efectivamente utilizadas para el procesamiento respecto del total registrado en los archivos RINEX, como lo muestra la Tabla 5.10. Idealmente, este valor debería situarse entre el 95 % y el 100 %. En el presente caso, los valores oscilaron entre el 86 % y el 92 %, cifras que, si bien no son óptimas, pueden considerarse aceptables.

Tabla 5.10: Indicador *Usage Rate* en procesamiento de la densificación.

<i>Station</i>	<i>Start Time</i>	<i>End Time</i>	<i>Check</i>	<i>Usage Rate (%)</i>
0AZFI	18:14:08	23:09:02	<i>unpassed</i>	92.1441
1BFI	21:57:23	22:56:01	<i>unpassed</i>	90.178
2BFI	20:38:17	21:18:16	<i>unpassed</i>	92.1113
34FI	18:32:08	23:00:57	<i>unpassed</i>	89.368
3BFI	20:29:54	21:38:19	<i>unpassed</i>	92.0369
4BFI	21:58:25	22:58:04	<i>unpassed</i>	89.8098
5BFI	18:56:06	20:07:04	<i>unpassed</i>	87.8238
6BFI	19:07:41	20:07:40	<i>unpassed</i>	86.7623

Asimismo, se evaluaron los indicadores de *multipath*, error de multicamino, en las distintas longitudes de onda (MP1, MP2, MP3, MP4 y MP5). Se detectaron valores particularmente elevados en los vértices 5BFI y 6BFI, superando los 0,40m en las frecuencias L1 y L2, las más relevantes para el procesamiento GNSS. Este comportamiento coincidió con lo observado previamente en Leica Spider QC, confirmando que el efecto de multicamino constituía la principal problemática asociada a dichos puntos, como se muestra en la Tabla 5.11. A pesar de ello, se decidió continuar con el procesamiento, a fin de evaluar el impacto real de estas anomalías en la solución final, considerando la elevada redundancia de la red.

Tabla 5.11: Indicador de multicamino en densificación.

<i>Station</i>	MP1 (m)	MP2 (m)	MP3 (m)	MP4 (m)	MP5 (m)	nSlip
0AZFI	0.190	0.140	0.120	0.000	0.000	12796
1BFI	0.110	0.080	0.080	0.000	0.000	999
2BFI	0.120	0.110	0.090	0.000	0.000	11363
34BFI	0.330	0.290	0.200	0.000	0.000	745
3BFI	0.090	0.120	0.130	0.000	0.000	1058
4BFI	0.120	0.120	0.090	0.000	0.000	3329
5BFI	0.470	0.410	0.260	0.000	0.000	175
6BFI	0.430	0.410	0.260	0.000	0.000	114

Posteriormente, se procesaron las líneas base generadas entre los vértices, en este caso son 16 debido a la simultaneidad de las observaciones de las series, de las cuales se detectaron que 5 de ellas muestran valores débiles, tal como se muestra en la Tabla 5.12. En el escenario óptimo, tomando la simultaneidad total entre todos los vértices, serían 56 las líneas bases para el procesamiento.

Tabla 5.12: Líneas bases procesadas.

<i>Begin</i>	<i>End</i>	<i>Us. Rate (%)</i>	<i>Ratio</i>	<i>RMS (m)</i>	<i>Qualified</i>
34FI	0AZFI	99.63	99.0	0.00641	<i>Conformity</i>
34FI	1BFI	100	96.7	0.00695	<i>Conformity</i>
0AZFI	1BFI	100	99.0	0.00544	<i>Conformity</i>
34FI	2BFI	100	99.0	0.00595	<i>Conformity</i>
0AZFI	2BFI	100	99.0	0.00437	<i>Conformity</i>
34FI	3BFI	100	99.0	0.00648	<i>Conformity</i>
0AZFI	3BFI	100	99.0	0.00543	<i>Conformity</i>
2BFI	3BFI	100	99.0	0.00482	<i>Conformity</i>
34FI	4BFI	100	99.0	0.00658	<i>Conformity</i>
0AZFI	4BFI	100	99.0	0.00514	<i>Conformity</i>
1BFI	4BFI	100	99.0	0.00460	<i>Conformity</i>
34FI	5BFI	100	63.3	0.01026	<i>Conformity</i>
0AZFI	5BFI	100	74.7	0.00901	<i>Conformity</i>
34FI	6BFI	100	13.5	0.01258	<i>Conformity</i>
0AZFI	6BFI	100	29.7	0.01155	<i>Conformity</i>
5BFI	6BFI	100	21.9	0.01360	<i>Conformity</i>

Para el análisis se destacó particularmente la interpretación de las columnas Ratio y RMS. El Ratio expresa el coeficiente de confiabilidad de la resolución de ambigüedades de fase GNSS, comparando la mejor solución frente a la segunda mejor, siendo deseable obtener valores superiores al 95 %, condición que no se cumplió en las líneas base de menor calidad. Por su parte, el RMS (*Root*

Mean Square) representa el residuo promedio del ajuste de cada vector; cuanto menor es este valor, mayor es la calidad del ajuste. En las líneas problemáticas se observaron RMS cercanos a 0,013m, aproximadamente el doble de los obtenidos en el resto de los vectores, donde no se superaron los 0,007m.

Del análisis conjunto se determinó que las líneas base deficientes corresponden, principalmente, a aquellas involucrando los vértices 5BFI y 6BFI, destacándose como peor caso la línea base entre ambos puntos. Esto permite concluir que el problema central del procesamiento está directamente vinculado al efecto de multicamino presente en las observaciones de dichos vértices, ya que en sus cercanías se encontraban edificios y árboles que podrían explicar esto.

Eliminar estos puntos hubiera implicado simplificar el procesamiento; sin embargo, resulta inviable desde el punto de vista topológico, dado que son fundamentales para lograr la densificación hacia el sector este de la red. La solución adoptada se basó en la redundancia de observaciones, principal herramienta para mitigar los efectos del multicamino mediante compensación estadística en el ajuste. De hecho, todas las líneas base presentaron el estado de conformidad en la columna *Qualified*, lo que indica que, a pesar de sus deficiencias, el *software* considera que son aceptables para ser incorporadas al ajuste.

Considerando estos antecedentes, se procedió a realizar un primer ajuste libre con el objetivo de identificar errores groseros o inconsistencias significativas. Tal como se explicó en el marco teórico, el ajuste libre no establece coordenadas fijas, permitiendo que toda la red se desplace y ajuste sin restricciones, evaluando únicamente su consistencia interna.

Los resultados de este ajuste se consideran altamente satisfactorios. La red superó adecuadamente el test de Chi-cuadrado, obteniéndose un valor observado de 28.98, contenido dentro del intervalo teórico admisible [14,40 – 43,55]. Para un nivel de confianza de 2σ (95 %), se lograron precisiones del orden de 0,8mm tanto en el aspecto horizontal como en vertical, valores que superaron ampliamente las expectativas iniciales.

A pesar de estos resultados prometedores, se recuerda que el verdadero interés reside en el ajuste restringido, ya que es el que permite obtener coordenadas

absolutas dentro de un sistema de referencia definido.

En el ajuste restringido (*constrained adjustment*) se fijaron las coordenadas de los puntos de control 0AZFI y 34FI, implementando así el anclaje de la red al sistema de referencia seleccionado. Esto permitió propagar las coordenadas a la totalidad de los vértices y calcular sus correspondientes desviaciones estándar.

Tal como en el Preanálisis, las coordenadas que se utilizaron para este paso son las generadas en los procesamientos de Red Zero MaRGIA.

- Coordenadas **IM34**: (6135611.41177; 576042.69028; 35.3837), generada en el procesamiento del año 2024.
- Coordenadas **0AZFI**: (6135703.97196; 576110.86956; 71.0433), generada en el procesamiento del año 2025.

Los resultados obtenidos de la red alcanzó precisiones promedio de 5.4mm en horizontal y 5,6mm en vertical, valores compatibles con los previstos en el preanálisis, tal como se muestra en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13: Estadísticas generales del ajuste restringido.

<i>Name</i>	<i>Value</i>
<i>Network Reference Factor</i>	30.4762083374402
<i>Chi Square Test</i>	<i>Pass</i>
<i>Chi Square Value</i>	31.97771
<i>Range of Chi Square Test</i>	16.60654 ~ 47.34889
<i>Ratio of Unit Weight Standard Error</i>	1.03244
<i>Precision Confidence Level</i>	2 sigma
<i>Horizontal Accuracy mm</i>	5.4
<i>Vertical Accuracy mm</i>	5.6
<i>Check Result</i>	<i>Conformity</i>

De manera particular para cada vértice, las coordenadas ajustadas y sus desviaciones en el sistema UTM 21S se muestran en la Tabla 5.14 y Tabla 5.15. Los errores obtenidos se encuentran dentro de la tolerancia adoptada, mostrando una coherencia notable con los valores estimados en el preanálisis, situándose en el entorno de los 5mm.

En conclusión, a pesar de los inconvenientes surgidos durante la etapa de observación, principalmente asociados a efectos de multicamino, limitaciones en

Tabla 5.14: Coordenadas *iBFI* ajustadas en sistema local.

<i>Point ID</i>	<i>North(m)</i>	<i>East(m)</i>	<i>Elev.(m)</i>
34FI	6135611.41177	576042.69028	35.3837
0A2FI	6135703.97196	576110.86956	71.0433
1BFI	6134938.23562	575738.39300	16.8151
2BFI	6135672.12628	575838.84057	19.4100
3BFI	6135346.04131	575880.34918	19.2776
4BFI	6135204.74972	575739.64553	19.9144
5BFI	6135469.30460	576525.07852	39.6397
6BFI	6135945.59868	576489.73575	32.7390

Tabla 5.15: Desviaciones de las coordenadas *iBFI* ajustadas en sistema local.

<i>Point ID</i>	<i>North Err.(m)</i>	<i>East Err.(m)</i>	<i>Elev. Err.(m)</i>
34FI	0.00000	0.00000	0.0000
0A2FI	0.00000	0.00000	0.0000
1BFI	0.00345	0.00306	0.0048
2BFI	0.00345	0.00256	0.0033
3BFI	0.00411	0.00312	0.0041
4BFI	0.00334	0.00299	0.0046
5BFI	0.00374	0.00385	0.0056
6BFI	0.00360	0.00399	0.0055

la disponibilidad de receptores y restricciones temporales, los resultados finales superaron ampliamente las expectativas iniciales. Ello fue posible gracias al correcto diseño geométrico y topológico de la red, la adecuada estrategia de observación adoptada, el riguroso cálculo de preanálisis y el estricto control de alturas de antena.

La elevada redundancia de líneas base, como se muestra en la Figura 5.21, logró desempeñar un rol fundamental en la compensación de los errores presentes, posibilitando alcanzar precisiones satisfactorias en el ajuste final. Sin esta redundancia, el impacto del multicamino habría sido considerablemente mayor, comprometiendo la calidad de toda la red.

Si bien los resultados obtenidos son sumamente positivos, es importante destacar que aún resultan perfectibles. Una estrategia de observación optimizada, la generación de una figura geométrica más robusta y una mejora en la distribución de longitudes de líneas base permitirían reducir los errores remanentes, incrementando la precisión global de la red en futuras campañas.

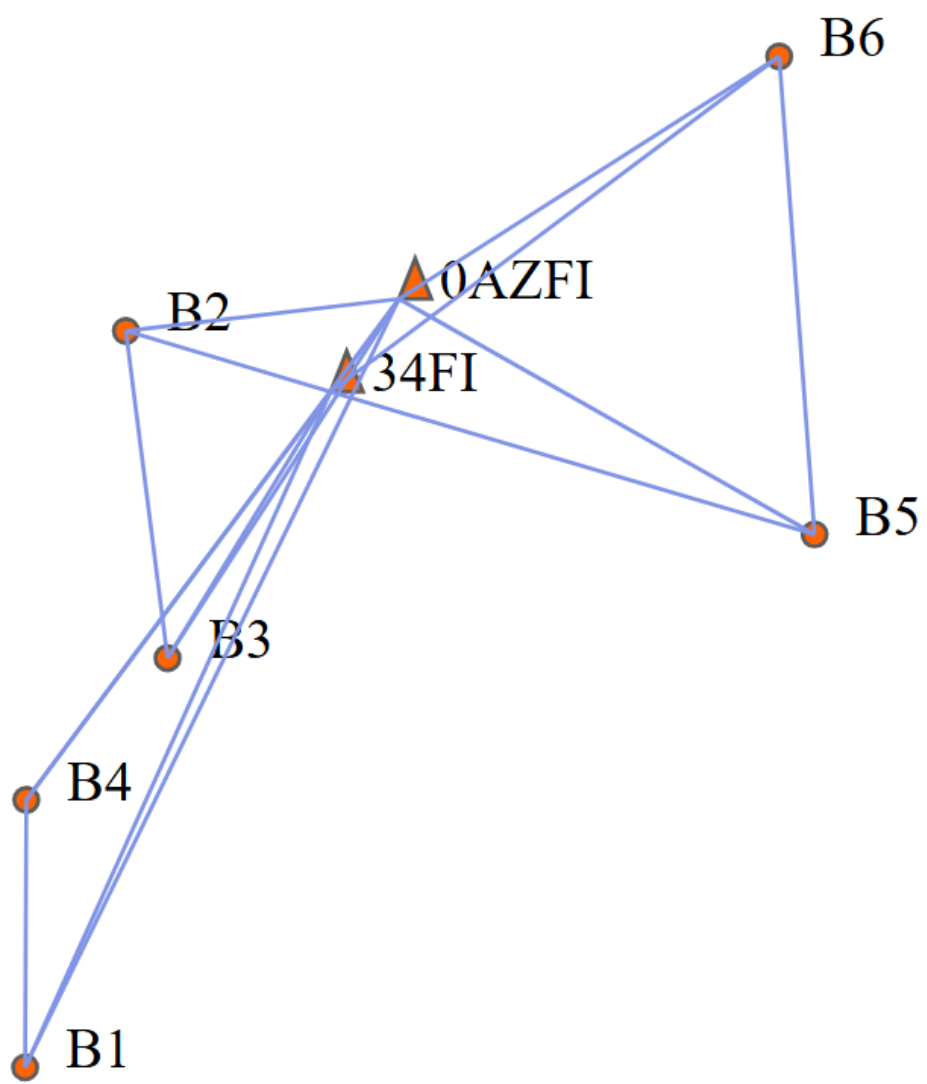


Figura 5.21: Líneas base generadas en la densificación de Red MaRGIA.

5.3.6. Análisis comparativo del ajuste con y sin incorporación de estaciones fiduciales

Con el objetivo de otorgar mayor respaldo técnico y fundamentación a la metodología adoptada, se decidió realizar adicionalmente el procesamiento y ajuste de los datos obtenidos en la campaña de densificación empleando una configuración diferente a la optada. Esta instancia no respondió a una necesidad operativa estricta, sino a la intención de contrastar los resultados finales y verificar la consistencia de la solución adoptada en el proyecto.

En este escenario se dispuso de las observaciones correspondientes a los vértices *iBFI*, así como de las estaciones 0AZFI y 34FI, que actuaron como vértices de vinculación al sistema de referencia. Complementariamente, se descargaron datos RINEX correspondientes al intervalo horario de la práctica provenientes de estaciones permanentes, tanto del SGM (UYMO, UYIF y UYLM) como de la estación MTV1 perteneciente a la Embajada de los Estados Unidos. Es decir, el ajuste de la red queda dado por la estructura original, agregándose los vértices fiduciales nombrados.

A partir del análisis de la configuración presentada (Figura 5.22), considerando su geometría y topología más complejas, se plantea como hipótesis inicial que dicha alternativa no necesariamente debería mejorar los resultados obtenidos con la configuración finalmente adoptada. Esta presunción se fundamenta en las siguientes características de diseño:

- Distribución de longitudes: Se observa una marcada descompensación en las longitudes de las líneas base. Mientras que la menor presenta un valor del orden de 100 m, la mayor alcanza aproximadamente 35 km, generando un contraste excesivo que afecta la homogeneidad geométrica de la red.
- Redundancia por observación: Desde el punto de vista estrictamente numérico, la redundancia aumenta, alcanzando hasta 11 líneas base por vértice involucrado. Sin embargo, un incremento en la redundancia no implica necesariamente una mejora estructural si la geometría asociada no es adecuada.
- Ángulos internos: Si bien se identifican triángulos bien condicionados, como los formados por UYLM–UYIF–UYMO, gran parte de los restantes presentan ángulos excesivamente pequeños, configurando figuras débiles

y, en algunos casos, líneas casi paralelas, lo que reduce la fuerza geométrica del conjunto.

- Compactitud: La red presenta un índice de compactitud de 0.574.

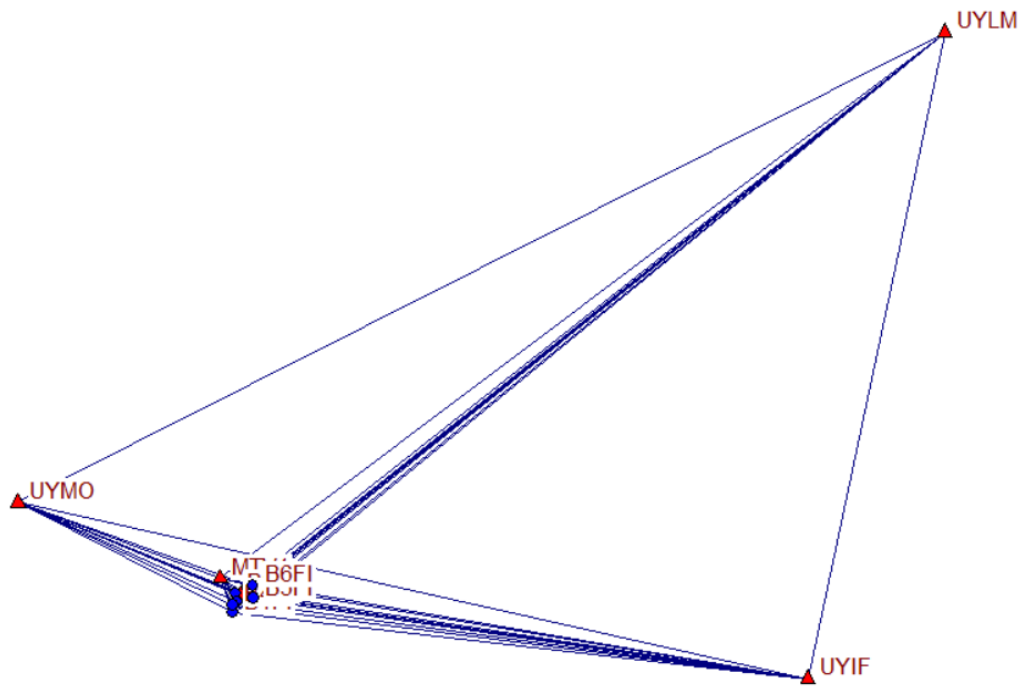


Figura 5.22: Configuración de la red agregando estaciones permanentes.

En función de estos aspectos, se procedió a realizar el ajuste correspondiente, cuyos resultados se presentan en las Tablas 5.16 y 5.17. Los valores obtenidos confirman la hipótesis planteada, evidenciando un leve deterioro del orden de 1mm, respecto a los resultados alcanzados con la configuración definitiva.

Tabla 5.16: Resultados estadísticos del ajuste con diferente configuración.

<i>Name</i>	<i>Value</i>
<i>Network Reference Factor</i>	39.5970464296833
<i>Chi Square Test</i>	<i>Pass</i>
<i>Chi Square Value</i>	117.98518
<i>Range of Chi Square Test</i>	87.63602 – 148.33434
<i>Ratio of Unit Weight Standard Error</i>	1.00852
<i>Precision Confidence Level</i>	2 sigma
<i>Horizontal Accuracy mm</i>	6.2
<i>Vertical Accuracy mm</i>	6.6
<i>Check Result</i>	<i>Conformity</i>

Tabla 5.17: Coordenadas ajustadas y errores estándar considerando diferente configuración.

Point ID	North Err. (m)	East Err. (m)	Elev. Err. (m)	Type
34FI	0.0000	0.0000	0.0000	Fijo
MTV1	0.0000	0.0000	0.0000	Fijo
UYIF	0.0000	0.0000	0.0000	Fijo
UYLM	0.0000	0.0000	0.0000	Fijo
UYMO	0.0000	0.0000	0.0000	Fijo
0AZFI	0.0000	0.0000	0.0000	Fijo
1BFI	0.00399	0.00354	0.00354	Libre
2BFI	0.00403	0.00302	0.0040	Libre
3BFI	0.00466	0.00359	0.0050	Libre
4BFI	0.00387	0.00347	0.0055	Libre
5BFI	0.00438	0.00445	0.0066	Libre
6BFI	0.00420	0.00462	0.0065	Libre

En consecuencia, se reafirma que la decisión de diseño adoptada resulta determinante en el comportamiento final de la red, demostrando que la calidad geométrica y topológica puede ser más influyente que el simple incremento en la cantidad de observaciones al momento de crear, calcular y ajustar una red geodésica.

5.4. Densificación Red MaRGIA: Enlace MaRGIA-RInIA

Como se mencionó anteriormente la densificación de MaRGIA no solo consistió de la creación de nuevos vértices *iBFI*, sino también, de la vinculación de la red bajo techo RInIA.

Esto implica que el enlace también forma parte de la densificación, ya que se integra a una red con precisiones homogéneas establecidas. Debido a su naturaleza, el proceso para realizar estas tareas fue distinto al resto de las operaciones del trabajo, siendo necesaria la necesidad de transformar diferentes sistemas de proyección. Concretamente, RInIA está establecida en un sistema local, mientras que la Red MaRGIA exterior se trabaja tanto en UTM 21S, como en la proyección local TM MaRGIA generada explícitamente para esta función..

Asimismo, varía el método de observación, ya que el procedimiento desarrollado se basó en el uso de la técnica de radiación de coordenadas mediante instrumental de alta precisión, en este caso, una estación total Trimble S5 robótica, cuyas precisiones son de 2mm+2ppm.

Previo a la ejecución, se evaluaron distintas alternativas para el propagación de coordenadas, con el fin de minimizar la incidencia de errores sistemáticos y aleatorios. Esto permitió definir una secuencia de trabajo que reduce significativamente los errores de estacionamiento y otros factores, aunque no los elimina por completo debido a la incertidumbre inherente a toda medición.

El plan de trabajo contempló la determinación de un punto auxiliar ubicado en el estacionamiento este del edificio de FING, denominado 1CFI (Figura 5.23), a partir de coordenadas conocidas del pilar implantado por la Intendencia de Montevideo, nombrado 34FI respectivamente en la red MaRGIA.

Como se muestra en la Figura 5.23, la ubicación del punto auxiliar fue un factor determinante, ya que debía garantizar visibilidad de forma simultánea con el pilar 34FI, y el pilar del Instituto de Agrimensura (IAFI), localizado en el segundo piso de la Facultad.

Sobre los pilares 34FI e IAFI, se instalaron bases nivelantes, que permiten un centrado preciso y una nivelación estable durante toda la jornada de trabajo. Este sistema asegura que el instrumental sobre ella, ya sea estación total o prisma, permanezca correctamente verticalizado sobre el punto de referencia.

En el caso del punto 1CFI, debido a que está materializado con un repere en el suelo, se utilizó un trípode y base nivelante para la instalación de instrumental, garantizando estabilidad durante las observaciones.

La técnica aplicada corresponde a la radiación de coordenadas mediante la medición de ángulos y distancias, explicada en apartados anteriores, que posteriormente son procesados para obtener coordenadas cartesianas dentro de la proyección definida.

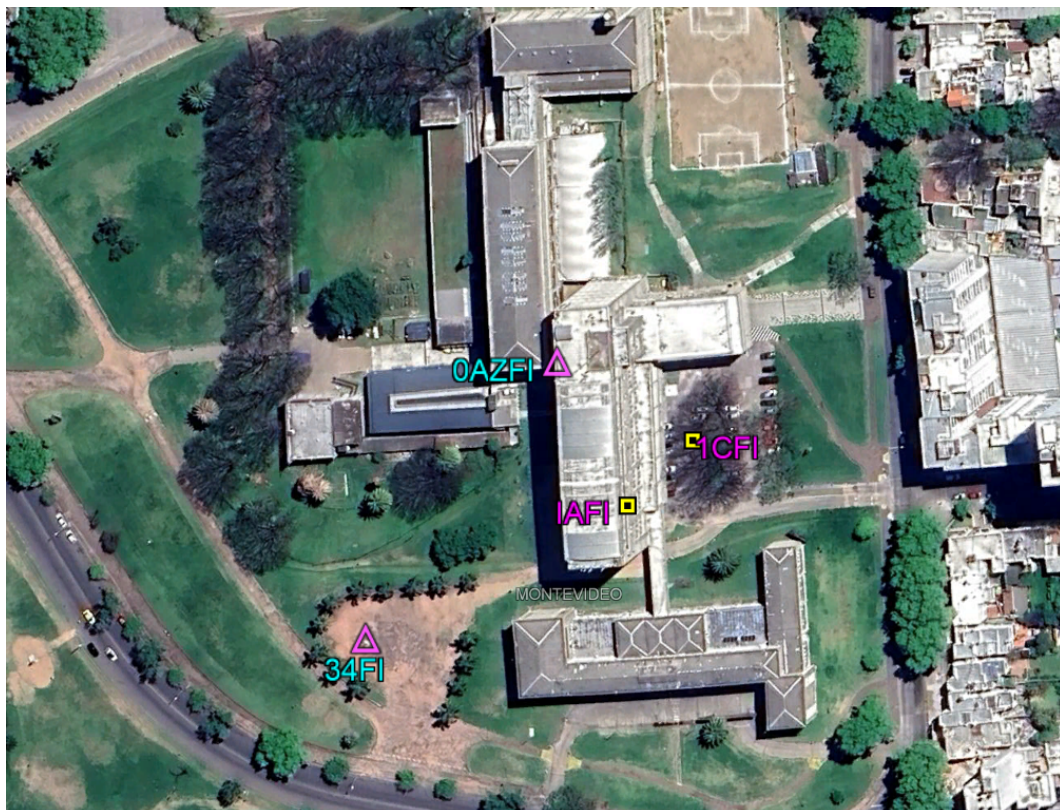


Figura 5.23: Ubicación de vértices para enlace.

5.4.1. Consideraciones generales

El objetivo principal consiste en asignar coordenadas al vértice IAFI, correspondiente a RiNIA, referidas a la proyección utilizada en la red MaRGIA(D). A continuación se especifica la características de esta proyección y el procedimiento optado para la ejecución del enlace.

Proyección Cartográfica de la Red MaRGIA(D)

La proyección elegida y utilizada para el trabajo consiste en una proyección Transversa Mercator donde se establecen los siguientes parámetros:

- Meridiano central: $56^{\circ}10'02.9937''$ W
- Paralelo origen: $34^{\circ}55'08.7954''$ S
- Factor de escala en el meridiano central: $k=1$
- Falso Este: 1000.000
- Falso Norte: 5000.000

Esta configuración permite que la proyección esté determinada en el área de estudio, siendo el vértice 34FI el correspondiente a la ubicación del meridiano central y el paralelo de origen.

Procedimiento de Enlace

- Se estaciona la estación total en el pilar 34FI, cuyas coordenadas son conocidas en la proyección establecida, (1000.000; 5000.000; 20.711) correspondiendo a (X; Y; Z).
- El instrumento se orienta hacia un punto implantado y conocido de la red MaRGIA, identificado como 2AFI, cuyas coordenadas en la proyección son (1117.517; 4919.693; 23.590).
- Con el instrumento estacionado y orientado, se procede a medir la posición de 1CFI, en donde se coloca un miniprisma sobre la base nivelante. Esta medida se repite realizando 4 series de observaciones con giro y tránsito, obteniéndose un total de 8 mediciones.
- Se calculan las coordenadas de 1CFI realizando el promedio de los valores obtenidos.
- Se posiciona la estación total en el vértice 1CFI, y el prisma se coloca en el vértice 34FI.

- Se estaciona el instrumental introduciendo las coordenadas promediadas base de 1CFI y orientando hacia 34FI cuyas coordenadas ya fueron nombradas.
- Se procede a medir la posición de IAFI, en donde se coloca un miniprisma sobre la base nivelante. Esta medida se repite realizando 4 series de observaciones con giro y tránsito, obteniéndose un total de 8 mediciones.
- Se calculan las coordenadas de IAFI realizando el promedio de los valores obtenidos.
- Se posiciona la estación total en el punto IAFI, y el prisma al punto 1CFI.
- Se estaciona el instrumental introduciendo las coordenadas promediadas base de IAFI y orientando hacia 1CFI cuyas coordenadas ya fueron calculadas.
- Se procede a medir la posición de los puntos correspondiente a RInIA. Esta medida se repite realizando 2 series de observaciones con giro y tránsito, obteniéndose un total de 4 mediciones para cada punto, materializados con dianas y reperes.
- Se calculan las coordenadas de los puntos de RInIA realizando el promedio de los valores obtenidos.

El procedimiento descrito asegura la correcta vinculación del pilar IAFI a a la red geodésica MaRGIA, con un control riguroso sobre la calidad de las mediciones. Esto se logra gracias a la utilización de instrumental de alta precisión, la implementación de bases nivelantes y técnicas de centrado confiables, y sobre todo, la redundancia de observaciones y la aplicación de ajustes estadísticos de minimos cuadrados a los datos.

5.4.2. Preanálisis del Enlace MaRGIA - RInIA

Primero analizamos los errores estimados utilizando el método de radiación con una estación total de forma genérica.

En este método, estacionamos la estación total en un punto de coordenadas conocidas (Punto 1), y medimos la distancia (d) al punto de interés (Punto 2), así como el ángulo cenital (Az_{12}) y el acimut (\hat{z}_{12}).

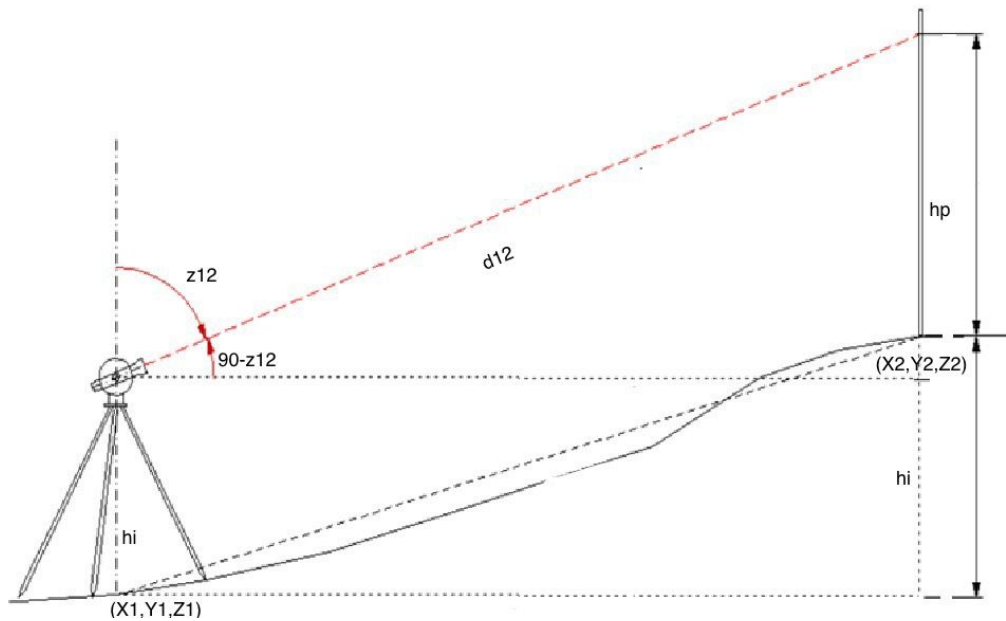


Figura 5.24: Esquema de ángulos y medidas

$$X_2 = X_1 + d_{12} * \text{Sin}(Az_{12})$$

$$Y_2 = Y_1 + d_{12} * \text{Cos}(Az_{12})$$

$$Z_2 = Z_1 - d_{12} * \text{Sin}(\hat{z}_{12} - 90)$$

En base a las ecuaciones de las coordenadas del Punto 2 podemos calcular el error esperado como: Coordenada X:

$$\delta X_2^2 = \left(\frac{\partial X_2}{\partial X_1} \right)^2 \delta X_1^2 + \left(\frac{\partial X_2}{\partial d_{12}} \right)^2 \delta d_{12}^2 + \left(\frac{\partial X_2}{\partial Az_{12}} \right)^2 \delta Az_{12}^2$$

Con:

$$\left(\frac{\partial X_2}{\partial X_1} \right) = 1$$

$$\left(\frac{\partial X_2}{\partial d_{12}}\right) = \text{Sin}(Az_{12})$$

$$\left(\frac{\partial X_2}{\partial Az_{12}}\right) = d_{12}\text{Cos}(Az_{12})$$

Por lo tanto:

$$\delta X_2^2 = \delta X_1^2 + \text{Sin}(Az_{12})^2 \delta d_{12}^2 + (d_{12}\text{Cos}(Az_{12}))^2 \delta Az_{12}^2$$

Coordenada Y:

$$\delta Y_2^2 = \left(\frac{\partial Y_2}{\partial Y_1}\right)^2 \delta Y_1^2 + \left(\frac{\partial Y_2}{\partial d_{12}}\right)^2 \delta d_{12}^2 + \left(\frac{\partial Y_2}{\partial Az_{12}}\right)^2 \delta Az_{12}^2$$

Con:

$$\left(\frac{\partial Y_2}{\partial Y_1}\right) = 1$$

$$\left(\frac{\partial Y_2}{\partial d_{12}}\right) = \text{Cos}(Az_{12})$$

$$\left(\frac{\partial Y_2}{\partial Az_{12}}\right) = -d_{12}\text{Sin}(Az_{12})$$

Por lo tanto:

$$\delta Y_2^2 = \delta Y_1^2 + \text{Cos}(Az_{12})^2 \delta d_{12}^2 - (d_{12}\text{Sin}(Az_{12}))^2 \delta Az_{12}^2$$

Coordenada Z:

$$\delta Z_2^2 = \left(\frac{\partial Z_2}{\partial Z_1}\right)^2 \delta Z_1^2 + \left(\frac{\partial Z_2}{\partial d_{12}}\right)^2 \delta d_{12}^2 + \left(\frac{\partial Z_2}{\partial \hat{z}_{12}}\right)^2 \delta \hat{z}_{12}^2$$

Con:

$$\left(\frac{\partial Z_2}{\partial Z_1}\right) = 1$$

$$\left(\frac{\partial Z_2}{\partial d_{12}}\right) = \text{Sin}(\hat{z}_{12} - 90)$$

$$\left(\frac{\partial Z_2}{\partial Az_{12}}\right) = d_{12}\text{Cos}(\hat{z}_{12} - 90)$$

Por lo tanto:

$$\delta Z_2^2 = \delta Z_1^2 + \text{Sin}(\hat{z}_{12} - 90)^2 \delta d_{12}^2 + (d_{12} \text{Cos}(\hat{z}_{12} - 90))^2 \delta \hat{z}_{12}^2$$

Recopilando:

$$\delta X_2^2 = \delta X_1^2 + \text{Sin}(Az_{12})^2 \delta d_{12}^2 + (d_{12} \text{Cos}(Az_{12}))^2 \delta Az_{12}^2$$

$$\delta Y_2^2 = \delta Y_1^2 + \text{Cos}(Az_{12})^2 \delta d_{12}^2 - (d_{12} \text{Sin}(Az_{12}))^2 \delta Az_{12}^2$$

$$\delta Z_2^2 = \delta Z_1^2 + \text{Sin}(\hat{z}_{12} - 90)^2 \delta d_{12}^2 + (d_{12} \text{Cos}(\hat{z}_{12} - 90))^2 \delta \hat{z}_{12}^2$$

El instrumental que se planea utilizar es la estación total robótica Trimble S5, cuya hoja de especificaciones provista por la compañía, se puede observar que la precisión que esperable para las medidas de distancia es de 2mm + 2ppm, y la precisión angular es de 2".

Asimismo, para realizar el preanálisis se cargaron de forma aproximada los puntos en Google Earth y con dicho programa se estimaron las distancias horizontales y acimuts (Figura 5.25). Luego para obtener las distancias inclinadas se estimaron ángulos cenitales de 90° para el tramo 1-2 y de 60° para el tramo 2-3, con lo cual se calcularon las distancias usando trigonometría.

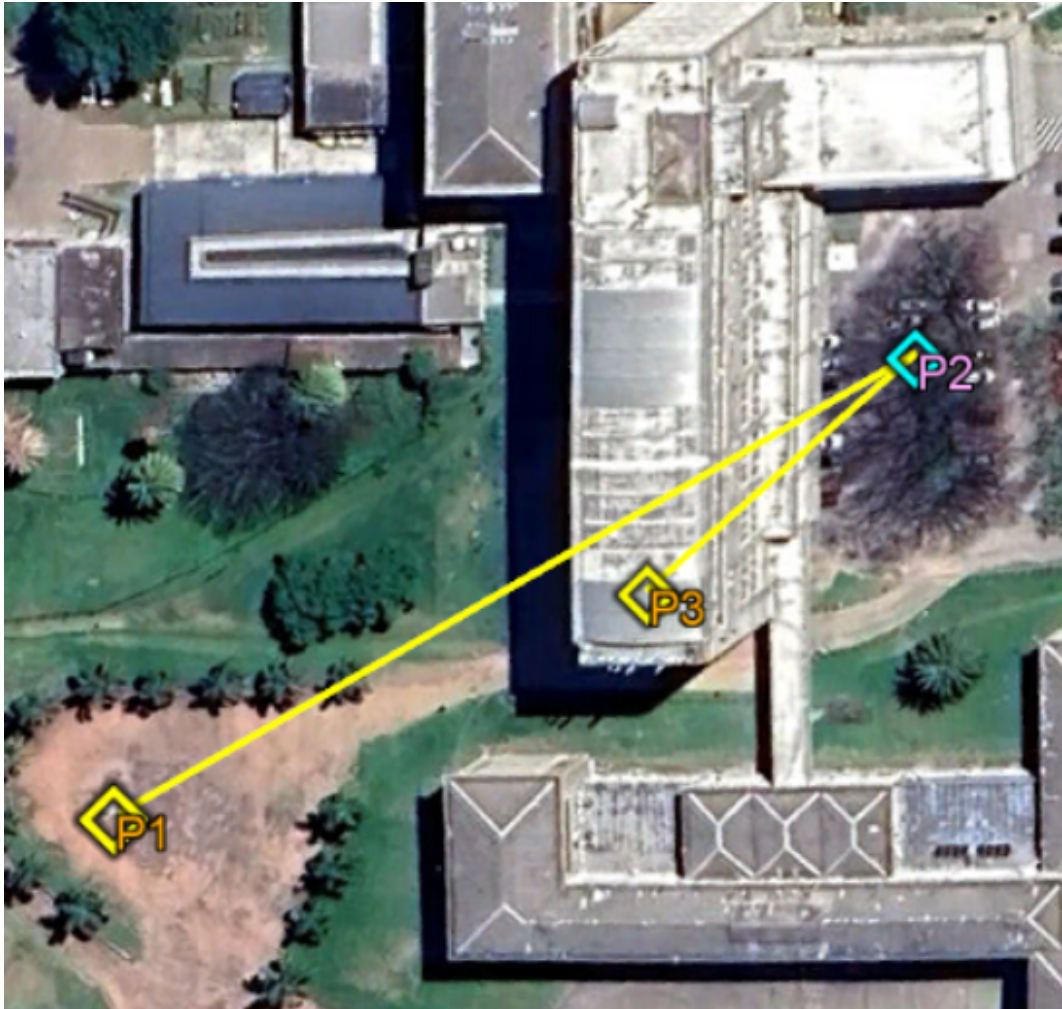


Figura 5.25: Puntos ubicados en Google Earth

De esto se obtuvo que:

$$\delta X_2 = 1.9mm \quad ; \quad \delta X_3 = 2.1mm$$

$$\delta Y_2 = 1.4mm \quad ; \quad \delta Y_3 = 2.5mm$$

$$\delta Z_2 = 1.8mm \quad ; \quad \delta Z_3 = 2.5mm$$

Traduciendo a los puntos a medir P2 correspondería al punto 1CFI, mientras que P3 correspondería al pilar IAFI.

Con esto, se analizaron las precisiones que se esperan tener sobre las coordenadas de los reperes y dianas ubicadas dentro del edificio de Facultad, tal como se muestran en la Figura 5.26.

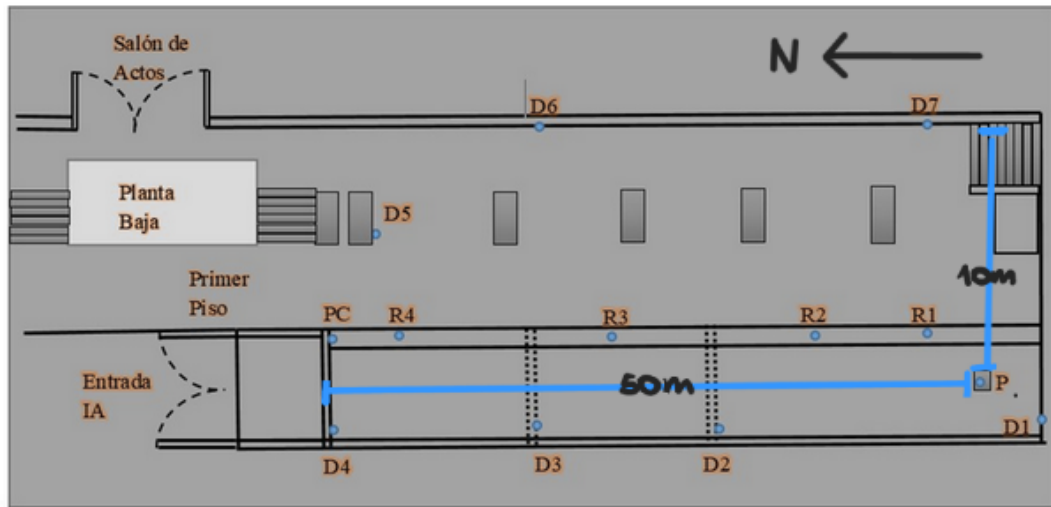


Figura 5.26: Croquis de distribución de los puntos de RInIA

Para ello, se utilizan las formulas desarrolladas anteriormente, tomando un ángulo cenital de 90° , se analizaron la situación del punto más alejado en la dirección norte (a aproximadamente 50m, con $Az=0^\circ$) y el punto más alejado en la dirección este (a aproximadamente 10m, con $Az=90^\circ$), dando los siguientes resultados.

$$\delta X_N = 2.2mm \quad ; \quad \delta X_E = 2.9mm$$

$$\delta Y_N = 2.9mm \quad ; \quad \delta Y_E = 2.1mm$$

$$\delta Z_N = 2.9mm \quad ; \quad \delta Z_E = 2.9mm$$

Se puede observar que las precisiones esperadas para las coordenadas de los puntos de RInIA es de aproximadamente 3mm, lo que se considera aceptable en base al uso que se les da a dichos puntos.

5.4.3. Trabajo de Campo

Si bien el procedimiento no presentó una gran complejidad técnica, su correcta ejecución demandó un tiempo considerable debido a la necesidad de realizar cada actividad con precisión, evitando dificultades y controlando los errores en todo momento.

Cabe recordar que el nivel de precisión de la red MaRGIA(D) es milimétrico, con errores residuales en cada vértice comprendidos entre 1 y 3 milímetros, luego de su observación, cálculo y ajuste.

La simplicidad del objetivo no implica una reducción en los cuidados requeridos para la correcta ejecución del trabajo. Aunque puede considerarse que la tarea consiste únicamente en establecer un sistema de coordenadas con vértices conocidos, la precisión exigida requiere mantener un estricto control en todas las etapas.

Primer Estacionamiento y Orientación

El instrumento se estacionó sobre el vértice 34FI, en la parte superior del pilar, utilizando una base de centrado forzoso o base nivelante, garantizando la correcta verticalidad del eje del instrumento. Este punto fue seleccionado por su excelente ubicación, por disponer de coordenadas conocidas y por ser el vértice de referencia altimétrica de la red.

Las coordenadas de dicho punto, representadas en la Tabla 5.18, son fundamentales debido a que corresponden al Falso Este, Falso Norte y Cota referida al cero oficial, por ende, son las que permiten anclar dicha proyección al trabajo que se realiza, asimismo, permite disponer del vértice de referencia o datum altimétrico.

Tabla 5.18: Coordenadas de 34FI

Nombre	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
34FI	1000.000	5000.000	20.711

En este caso, se tomó como referencia altimétrica el tornillo del tope del pilar, debido a su practicidad para determinar las alturas del instrumento y del

prisma, valor previamente establecido por el equipo docente y monografías existentes.

De manera alternativa, puede emplearse el vértice ubicado en la base del pilar, cuya cota referida al cero oficial es de 19.329m.

Para la correcta determinación del sistema de referencia, parte fundamental del objetivo, se aplicó el método llamado “estación conocida con orientación a punto conocido”, técnica común en topografía, que requiere conocer las coordenadas de dos vértices ubicados en el sistema de referencia.

El instrumento se verticaliza sobre uno de estos puntos y se orienta mediante la visual hacia el otro, permitiendo que el trabajo quede correctamente ubicado en el espacio. Es imprescindible tener buen criterio en la medición y determinación de alturas del instrumental, tanto en la estación total como en el prisma. El vértice de estación utilizado fue 34FI, cuyas coordenadas se indican anteriormente, la altura del instrumento determinada en campo fue de 0.257m.

La orientación se realizó hacia el vértice 2AFI con las coordenadas mostradas en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19: Coordenadas de 2AFI

Nombre	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
2AFI	1117.517	1117.517	23.590

La observación se efectuó hacia un miniprisma con una altura de bastón de 0.10m, asegurando una orientación precisa, dado que de esta depende directamente la exactitud en la determinación del nuevo punto.

Determinación de 1CFI

Con el fin de mejorar la estabilidad de las observaciones, se instaló un trípode con base de centrado forzoso sobre el vértice 1CFI, donde se montó el miniprisma. Este método elimina la necesidad de manipular el bastón, reduciendo los errores asociados al movimiento del prisma y proporcionando una mayor estabilidad del conjunto.

Al trabajar con un trípode, se deben controlar dos variables críticas, la altura del prisma, que incide directamente en la cota del punto, y el centrado del mismo, que afecta la planimetría.

Luego de verificar ambas condiciones, se realizaron cuatro series de mediciones, cada una compuesta por dos visuales; directa e inversa, también nombradas directa, y con giro y tránsito. En total, Como se refleja en la Tabla 5.20, se obtuvieron ocho tríos de coordenadas (X, Y, Z) correspondientes al vértice 1CFI en el sistema de referencia correcto.

Tabla 5.20: Coordenadas observadas de 1CFI

Punto	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
200	1099.785	5062.890	19.298
201	1099.784	5062.889	19.298
202	1099.786	5062.890	19.299
203	1099.786	5062.890	19.298
204	1099.785	5062.890	19.299
205	1099.786	5062.890	19.297
206	1099.784	5062.889	19.299
207	1099.786	5062.890	19.299

Al obtener varias observaciones de un mismo vértice, se tiene redundancia de datos, por lo que se deberá realizar un ajuste. En este caso, se considera que todas las observaciones tienen el mismo peso, ya que se realizaron de igual manera y en las mismas condiciones, por ende, se calculó el promedio y la desviación estándar, descritas en la Tabla 5.21, demostrando una dispersión mínima, lo cual garantiza la confiabilidad del nuevo vértice.

Tabla 5.21: Promedio y desviación de 1CFI

Punto	Valor	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
1CFI	Promedio	1099.785	5062.890	19.298
1CFI	Desv.Est.	0.001	0.000	0.001

Determinación Altimétrica de 1CFI

Si bien la estación total permite determinar con precisión la planimetría y altimetría de cualquier vértice, se consideró conveniente realizar una nivelación geométrica de alta precisión entre los vértices 34FI (con cota referida al cero

oficial) y 1CFI, debido a su proximidad y características. El objetivo principal de esta nivelación complementaria fue proporcionar un control independiente del trabajo, mejorar la redundancia altimétrica y, en consecuencia, aumentar la confiabilidad global del proyecto. Incorporar un método independiente, en este caso, nivelación geométrica, permite detectar inconsistencias, validar la estabilidad de los puntos y fortalecer el ajuste final.

Para ello se adoptó la técnica de nivelación geométrica compuesta con doble plano colimador, utilizando el método del punto medio, siguiendo los criterios expuestos en el marco teórico. Este procedimiento es el más adecuado para obtener diferencias de nivel con precisión milimétrica, ya que permite eliminar o minimizar los errores sistemáticos.

La nivelación se estructuró en cuatro tramos, siendo cada tramo observado mediante dos estaciones, debido al doble plano colimador. De este modo, cada diferencia de nivel fue obtenida por duplicado, representadas en la Tabla 5.22 y Tabla 5.23. Para avanzar de un tramo al siguiente, se estableció como condición de aceptabilidad que la diferencia entre las medidas del doble plano colimador no superara los 0,001m (1mm). Esta tolerancia estricta es coherente con los estándares de nivelación de precisión y garantiza que los errores accidentales o instrumentales se mantienen dentro de límites controlados.

El cumplimiento de estos criterios permitió obtener un perfil altimétrico confiable entre los puntos 34FI y 1CFI, constituyendo una referencia adicional para validar el ajuste de la red MaRGIA(D) y asegurando que la componente vertical mantuviera la calidad requerida.

Tabla 5.22: Nivelación IM34-1CFI (a)

Plano Colimador 1				
Punto	L. Atrás	L. Adelante	Δh	Cota
IM34a	1.622			19.329
1a	1.640	1.469	0.153	19.482
2a	1.611	1.293	0.347	19.829
3a	1.228	1.924	-0.313	19.516
1CFI		1.448	-0.220	19.296

Tabla 5.23: Nivelación IM34-1CFI (b)

Plano Colimador 2				
Punto	L. Atrás	L. Adelante	Δh	Cota
IM34a	1.565			19.329
1a	1.633	1.412	0.153	19.482
2a	1.598	1.287	0.346	19.828
3a	1.224	1.912	-0.314	19.514
1CFI		1.444	-0.220	19.294

Se observa que las diferencias obtenidas en cada tramo no superaron las tolerancias previamente establecidas; por lo tanto, la nivelación realizada se considera válida y de calidad aceptable. Una vez verificada la consistencia interna de las observaciones, se procedió al cálculo del desnivel final mediante el promedio de los resultados obtenidos en ambos planos colimadores. De este modo, se determinó la diferencia de cotas entre el vértice 34FI, cuyo valor altimétrico se tomó como referencia, y el vértice 1CFI.

$$\Delta h_{PROMEDIO} = -0.034m$$

A partir de dicho desnivel promedio, se obtuvo la cota del vértice 1CFI, resultando en 19.295m, referida al cero oficial.

Al comparar este valor con la cota previamente obtenida mediante nivelación trigonométrica con estación total, se aprecia una diferencia entre ambos resultados, indicada en la Tabla 5.24. Esta situación exige una selección fundamentada, dado que un mismo vértice no puede asignarse con más de una altura válida.

Tabla 5.24: Diferencias de cotas del punto 1CFI

Tipo de Nivelación	Cota (m)
Geométrica	19.295
Trigonométrica	19.298
Diferencia	0.003

En acuerdo con el grupo docente, se optó por adoptar la cota resultante de la nivelación geométrica, atendiendo a que dicho método presenta una superioridad ampliamente reconocida en términos de precisión y estabilidad, especialmente en levantamientos donde la exactitud altimétrica es crítica. La nivelación

geométrica ofrece resultados más confiables que la nivelación trigonométrica, cuya precisión depende de factores más variables como la distancia, el centrado y la medida angular.

Segundo Estacionamiento y Orientación

Otro beneficio que se obtiene al utilizar la base nivelante es que, sobre esta, se puede retirar y colocar diferentes instrumentos, tanto el miniprisma como la estación total, sin variar la ubicación del punto ni su verticalidad, omitiendo de gran manera el error de estacionamiento.

Concluida la primera etapa, se retiró cuidadosamente el miniprisma del trípode centrado en 1CFI, sin modificar la base nivelante. De esta forma, se pudo estacionar la estación total sobre el mismo punto, manteniendo inalterada su posición planimétrica, aunque fue necesario determinar una nueva altura de instrumento. Paralelamente, se retiró la estación del pilar 34FI, ubicando allí el mini prisma para la orientación del sistema de referencia.

De igual manera que el primer estacionamiento, se aplicó el método llamado “estación conocida con orientación a punto conocido”, esta vez el instrumento se verticaliza sobre el vértice 1CFI calculado y cota de nivelación geométrica, cuya altura de instrumento fue 1.438m, y se orienta mediante la visual hacia 34FI con coordenadas conocidas, cuya altura de bastón fue 0.557m, las coordenadas de los vértices utilizados en esta acción se observan en la [Tabla 5.25](#).

Tabla 5.25: Coordenadas utilizadas en el segundo estacionamiento.

Nombre	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
34FI	1000.000	5000.000	20.711
1CFI	1099.785	5062.890	19.295

Con el sistema de referencia establecido, se procede a realizar la misma cantidad de observaciones para el vértice IAFI, representando la [Tabla 5.26](#) las observaciones obtenidas para esta etapa.

Tabla 5.26: Coordenadas observadas de IAFI

Punto	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Código
209	1077.852	5046.612	29.607	IA
210	1077.853	5046.611	29.608	IA
211	1077.852	5046.612	29.607	IA
212	1077.852	5046.610	29.608	IA
213	1077.853	5046.612	29.607	IA
214	1077.852	5046.610	29.608	IA
215	1077.852	5046.611	29.607	IA
216	1077.852	5046.610	29.608	IA

Al igual que la anterior determinación, se obtienen varias observaciones de un mismo vértice, por lo que es necesario realizar un ajuste. Asimismo, se considera que todas las observaciones tienen el mismo peso, basándose éste en el promedio y la desviación estándar, tal como se muestra en la Tabla 5.27. Con esto, se logra la vinculación de la Red MaRGIA con RInIA.

Tabla 5.27: Coordenadas de IAFI

Punto	Valor	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
IAFI	Promedio	1077.852	5046.611	29.607
IAFI	Desv.Est.	0.000	0.001	0.001

Tercer Estacionamiento y Orientación

La determinación de las coordenadas del vértice IAFI permite enlazar la red interna del Instituto de Agrimensura RInIA con la red externa MaRGIA, cumpliendo el objetivo principal del trabajo.

El siguiente paso consiste en asignar coordenadas dentro del sistema MaRGIA(D) a todos los vértices ubicados en el corredor del Instituto de Agrimensura, los cuales conforman su red interna.

De este modo, cada vértice contará con coordenadas internas, determinadas topográficamente desde IAFI, y coordenadas externas, referidas al sistema MaRGIA(D).

Esto permitirá una conexión coherente y precisa entre ambas redes, favoreciendo el control, la comparación y la trazabilidad de futuros trabajos topográficos y geodésicos en el área.

Para esta etapa se aplicó la misma metodología de estacionamiento y orientación utilizada en los procedimientos previos, garantizando así la coherencia operativa. El vértice empleado como punto base fue el Pilar IA, cuyas coordenadas ya se encontraban calculadas y ajustadas mediante los procesos anteriores, asegurando la posición planimétrica y altimétrica. En este punto se instaló la estación total, con una altura de instrumento de 0.418m medida al tope del pilar. Para la orientación del instrumento, se utilizó el vértice 1CFI, cuya cota y posición fueron obtenidas con precisión en la etapa anterior, donde se colocó un miniprisma montado sobre un bastón con una altura de 0.100m.

Determinación de Puntos RInIA

Tal como se mencionó previamente, la Red Interna del Instituto de Agrimensura (RInIA) está constituida por diversos puntos materializados en el entorno inmediato del edificio, indicados en la Figura 5.27, diseñados específicamente para servir como apoyo en las actividades académicas y prácticas profesionales que allí se desarrollan. Dentro de esta red se distinguen diferentes tipos de materializaciones, tales como dianas, reperes y un vértice destinado

a la orientación azimutal, cada uno cumpliendo funciones particulares en los trabajos de campo y en los ejercicios de precisión realizados por estudiantes y docentes.

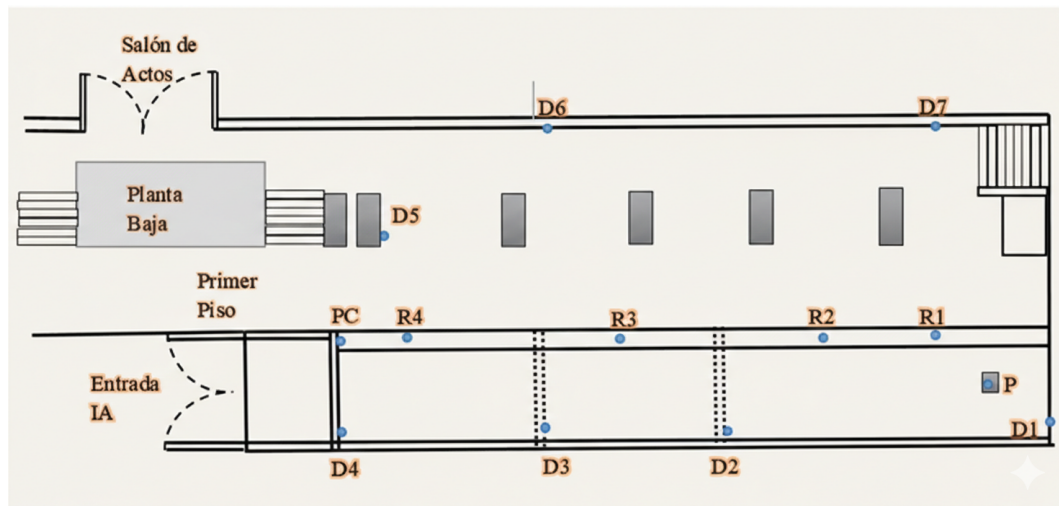


Figura 5.27: Croquis de RInIA

Siguiendo la metodología establecida, se procedió al relevamiento de todos los puntos indicados en la figura de referencia. Cada uno de ellos fue observado mediante cuatro mediciones independientes, procurando mantener la estabilidad instrumental. Esto permite reducir la influencia de errores aleatorios y mejorar la confiabilidad de los resultados.

Se calcularon los promedios y las desviaciones estándar correspondientes, obteniendo así un conjunto de coordenadas con calidad métrica adecuada para su utilización en el sistema de referencia de la proyección MaRGIA(D).

Las coordenadas ajustadas de los vértices ya calculados, observaciones, promedios y desviaciones de los puntos nombrados se representan en las siguientes tablas.

Con la determinación precisa de estas posiciones, se logra uno de los objetivos fundamentales del trabajo final, establecer un enlace confiable entre la Red MaRGIA y la RInIA. Este vínculo garantiza la coherencia geométrica entre ambas redes y permite que los trabajos futuros desarrollados en el Instituto se integren correctamente al nuevo marco de referencia propuesto.

Tabla 5.28: Coordenadas medidas de D1

Diana D1			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2000	1076.953	5043.979	30.825
Pto 2001	1076.953	5043.978	30.826
Pto 2002	1076.953	5043.980	30.825
Pto 2003	1076.952	5043.980	30.826
Promedio	1076.953	5043.979	30.826
Desv.Est.	0.000	0.001	0.001

Tabla 5.29: Coordenadas medidas de D2

Diana D2			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2004	1076.121	5056.019	31.226
Pto 2005	1076.122	5056.017	31.226
Pto 2006	1076.121	5056.019	31.226
Pto 2007	1076.122	5056.018	31.226
Promedio	1076.122	5056.018	31.226
Desv.Est.	0.001	0.001	0.000

Tabla 5.30: Coordenadas medidas de D3

Diana D3			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2008	1076.062	5063.425	31.234
Pto 2009	1076.062	5063.425	31.234
Pto 2010	1076.062	5063.425	31.234
Pto 2011	1076.062	5063.424	31.234
Promedio	1076.062	5063.425	31.234
Desv.Est.	0.000	0.001	0.000

Tabla 5.31: Coordenadas medidas de D4

Diana D4			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2012	1074.769	5085.564	31.230
Pto 2013	1074.769	5085.565	31.230
Pto 2014	1074.769	5085.567	31.230
Pto 2015	1074.769	5085.566	31.230
Promedio	1074.769	5085.566	31.230
Desv.Est.	0.000	0.001	0.000

Tabla 5.32: Coordenadas medidas de D5

Diana D5			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2016	1082.748	5085.790	27.067
Pto 2017	1082.749	5085.793	27.067
Pto 2018	1082.749	5085.793	27.067
Pto 2019	1082.749	5085.790	27.067
Promedio	1082.749	5085.792	27.067
Desv.Est.	0.000	0.002	0.000

Tabla 5.33: Coordenadas medidas de D6

Diana D6			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2020	1088.062	5066.873	27.428
Pto 2021	1088.062	5066.876	27.428
Pto 2022	1088.062	5066.876	27.428
Pto 2023	1088.062	5066.876	27.428
Pto 2024	1088.062	5066.876	27.428
Promedio	1088.062	5066.876	27.428
Desv.Est.	0.000	0.000	0.000

Tabla 5.34: Coordenadas medidas de D7

Diana D7			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2027	1089.200	5045.451	28.634
Pto 2028	1089.203	5045.451	28.634
Pto 2029	1089.201	5045.451	28.634
Pto 2030	1089.201	5045.451	28.634
Promedio	1089.201	5045.451	28.634
Desv.Est.	0.001	0.000	0.000

Tabla 5.35: Coordenadas medidas de R1

Repere R1			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2035	1078.750	5049.089	29.441
Pto 2036	1078.750	5049.090	29.441
Pto 2037	1078.750	5049.090	29.440
Pto 2038	1078.750	5049.088	29.441
Pto 2039	1078.749	5049.089	29.440
Promedio	1078.750	5049.089	29.440
Desv.Est.	0.000	0.001	0.001

Tabla 5.36: Coordenadas medidas de R2

Repere R2			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2040	1078.426	5055.173	29.436
Pto 2041	1078.428	5055.174	29.436
Pto 2042	1078.426	5055.173	29.436
Pto 2043	1078.428	5055.173	29.436
Promedio	1078.427	5055.173	29.436
Desv.Est.	0.001	0.001	0.000

Tabla 5.37: Coordenadas medidas de R3

Repere R3			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2044	1077.526	5072.241	29.430
Pto 2045	1077.526	5072.240	29.428
Pto 2046	1077.526	5072.240	29.430
Pto 2047	1077.526	5072.240	29.428
Promedio	1077.526	5072.240	29.429
Desv.Est.	0.000	0.001	0.001

Tabla 5.38: Coordenadas medidas de R4

Repere R4			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2048	1076.827	5085.161	29.430
Pto 2049	1076.827	5085.162	29.428
Pto 2050	1076.828	5085.162	29.430
Pto 2051	1076.827	5085.161	29.428
Pto 2052	1076.827	5085.162	29.430
Promedio	1076.827	5085.162	29.429
Desv.Est.	0.000	0.001	0.001

Tabla 5.39: Coordenadas medidas de PC

Azimut 0			
Código	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)
Pto 2031	1076.316	5085.977	30.622
Pto 2031	1076.316	5085.975	30.622
Pto 2031	1076.316	5085.977	30.622
Pto 2031	1076.316	5085.975	30.622
Promedio	1076.316	5085.976	30.622
Desv.Est.	0.000	0.001	0.000

5.5. Altimetría Red MaRGIA(D)

En cuanto al relevamiento altimétrico de los vértices B objetos de la densificación, se optó por realizar una nivelación geométrica cerrada, mediante el método del punto medio, cada tramo siendo verificado por doble plano colimador, con una tolerancia establecida para cada tramo de nivelación de 1 mm. El caminamiento optado se representa en la Figura 5.28, el mismo consistió en partir del vértice 34FI para luego pasar por 2BFI, 1-0101-A (vértice implantado por el SGM ubicado en el Club de Pesca), 1BFI, 4BFI, 3BFI, y volver al inicio cerrando una malla.

Para tener mayor redundancia y con ella, un respaldo para el análisis, se decidió adicionalmente realizar dos tramos adicionales, siendo los mismos SGM-4BFI, y 3BFI-2BFI. De ésta forma se podría detectar y corregir cualquier error habido en la nivelación.



Figura 5.28: Vértices involucrados en la nivelación.

El equipo elegido para realizar la nivelación geométrica es el nivel Leica Sprinter 150m, cuyas especificaciones están nombradas en el anexo, donde ofrece una precisión beneficiosa, permitiendo mejorar la calidad del trabajo.

Una consideración que se tomó fue que el circuito incluyera el punto 1-0101-A de la Nivelación Geométrica del Departamento de Montevideo de 1958, para tener un punto intermedio entre 2BFI y 1BFI, de modo que si fuera necesario volver a realizar parte de la nivelación, se tuvieran tramos más cortos y más sencillos de repetir.

Los puntos 4BFI y 5BFI quedaron sin altura dejándose dicha tarea a algún trabajo futuro que se encargue de agregar otros puntos al este de Boulevard Artigas a MaRGIA(D).

Luego de obtenidos los datos, se ajustarían primero analizando su calidad.

5.5.1. Preanálisis

Debido a que se planeó realizar una nivelación geométrica, usando el método del punto medio, tenemos que para cada tramo:

$$\Delta H_{AB} = l_{at} - l_{ad}$$

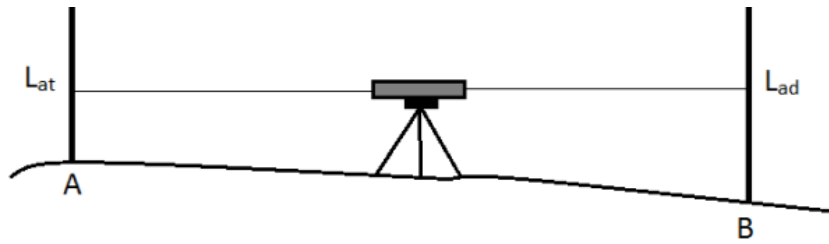


Figura 5.29: Nivelación Simple

Si partimos del caso en el que se estaciona el instrumento solo una vez, se puede deducir lo siguiente mediante la regla de propagación de errores.

$$\sigma_{\Delta H_{AB}}^2 = \left(\frac{\delta \Delta H_{AB}}{\delta L_{at}} \right)^2 \times \sigma_{L_{at}}^2 + \left(\frac{\delta \Delta H_{AB}}{\delta L_{ad}} \right)^2 \times \sigma_{L_{ad}}^2$$

Donde:

$\sigma_{\Delta H_{AB}}$ = Incertidumbre en el desnivel entre A y B.

$\sigma_{L_{at}}$ = Incertidumbre en la lectura de mira atrás.

$\sigma_{L_{ad}}$ = Incertidumbre en la lectura de mira adelante.

d_i = distancia entre los puntos $(i + 1, i - 1)$ del límite natural.

Dado que el equialtímetro se encuentra en el punto medio entre ambas miras, se puede considerar, sin perder generalidad, que:

$$\sigma_{L_{at}} = \sigma_{L_{ad}} = \sigma_L$$

$$\sigma_{\Delta H_{AB}}^2 = 2\sigma_L^2$$

$$\sigma_{\Delta H_{AB}} = \sqrt{2}\sigma_L \quad (1)$$

Ahora, para pasar a una nivelación doble simultánea, se estaciona el equialtímetro dos veces, y luego se toma el promedio de los desniveles, por lo cual se tiene

que:

$$\Delta H_{AB} = \frac{\Delta H_{AB}^1 + \Delta H_{AB}^2}{2}$$

Por lo cual, aplicando la regla de propagación de errores, se tiene que:

$$\sigma_{\Delta H_{AB}}^2 = \left(\frac{\delta \Delta H_{AB}}{\delta \Delta H_{AB}^1} \right)^2 \times \sigma_{\Delta H_{AB}^1}^2 + \left(\frac{\delta \Delta H_{AB}}{\delta \Delta H_{AB}^2} \right)^2 \times \sigma_{\Delta H_{AB}^2}^2$$

Como las dos medidas del desnivel fueron realizadas bajo las mismas condiciones, se puede considerar sin perder generalidad, que:

$$\sigma_{\Delta H_{AB}^1} = \sigma_{\Delta H_{AB}^2} = \sqrt{2}\sigma_L$$

Por lo tanto, se tiene que:

$$\sigma_{\Delta H_{AB}}^2 = \left(\frac{1}{2} \right)^2 \times (\sqrt{2})^2 \times \sigma_L^2 + \left(\frac{1}{2} \right)^2 \times (\sqrt{2})^2 \times \sigma_L^2$$

$$\sigma_{\Delta H_{AB}}^2 = 2 \times \left(\frac{1}{4} \right) \times 2 \times \sigma_L^2$$

$$\sigma_{\Delta H_{AB}}^2 = \sigma_L^2$$

$$\sigma_{\Delta H_{AB}} = \sigma_L \quad (2)$$

Esto es solo para un tramo; para generalizar al caso de una nivelación compuesta se definen:

n = número de tramos

k = distancia total

D = distancia entre miras.

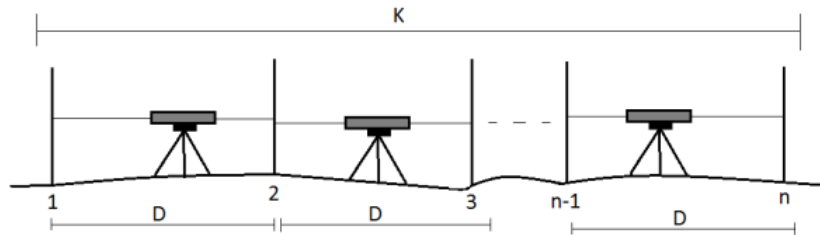


Figura 5.30: Nivelación Compuesta

Para estas magnitudes definidas se cumple que:

$$n = \frac{K}{D}$$

Como estamos trabajando sobre una nivelación compuesta, la diferencia de nivel entre el punto inicial y el final es:

$$\Delta H = \Delta H_{12} + \Delta H_{23} + \cdots + \Delta H_{(n-1)n}$$

Por lo tanto, si se estaciona el instrumento solo una vez, se tiene que:

$$\sigma_{\Delta H}^2 = n\sigma_{\Delta H_i}^2 \quad (3)$$

Y usando las ecuaciones (2) y (3) se llega a que para una nivelación doble simultanea se tiene que:

$$\sigma_{\Delta H} = \sqrt{n}\sigma_L$$

En el caso de éste trabajo, la nivelación a realizar consistía en un circuito cerrado de aproximadamente 2km de recorrido, por lo cual, considerando una distancia entre miras de 60m y una precisión de instrumento de 0.6mm, se obtuvo que:

$$\begin{aligned}\sigma_{\Delta H} &= \sqrt{\frac{2000}{60}} \times 0.0006 \\ \sigma_{\Delta H} &= 0.0035m\end{aligned}$$

5.5.2. Preanálisis Altimétrico Calculado en Starnet

Previo a la ejecución de la nivelación geométrica entre los puntos de densificación de la Red MaRGIA, se realizó un preanálisis, como se mostró anteriormente, con el objetivo de evaluar el comportamiento esperado de la red y estimar las precisiones alcanzables antes de efectuar el trabajo de campo.

Además de los cálculos analógicos, el estudio también se llevó a cabo mediante el software *Starnet*, nombrado anteriormente en los apartados de redes geodésicas, en este caso, utilizando el modo de cálculo *Preanalysis* y el tipo de ajuste correspondiente a nivelación (*Leveling*). Para ello, se ingresaron las cotas aproximadas de los seis vértices involucrados, definiendo un punto fijo (34FI) y cinco puntos libres (1BFI, 2BFI, 3BFI, 4BFI y SGM). Asimismo, se introdujeron las distancias aproximadas entre estaciones y las diferencias de nivel previstas, configurando un error estándar instrumental para nivelación diferencial de 0,0015 m/km, tal como muestra el manual del nivel topográfico a utilizar, el Leica Sprinter 150M.

Es de destacar, que la nivelación geométrica será cerrada entre los vértices nombrados, siguiendo un caminamiento antihorario, tal como lo muestra la anterior Figura 5.28.

La finalidad de este procedimiento fue verificar que el diseño geométrico del circuito de nivelación y la distribución de distancias entre vértices permitieran obtener resultados compatibles con las exigencias de precisión requeridas para la densificación. De esta manera, el preanálisis funciona como una instancia de control previo, permitiendo anticipar la propagación de errores y validar la configuración adoptada.

El programa efectuó una simulación del ajuste, propagando los errores en función de la geometría de la red y de las longitudes de los tramos. Como resultado, se obtuvieron las desviaciones estándar esperadas para cada vértice indicadas en la Tabla 5.40.

A un nivel de confianza del 95 %, los errores máximos esperados en las cotas se sitúan aproximadamente entre $\pm 0,00325$ m y $\pm 0,00362$ m para los vértices tomados como libres.

En función de estos resultados, puede concluirse que la configuración adoptada para la nivelación presenta un comportamiento adecuado, con errores esperados del orden milimétrico, lo cual resulta coherente con las tolerancias habituales en trabajos de densificación altimétrica.

Tabla 5.40: Elevaciones ajustadas y propagación de errores.

<i>Station</i>	<i>Elev (m)</i>	<i>StdDev (m)</i>	<i>95 % (m)</i>
34FI	19.3290	0.001500	0.002940
1BFI	2.1690	0.001847	0.003619
2BFI	4.7484	0.001659	0.003252
3BFI	4.6320	0.001758	0.003446
4BFI	5.2614	0.001819	0.003564
SGM	4.5879	0.001769	0.003466

5.5.3. Primera Campaña de Nivelación y Análisis

La primera campaña de nivelación se llevó a cabo el día 24 de enero de 2026, siguiendo el itinerario definido en el preanálisis. El recorrido se inició en el punto 34FI, cuya cota es conocida y que constituye la referencia altimétrica de la red en estudio. A partir de allí, se avanzó sucesivamente por los vértices iBFI y el punto SGM, para finalmente retornar al punto inicial, conformando un circuito cerrado de nivelación.

La campaña tuvo una duración aproximada de seis horas, durante las cuales se realizaron un total de 45 cambios de estación (tramos de nivelación). En cada uno de ellos se efectuaron lecturas con doble plano colimador, conforme a lo establecido en la planificación previa, con el fin de garantizar la mayor rigurosidad y control en las observaciones.

Finalizado el trabajo de campo, se procedió a la elaboración del correspondiente documento de cálculo, el cual permite analizar los desniveles obtenidos en cada tramo y determinar las cotas de los vértices relevantes. Los resultados derivados de dicho procesamiento se presentan en la Tabla 5.44.

Del análisis de los resultados se desprende que la nivelación no satisface la tolerancia establecida en el preanálisis, registrándose un error de cierre que aproximadamente triplica el valor teórico admitido.

Tabla 5.41: Resultados de la primera campaña de nivelación.

Desde	Hacia	Desnivel	Distancia
34FI	2BFI	-14,5823	255,2749
2BFI	SGM	-0,1624	266,7063
SGM	1BFI	-2,4226	553,8038
1BFI	4BFI	3,0906	268,1159
4BFI	3BFI	-0,6311	232,6484
3BFI	34FI	4,6957	489,6887
Totales		-0.0119	2066.2379

A partir de estos resultados, se infiere la posible existencia de errores prácticos durante la ejecución de la campaña. En consecuencia, se consideró necesario implementar una estrategia que permitiera identificar el origen del desajuste sin repetir la totalidad del circuito, focalizando el análisis en los tramos po-

tencialmente problemáticos.

Con este propósito, se planificó una segunda instancia de nivelación orientada a determinar los desniveles correspondientes a dos nuevos tramos: 3BFI–2BFI y 4BFI–SGM. La incorporación de estos vínculos adicionales permitió generar circuitos (o mallas) de menor desarrollo lineal, tal como se muestra en la Figura 5.31. Cada uno de estos subcircuitos debe satisfacer la tolerancia interna correspondiente, posibilitando así el control individual de los tramos y la detección de inconsistencias específicas.

Este procedimiento, sugerido por el equipo docente, constituye una metodología eficaz para la verificación de nivelaciones que presentan errores de cierre significativos, ya que permite aislar sectores de la red y repetir únicamente aquellos tramos donde se detecten discrepancias.



Figura 5.31: Planificación de segunda campaña de nivelación.

5.5.4. Segunda Campaña de Nivelación y Análisis

La segunda campaña de nivelación se llevó a cabo el día 22 de febrero de 2026, con el objetivo específico de determinar nuevamente los desniveles entre los vértices involucrado y, a partir de ello, identificar los tramos que pudieran estar afectando el cierre de la red observado en la primera campaña. Dado que los puntos se encuentran a distancias relativamente cortas entre sí, la ejecución de esta instancia demandó un tiempo reducido en comparación con la campaña inicial.

Una vez calculados y exportados los datos obtenidos en campo, cuyos resultados se presentan en la Tabla 5.42, se procedió al análisis de las distintas mallas que se generan al incorporar los nuevos tramos medidos.

- Malla general: 34FI – 2BFI – SGM – 1BFI – 4BFI – 3BFI
- Malla 1: 34FI – 2BFI – 3BFI
- Malla 2: 2BFI – SGM – 4BFI – 3BFI
- Malla 3: SGM – 1BFI – 4BFI

Tabla 5.42: Resultados de la segunda campaña de nivelación.

Desde	Hacia	Desnivel	Distancia
2BFI	3BFI	-0.1153	359.4608
4BFI	SGM	-0,6763	307.1718

El análisis individual de cada circuito permitió evaluar el comportamiento interno de la red y contrastar los errores de cierre con sus respectivas tolerancias admisibles.

A partir de los resultados obtenidos, se verifica que tanto la Malla 1 (Tabla 5.43) como la Malla 2 (Tabla 5.44) cumplen satisfactoriamente con las tolerancias establecidas. No obstante, la Malla 3 (Tabla 5.45) presenta un error de cierre considerablemente superior al valor tolerado, evidenciando la presencia de inconsistencias en alguno de los tramos que la componen.

Dado que el tramo 4BFI–SGM también forma parte de la Malla 2, la cual no presentó inconvenientes, se infiere que dicho segmento no constituye la fuente del error. En consecuencia, el análisis conduce a focalizar la atención en los tramos SGM–1BFI y 1BFI–4BFI como posibles responsables de la discrepancia detectada.

Tabla 5.43: Resultados de la Malla 1.

Desde	Hasta	Desniveles	Distancia
34FI	2BFI	-14,5823	255,2749
2BFI	3BFI	-0,1153	359,4608
3BFI	34FI	14,6957	489,6887
Total		-0,0019	1104,4244
Tolerancia		0,0026	

Tabla 5.44: Resultados de la Malla 2.

Desde	Hasta	Desniveles	Distancia
2BFI	SGM	-0,1624	266,7063
SGM	4BFI	0,6763	307,1718
4BFI	3BFI	-0,6311	232,6484
3BFI	2BFI	0,1153	359,4608
Total		-0,0018	1165,9873
Tolerancia		0,0026	

Tabla 5.45: Resultados de la Malla 3.

Desde	Hasta	Desniveles	Distancia
SGM	1BFI	-2,4226	553,8038
1BFI	4BFI	3,0906	268,1159
4BFI	SGM	-0,6763	307,1718
Total		-0,0082	1129,0914
Tolerancia		0,0026	

Identificados los tramos potencialmente problemáticos, se procedió a su reobservación mediante una nueva nivelación geométrica, correspondiente a los segmentos SGM–1BFI y 1BFI–4BFI. Los resultados obtenidos, presentados en la Tabla 5.46, evidencian variaciones respecto a los valores previamente registrados, confirmando la existencia de errores prácticos en la medición inicial.

Con los nuevos desniveles incorporados, se recalculó la Malla 3 (Tabla 5.47), observándose que el error de cierre pasa a situarse dentro de la tolerancia admitida. De igual manera, la malla general corregida (Tabla 5.48) cumple con el límite establecido por la tolerancia.

En virtud de estos resultados, se concluye que la metodología adoptada para la detección y verificación de errores fue efectiva, permitiendo identificar los tramos afectados sin necesidad de repetir la totalidad de la campaña. De esta forma, la red queda en condiciones de ser sometida al correspondiente ajuste alimétrico definitivo.

Tabla 5.46: Resultados de la nivelación de tramos problemáticos.

Desde	Hacia	Desnivel	Distancia
2BFI	3BFI	-0.1153	359.4608
4BFI	SGM	-0,6763	307.1718

Tabla 5.47: Resultados de la malla 3 con correcciones.

Desde	Hasta	Desniveles	Distancia
SGM	1BFI	-2,4108	580.121
1BFI	4BFI	3,0886	318,4570
4BFI	SGM	-0,6763	307,1718
Total		0,0015	1205.7498
Tolerancia		0,0027	

Tabla 5.48: Resultados de la malla general con correcciones.

Desde	Hasta	Desniveles	Distancia
34FI	2BFI	-14,5823	255,2749
2BFI	SGM	-0,1624	266,7063
SGM	1BFI	-2,4108	580,1210
1BFI	4BFI	3,0886	318,4570
4BFI	3BFI	-0,6311	232,6484
3BFI	34FI	14,6957	489,6887
Total		-0,0022	2142,8963
Tolerancia		0,0039	

5.5.5. Procesamiento y Ajuste de Altimetría de la Red MaRGIA(D)

Concluidas las instancias de nivelación y verificado que los errores de cierre de las distintas mallas se encuentran dentro de las tolerancias previamente establecidas en el preanálisis, se procede a la etapa final de procesamiento y ajuste de la red altimétrica. Esta etapa resulta fundamental, ya que permite distribuir de manera óptima los pequeños errores remanentes conforme a criterios estadísticos rigurosos, garantizando coherencia interna y consistencia global en las alturas determinadas.

El ajuste se realizó mediante el software *STAR*NET*, empleando el método de mínimos cuadrados, el cual posibilita obtener las cotas más probables de los vértices junto con sus respectivas precisiones asociadas. De esta manera, no solo se determinan las alturas finales de los puntos, sino también sus desviaciones estándar y sus intervalos de confianza al 95 %, lo que proporciona un respaldo cuantitativo a la calidad de los resultados obtenidos.

Con las nivelaciones realizadas, y con los errores de cierres de mallas acordes a las tolerancias establecidas, se procedió a ajustar los valores de las alturas, de lo cual se obtuvo las cotas de los vértices correspondientes a la densificación de la Red MaRGIA, representadas en la Tabla 5.49.

Tabla 5.49: Resultados del procesamiento y ajuste de altimetría de la Red MaRGIA(D).

<i>Station</i>	<i>Elev</i>	<i>StdDev</i>	<i>95 %</i>
34FI	19.3290	0.001500	0.002940
1BFI	2.1743	0.001843	0.003611
2BFI	4.7473	0.001636	0.003206
3BFI	4.6321	0.001675	0.003282
4BFI	5.2627	0.001741	0.003412
SGM	4.5855	0.001734	0.003399

Capítulo 6

Resultados y Conclusiones

6.1. Resumen Ejecutivo

A continuación se encuentra un listado de las actividades realizadas a lo largo de éste trabajo.

1. Se participó en la densificación de la red geodésica de Montevideo, midiendo los puntos 31FI, 32FI y 33FI, los cuales luego de ser procesados por el equipo docente del Instituto de Agrimensura en apoyo con el Servicio Geográfico Militar y la Intendencia de Montevideo, pasaron a formar parte de la Red Zero de MaRGIA.
2. Se incorporó RInIA a MaRGIA(D), unificando el marco utilizado por el Instituto de Agrimensura para los trabajos asignados al alumnado en las distintas unidades curriculares, así como para investigación.
3. Se planificó y realizó la densificación de MaRGIA, desde su diseño inicial y la monumentación de los puntos B, hasta la medición y ajuste de sus coordenadas, tanto en planimetría, con la utilización de GNSS, así como en altimetría, mediante la utilización de equialtímetros.
4. Se analizaron las condiciones propicias para la realización de este tipo de densificaciones, así como los resultados esperados.

6.2. Comentarios Finales

En respuesta a los objetivos planteados al comienzo del trabajo, se considera que éste fue exitoso, ya que se logró ampliar la Red Zero MaRGIA con vértices que mejoran su configuración, y densificar la red MaRGIA mediante la medición de nuevos vértices y la incorporación de RInIA a la misma, llevando todo a un mismo sistema de coordenadas y generando la Red Geodésica del Instituto de Agrimensura, para su utilización en distintos trabajos y futuras investigaciones.

Desde el punto de vista geodésico, los resultados obtenidos permiten verificar que la metodología adoptada para el diseño, observación y cálculo de la Red resultó adecuada, alcanzándose precisiones milimétricas en planimetría y altimetría compatibles con las previsiones realizadas durante los preanálisis. Esto confirma la validez de los criterios geométricos y topológicos adoptados en cada etapa.

Red Zero MaRGIA 2025

La Red Zero fue la base para el desarrollo del trabajo, por lo cual su ampliación fue de vital importancia, estableciendo un marco que sirve para futuros trabajos y permitiendo, en caso de ser deseado, el intercambio de datos entre la Facultad de Ingeniería y el Instituto Geográfico Militar o la Intendencia de Montevideo.

Densificación de MaRGIA (Vértices *iBFI*)

La densificación de MaRGIA fue una situación pionera para el Instituto de Agrimensura y el departamento de Geodesia, estableciendo un ejemplo de cómo realizar este tipo de trabajos, así como una expectativa de las precisiones a obtener. Con la densificación se obtuvo una cobertura mayor para MaRGIA(D), con lo cual las investigaciones y trabajos académicos que se pueden realizar se ven ampliamente beneficiados, ya que a partir de lo conseguido, cuentan con un área extensa donde poder consultar con vértices fijos bien definidos, con monografías claras y de fácil acceso.

Densificación de MaRGIA (Incorporación de RInIA)

La incorporación de RInIA a MaRGIA significó la unión de la serie de vértices que tenía el Instituto de Agrimensura tanto dentro como fuera de la facultad. si bien puede sonar como algo sencillo, esto implicó que a partir de éste trabajo, diferentes operaciones que abarque las instalaciones dentro y fuera de facultad, se ven ampliamente beneficiadas ya que se cuenta con todos los vértices en un sistema único, como por ejemplo, para un escaneo de la misma.

Futuro

Finalmente, la realización de este proyecto representó una instancia fundamental en nuestra formación, permitiendo integrar y aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, realizando verdaderos trabajos de ingeniería. El desarrollo de las distintas etapas del proyecto, desde el diseño y planificación de la red hasta las campañas de observación, procesamiento y ajuste de los datos, constituyó una experiencia enriquecedora que refleja el carácter aplicado de la Agrimensura.

Asimismo, lo realizado no sólo cumple con los objetivos académicos del presente trabajo, sino que también establece una base sólida para futuras ampliaciones o densificaciones, permitiendo la incorporación de nuevos vértices, campañas adicionales de observación y la integración con otras infraestructuras geodésicas, lo que contribuiría a mejorar aún más su robustez geométrica y precisión. En este sentido, el desarrollo realizado no debe considerarse como un resultado final cerrado, sino como un punto de partida para futuras investigaciones, prácticas académicas y proyectos que continúen fortaleciendo el marco de referencia geodésico del Instituto de Agrimensura.

Bibliografía

AGUILERA, María. Desarrollo de una Metodología de Cálculo de Redes Geodésicas Observadas Mediante GPS. Análisis de la Influencia de los Métodos de Cálculo en la Precisión. Córdoba, Argentina: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, 2003. 315 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10396/321>.

BERNÉ, José, ANAQUELA, Julian, GARRIDO, Natalia. GNSS: GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática. Valencia, España: Universitat Politècnica de Valencia, 2014. 437 p. ISBN: 6179-01-01-01.

CASANOVA, Leonardo. Topografía Plana. Mérida, Venezuela: Taller de Publicaciones de Ingeniería ULA, 2002. 283 p. ISBN: 980-11-0672-7.

HARVEY, B.R. Practical Least Squares and Statistics for Surveyors. Monograph 13. Wales: School of Geomatic Engineering. The University of New South Wales. 2006. 332 p. ISBN: 9780733423390.

IDE Chile. Geodesia en Chile, Teoría y Aplicación del sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). [Boletín Informativo]. Santiago de Chile: SNIT, 2018.

Lichten S. M. High Precision Applications of the Global Positioning System. Technology 2000. Washington, Estados Unidos: NASA, 1991- Volumen 2. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19910014760/downloads/19910014760.pdf>

MUSONDA, Charles. Methods of Combining Terrestrial and GPS Data in Horizontal Networks. Estocolmo, Suiza: Division of Geodesy Report No. 3054, 1997. 70 p. ISBN: 1400-3155.

RASTRERO, José. Metodología de Implantación y Mantenimiento de una Red Geodésica Local. Oviedo, España: Máster Universitario en Dirección de Proyectos, 2014. 125 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10651/27964>.

SEEBER, Günter. Satellite Geodesy: 2nd completely revised and extended edition. Hannover, Germany: Die Deutsche Bibliothek, 2003. 612 p. ISBN: 3-11-017549-5.

Anexo

Monografías de los Puntos BFI

ID: 34FI

COORDENADAS		
LATITUD	34° 55' 08,78346" S	
LONGITUD	56° 10' 02,99721" W	
X (m)	2915007,72257	
Y (m)	-4349047,89554	
Z (m)	-3630532,20828	
UTM ZONA 21 S	E	576042,690 m
	N	6135611,412 m
Sistema de referencia		IGS20 SIRGAS WEEK 2336 EPOCH: 2024-10-16 12:00:00
Determinación		GNSS
DEPARTAMENTO	LOCALIDAD/PARAJE	
Montevideo	Montevideo	
UBICACIÓN		
Facultad de Ingeniería.		
UBICACIÓN ESPECIFICA		
En explanada del Instituto de Agrimensura en Facultad de Ingeniería. Calle Julio María Sosa entre Av. Julio Herrera y Reissig y Av. Juan A. Cachón.		
REFERENCIA GRÁFICA		

ALTURAS	
ELIPSOIDAL	35,3837 m
Determinación:	GNSS
Vértice de referencia:	Rosca encima del pilar
Cero Oficial	19,329 m
Determinación:	Nivelación de alta precisión
Vértice de referencia:	Chapa en la cámara de la base
PROYECCIÓN LOCAL COORDENADAS	
Transversa Mercator con meridiano central en la longitud del vértice 34FI. Factor de escala en meridiano central = 1. Elipsoide de referencia: WGS84. Falso Este = 1000 Falso Norte = 5000	
E	1000,000 m
N	5000,000 m
FOTOGRAFÍA	
OBSERVACIONES	
La altura elipsoidal se midió a la cabeza del repere.	

ID: OAZFI

COORDENADAS		
LATITUD	34° 55' 05,76056" S	
LONGITUD	56° 10' 00,34074" W	
X (m)	2915109,70276	
Y (m)	-4349078,93507	
Z (m)	-3630476,23586	
UTM ZONA 21 S	E	576110,870 m
	N	6135703,972 m
Sistema de referencia	IGS20 SIRGAS WEEK 2336 EPOCH: 2024-10-16 12:00:00	
Determinación	GNSS	
DEPARTAMENTO	LOCALIDAD/PARAJE	
Montevideo	Montevideo	
UBICACIÓN		
Facultad de Ingeniería.		
UBICACIÓN ESPECIFICA		
En la azotea del casco central de Facultad de Ingeniería. Av. Julio Herrera y Reissig 565.		
REFERENCIA GRÁFICA		

ALTURAS	
ELIPSOIDAL	71,0433 m
Determinación:	GNSS
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
Cero Oficial	---
Determinación:	Nivelación de alta precisión
Vértice de referencia:	Cabeza de Rosca
PROYECCIÓN LOCAL COORDENADAS	
Transversa Mercator con meridiano central en la longitud del vértice 34FI. Factor de escala en meridiano central = 1. Elipsoide de referencia: WGS84. Falso Este = 1000 Falso Norte = 5000	
E	1068,179 m
N	5092,560 m
FOTOGRAFÍA	
OBSERVACIONES	
La altura elipsoidal se midió a la cabeza de la rosca	

ID: 1BFI

COORDENADAS		
LATITUD	34° 55' 30,71661" S	
LONGITUD	56° 10' 14,76928" W	
X (m)	2915009,70276	
Y (m)	-4349078,93507	
Z (m)	-3631075,77304	
UTM ZONA 21 S	E	575738,393 m
	N	6134938,236 m
Sistema de referencia	IGS20 SIRGAS WEEK 2336 EPOCH: 2024-10-16 12:00:00	
Determinación	GNSS	
DEPARTAMENTO	LOCALIDAD/PARAJE	
Montevideo	Montevideo	
UBICACIÓN		
Memorial al Holocausto del Pueblo Judío.		
UBICACIÓN ESPECIFICA		
En la escalinata para bajar al muelle, en las inmediaciones del Memorial al Holocausto del Pueblo Judío. Calle Rbla. Pdte. Wilson.		
REFERENCIA GRÁFICA		

ALTURAS	
ELIPSOIDAL	16,8151 m
Determinación:	GNSS
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
Cero Oficial	2,1743 m
Determinación:	Nivelación de alta precisión
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
PROYECCIÓN LOCAL COORDENADAS	
Transversa Mercator con meridiano central en la longitud del vértice 34FI. Factor de escala en meridiano central = 1. Elipsoide de referencia: WGS84. Falso Este = 1000 Falso Norte = 5000	
E	695,703 m
N	4326,824 m
FOTOGRAFÍA	
OBSERVACIONES	
La altura elipsoidal se midió a la cabeza del repere.	

ID: 2BFI

COORDENADAS		
LATITUD	34° 55' 06,86764" S	
LONGITUD	56° 10' 11,05046" W	
X (m)	2914849,44211	
Y (m)	-4349178,89627	
Z (m)	-3630474,65494	
UTM ZONA 21 S	E	575838,841 m
	N	6135672,126 m
Sistema de referencia		IGS20 SIRGAS WEEK 2336 EPOCH: 2024-10-16 12:00:00
Determinación		GNSS
DEPARTAMENTO		LOCALIDAD/PARAJE
Montevideo		Montevideo
UBICACIÓN		
Teatro de Verano.		
UBICACIÓN ESPECIFICA		
En la explanada del Teatro de Verano. Calle Julio María Sosa entre Rbla. Pdte. Wilson y Av. Juan A. Cachón.		
REFERENCIA GRÁFICA		

ALTURAS	
ELIPSOIDAL	19,4100 m
Determinación:	GNSS
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
Cero Oficial	4,7473 m
Determinación:	Nivelación de alta precisión
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
PROYECCIÓN LOCAL COORDENADAS	
Transversa Mercator con meridiano central en la longitud del vértice 34FI. Factor de escala en meridiano central = 1. Elipsoide de referencia: WGS84. Falso Este = 1000 Falso Norte = 5000	
E	796,150 m
N	5060,715 m
FOTOGRAFÍA	
OBSERVACIONES	
La altura elipsoidal se midió a la cabeza del repere.	

ID: 3BFI

COORDENADAS		
LATITUD	34° 55' 17,44111" S	
LONGITUD	56° 10' 09,30802" W	
X (m)	2914782,27825	
Y (m)	-4348999,24287	
Z (m)	-3630741,75019	
UTM ZONA 21 S	E	575880,349 m
	N	6135346,041 m
Sistema de referencia	IGS20 SIRGAS WEEK 2336 EPOCH: 2024-10-16 12:00:00	
Determinación	GNSS	
DEPARTAMENTO	LOCALIDAD/PARAJE	
Montevideo	Montevideo	
UBICACIÓN		
Lago Cachón.		
UBICACIÓN ESPECIFICA		
En el cordón próximo al Lago Cachón. Calle Av. Juan A. Cachón.		
REFERENCIA GRÁFICA		

ALTURAS	
ELIPSOIDAL	19,2776 m
Determinación:	GNSS
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
Cero Oficial	4,6321 m
Determinación:	Nivelación de alta precisión
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
PROYECCIÓN LOCAL COORDENADAS	
Transversa Mercator con meridiano central en la longitud del vértice 34FI. Factor de escala en meridiano central = 1. Elipsoide de referencia: WGS84. Falso Este = 1000 Falso Norte = 5000	
E	837,659 m
N	4734,630 m
FOTOGRAFÍA	
OBSERVACIONES	
La altura elipsoidal se midió a la cabeza del repere.	

ID: 4BFI

COORDENADAS		
LATITUD	34° 55' 22,06528" S	
LONGITUD	56° 10' 14,80695" W	
X (m)	2914621,21008	
Y (m)	-4349009,61632	
Z (m)	-3630858,95560	
UTM ZONA 21 S	E	575739,646 m
	N	6135204,750 m
Sistema de referencia	IGS20 SIRGAS WEEK 2336 EPOCH: 2024-10-16 12:00:00	
Determinación	GNSS	
DEPARTAMENTO	LOCALIDAD/PARAJE	
Montevideo	Montevideo	
UBICACIÓN		
Monolito en homenaje a José Batlle y Ordóñez.		
UBICACIÓN ESPECIFICA		
En las proximidades del Monolito en homenaje a José Batlle y Ordóñez. Calle Rbla. Pdte. Wilson.		
REFERENCIA GRÁFICA		

ALTURAS	
ELIPSOIDAL	19,9144 m
Determinación:	GNSS
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
Cero Oficial	5,2627 m
Determinación:	Nivelación de alta precisión
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
PROYECCIÓN LOCAL COORDENADAS	
Transversa Mercator con meridiano central en la longitud del vértice 34FI. Factor de escala en meridiano central = 1. Elipsoide de referencia: WGS84. Falso Este = 1000 Falso Norte = 5000	
E	696,955 m
N	4593,338 m
FOTOGRAFÍA	
OBSERVACIONES	
La altura elipsoidal se midió a la cabeza del repere.	

ID: 5BFI

COORDENADAS		
LATITUD	34° 55' 13,26556" S	
LONGITUD	56° 09' 43,94020" W	
X (m)	2915367,43917	
Y (m)	-4348715,78170	
Z (m)	-3630647,89939	
UTM ZONA 21 S	E	576525,079 m
	N	6135469,305 m
Sistema de referencia	IGS20 SIRGAS WEEK 2336 EPOCH: 2024-10-16 12:00:00	
Determinación	GNSS	
DEPARTAMENTO	LOCALIDAD/PARAJE	
Montevideo	Montevideo	
UBICACIÓN		
Bv. Gral. Artigas.		
UBICACIÓN ESPECIFICA		
En cantero sobre Bv. Gral. Artigas. Calle Bv. Gral. Artigas entre Luis de la Torre y Benito Nardone.		
REFERENCIA GRÁFICA		

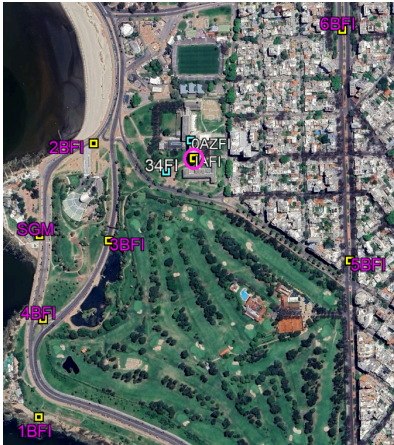
ALTURAS	
ELIPSOIDAL	39,6397 m
Determinación:	GNSS
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
Cero Oficial	---
Determinación:	Nivelación de alta precisión
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
PROYECCIÓN LOCAL COORDENADAS	
Transversa Mercator con meridiano central en la longitud del vértice 34FI. Factor de escala en meridiano central = 1. Elipsoide de referencia: WGS84. Falso Este = 1000 Falso Norte = 5000	
E	1482,388 m
N	4857,893 m
FOTOGRAFÍA	
OBSERVACIONES	
La altura elipsoidal se midió a la cabeza del repere.	

ID: 6BFI

COORDENADAS		
LATITUD	34° 54' 57,81478" S	
LONGITUD	56° 09' 45,49005" W	
X (m)	2915483,37611	
Y (m)	-4348959,36989	
Z (m)	-3630253,52844	
UTM ZONA 21 S	E	576489,736 m
	N	6135945,599 m
Sistema de referencia	IGS20 SIRGAS WEEK 2336 EPOCH: 2024-10-16 12:00:00	
Determinación	GNSS	
DEPARTAMENTO	LOCALIDAD/PARAJE	
Montevideo	Montevideo	
UBICACIÓN		
Bv. Gral. Artigas.		
UBICACIÓN ESPECIFICA		
En cantero sobre Bv. Gral. Artigas. Calle Bv. Gral. Artigas entre José H. Figueira y Av. Sarmiento.		
REFERENCIA GRÁFICA		

ALTURAS	
ELIPSOIDAL	32,7390 m
Determinación:	GNSS
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
Cero Oficial	---
Determinación:	Nivelación de alta precisión
Vértice de referencia:	Cabeza de Repere
PROYECCIÓN LOCAL COORDENADAS	
Transversa Mercator con meridiano central en la longitud del vértice 34FI. Factor de escala en meridiano central = 1. Elipsoide de referencia: WGS84. Falso Este = 1000 Falso Norte = 5000	
E	1447,045 m
N	5334,187 m
FOTOGRAFÍA	
OBSERVACIONES	
La altura elipsoidal se midió a la cabeza del repere.	

ID: IAFI

COORDENADAS		
LATITUD		
LONGITUD		
X (m)		
Y (m)		
Z (m)		
UTM ZONA 21 S	E	
	N	
Sistema de referencia		
Determinación		
DEPARTAMENTO	LOCALIDAD/PARAJE	
Montevideo	Montevideo	
UBICACIÓN		
Facultad de Ingeniería.		
UBICACIÓN ESPECIFICA		
En el pasillo del Instituto de Agrimensura en la Facultad de Ingeniería. Av. Julio Herrera y Reissig 565		
REFERENCIA GRÁFICA		
		

ALTURAS	
ELIPSOIDAL	
Determinación:	
Vértice de referencia:	
Cero Oficial	29,607 m
Determinación:	Nivelación geométrica
Vértice de referencia:	Cabeza de Rosca
PROYECCIÓN LOCAL COORDENADAS	
Transversa Mercator con meridiano central en la longitud del vértice 34FI. Factor de escala en meridiano central = 1. Elipsoide de referencia: WGS84. Falso Este = 1000 Falso Norte = 5000	
E	1077,852 m
N	5046,611 m
FOTOGRAFÍA	
 	
OBSERVACIONES	

Reporte del Ajuste de la Red Zero

Network Adjustment Report

Basic Information

Name	Value
Username	FabianPC
Project Datum	Custom
Project Name	2025
Distance Units	Meter
Height Units	Meter

1 Adjustment Settings

Basic Parameters

Name	Value
Ellipsoid Name	WGS84
Major Axis(m)	6378137.0000
Flattening Reciprocal(I/F)	298.25723563

Projection Parameters

Name	Value
Projection Method	UTM Projection
Projection Height	0.0000
Central Meridian(L0)	057°00'00.00000"W

2 Adjustment Statistics

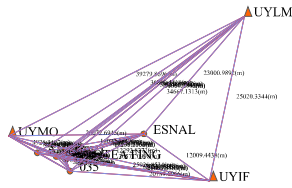
Statistical Summary

Name	Value
Network Reference Factor	22.2703671112677
Chi Square Test	Pass
Chi Square Value	132.98548
Range of Chi Square Test	100.72842 ~ 165.24254
Ratio of Unit Weight Standard Error	1.00755
Precision Confidence Level	2 sigma
Horizontal Accuracy(mm)	5.1
Vertical Accuracy(mm)	4.6
Check Result	Conformity

3 Control Point

Number Of Points 11
 Control Point Sum 04

Control Points



4 Local 3D Constraint Adjustment

Observation ID	Baseline ID	DX(m)	Std.DX(mm)	DY(m)	Std.DY(mm)	DZ(m)	Std.DZ(mm)
B112	UYMO~AZOTEA FING	5976.68877	0.8	6372.50757	1.1	-2675.23324	1.0
B122	UYMO~034	5874.71576	0.3	6403.53036	0.3	-2731.18317	0.2
B123	AZOTEA FING~034	-101.97669	0.2	31.01737	0.3	-55.96015	0.2
B273	UYMO~031	4874.08775	0.4	5457.68961	0.4	-2377.97492	0.5
B274	AZOTEA FING~031	-1102.60388	0.3	-914.81461	0.3	297.25911	0.4
B275	034~031	-1000.62641	0.2	-943.83406	0.2	353.21723	0.2
B288	UYMO~032	5576.13563	0.4	5916.29641	0.4	-2363.42671	0.6
B289	AZOTEA FING~032	-400.55792	0.3	-456.20506	0.3	311.80984	0.5
B290	034~032	-298.58289	0.3	-487.22099	0.3	367.77011	0.3
B295	031~032	702.04666	0.3	458.60933	0.2	14.55046	0.4
B328	UYMO~035	5894.11192	0.5	7620.43000	0.7	-4141.93920	0.8
B330	AZOTEA FING~035	-82.57424	0.7	1247.92059	0.9	-1466.70876	0.8
B331	034~035	19.40637	0.2	1216.89808	0.2	-1410.75738	0.2
B343	031~035	1020.02907	0.3	2162.73671	0.3	-1763.96920	0.4
B344	032~035	317.98342	0.3	1704.12729	0.3	-1778.51968	0.5
B362	UYMO~ESNAL	16758.74374	0.4	11037.36670	0.6	483.84903	0.6
B364	AZOTEA FING~ESNAL	10782.03264	0.8	4664.89368	1.0	3159.10907	0.7
B365	034~ESNAL	10884.03407	0.3	4633.84974	0.3	3215.05513	0.3
B377	031~ESNAL	11884.62929	0.6	579.72249	0.9	3861.86045	0.8
B378	032~ESNAL	11182.58078	0.6	5121.13538	1.0	2847.30886	1.0
B380	035~ESNAL	10864.63182	0.4	3416.93698	0.5	4623.78833	0.6
B387	UYMO~ANPI	2700.05812	0.4	3634.88122	0.4	-1940.66399	0.3
B389	AZOTEA FING~ANPI	-3276.66830	0.4	-2737.62801	0.5	734.56221	0.3
B395	035~ANPI	-2184.03023	0.4	-2085.53889	0.5	2201.27521	0.3
B396	ESNAL~ANPI	-14088.65555	0.6	-7402.52513	0.7	-2424.53727	0.5
B413	UYMO~UYLM	34639.72711	1.7	10929.72637	2.2	14951.20541	3.3
B415	AZOTEA FING~UYLM	28663.02116	0.9	4557.24430	1.1	17626.45675	0.7
B416	034~UYLM	28765.01980	0.4	4536.30347	0.3	17682.38276	0.3
B428	031~UYLM	29765.62156	0.5	5472.07889	0.8	17329.20326	0.7
B429	032~UYLM	29063.57241	0.7	5013.46633	1.1	17314.65519	1.1
B431	035~UYLM	28745.61906	0.4	3309.29147	0.6	19093.13929	0.7
B432	ESNAL~UYLM	17890.98743	0.4	-107.64673	0.5	14467.34954	0.5
B433	ANPI~UYLM	31939.64519	0.5	7294.87726	0.6	16891.89151	0.4
B450	UYMO~UYIF	22721.72830	1.7	19783.86100	1.3	-5187.87518	1.4
B452	AZOTEA FING~UYIF	16745.10575	1.0	13411.33552	1.0	-2512.67294	0.6
B453	034~UYIF	16847.03405	0.4	13380.31487	0.4	-2456.72495	0.5
B465	031~UYIF	17847.64440	1.4	14326.16993	1.9	-2809.91454	2.1
B466	032~UYIF	17148.51016	0.8	13887.57401	1.7	-2824.48725	1.4
B468	035~UYIF	16827.60816	0.9	12163.43319	1.1	-1045.93656	1.2
B469	ESNAL~UYIF	5962.98548	1.1	8746.48633	1.4	-5671.72997	1.5
B470	ANPI~UYIF	20021.65676	0.6	16149.01509	0.7	-3247.19889	0.4

B471		UYLM-UYIF		-11918.00892		1.4	8554.12442		1.6	-20139.08328		2.6
B488		UYMO-MTVJ		5404.01874		0.8	5661.01248		1.3	-2232.27988		1.6
B490		AZOTEA FING-MTVJ		-572.66972		0.5	-711.49576		0.6	442.95737		0.4
B491		034-MTVJ		-470.69003		0.4	-742.51961		0.4	498.51079		0.4
B503		031-MTVJ		529.93438		0.4	205.32246		0.4	145.69737		0.6
B504		032-MTVJ		-172.11201		0.4	-255.28722		0.4	131.14790		0.6
B506		035-MTVJ		-490.09367		0.5	-1959.41595		0.7	1909.66546		0.5
B507		ESNAL-MTVJ		-11354.72435		0.8	-5376.35628		0.9	-2716.12293		0.7
B508		ANP1-MTVJ		2703.94652		0.5	2036.12634		0.6	-291.61066		0.4
B509		UYLM-MTVJ		-29235.71191		1.7	-4268.71403		2.9	-17183.47508		3.5
B510		UYIF-MTVJ		-17317.71866		1.2	-14122.83988		1.7	2955.60767		2.2

4.2 Adjusted Baselines in WGS84
Style One:

Observation ID	Baseline ID	Observation	Residual	Horizontal Precision(Ratio)	3D Precision(Ratio)
B112	UYMO-AZOTEA FING	Azimuth 111.552336281	0.148865213	1:2118461	1:1364114
		Ellipsoid Height -87.0511	-0.0116		
		Ellipsoid Dist. 9137.0926	-0.0046		
B122	UYMO-034	Azimuth 112.05279766	0.001205333	1:2495213	1:1665656
		Ellipsoid Height -122.7066	-0.0094		
		Ellipsoid Dist. 9109.1578	-0.0057		
B123	AZOTEA FING-034	Azimuth 215.907610011	2.517916090	1:29524	1:21071
		Ellipsoid Height -35.6555	-0.0056		
		Ellipsoid Dist. 120.3854	-0.0009		
B273	UYMO-031	Azimuth 112.97044269	0.104319963	1:1887440	1:1213356
		Ellipsoid Height -137.3209	-0.0109		
		Ellipsoid Dist. 7894.0135	-0.0018		
B274	AZOTEA FING-031	Azimuth 282.933990662	0.082575851	1:340616	1:224899
		Ellipsoid Height -20.2697	0.0036		
		Ellipsoid Dist. 1463.2080	-0.0022		
B275	034-031	Azimuth 287.205640862	0.111195821	1:376878	1:258701
		Ellipsoid Height -14.6142	0.0063		
		Ellipsoid Dist. 1421.4841	-0.0083		
B288	UYMO-032	Azimuth 110.619637603	0.149667038	1:1864430	1:1259005
		Ellipsoid Height -137.6230	-0.0148		
		Ellipsoid Dist. 8466.5002	-0.0007		
B289	AZOTEA FING-032	Azimuth 300.450826985	1.021802165	1:150081	1:99010
		Ellipsoid Height -50.5839	0.0039		
		Ellipsoid Dist. 682.4891	-0.0027		
B290	034-032	Azimuth 310.150647341	0.671754730	1:166782	1:113744
		Ellipsoid Height -14.9284	0.0113		
		Ellipsoid Dist. 679.5514	-0.0006		
B295	031-032	Azimuth 88.805180284	0.352615288	1:199831	1:130699
		Ellipsoid Height -0.3141	-0.0083		
		Ellipsoid Dist. 838.6929	0.0012		
B328	UYMO-035	Azimuth 119.413537866	0.048363465	1:2486850	1:1606982
		Ellipsoid Height -134.8836	-0.0072		
		Ellipsoid Dist. 10486.5230	-0.0002		
B330	AZOTEA FING-035	Azimuth 161.035283651	0.657613730	1:422578	1:270889
		Ellipsoid Height -47.8325	-0.0087		
		Ellipsoid Dist. 1927.5303	0.0037		
B331	034-035	Azimuth 188.142682857	0.170662005	1:480369	1:330802
		Ellipsoid Height -12.1770	-0.0055		
		Ellipsoid Dist. 1863.1844	0.0004		
B343	031-035	Azimuth 136.347747135	0.101459485	1:609206	1:460454
		Ellipsoid Height 2.4372	-0.0038		
		Ellipsoid Dist. 2971.4440	0.0005		
B344	032-035	Azimuth 150.769234737	0.326448967	1:551125	1:361579
		Ellipsoid Height 2.7514	-0.0040		
		Ellipsoid Dist. 2483.6068	0.0004		
B362	UYMO-ESNAL	Azimuth 88.654758203	0.025336513	1:4100849	1:2576872
		Ellipsoid Height -138.6238	-0.0255		
		Ellipsoid Dist. 20972.6970	0.0025		
B364	AZOTEA FING-ESNAL	Azimuth 71.755319059	0.059638750	1:2311857	1:1479921
		Ellipsoid Height -51.5726	0.0344		
		Ellipsoid Dist. 12165.2576	0.0024		
B365	034-ESNAL	Azimuth 71.401094276	0.096523811	1:2651947	1:1724398
		Ellipsoid Height -15.9171	-0.0096		
		Ellipsoid Dist. 12258.5125	-0.0041		
B377	031-ESNAL	Azimuth 74.993966523	0.023295429	1:2659058	1:1680965
		Ellipsoid Height -4.3029	0.0494		
		Ellipsoid Dist. 13437.5569	-0.0010		
B378	032-ESNAL	Azimuth 74.080021609	0.002972424	1:2288158	1:1512384
		Ellipsoid Height -0.9888	0.0514		
		Ellipsoid Dist. 12624.7005	-0.0016		
B380	035-ESNAL	Azimuth 62.733687846	0.005042434	1:2448728	1:1571901
		Ellipsoid Height -3.7401	-0.0181		
		Ellipsoid Dist. 12292.8283	0.0011		
B387	UYMO-ANP1	Azimuth 120.010254025	0.298501614	1:936873	1:622036
		Ellipsoid Height -137.3040	0.0103		
		Ellipsoid Dist. 4926.3477	0.0050		
B389	AZOTEA FING-ANP1	Azimuth 281.44640874	0.291737000	1:780737	1:530218
		Ellipsoid Height -50.2529	0.0054		
		Ellipsoid Dist. 4332.4826	0.0063		
B395	035-ANP1	Azimuth 298.827892411	0.124148424	1:1005082	1:680676
		Ellipsoid Height -2.4204	0.0173		
		Ellipsoid Dist. 5561.6659	0.0084		
B396	ESNAL-ANP1	Azimuth 259.35497261	0.102104345	1:2639822	1:1743384
		Ellipsoid Height 1.3197	-0.0188		
		Ellipsoid Dist. 16072.3833	-0.0016		
B413	UYMO-UYLM	Azimuth 62.610029231	0.005384189	1:999999	1:999999
		Ellipsoid Height -104.2561	-0.0068		
		Ellipsoid Dist. 39279.8694	-0.0002		
B415	AZOTEA FING-UYLM	Azimuth 50.886961845	0.029614946	1:6683040	1:4092142
		Ellipsoid Height -17.2050	0.0393		
		Ellipsoid Dist. 33956.2831	-0.0011		
B416	034-UYLM	Azimuth 30.837406461	0.040483843	1:7652882	1:4714995
		Ellipsoid Height 18.4506	-0.0007		
		Ellipsoid Dist. 34067.2780	-0.0017		
B428	031-UYLM	Azimuth 52.790620477	0.001875380	1:7127853	1:4311187
		Ellipsoid Height 33.0648	0.0487		
		Ellipsoid Dist. 34874.5863	-0.0043		
B429	032-UYLM	Azimuth 51.959169371	0.007336980	1:6629817	1:4032812
		Ellipsoid Height 33.3789	0.0547		
		Ellipsoid Dist. 34189.7509	-0.0060		
B431	035-UYLM	Azimuth 47.891879597	0.006567966	1:7045155	1:4348346
		Ellipsoid Height 30.6276	-0.0078		
		Ellipsoid Dist. 34667.1288	-0.0025		
B432	ESNAL-UYLM	Azimuth 39.955045738	0.000821463	1:4320848	1:2655370
		Ellipsoid Height 34.3677	0.0086		
		Ellipsoid Dist. 23000.9863	-0.0029		
B433	ANP1-UYLM	Azimuth 56.121179494	0.019447226	1:6376500	1:4050579
		Ellipsoid Height 33.0880	0.0283		
		Ellipsoid Dist. 36860.4369	-0.0049		
B450	UYMO-UYIF	Azimuth 102.174217375	0.028413241	1:999999	1:999999
		Ellipsoid Height -102.1704	-0.0113		
		Ellipsoid Dist. 30571.1018	0.0020		
B452	AZOTEA FING-UYIF	Azimuth 98.252401295	0.117848822	1:4787010	1:2427825

			AEIipsoid Height	-15.1193	-0.0610									
			Ellipsoid Dist.	21600.3320	-0.0387									
B453	034~UYIF		Azimuth	97.983356418	0.148603871	1.5624169						1.2650900		
			AEIipsoid Height	20.5362	-0.0425									
			Ellipsoid Dist.	21653.8853	-0.0030									
B465	031~UYIF		Azimuth	98.55790267	0.081554007	1.5326197							1.2885972	
			AEIipsoid Height	35.1505	-0.0113									
			Ellipsoid Dist.	23058.0387	-0.0065									
B466	032~UYIF		Azimuth	98.91880248	0.644827441	1.4840213							1.2422377	
			AEIipsoid Height	35.4646	0.0254									
			Ellipsoid Dist.	22231.9205	0.0548									
B468	035~UYIF		Azimuth	93.520543309	0.059355692	1.4760432							1.2339587	
			AEIipsoid Height	32.7132	0.0008									
			Ellipsoid Dist.	20789.7038	0.0072									
B469	ESNAL~UYIF		Azimuth	125.048108191	0.067773759	1.2434514							1.1221285	
			AEIipsoid Height	36.4534	0.0051									
			Ellipsoid Dist.	12009.4462	0.0025									
B470	ANP1~UYIF		Azimuth	98.812418591	0.070808916	1.4884318							1.2711734	
			AEIipsoid Height	35.1336	0.0156									
			Ellipsoid Dist.	25926.8381	-0.0154									
B471	UYLM~UYIF		Azimuth	191.29255013	0.128097260	1.99999							1.99999	
			AEIipsoid Height	2.0857	-0.0083									
			Ellipsoid Dist.	25020.3258	-0.0085									
B488	UYMO~MTV1		Azimuth	110.17364594	0.153253915	1.99999							1.99999	
			AEIipsoid Height	-117.3579	-0.0126									
			Ellipsoid Dist.	8138.3961	-0.0039									
B490	AZOTEA FING~MTV1		Azimuth	300.764885090	0.376968997	1.25059							1.163599	
			AEIipsoid Height	-30.3068	0.0009									
			Ellipsoid Dist.	1015.0786	-0.0003									
B491	034~MTV1		Azimuth	307.270574021	0.570745459	1.303698							1.205202	
			AEIipsoid Height	5.3487	-0.0043									
			Ellipsoid Dist.	1010.8388	-0.0006									
B503	031~MTV1		Azimuth	70.904295317	0.292667788	1.153719							1.98789	
			AEIipsoid Height	19.9630	-0.0022									
			Ellipsoid Dist.	585.9979	-0.0040									
B504	032~MTV1		Azimuth	301.40461189	3.261568679	1.82144							1.52885	
			AEIipsoid Height	20.2771	-0.0017									
			Ellipsoid Dist.	334.6576	0.0028									
B506	035~MTV1		Azimuth	327.383581724	0.169778740	1.706860							1.456145	
			AEIipsoid Height	17.5257	-0.0006									
			Ellipsoid Dist.	2779.6290	0.0022									
B507	ESNAL~MTV1		Azimuth	255.098918905	0.009867124	1.2775204							1.1731094	
			AEIipsoid Height	21.2659	0.0146									
			Ellipsoid Dist.	12851.4972	0.0037									
B508	ANP1~MTV1		Azimuth	95.792885423	0.113944322	1.676742							1.458752	
			AEIipsoid Height	19.9661	-0.0168									
			Ellipsoid Dist.	3391.3980	0.0043									
B509	UYLM~MTV1		Azimuth	232.313470310	0.00006456	1.99999							1.99999	
			AEIipsoid Height	-13.1018	0.0015									
			Ellipsoid Dist.	34318.4779	-0.0013									
B510	UYIF~MTV1		Azimuth	279.105926428	0.000414892	1.99999							1.99999	
			AEIipsoid Height	-15.1875	0.0158									
			Ellipsoid Dist.	22540.9336	0.0019									

Observation ID	Baseline ID	DX(m)	VDX(mm)	Std.DX(mm)	DY(m)	VDY(mm)	Std.DY(mm)	DZ(m)	VDZ(mm)	Std.DZ(mm)	dVDX(mm)	dVDY(mm)	dVDZ(mm)
B112	UYMO~AZOTEA FING	5976.68427	-4.5	3.7	6372.51071	3.1	4.2	-2675.22220	13.0	3.7	2.8	4.0	7.0
B122	UYMO~034	5874.70768	-4.1	3.1	6403.53276	2.4	3.3	-2731.17806	7.1	3.1	2.7	3.9	6.7
B123	AZOTEA FING~034	-101.97659	0.1	3.2	31.02205	4.7	3.8	-55.95586	4.3	2.9	0.1	0.1	0.3
B273	UYMO~031	4874.08385	-3.9	3.4	5457.09478	5.2	3.5	-2377.96507	9.8	4.1	2.5	3.5	6.0
B274	AZOTEA FING~031	-1102.60642	3.5	3.5	-914.81593	-1.3	3.8	297.25714	-2.0	4.0	0.3	0.5	1.0
B275	034~031	-1000.62283	2.6	3.0	-845.83798	-3.9	3.1	353.21299	-4.2	3.4	0.2	0.4	0.7
B288	UYMO~032	5576.13184	-3.8	3.5	5916.30420	7.9	3.6	-2363.41323	15.5	4.4	2.6	3.6	6.4
B289	AZOTEA FING~032	-400.55243	5.5	3.7	-456.20640	-1.3	3.9	311.80897	-0.9	4.4	0.2	0.5	0.6
B290	034~032	-298.57584	7.0	3.2	-487.22845	-7.5	3.3	367.76483	-5.3	3.9	0.1	0.4	0.3
B295	031~032	702.04799	1.3	3.3	458.60953	0.2	3.2	14.55183	1.4	4.4	0.1	0.0	0.4
B328	UYMO~035	5884.11015	-1.8	3.6	7670.43431	4.3	3.9	-4141.83321	6.0	3.9	3.6	5.3	8.4
B330	AZOTEA FING~035	-82.57412	0.1	3.8	1247.92361	3.0	4.3	-4466.71101	-2.2	3.9	0.8	1.3	1.4
B331	034~035	19.40247	-3.9	3.1	1216.90156	3.5	3.3	-1410.75513	2.4	3.3	0.9	1.4	1.7
B343	031~035	1020.02631	-2.8	3.4	2162.73954	2.8	3.5	-1763.96815	1.1	4.2	1.1	1.8	2.4
B344	032~035	317.97831	-5.1	3.6	1704.13001	2.7	3.7	-1778.51998	-0.3	4.6	1.0	1.8	2.0
B362	UYMO~ESNAL	16758.73473	-9.0	4.0	11037.38414	17.4	4.7	483.36570	16.7	4.7	3.9	3.8	8.2
B364	AZOTEA FING~ESNAL	10782.05946	17.8	4.3	4864.87343	-20.3	5.2	3159.08700	-21.8	4.7	1.2	0.7	1.2
B365	034~ESNAL	10684.02705	-7.8	3.8	4633.85138	1.6	4.3	3215.04376	8.6	4.2	1.1	0.6	1.5
B377	031~ESNAL	11884.65988	21.6	4.0	5579.68936	-33.1	4.8	2861.83077	-29.7	5.0	1.4	0.2	2.1
B378	032~ESNAL	11182.06289	22.1	4.1	5121.07983	-25.5	4.9	2847.27993	-29.9	5.4	1.3	0.2	1.8
B380	035~ESNAL	10864.62457	-7.2	4.0	3416.94982	12.8	4.7	4625.78991	10.6	4.8	0.3	2.0	0.3
B387	UYMO~ANP1	2700.07070	12.6	4.6	3634.87709	-4.1	5.1	-1940.66698	-3.0	4.0	1.4	2.8	5.2
B389	AZOTEA FING~ANP1	-3276.61357	-3.3	4.7	-2737.63362	-5.6	5.4	734.55523	-7.0	3.9	1.4	1.2	1.8
B395	035~ANP1	-3194.03945	0.8	4.7	-3985.55722	-17.3	5.3	2201.26624	-9.0	4.1	2.2	2.5	3.2
B396	ESNAL~ANP1	-14058.66403	-8.5	5.1	-7402.50705	18.1	5.9	-2424.52268	4.6	4.9	2.5	0.5	3.0
B413	UYMO~UYLM	34639.72390	-3.2	4.2	10929.73163	5.3	5.0	14951.20845	3.0	4.8	0.8	5.3	0.9
B415	AZOTEA FING~UYLM	28663.03963	18.5	4.4	4557.22902	-23.4	5.3	1726.43965	-26.1	4.7	2.0	9.3	7.9
B416	034~UYLM	28765.01622	-3.6	3.8	4526.19887	-4.6	4.4	17682.38051	3.8	4.2	1.9	9.2	7.6
B428	031~UYLM	29765.64005	18.5	4.0	5472.03685	-34.0	4.9	17329.17352	-29.7	5.0	1.7	8.8	6.9
B429	032~UYLM	29063.59206	19.7	4.2	5013.42723	-39.0	5.0	17314.62168	-33.5	5.4	1.8	8.8	7.3
B431	035~UYLM	28745.61375	-3.3	4.1	3306.29732	5.9	4.9	19093.14166	2.4	4.8	2.8	10.6	9.3
B432	ESNAL~UYLM	17880.89917	1.7	4.3	-407.65251	-5.8	5.3	14467.34275	-6.8	5.3	3.1	8.6	9.1
B433	ANP1~UYLM	31939.65320	8.0	5.1	7294.85454	-22.7	5.9	16891.87543	-16.1	4.7	0.6	8.1	6.1
B450	UYMO~UYIF	22721.32666	-4.6	4.7	19783.86854	7.5	6.0	-5187.86567	9.5	5.3	0.0	5.2	19.6
B452	AZOTEA FING~UYIF	16745.04239	-63.4	4.7	13411.35783	22.3	5.8	-2512.64347	29.5	4.8	2.8	1.2	12.6
B453	034~UYIF	16847.01898	-15.1	4.2	13380.33578	20.9	5.3	-2456.68761	37.3	4.6	2.7	1.3	12.9
B465	031~UYIF	17847.64281	-1.6	4.5	14326.17376	3.8	5.6	-2809.90060	13.9	5.3	2.5	1.7	13.6
B466	032~UYIF	17145.59482	84.7	4.6	13867.56424	-9.8	5.6	-2824.45249	34.8	5.6	2.6	1.6	13.2
B468	035~UYIF	16827.61651	8.										

C2291	Sync Loop	21551.470	Nonconformity	7183.7157	UYMO-002 UYMO-AZOTEA FING AZOTEA FING-005	110.61962374 111.35235114 161.03528593
C2292	Sync Loop	41375.0669	Nonconformity	13791.8823	UYMO-005 UYMO-AZOTEA FING AZOTEA FING-ESNAL	119.41355152 111.35235114 71.75532325
C2293	Sync Loop	61308.5676	Nonconformity	20436.1892	UYMO-ESNAL UYMO-AZOTEA FING AZOTEA FING-UYIF	88.65476736 111.35235114 98.25428593
C2294	Sync Loop	18290.5760	Conformity	6696.8587	UYMO-UYIF UYMO-AZOTEA FING AZOTEA FING-MTV1	102.174241534 111.35235114 300.76492042
C2299	Sync Loop	18224.6631	Nonconformity	6074.8877	UYMO-MTV1 UYMO-004 004-001	110.177379197 112.052293766 287.20560763
C2300	Sync Loop	18255.2163	Nonconformity	6685.0721	UYMO-001 UYMO-004 004-002	112.93708806 112.052293766 310.150655705
C2301	Sync Loop	21458.8706	Nonconformity	7152.9569	UYMO-002 UYMO-004 004-005	110.61962374 112.052293766 158.14246887
C2302	Sync Loop	41440.3746	Nonconformity	13813.4582	UYMO-005 UYMO-004 004-ESNAL	119.41355152 112.052293766 71.441009156
C2303	Sync Loop	61334.1516	Nonconformity	20444.7172	UYMO-ESNAL UYMO-004 004-UYIF	88.65476736 112.052293766 97.983364003
C2304	Sync Loop	18258.4029	Nonconformity	6686.1343	UYMO-UYIF UYMO-004 004-MTV1	102.174241534 112.052293766 307.270627873
C2376	Sync Loop	16999.2079	Conformity	5666.4026	UYMO-MTV1 UYMO-001 001-002	110.177379197 112.93708806 88.805194722
C2377	Sync Loop	21151.9821	Nonconformity	7050.6607	UYMO-002 UYMO-001 001-005	110.61962374 112.93708806 136.34776457
C2378	Sync Loop	41204.2677	Conformity	13734.7559	UYMO-005 UYMO-001 001-ESNAL	119.41355152 112.93708806 74.993971668
C2379	Sync Loop	61323.1544	Nonconformity	20441.8515	UYMO-ESNAL UYMO-001 001-UYIF	88.65476736 112.93708806 98.557931820
C2380	Sync Loop	16418.4172	Nonconformity	5472.8057	UYMO-UYIF UYMO-001 001-MTV1	102.174241534 112.93708806 70.904663223
C2381	Sync Loop	21436.6295	Nonconformity	7145.5432	UYMO-MTV1 UYMO-002 002-005	110.177379197 110.61962374 150.769241689
C2382	Sync Loop	41163.8975	Nonconformity	13721.2992	UYMO-005 UYMO-002 002-ESNAL	119.41355152 110.61962374 74.080026148
C2383	Sync Loop	61269.4665	Nonconformity	20423.1555	UYMO-ESNAL UYMO-002 002-UYIF	88.65476736 110.61962374 98.918827300
C2384	Sync Loop	16939.5557	Nonconformity	5646.5186	UYMO-UYIF UYMO-002 002-MTV1	102.174241534 110.61962374 301.408565410
C2389	Sync Loop	42852.0449	Conformity	14284.0150	UYMO-MTV1 UYMO-005 005-ESNAL	110.177379197 119.41355152 67.733691384
C2390	Sync Loop	20974.5233	Nonconformity	6991.5078	UYMO-ESNAL UYMO-005 005-ANPI	88.65476736 119.41355152 298.827894947
C2391	Sync Loop	61847.3196	Nonconformity	20615.7532	UYMO-ANPI UYMO-005 005-UYIF	120.010379413 119.41355152 93.530570432
C2392	Sync Loop	21404.5499	Nonconformity	7134.8500	UYMO-UYIF UYMO-005 005-MTV1	102.174241534 119.41355152 327.383621733
C2393	Sync Loop	41071.4220	Nonconformity	13690.4740	UYMO-MTV1 UYMO-ESNAL ESNAL-ANPI	110.177379197 88.65476736 259.355501271
C2394	Sync Loop	62655.2381	Nonconformity	20884.4127	UYMO-ANPI UYMO-ESNAL ESNAL-UYIF	120.010379413 88.65476736 125.048156114
C2395	Sync Loop	41064.5880	Nonconformity	13688.1960	UYMO-UYIF UYMO-ESNAL ESNAL-MTV1	102.174241534 88.65476736 255.069917364
C2396	Sync Loop	61424.2059	Nonconformity	20474.7653	UYMO-MTV1 UYMO-ANPI ANPI-UYIF	110.177379197 120.010379413 98.812441798
C2397	Sync Loop	16456.1364	Nonconformity	5485.3788	UYMO-UYIF UYMO-ANPI ANPI-MTV1	102.174241534 120.010379413 95.792894703
C2398	Sync Loop	61250.4315	Nonconformity	20416.8105	UYMO-MTV1 UYMO-UYIF UYIF-MTV1	110.177379197 102.174241534 279.165952217
C2455	Sync Loop	3005.0808	Conformity	1001.6936	UYMO-MTV1 AZOTEA FING-004 004-001	110.177379197 215.907664167 287.20560763
C2456	Sync Loop	1482.4101	Conformity	494.1434	AZOTEA FING-001 AZOTEA FING-004 004-002	282.934005666 215.907664167 310.150655705
C2457	Sync Loop	3911.0969	Nonconformity	1303.6990	AZOTEA FING-002 AZOTEA FING-004 004-005	300.450843665 215.907664167 158.14246887
C2458	Sync Loop	24544.1581	Nonconformity	8181.3860	AZOTEA FING-003 AZOTEA FING-004 004-ESNAL	161.03528593 215.907664167 71.441009156
C2459	Sync Loop	68143.9501	Nonconformity	22714.6500	AZOTEA FING-ESNAL AZOTEA FING-004 004-UYLM	71.75532325 215.907664167 50.837400007
C2460	Sync Loop	43374.6453	Nonconformity	14458.2151	AZOTEA FING-UYLM AZOTEA FING-004 004-UYIF	50.806961764 215.907664167 97.983364003
C2461	Sync Loop	2146.3046	Nonconformity	715.4349	AZOTEA FING-UYIF AZOTEA FING-004 004-MTV1	98.25428593 215.907664167 307.270627873
C2546	Sync Loop	2984.3937	Conformity	994.7979	AZOTEA FING-MTV1 AZOTEA FING-003 001-002	300.76492042 282.934005666 88.805194722
C2547	Sync Loop	6362.1894	Conformity	2120.7268	AZOTEA FING-002 AZOTEA FING-001 001-005	300.450843665 282.934005666 136.34776457
C2548	Sync Loop	27066.0233	Nonconformity	9022.0078	AZOTEA FING-003 AZOTEA FING-001 001-ESNAL	161.03528593 282.934005666 74.993971668
C2549	Sync Loop	70294.0850	Nonconformity	23431.3617	AZOTEA FING-ESNAL AZOTEA FING-001 001-UYLM	71.75532325 282.934005666 52.79060683

C2550	Sync Loop	46121.6201	Nonconformity	15373.8734	AZOTEA FING--UYLM AZOTEA FING--01 01--UYF AZOTEA FING--UYF	50.88061764 282.93409666 98.557931820 98.252428593
C2551	Sync Loop	3166.2909	Conformity	1621.4303	AZOTEA FING--01 01--MTV1	282.93409666 70.90463723
C2552	Sync Loop	5093.6238	Conformity	1697.8746	AZOTEA FING--MTV1 AZOTEA FING--032 032--035	300.764929042 300.450843665 150.769241689
C2553	Sync Loop	25472.4492	Nonconformity	8490.8164	AZOTEA FING--035 AZOTEA FING--032 032--ESNAL	161.035286263 300.450843665 74.080026148
C2554	Sync Loop	68838.5329	Nonconformity	22946.1776	AZOTEA FING--ESNAL AZOTEA FING--032 032--UYLM	71.755323257 300.450843665 51.89169318
C2555	Sync Loop	44514.7282	Nonconformity	14838.2427	AZOTEA FING--UYLM AZOTEA FING--032 032--UYF	50.88061764 300.450843665 98.818827300
C2556	Sync Loop	2032.2256	Conformity	677.4085	AZOTEA FING--UYF AZOTEA FING--032 032--MTV1	98.252428593 300.450843665 301.408565410
C2562	Sync Loop	26385.6091	Nonconformity	8795.2030	AZOTEA FING--MTV1 AZOTEA FING--035 035--ESNAL	300.764929042 161.035286263 62.733691384
C2563	Sync Loop	70350.9421	Nonconformity	23516.9807	AZOTEA FING--ESNAL AZOTEA FING--035 035--UYLM	71.755323257 161.035286263 47.891879373
C2564	Sync Loop	44317.5939	Nonconformity	14772.5313	AZOTEA FING--UYLM AZOTEA FING--035 035--UYF	50.88061764 161.035286263 93.520570432
C2565	Sync Loop	5722.2322	Conformity	1907.4107	AZOTEA FING--UYF AZOTEA FING--035 035--MTV1	98.252428593 161.035286263 227.383621733
C2566	Sync Loop	69122.5286	Conformity	23040.8429	AZOTEA FING--MTV1 AZOTEA FING--ESNAL ESNAL--UYLM	300.764929042 71.755323257 39.955044228
C2567	Sync Loop	45775.0697	Nonconformity	15258.3566	AZOTEA FING--UYLM AZOTEA FING--ESNAL ESNAL--UYF	50.88061764 71.755323257 125.048156114
C2568	Sync Loop	26033.8276	Conformity	8677.9425	AZOTEA FING--UYF AZOTEA FING--ESNAL ESNAL--MTV1	98.252428593 71.755323257 255.098917364
C2569	Sync Loop	80576.9892	Nonconformity	26858.9964	AZOTEA FING--MTV1 AZOTEA FING--UYLM UYLM--UYF	300.764929042 50.88061764 191.293257742
C2570	Sync Loop	69289.8422	Nonconformity	23096.6141	AZOTEA FING--UYF AZOTEA FING--UYLM UYLM--MTV1	98.252428593 50.88061764 232.313466724
C2571	Sync Loop	45156.3812	Nonconformity	15052.1271	AZOTEA FING--MTV1 AZOTEA FING--UYF UYF--MTV1	300.764929042 98.252428593 279.105952217
C2604	Sync Loop	2939.7280	Nonconformity	979.9093	AZOTEA FING--MTV1 034--031 034--032	300.764929042 287.20560763 88.805194722
C2605	Sync Loop	6256.1118	Conformity	2085.3706	034--032 034--031 034--035	310.150655705 287.20560763 136.34776457
C2606	Sync Loop	27117.5588	Nonconformity	9639.1863	034--035 034--031 031--ESNAL	158.142486887 287.20560763 74.903971668
C2607	Sync Loop	70363.3546	Nonconformity	23454.4515	034--ESNAL 034--031 031--UYLM	71.441009156 287.20560763 52.790620683
C2608	Sync Loop	46133.4119	Nonconformity	15377.8040	034--UYLM 034--UYF 034--031	50.837400607 287.20560763 287.20560763
C2609	Sync Loop	3018.3257	Nonconformity	1006.1086	034--UYF 034--031 031--MTV1	97.983364003 287.20560763 70.90463723
C2610	Sync Loop	5026.3413	Conformity	1675.4471	034--MTV1 034--032 032--035	307.270627873 310.150655705 150.769241689
C2611	Sync Loop	25562.7707	Nonconformity	8520.9236	034--035 034--032 032--ESNAL	158.142486887 310.150655705 74.080026148
C2612	Sync Loop	68946.5885	Nonconformity	22982.1962	034--ESNAL 034--032 032--UYLM	71.441009156 310.150655705 51.89169318
C2613	Sync Loop	44565.3061	Nonconformity	14855.1020	034--UYLM 034--032 032--UYF	50.837400607 310.150655705 98.557931820
C2614	Sync Loop	2025.0463	Conformity	675.0154	034--UYF 034--032 032--MTV1	97.983364003 310.150655705 301.408565410
C2615	Sync Loop	26414.5278	Nonconformity	8804.8426	034--MTV1 034--035 035--ESNAL	307.270627873 158.142486887 62.733691384
C2616	Sync Loop	70897.5949	Nonconformity	23532.5316	034--ESNAL 034--035 035--UYLM	71.441009156 158.142486887 47.891879373
C2617	Sync Loop	44106.7689	Nonconformity	14768.9230	034--UYLM 034--035 035--UYF	50.837400607 158.142486887 93.520570432
C2618	Sync Loop	5653.6502	Nonconformity	1884.5201	034--UYF 034--035 035--MTV1	97.983364003 158.142486887 227.383621733
C2619	Sync Loop	69326.7854	Conformity	23108.9285	034--MTV1 034--ESNAL ESNAL--UYLM	307.270627873 71.441009156 39.955044228
C2620	Sync Loop	45921.8487	Nonconformity	15307.2829	034--UYLM 034--ESNAL ESNAL--UYF	50.837400607 71.441009156 125.048156114
C2621	Sync Loop	26122.8496	Nonconformity	8707.6165	034--UYF 034--ESNAL ESNAL--MTV1	97.983364003 71.441009156 255.098917364
C2622	Sync Loop	80741.5023	Nonconformity	26913.8341	034--MTV1 034--UYLM UYLM--UYF	307.270627873 50.837400607 191.293257742
C2623	Sync Loop	69396.9983	Nonconformity	23132.1994	034--UYF 034--UYLM UYLM--MTV1	97.983364003 50.837400607 232.313466724
C2624	Sync Loop	45305.6595	Nonconformity	15068.5532	034--MTV1 034--UYF UYF--MTV1	307.270627873 97.983364003 279.105952217
C2926	Sync Loop	6293.7406	Conformity	2097.9135	034--MTV1 031--032 032--035	307.270627873 88.805194722 150.769241689
C2927	Sync Loop	26900.9517	Nonconformity	8966.9839	031--035 031--032 032--ESNAL	136.34776457 88.805194722 74.080026148

C2928	Sync Loop	69913.0392	Nonconformity	23304.3464	031-ESNAL 031--032 032-UYLM 031-UYLM 031L-032 032-UYF	74.993971668 88.805194722 51.959169318 52.790630683 88.805194722 98.918827300
C2929	Sync Loop	46128.5967	Nonconformity	15376.1989	031L-032 032-UYF 031-UYF	88.805194722 98.918827300 98.557931820
C2930	Sync Loop	1759.3484	Conformity	586.4495	031--032 032-MTV1 031-MTV1	88.805194722 301.408565410 70.90463723
C2931	Sync Loop	28701.8286	Nonconformity	9567.2762	031--035 035-ESNAL 031-ESNAL	136.347756457 62.733691384 74.993971668
C2932	Sync Loop	72513.1655	Nonconformity	24171.0552	031--035 035-UYLM 031-UYLM	136.347756457 47.891879373 52.790630683
C2933	Sync Loop	46819.1795	Nonconformity	15606.3932	031--035 035-UYF 031-UYF	136.347756457 93.520570432 98.557931820
C2934	Sync Loop	6337.0722	Conformity	2112.3574	031--035 035-MTV1 031-MTV1	136.347756457 327.383621733 70.90463723
C2935	Sync Loop	71313.1377	Conformity	23771.0459	031-ESNAL ESNAL-UYLM 031-UYLM	74.993971668 39.955044228 52.790630683
C2936	Sync Loop	48305.0409	Nonconformity	16168.3470	031-ESNAL ESNAL-UYF 031-UYF	74.993971668 125.648156114 98.557931820
C2937	Sync Loop	26877.0533	Conformity	8959.0178	031-ESNAL ESNAL-MTV1 031-MTV1	74.993971668 255.098917364 70.90463723
C2938	Sync Loop	82952.9643	Nonconformity	27650.9881	031-UYLM UYLM-UYF 031-UYF	52.790630683 191.293257742 98.557931820
C2939	Sync Loop	69779.0717	Conformity	23259.6906	031-UYLM UYLM-MTV1 031-MTV1	52.790630683 232.313466724 70.90463723
C2940	Sync Loop	46184.9729	Nonconformity	15394.9910	031-UYF UYF-MTV1 031-MTV1	98.557931820 279.109952217 70.90463723
C2941	Sync Loop	27401.1347	Nonconformity	9133.7116	032--035 035-ESNAL 032-UYLM	150.769241689 62.733691384 74.880026148
C2942	Sync Loop	71350.4935	Nonconformity	23783.4978	032-ESNAL 032--035 035-UYLM	150.769241689 150.769241689 47.891879373
C2943	Sync Loop	43505.1678	Nonconformity	15168.3893	032--035 032-UYF 032-UYF	150.769241689 93.520570432 98.918827300
C2944	Sync Loop	5597.8870	Conformity	1865.9623	032--035 032-UYF 032-MTV1	150.769241689 327.383621733 301.408565410
C2945	Sync Loop	69825.4481	Conformity	23275.1494	032-ESNAL ESNAL-UYLM 032-UYLM	74.880026148 39.955044228 51.959169318
C2946	Sync Loop	46866.0117	Nonconformity	15622.0039	032-ESNAL ESNAL-UYF 032-UYF	74.880026148 125.648156114 98.918827300
C2947	Sync Loop	25812.8565	Conformity	8604.2835	032-ESNAL ESNAL-MTV1 032-MTV1	74.880026148 255.098917364 301.408565410
C2948	Sync Loop	81451.9570	Nonconformity	27150.6523	032-UYLM UYLM-UYF 032-UYF	51.959169318 191.293257742 98.918827300
C2949	Sync Loop	68852.8909	Nonconformity	22950.9636	032-UYLM UYLM-MTV1 032-MTV1	51.959169318 232.313466724 301.408565410
C2950	Sync Loop	45107.4524	Nonconformity	15035.8175	032-UYF UYF-MTV1 032-MTV1	98.918827300 279.109952217 301.408565410
C2961	Sync Loop	33926.8695	Nonconformity	11308.9565	035-ESNAL ESNAL-ANP1 035-ANP1	62.733691384 259.35591271 298.827894947
C2962	Sync Loop	69960.9477	Nonconformity	23320.5159	035-ESNAL ESNAL-UYLM 035-UYLM	62.733691384 39.955044228 47.891879373
C2963	Sync Loop	45991.9676	Nonconformity	15030.6559	035-ESNAL ESNAL-UYF 035-UYF	62.733691384 125.648156114 93.520570432
C2964	Sync Loop	27925.9475	Conformity	9308.6492	035-ESNAL ESNAL-MTV1 035-MTV1	62.733691384 255.098917364 327.383621733
C2965	Sync Loop	52278.2075	Nonconformity	17426.0692	035-ANP1 ANP1-UYF 035-UYF	298.827894947 98.812441798 93.520570432
C2966	Sync Loop	11732.6779	Conformity	3910.8926	035-ANP1 ANP1-MTV1 035-MTV1	298.827894947 95.782894703 327.383621733
C2967	Sync Loop	80477.1623	Nonconformity	26825.7208	035-UYLM UYLM-UYF 035-UYF	47.891879373 191.293257742 93.520570432
C2968	Sync Loop	71765.2372	Nonconformity	23921.7457	035-UYLM UYLM-MTV1 035-MTV1	47.891879373 232.313466724 327.383621733
C2969	Sync Loop	46110.2551	Nonconformity	15370.0850	035-UYF UYF-MTV1 035-MTV1	93.520570432 279.109952217 327.383621733
C2970	Sync Loop	54008.6821	Nonconformity	18802.8940	ESNAL-ANP1 ANP1-UYF ESNAL-UYF	259.35591271 98.812441798 125.648156114
C2971	Sync Loop	32317.2721	Nonconformity	10773.4249	ESNAL-ANP1 ANP1-MTV1 ESNAL-MTV1	259.35591271 95.782894703 255.098917364
C2972	Sync Loop	60030.7673	Nonconformity	20010.2558	ESNAL-UYLM UYLM-UYF ESNAL-UYF	39.955044228 191.293257742 125.648156114
C2973	Sync Loop	70172.9619	Nonconformity	23390.9873	ESNAL-UYLM UYLM-MTV1 ESNAL-MTV1	39.955044228 232.313466724 255.098917364
C2974	Sync Loop	47403.8690	Nonconformity	15801.2897	ESNAL-UYF UYF-MTV1 ESNAL-MTV1	125.648156114 279.109952217 255.098917364
C2975	Sync Loop	51859.1789	Nonconformity	17286.3930	ANP1-UYF UYF-MTV1 ANP1-MTV1	98.812441798 279.109952217 95.782894703
C2976	Sync Loop	81879.7452	Nonconformity	27293.2184	UYLM-UYF UYF-MTV1 UYLM-MTV1	191.293257742 279.109952217 232.313466724

Point ID	Latitude	Latitude Err(s)	Longitude	Longitude Err(s)	Ellipsoid Height(m)	H Err(m)
----------	----------	-----------------	-----------	------------------	---------------------	----------

Point ID	Latitude	Longitude	X Err(m)	Y Err(m)	Z Err(m)	3D Err(m)
UYMO	34°53'17.93891"S	056°1'33.57975"W	0.00000	0.00000	158.0945	0.0000
AZOTEA FING	34°55'05.76056"S	056°10'00.34074"W	0.000100	0.000103	71.0433	0.0037
034	34°55'08.78271"S	056°10'02.99748"W	0.000079	0.000089	35.3878	0.0028
031	34°54'55.13561"S	056°10'56.48779"W	0.000097	0.000094	20.7736	0.0032
032	34°54'54.56686"S	056°10'23.45482"W	0.000104	0.000098	20.4595	0.0033
035	34°56'04.89473"S	056°09'35.66490"W	0.000097	0.000102	23.2108	0.0037
ESNAL	34°53'01.93408"S	056°02'25.36362"W	0.000109	0.000117	19.4707	0.0042
ANP1	34°54'37.83035"S	056°12'47.60210"W	0.000123	0.000135	20.7904	0.0046
UYLM	34°43'29.39938"S	055°52'44.80510"W	0.000000	0.000000	53.8384	0.0000
UYIF	34°56'45.55652"S	055°55'57.90652"W	0.000000	0.000000	55.9241	0.0000
MTV1	34°54'48.91775"S	056°10'34.68593"W	0.000000	0.000000	40.7365	0.0000

4.4 Adjusted ECEF Coordinates in WGS84

Point ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	X Err(m)	Y Err(m)	Z Err(m)	3D Err(m)
UYMO	2909133.01849	-4355451.44578	-3627801.01366	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
AZOTEA FING	2915109.70276	-4349078.93507	-3630476.23586	0.00317	0.00394	0.00336	0.00624
034	2915007.72617	-4349047.91302	-3630532.19172	0.00282	0.00302	0.00281	0.00500
031	2914607.10234	-4349993.75100	-3630178.97873	0.00318	0.00327	0.00384	0.00596
032	2914709.15033	-4349355.14148	-3630164.42689	0.00329	0.00339	0.00423	0.00634
035	2915027.12864	-4347831.01147	-3631942.94687	0.00345	0.00385	0.00377	0.00640
ESNAL	2922891.78322	-4344414.06164	-3627317.14796	0.00373	0.00455	0.00443	0.00736
ANP1	2911833.08919	-4351816.56869	-3629741.68064	0.00440	0.00490	0.00364	0.00753
UYLM	2943772.74239	-4344521.71415	-3612849.80521	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
UYIF	2913854.74515	-4335667.57724	-3632988.87933	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
MTV1	2914537.03228	-4349790.42903	-3630032.28051	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

4.5 Lat-Long-Height(Local)

Point ID	Latitude	Longitude	Ellipsoid Height(m)	H Err(m)
UYMO	34°53'17.93891"S	056°1'33.57975"W	158.0945	0.0000
AZOTEA FING	34°55'05.76056"S	056°10'00.34074"W	71.0433	0.0037
034	34°55'08.78271"S	056°10'02.99748"W	35.3878	0.0028
031	34°54'55.13561"S	056°10'56.48779"W	20.7736	0.0032
032	34°54'54.56686"S	056°10'23.45482"W	20.4595	0.0033
035	34°56'04.89473"S	056°09'35.66490"W	23.2108	0.0037
ESNAL	34°53'01.93408"S	056°02'25.36362"W	19.4707	0.0042
ANP1	34°54'37.83035"S	056°12'47.60210"W	20.7904	0.0046
UYLM	34°43'29.39938"S	055°52'44.80510"W	53.8384	0.0000
UYIF	34°56'45.55652"S	055°55'57.90652"W	55.9241	0.0000
MTV1	34°54'48.91775"S	056°10'34.68593"W	40.7365	0.0000

4.6 Coordinate Change

Point ID(m)	North(m)	East(m)	Ellipsoid Height(m)
UYMO	0.00000	0.00000	14.3707
AZOTEA FING	0.44568	-0.49609	13.4252
034	0.57303	-0.59966	13.8721
031	0.21585	-0.28021	14.0153
032	0.23727	-0.52491	13.4483
035	1.37359	-0.81140	14.6681
ESNAL	0.49185	-0.36314	13.2274
ANP1	0.85103	-0.07877	15.8239
UYLM	0.00000	0.00000	14.3561
UYIF	0.00000	0.00000	13.7904
MTV1	0.00027	-0.00182	14.3814

4.7 Worst baseline and station statistics

Worst baseline	Baseline ID	DN(m)	Std.DN(mm)	DY(m)	Std.DY(mm)	DZ(m)	Std.DZ(mm)	Distance(m)	Mean Error(m)	Relative error
B12(AZOTEA FING-034)	AZOTEA FING-034	-101.97659	3.2	31.02205	3.8	-55.95586	2.9	120.38542	0.00571	1/21071.00000

Worst local station	North(m)	North Err(m)	East(m)	East Err(m)	Elev(m)	Elev. Err(m)	Standard Deviation
ANP1	6136598.71052	0.00379	571873.58560	0.00342	20.7904	0.0046	0.00688

4.8 Error Ellipse

Point ID	Major Axis(m)	Short Axis(m)	Azimuth
UYMO	0.0000	0.0000	0.000000000
AZOTEA FING	0.0031	0.0026	175.428732676
034	0.0024	0.0022	177.550106206
031	0.0030	0.0024	168.361632573
032	0.0032	0.0025	169.417116355
035	0.0030	0.0026	176.687891269
ESNAL	0.0034	0.0029	156.253447901
ANP1	0.0038	0.0034	162.240787949
UYLM	0.0000	0.0000	0.000000000
UYIF	0.0000	0.0000	0.000000000
MTV1	0.0000	0.0000	0.000000000

Point ID	Major Axis(m)	Short Axis(m)	Azimuth
UYMO	0.0000	0.0000	0.000000000
AZOTEA FING	0.0031	0.0026	175.428732676
034	0.0024	0.0022	177.550106206
031	0.0030	0.0024	168.361632573
032	0.0032	0.0025	169.417116355
035	0.0030	0.0026	176.687891269
ESNAL	0.0034	0.0029	156.253447901
ANP1	0.0038	0.0034	162.240787949
UYLM	0.0000	0.0000	0.000000000
UYIF	0.0000	0.0000	0.000000000
MTV1	0.0000	0.0000	0.000000000

Reporte del Preanálisis de la Red MaRGIA(D)

MicroSurvey STAR*NET-PRO Version 13.0.2.5829
Run Date: Thu Nov 27 2025 16:52:13

Summary of Files Used and Option Settings

=====
Project Folder and Data Files

Project Name EN
Project Folder C:_FING_IA\...\10 DENSIF MARGIA 34FI 0AZFI
Data File List 1. PreAnal_DENSIF MARGIA.dat

Project Option Settings

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 : 0.010000; 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 : No
GPS Vector Standard Error Factors : None
GPS Vector Centering (Meters) : None
GPS Vector Transformations : None

Summary of Inconsistent Descriptions
=====

Number of Occurrences = 0

Network Stations

Point ID	Description	File:Line
----------	-------------	-----------

Sideshots

Point ID	Description	File:Line
----------	-------------	-----------

Summary of Unadjusted Input Observations

Number of Entered Stations (Meters) = 8

Fixed Stations	E	N	Elev	Description
AZFI	576110.870470	6135703.972150	71.046600	
34FI	576042.682800	6135611.435680	35.386500	
Free Stations	E	N	Elev	Description
B1FI	575738.000000	6134932.000000	2.000000	
B2FI	575836.000000	6135670.000000	5.000000	
B3FI	575880.000000	6135345.000000	4.850000	
B4FI	575739.000000	6135204.000000	5.500000	
B5FI	576525.000000	6135465.000000	25.600000	
B6FI	576490.000000	6135945.000000	18.260000	

Number of GPS Vector Observations (Meters) = 30

From To	DeltaX DeltaY DeltaZ	StdErrX StdErrY StdErrZ	CorrelXY CorrelXZ CorrelYZ	HI HT
AZFI 34FI	-101.976522 31.023983 -55.951594	0.003235 0.003500 0.003361	-0.192263 -0.168258 0.231980	0.0000 0.0000
AZFI B1FI	-583.098911 211.615378 -596.159376	0.003263 0.003526 0.003388	-0.189222 -0.165494 0.228454	0.0000 0.0000
AZFI B2FI	-269.861927 -90.687232 8.067906	0.003237 0.003503 0.003364	-0.191980 -0.168000 0.231652	0.0000 0.0000
AZFI B3FI	-334.616284 89.827215 -258.104973	0.003241 0.003506 0.003368	-0.191533 -0.167594 0.231134	0.0000 0.0000
AZFI B4FI	-495.827335 79.141737 -375.078346	0.003249 0.003514 0.003375	-0.190666 -0.166805 0.230129	0.0000 0.0000
AZFI B5FI	249.903399 374.726674 -167.153139	0.003243 0.003508 0.003369	-0.191346 -0.167424 0.230918	0.0000 0.0000
AZFI B6FI	367.076661 129.857682 230.503093	0.003242 0.003507 0.003368	-0.191456 -0.167524 0.231045	0.0000 0.0000
34FI B1FI	-481.122389 180.591395 -540.207782	0.003255 0.003519 0.003381	-0.189980 -0.166186 0.229343	0.0000 0.0000
34FI B2FI	-167.885405 -121.711216 64.019500	0.003236 0.003501 0.003362	-0.192119 -0.168130 0.231823	0.0000 0.0000
34FI B3FI	-232.639762 58.803232 -202.153378	0.003238 0.003503 0.003364	-0.191901 -0.167932 0.231570	0.0000 0.0000
34FI B4FI	-393.850813 48.117754 -319.126751	0.003244 0.003509 0.003370	-0.191221 -0.167314 0.230782	0.0000 0.0000
34FI B5FI	351.879921 343.702690 -111.201545	0.003244 0.003509 0.003370	-0.191242 -0.167333 0.230806	0.0000 0.0000

34FI	469.053183	0.003246	-0.191000	0.0000
B6FI	98.833698	0.003511	-0.167113	0.0000
	286.454688	0.003372	0.230526	
B1FI	313.236984	0.003255	-0.189954	0.0000
B2FI	-302.302611	0.003519	-0.166188	0.0000
	604.227282	0.003381	0.229371	
B1FI	248.482627	0.003241	-0.191478	0.0000
B3FI	-121.788163	0.003506	-0.167573	0.0000
	338.054403	0.003368	0.231139	
B1FI	87.271576	0.003237	-0.191973	0.0000
B4FI	-132.473641	0.003502	-0.168023	0.0000
	221.081031	0.003363	0.231712	
B1FI	833.002310	0.003269	-0.188510	0.0000
B5FI	163.111295	0.003532	-0.164877	0.0000
	429.006237	0.003394	0.227696	
B1FI	950.175572	0.003295	-0.185733	0.0000
B6FI	-81.757697	0.003556	-0.162357	0.0000
	826.662469	0.003419	0.224471	
B2FI	-64.754357	0.003238	-0.191858	0.0000
B3FI	180.514448	0.003504	-0.167887	0.0000
	-266.172879	0.003365	0.231528	
B2FI	-225.965408	0.003243	-0.191355	0.0000
B4FI	169.828970	0.003508	-0.167429	0.0000
	-383.146251	0.003369	0.230945	
B2FI	519.765325	0.003254	-0.190136	0.0000
B5FI	465.413906	0.003518	-0.166322	0.0000
	-175.221045	0.003380	0.229532	
B2FI	636.938587	0.003253	-0.190193	0.0000
B6FI	220.544914	0.003518	-0.166373	0.0000
	222.435187	0.003379	0.229598	
B3FI	-161.211051	0.003236	-0.192137	0.0000
B4FI	-10.685478	0.003501	-0.168155	0.0000
	-116.973373	0.003362	0.231869	
B3FI	584.519682	0.003251	-0.190487	0.0000
B5FI	284.899459	0.003515	-0.166656	0.0000
	90.951834	0.003377	0.229956	
B3FI	701.692944	0.003262	-0.189234	0.0000
B6FI	40.030466	0.003526	-0.165518	0.0000
	488.608066	0.003388	0.228503	
B4FI	745.730734	0.003260	-0.189415	0.0000
B5FI	295.584937	0.003524	-0.165687	0.0000
	207.925206	0.003386	0.228730	
B4FI	862.903996	0.003277	-0.187666	0.0000
B6FI	50.715944	0.003539	-0.164098	0.0000
	605.581439	0.003402	0.226699	
B5FI	-745.730734	0.003261	-0.189447	0.0000
B4FI	-295.584937	0.003524	-0.165715	0.0000
	-207.925206	0.003386	0.228707	
B5FI	117.173262	0.003243	-0.191346	0.0000
B6FI	-244.868992	0.003508	-0.167441	0.0000
	397.656232	0.003369	0.230909	
B5FI	-745.730734	0.003261	-0.189447	0.0000
B4FI	-295.584937	0.003524	-0.165715	0.0000
	-207.925206	0.003386	0.228707	

Error Propagation

=====

Station Coordinate Standard Deviations (Meters)

Station	E	N	Elev
AZFI	0.003611	0.003611	0.003665
34FI	0.003611	0.003611	0.003665
B1FI	0.003770	0.003770	0.003940
B2FI	0.003768	0.003768	0.003938
B3FI	0.003768	0.003768	0.003938
B4FI	0.003744	0.003744	0.003896
B5FI	0.003744	0.003744	0.003896
B6FI	0.003770	0.003770	0.003940

Station Coordinate Error Ellipses (Meters)

Confidence Region = 95%

Station	Semi-Major Axis	Semi-Minor Axis	Azimuth of Major Axis	Elev
AZFI	0.000000	0.000000	0-00	0.000000
34FI	0.000000	0.000000	0-00	0.000000
B1FI	0.009228	0.009228	0-00	0.007723
B2FI	0.009224	0.009224	0-00	0.007719
B3FI	0.009223	0.009223	0-00	0.007719
B4FI	0.009164	0.009164	0-00	0.007637
B5FI	0.009164	0.009164	0-00	0.007637
B6FI	0.009227	0.009227	0-00	0.007722

Relative Error Ellipses (Meters)

Confidence Region = 95%

Stations From	To	Semi-Major Axis	Semi-Minor Axis	Azimuth of Major Axis	Vertical
34FI	AZFI	0.000000	0.000000	0-00	0.000000
34FI	B1FI	0.003675	0.003675	0-00	0.003897
34FI	B2FI	0.003663	0.003663	0-00	0.003890
34FI	B3FI	0.003663	0.003663	0-00	0.003890
34FI	B4FI	0.003509	0.003509	0-00	0.003724
34FI	B5FI	0.003510	0.003510	0-00	0.003724
34FI	B6FI	0.003673	0.003673	0-00	0.003896
AZFI	B1FI	0.003677	0.003677	0-00	0.003898
AZFI	B2FI	0.003664	0.003664	0-00	0.003891
AZFI	B3FI	0.003664	0.003664	0-00	0.003891
AZFI	B4FI	0.003511	0.003511	0-00	0.003725
AZFI	B5FI	0.003511	0.003511	0-00	0.003725
AZFI	B6FI	0.003674	0.003674	0-00	0.003897
B1FI	B2FI	0.003696	0.003696	0-00	0.003935
B1FI	B3FI	0.003693	0.003693	0-00	0.003933
B1FI	B4FI	0.003540	0.003540	0-00	0.003768
B1FI	B5FI	0.003545	0.003545	0-00	0.003771
B1FI	B6FI	0.003711	0.003711	0-00	0.003944
B2FI	B3FI	0.003684	0.003684	0-00	0.003928
B2FI	B4FI	0.003532	0.003532	0-00	0.003763
B2FI	B5FI	0.003534	0.003534	0-00	0.003764
B2FI	B6FI	0.003696	0.003696	0-00	0.003935
B3FI	B4FI	0.003530	0.003530	0-00	0.003762
B3FI	B5FI	0.003533	0.003533	0-00	0.003764
B3FI	B6FI	0.003697	0.003697	0-00	0.003935
B4FI	B5FI	0.003020	0.003020	0-00	0.003214
B4FI	B6FI	0.003545	0.003545	0-00	0.003771
B5FI	B6FI	0.003542	0.003542	0-00	0.003769

Positional Tolerance Check (Meters)

Allowable Tolerance = 0.0100 + 0 PPM

Tolerance Check Confidence Region = 95%

Listing Failures Only


Stations	Horizontal	Semi-Major-Axis	Ratio
----------	------------	-----------------	-------

Connections Checked = 28

Number of Failures = 0

Elapsed Time = 00:00:00

Reporte del Ajuste de la Red MaRGIA(D)

 Failed to load logo

Network Adjustment Report

Basic Information

Name	Value
Username	DESKTOP-D9D8PVS
Project Datum	Custom
Project Name	REDES
Distance Units	Meter
Height Units	Meter

1 Adjustment Settings

Basic Parameters

Name	Value
Ellipsoid Name	WGS84
Major Axis(m)	6378137.0000
Flattening Reciprocal(1/f)	298.257223563

Projection Parameters

Name	Value
Projection Method	UTM Projection
Projection Height	0.0000
Central Meridian(L0)	057°00'00.00000"W

2 Adjustment Statistics

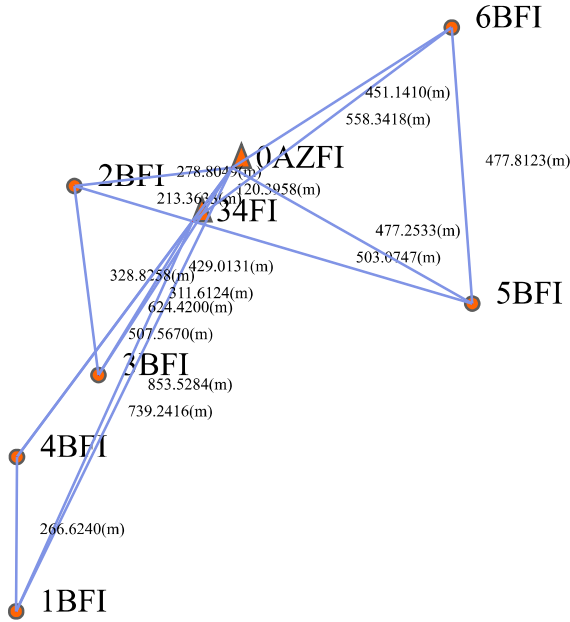
Statistical Summary

Name	Value
Network Reference Factor	30.4981333410567
Chi Square Test	Pass
Chi Square Value	31.97771
Range of Chi Square Test	16.60654 ~ 47.34889
Ratio of Unit Weight Standard Error	1.03244
Precision Confidence Level	2 sigma
Horizontal Accuracymm	5.4
Vertical Accuracymm	5.6
Check Result	Conformity

3 Control Point

Number Of Points 08
 Control Point Sum 02

Control Points



4 Local 3D Constraint Adjustment

4.1 Translation Parameters

dx(m)	dy(m)	dz(m)	rx(sec)	ry(sec)	rz(sec)	Ratio(PPM)
-2.49704	2.01032	5.78646	0	0	0	0

4.2 Baselines Input in WGS84

Observation ID	Baseline ID	DX(m)	Std.DX (mm)	DY(m)	Std.DY (mm)	DZ(m)	Std.DZ (mm)
B01	34FI->0AZFI	101.98475	0.4	-31.03404	0.4	55.95655	0.4
B02	34FI->1BFI	-472.10133	0.3	167.71232	0.3	-543.57255	0.2
B03	0AZFI->1BFI	-574.08480	0.2	198.74690	0.2	-599.53073	0.2
B04	34FI->2BFI	-158.27799	0.2	-130.99765	0.2	57.54646	0.2
B05	0AZFI->2BFI	-260.26277	0.2	-99.96460	0.2	1.58728	0.2
B06	34FI->3BFI	-225.44317	0.2	48.65648	0.2	-209.54770	0.3

B07	0AZFI->3 BFI	-327.426 04	0.2	79.6881 6	0.2	-265.507 57	0.3
B08	2BFI->3B FI	-67.1636 4	0.2	179.653 40	0.2	-267.095 75	0.2
B09	34FI->4B FI	-386.510 08	0.2	38.2808 1	0.3	-326.754 90	0.2
B10	0AZFI->4 BFI	-488.494 75	0.2	69.3170 4	0.2	-382.711 89	0.2
B11	1BFI->4B FI	85.5918 5	0.2	-129.431 95	0.2	216.817 32	0.2
B12	34FI->5B FI	359.716 27	0.3	332.117 82	0.3	-115.698 22	0.2
B13	0AZFI->5 BFI	257.734 98	0.3	363.149 58	0.3	-171.656 08	0.2
B14	34FI->6B FI	475.659 09	0.3	88.5262 3	0.3	278.670 19	0.2
B15	0AZFI->6 BFI	373.671 61	0.3	119.563 45	0.3	222.715 67	0.2
B16	5BFI->6B FI	115.933 93	0.3	-243.587 62	0.3	394.371 68	0.2

4.3 Adjusted Baselines in WGS84

Style One:

Observati on ID	Baseline ID		Observati on	Residual	Horizontal Precisi on(Ratio)	3D Precision (Ratio)
B01	34FI->0 AZFI	Azimuth	35.898578 553	24.85214 6045	1:999999	1:999999
		ΔEllipsoid Height	35.6596	-0.0074		
		Ellipsoid Di st.	120.4007	0.0049		
B02	34FI->1B FI	Azimuth	203.84790 0056	1.520189 999	1:160217	1:99042
		ΔEllipsoid Height	-18.5687	-0.0044		
		Ellipsoid Di st.	739.2371	-0.0045		
B03	0AZFI-> 1BFI	Azimuth	205.46262 7561	1.199470 986	1:184674	1:114355
		ΔEllipsoid Height	-54.2283	0.0019		
		Ellipsoid Di st.	853.5332	0.0048		
B04	34FI->2B FI	Azimuth	286.10905 6296	4.866153 987	1:49492	1:34016
		ΔEllipsoid Height	-15.9737	-0.0030		
		Ellipsoid Di st.	213.3689	0.0056		
B05	0AZFI-> 2BFI	Azimuth	262.84595 7375	4.941931 882	1:63729	1:44447
		ΔEllipsoid Height	-51.6333	0.0023		
		Ellipsoid Di st.	278.8016	-0.0032		
B06	34FI->3B FI	Azimuth	210.97974 7395	3.861516 789	1:60230	1:40649

		ΔEllipsoid Height	-16.1061	-0.0012		
		Ellipsoid Dist.	311.6088	-0.0037		
B07	0AZFI->3BFI	Azimuth	212.30601 7124	3.244877 978	1:82427	1:55965
		ΔEllipsoid Height	-51.7657	0.0018		
		Ellipsoid Dist.	429.0169	0.0038		
B08	2BFI->3BFI	Azimuth	172.27032 1544	0.087731 837	1:60979	1:41479
		ΔEllipsoid Height	-0.1324	-0.0004		
		Ellipsoid Dist.	328.8255	-0.0004		
B09	34FI->4BFI	Azimuth	216.21691 1281	2.437720 665	1:113077	1:70082
		ΔEllipsoid Height	-15.4693	-0.0044		
		Ellipsoid Dist.	507.5638	-0.0032		
B10	0AZFI->4BFI	Azimuth	216.15766 5228	2.002839 642	1:138710	1:86217
		ΔEllipsoid Height	-51.1289	0.0043		
		Ellipsoid Dist.	624.4234	0.0034		
B11	1BFI->4BFI	Azimuth	359.79452 2054	0.017968 551	1:53818	1:33501
		ΔEllipsoid Height	3.0993	-0.0007		
		Ellipsoid Dist.	266.6236	-0.0004		
B12	34FI->5BFI	Azimuth	105.93792 1751	2.865641 645	1:93787	1:59014
		ΔEllipsoid Height	4.2560	-0.0012		
		Ellipsoid Dist.	503.0706	-0.0040		
B13	0AZFI->5BFI	Azimuth	119.05644 9995	2.129412 699	1:88786	1:55986
		ΔEllipsoid Height	-31.4036	0.0023		
		Ellipsoid Dist.	477.2597	0.0063		
B14	34FI->6BFI	Azimuth	52.743661 381	2.988419 788	1:103786	1:65646
		ΔEllipsoid Height	-2.6448	-0.0077		
		Ellipsoid Dist.	558.3418	0.0000		
B15	0AZFI->6BFI	Azimuth	56.994826 495	3.310474 564	1:83558	1:53042
		ΔEllipsoid Height	-38.3044	0.0043		

		Ellipsoid Dist.	451.1388	-0.0022		
B16	5BFI->6 BFI	Azimuth	355.27663 8130	0.960114 806	1:75903	1:48058
		ΔEllipsoid Height	-6.9008	0.0022		
		Ellipsoid Dist.	477.8128	0.0004		

Style Two:

O b s e r v a t i o n I D	B a s e l i n e I D	DX (m)	V. D X (m m)	St d. D X (m m)	DY (m)	V. D Y (m m)	St d. D Y (m m)	DZ (m)	V. D Z (m m)	St d. D Z (m m)	d V D X (m m)	d V D Y (m m)	d V D Z (m m)
B01	34 F I->0 A Z F I	10 1.9 801 9	-4. 6	0. 0	-3 1.0 395 3	-5. 5	0. 0	55. 972 42	1 5. 9	0. 0	4. 0	5. 5	1 5. 1
B02	34 F I->1 B F I	-47 2.1 038 9	-2. 6	4. 5	16 7.7 105 4	-1. 8	4. 8	-54 3.5 647 6	7. 8	3. 5	2. 6	2. 5	7. 9
B03	0 A Z F I->1 B F I	-57 4.0 840 8	0. 7	4. 5	19 8.7 500 7	3. 2	4. 8	-59 9.5 371 8	-6. 5	3. 5	1. 4	3. 0	7. 1
B04	34 F I->2 B F I	-15 8.2 804 6	-2. 5	3. 3	-13 1.0 007 3	-3. 1	3. 4	57. 553 34	6. 9	4. 1	2. 1	2. 6	7. 5
B05	0 A Z F I->2 B F I	-26 0.2 606 5	2. 1	3. 3	-9 9.9 612 0	3. 4	3. 4	1.5 809 2	-6. 4	4. 1	1. 9	2. 9	7. 5

B06	3 4 F I- > 3 B F I	-22 5.4 443 2	-1. 1	4. 1	48. 652 67	-3. 8	4. 2	-20 9.5 419 1	5. 8	4. 9	2. 0	2. 7	7. 5
B07	0 A Z F I- > 3 B F I	-32 7.4 245 1	1. 5	4. 1	79. 692 20	4. 0	4. 2	-26 5.5 143 3	-6. 8	4. 9	1. 9	2. 9	7. 6
B08	2 B F I- > 3 B F I	-6 7.1 638 6	-0. 2	4. 2	17 9.6 534 0	0. 0	4. 3	-26 7.0 952 4	0. 5	5. 1	0. 0	0. 0	0. 1
B09	3 4 F I- > 4 B F I	-38 6.5 124 9	-2. 4	4. 4	38. 279 22	-1. 6	4. 6	-32 6.7 473 2	7. 6	3. 4	2. 5	2. 4	7. 6
B10	0 A Z F I- > 4 B F I	-48 8.4 926 8	2. 1	4. 4	69. 318 75	1. 7	4. 6	-38 2.7 197 4	-7. 8	3. 4	1. 5	3. 1	7. 4
B11	1 B F I- > 4 B F I	85. 591 40	-0. 5	4. 9	-12 9.4 313 2	0. 6	5. 1	21 6.8 174 5	0. 1	3. 7	0. 1	0. 1	0. 3
B12	3 4 F I- > 5 B F I	35 9.7 166 0	0. 3	5. 4	33 2.1 138 4	-4. 0	5. 7	-11 5.6 911 1	7. 1	3. 4	2. 3	2. 6	7. 8
B13	0 A Z F I- > 5 B	25 7.7 364 1	1. 4	5. 4	36 3.1 533 7	3. 8	5. 7	-17 1.6 635 3	-7. 5	3. 4	1. 6	2. 9	7. 3

	F I												
B 1 4	3 4 F I > 6 B F I	47 5.6 535 4	-5. 6	5. 9	88. 525 65	-0. 6	5. 2	27 8.6 798 4	9. 6	3. 3	2. 2	2. 8	7. 7
B 1 5	0 A Z F I > 6 B F I	37 3.6 733 5	1. 7	5. 9	11 9.5 651 8	1. 7	5. 2	22 2.7 074 2	-8. 3	3. 3	1. 8	2. 8	7. 3
B 1 6	5 B F I > 6 B F I	11 5.9 369 4	3. 0	6. 6	-24 3.5 881 9	-0. 6	6. 4	39 4.3 709 5	-0. 7	3. 8	0. 1	0. 2	0. 0

4.4 Adjusted Closeloops in WGS84

Style One:

Loop N O.	Loop Ty pe	Loop Length (m)	Qualified	Baseline average len gth(m)	Baseline I D	Azimuth
C1	Sync.Lo op	1713.1658	Conformity	571.0553	34FI->0A ZFI	35.9051558 26
					0AZFI->1 BFI	205.462992 391
					34FI->1B FI	203.847427 782
C2	Sync.Lo op	612.5639	Conformity	204.1880	34FI->0A ZFI	35.9051558 26
					0AZFI->2 BFI	262.847471 170
					34FI->2B FI	286.107534 421
C3	Sync.Lo op	861.0213	Conformity	287.0071	34FI->0A ZFI	35.9051558 26
					0AZFI->3 BFI	212.306877 991
					34FI->3B FI	210.978602 082
C4	Sync.Lo op	1252.3827	Conformity	417.4609	34FI->0A ZFI	35.9051558 26
					0AZFI->4 BFI	216.158264 680
					34FI->4B FI	216.216151 726
C5	Sync.Lo op	1100.7238	Conformity	366.9079	34FI->0A ZFI	35.9051558 26
					0AZFI->5 BFI	119.055901 272

					34FI->5B FI	105.938562 684
C6	Sync.Lo op	1129.8785	Conformity	376.6262	34FI->0A ZFI	35.9051558 26
					0AZFI->6 BFI	56.9938896 54
					34FI->6B FI	52.7444329 09
C7	Sync.Lo op	1513.4326	Conformity	504.4775	34FI->1B FI	203.847427 782
					1BFI->4B FI	359.794491 255
					34FI->4B FI	216.216151 726
C8	Sync.Lo op	853.8016	Conformity	284.6005	34FI->2B FI	286.107534 421
					2BFI->3B FI	172.270316 446
					34FI->3B FI	210.978602 082
C9	Sync.Lo op	1539.2288	Nonconfor mity	513.0763	34FI->5B FI	105.938562 684
					5BFI->6B FI	355.276626 895
					34FI->6B FI	52.7444329 09
C10	Sync.Lo op	1744.5724	Conformity	581.5241	0AZFI->1 BFI	205.462992 391
					1BFI->4B FI	359.794491 255
					0AZFI->4 BFI	216.158264 680
C11	Sync.Lo op	1036.6439	Conformity	345.5480	0AZFI->2 BFI	262.847471 170
					2BFI->3B FI	172.270316 446
					0AZFI->3 BFI	212.306877 991
C12	Sync.Lo op	1406.2066	Nonconfor mity	468.7355	0AZFI->5 BFI	119.055901 272
					5BFI->6B FI	355.276626 895
					0AZFI->6 BFI	56.9938896 54

4.4 Adjusted Geodetic Coordinates in WGS84

Point ID	Latitude	Latitude Error(s)	Longitude	Longitude Error(s)	Ellipsoid Height(m)	H. Err. (m)
34FI	34°55'08.783 46"S	0.000000	056°10'02.997 21"W	0.000000	35.3837	0.0000
0AZFI	34°55'05.760 56"S	0.000000	056°10'00.340 74"W	0.000000	71.0433	0.0000
1BFI	34°55'30.716 61"S	0.000112	056°10'14.769 28"W	0.000121	16.8151	0.0048
2BFI	34°55'06.867 64"S	0.000112	056°10'11.0504 6"W	0.000101	19.4100	0.0033
3BFI	34°55'17.441 11"S	0.000133	056°10'09.308 02"W	0.000123	19.2776	0.0041

4BFI	34°55'22.065 28"S	0.000109	056°10'14.806 95"W	0.000118	19.9144	0.0046
5BFI	34°55'13.265 56"S	0.000121	056°09'43.940 20"W	0.000151	39.6397	0.0056
6BFI	34°54'57.814 78"S	0.000117	056°09'45.490 05"W	0.000157	32.7390	0.0055

4.5 Adjusted ECEF Coordinates in WGS84

Point ID	X(m)	X Err. (m)	Y(m)	Y Err. (m)	Z(m)	Z Err. (m)	3D Err. (m)
34FI	2915007.72 257	0.00000	-4349047.89 554	0.00000	-3630532.20 828	0.00000	0.00000
0AZFI	2915109.70 276	0.00000	-4349078.93 507	0.00000	-3630476.23 586	0.00000	0.00000
1BFI	2914535.61 868	0.00455	-4348880.18 500	0.00479	-3631075.77 304	0.00347	0.00746
2BFI	2914849.44 211	0.00333	-4349178.89 627	0.00341	-3630474.65 494	0.00408	0.00627
3BFI	2914782.27 825	0.00414	-4348999.24 287	0.00425	-3630741.75 019	0.00486	0.00767
4BFI	2914621.21 008	0.00443	-4349009.61 632	0.00462	-3630858.95 560	0.00339	0.00724
5BFI	2915367.43 917	0.00536	-4348715.78 170	0.00567	-3630647.89 939	0.00345	0.00852
6BFI	2915483.37 611	0.00587	-4348959.36 989	0.00522	-3630253.52 844	0.00327	0.00851

4.6 Adjusted Grid Coordinates and Height in Local System

Point ID	North(m)	North Err.(m)	East(m)	East Err.(m)	Elev.(m)	Elev. Err.(m)
34FI	6135611.41177	0.00000	576042.69028	0.00000	35.3837	0.0000
0AZFI	6135703.97196	0.00000	576110.86956	0.00000	71.0433	0.0000
1BFI	6134938.23561	0.00345	575738.39300	0.00306	16.8151	0.0048
2BFI	6135672.12628	0.00345	575838.84057	0.00256	19.4100	0.0033
3BFI	6135346.04131	0.00412	575880.34918	0.00312	19.2776	0.0041
4BFI	6135204.74972	0.00334	575739.64554	0.00299	19.9144	0.0046
5BFI	6135469.30460	0.00374	576525.07852	0.00385	39.6397	0.0056
6BFI	6135945.59868	0.00361	576489.73575	0.00399	32.7390	0.0055

4.7 Lat-Lon-Height(Local)

Point ID	Latitude	Latitude Er r.(s)	Longitude	Longitude Er r.(s)	Ellipsoid Heigh t(m)	H. Err. (m)
34FI	34°55'08.783 46"S	0.000000	056°10'02.997 21"W	0.000000	35.3837	0.0000
0AZFI	34°55'05.760 56"S	0.000000	056°10'00.340 74"W	0.000000	71.0433	0.0000
1BFI	34°55'30.716 61"S	0.000112	056°10'14.769 28"W	0.000121	16.8151	0.0048
2BFI	34°55'06.867 64"S	0.000112	056°10'11.0504 6"W	0.000101	19.4100	0.0033
3BFI	34°55'17.441 11"S	0.000133	056°10'09.308 02"W	0.000123	19.2776	0.0041
4BFI	34°55'22.065 28"S	0.000109	056°10'14.806 95"W	0.000118	19.9144	0.0046
5BFI	34°55'13.265 56"S	0.000121	056°09'43.940 20"W	0.000151	39.6397	0.0056
6BFI	34°54'57.814 78"S	0.000117	056°09'45.490 05"W	0.000157	32.7390	0.0055

4.8 Coordinate Change

Point ID(m)	ΔNorth(m)	ΔEast(m)	ΔEllipsoid Height(m)
34FI	0.00000	0.00000	0.0000
0AZFI	0.00000	0.00000	0.0000
1BFI	4.41470	-1.48541	-7.7187
2BFI	4.63802	-1.47508	-8.0313
3BFI	4.63796	-1.47521	-8.0319
4BFI	4.41467	-1.48543	-7.7192
5BFI	2.97266	-0.77234	-7.5513
6BFI	2.97385	-0.77020	-7.5489

4.9 Worst baseline and station statistics

Worst baseline	Baseline ID	DX (m)	Std. DX (m)	DY (m)	Std. DY (m)	DZ (m)	Std. DZ (m)	Distance (m)	Mean Error (m)	Relative error
B11 (1BFI->4BFI)	1BFI-4BFI	85.59140	4.9	-129.43132	5.1	216.81745	3.7	266.62363	0.00796	1/33501.00000







Worst local station	North(m)	North Error(m)	East(m)	East Error(m)	Elev. (m)	Elev. Error(m)	Standard Deviation
6BFI	6135945.59868	0.00361	576489.73575	0.00399	32.7390	0.0055	0.00773

4.10 Error Ellipse

Point ID	Major Axis(m)	Short Axis(m)	Azimuth
34FI	0.0000	0.0000	0.000000000
0AZFI	0.0000	0.0000	0.000000000
1BFI	0.0035	0.0031	7.478929098
2BFI	0.0035	0.0025	173.094048314
3BFI	0.0041	0.0031	170.674022783
4BFI	0.0034	0.0030	7.716258900
5BFI	0.0039	0.0037	56.600591289
6BFI	0.0043	0.0033	56.704329729

Error Ellipse

34FI		0AZFI	
------	--	-------	--

1BFI		2BFI	
3BFI		4BFI	
5BFI		6BFI	

**Reporte del Preanálisis
Altimetría de MaRGIA(D)**

MicroSurvey STAR*NET-PRO Version 8,0,2,630
Licensed for Demo Use Only
Run Date: Wed Feb 11 2026 18:08:25

Summary of Files Used and Option Settings

=====

Project Folder and Data Files

Project Name PREANALISISNIVELACION
Project Folder D:\MATEO\...\6- STARNET\PREANALISISNIVELACION
Data File List 1. PreAnalysisNivelacion.dat

Project Option Settings

STAR*NET Run Mode : Preanalysis
Type of Adjustment : Lev
Project Units : Meters
Input/Output Coordinate Order : North-East
Create Coordinate File : Yes

Instrument Standard Error Settings

Project Default Instrument
Differential Levels : 0.001500 Meters / Km

Summary of Unadjusted Input Observations

=====

Number of Entered Stations (Meters) = 6

Fixed Stations	Elev	Description
34FI	19.3290	

Free Stations	Elev	Description
1BFI	2.1618	
2BFI	4.7467	
3BFI	4.6214	
4BFI	5.2524	
SGM	4.5843	

Number of Differential Level Observations (Meters) = 6

From	To	Elev Diff	StdErr	Length
34FI	2BFI	-14.5823	0.0008	255
2BFI	SGM	-0.1624	0.0008	267
SGM	1BFI	-2.4225	0.0011	554
1BFI	4BFI	3.0906	0.0008	268
4BFI	3BFI	-0.6310	0.0007	233
3BFI	34FI	14.7076	0.0010	490

Adjusted Elevations and Error Propagation (Meters)

=====

Station	Elev	StdDev	95%	Description
34FI	19.3290	0.001500	0.002940	
1BFI	2.1618	0.001847	0.003619	
2BFI	4.7467	0.001659	0.003252	
3BFI	4.6214	0.001758	0.003446	
4BFI	5.2524	0.001819	0.003564	
SGM	4.5843	0.001769	0.003466	

Elapsed Time = 00:00:00

Reporte del Ajuste de Altimetría de MaRGIA(D)

MicroSurvey STAR*NET-PRO Version 8,0,2,630
Licensed for Demo Use Only
Run Date: Mon Feb 23 2026 19:33:43

Summary of Files Used and Option Settings

=====

Project Folder and Data Files

Project Name PREANALISISNIVELACION
Project Folder D:\MATEO\...\6- STARNET\PREANALISISNIVELACION
Data File List 1. PreAnalysisNivelacion.dat

Project Option Settings

STAR*NET Run Mode : Adjust with Error Propagation
Type of Adjustment : Lev
Project Units : Meters
Input/Output Coordinate Order : North-East
Create Coordinate File : Yes

Instrument Standard Error Settings

Project Default Instrument
Differential Levels : 0.001500 Meters / Km

Summary of Unadjusted Input Observations

=====

Number of Entered Stations (Meters) = 6

Fixed Stations	Elev	Description
34FI	19.3290	

Free Stations	Elev	Description
1BFI	2.1690	
2BFI	4.7484	
3BFI	4.6320	
4BFI	5.2614	
SGM	4.5879	

Number of Differential Level Observations (Meters) = 8

From	To	Elev Diff	StdErr	Length
34FI	2BFI	-14.5823	0.0008	255
2BFI	SGM	-0.1624	0.0008	267
SGM	1BFI	-2.4108	0.0011	580
1BFI	4BFI	3.0886	0.0008	318
4BFI	3BFI	-0.6311	0.0007	233
3BFI	34FI	14.6957	0.0010	490
2BFI	3BFI	-0.1153	0.0009	359
4BFI	SGM	-0.6763	0.0008	307

Adjustment Statistical Summary

=====

Number of Stations = 6
Number of Observations = 8
Number of Unknowns = 5
Number of Redundant Obs = 3

Observation	Count	Sum Squares of StdRes	Error Factor
Level Data	8	4.372	1.207
Total	8	4.372	1.207

The Chi-Square Test at 5.00% Level Passed
Lower/Upper Bounds (0.268/1.765)

Adjusted Elevations and Error Propagation (Meters)

=====

Station	Elev	StdDev	95%	Description
34FI	19.3290	0.001500	0.002940	
1BFI	2.1743	0.001843	0.003611	
2BFI	4.7473	0.001636	0.003206	
3BFI	4.6321	0.001675	0.003282	
4BFI	5.2627	0.001741	0.003412	
SGM	4.5855	0.001734	0.003399	

Adjusted Observations and Residuals

=====

Adjusted Differential Level Observations (Meters)

From	To	Elev Diff	Residual	StdErr	StdRes	File:Line
34FI	2BFI	-14.5817	0.0006	0.0008	0.8	1:63
2BFI	SGM	-0.1618	0.0006	0.0008	0.8	1:65
SGM	1BFI	-2.4112	-0.0004	0.0011	0.3	1:66
1BFI	4BFI	3.0884	-0.0002	0.0008	0.3	1:67
4BFI	3BFI	-0.6306	0.0005	0.0007	0.7	1:68
3BFI	34FI	14.6969	0.0012	0.0010	1.1	1:69
2BFI	3BFI	-0.1152	0.0001	0.0009	0.1	1:70
4BFI	SGM	-0.6772	-0.0009	0.0008	1.1	1:71

Elapsed Time = 00:00:02