

Intersección espacial en microgeodesia

Ing. Lara Trento¹

¹ - Ingeniera Agrimensora
Universidad Nacional del Litoral
E-mail: lara.trento@gmail.com

RESUMEN

La microgeodesia consiste en procedimientos de observación y cálculo para la resolución de problemas geodésicos con precisión en extensiones reducidas. En este ámbito la intersección espacial es un método novedoso que permite determinar las coordenadas de puntos fijos alcanzando la solución planimétrica y altimétrica conjuntamente. El objetivo es determinar la precisión que alcanza la intersección espacial y comparar los resultados con otros métodos. Se diseñó un campo de prueba y se determinó las coordenadas de puntos por diversas técnicas. Los resultados muestran que las precisiones submilimétricas son alcanzadas en distancias de 30 metros, siendo el error proporcional a la distancia.

Palabras Claves: microgeodesia, intersección espacial, problemas geodésicos, coordenadas

ABSTRACT

Micro-geodesy consist on procedures of observation and calculation to resolve geodesic issues with high accuracy in small extensions. In this field, spatial intersection is a novel method, which allow to determine planimetric coordinates of fix points, reaching to both planimetric and altimetric solution. The objective is to determine the accuracy which can reach the spatial intersection and contrast it whit the results of other methods. A field trial was designed and the coordinates of points is determined by various techniques. The results show that the submillimeter accuracies are achieved at distances of 30 meters, being proportional to the distance error.

Keywords: micro-geodesy, spatial intersection, geodesic issues, coordinates

INTRODUCCIÓN

La microgeodesia consiste en procedimientos de observación y cálculo para la resolución de problemas geodésicos con alta precisión en extensiones reducidas (Parachú, [1]). El objetivo de la misma es dar coordenadas espaciales a puntos fijos y determinar formas y dimensiones de objetos que se extienden en sólo algunas decenas de metros. Debido a la alta precisión que se alcanza con la microgeodesia y que sólo es aplicable a extensiones reducidas, los ambientes ideales para acudir a ella son la industria y la construcción.

Los métodos de medición que surgen de la microgeodesia se aplican en el relevamiento y replanteo de algunas obras civiles, en redes de apoyo de esas obras y en la industria (montaje, mantenimiento preventivo, reparaciones) en extensiones que no superan las decenas de metros y alcanzan en muchos casos precisiones que llegan a las décimas de milímetros. De ahí la importancia de este trabajo, que contribuye a mostrar las distintas opciones en instrumental y precisión aplicadas a la resolución de relevamientos y replanteos en distancias cortas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la precisión que alcanza el método de intersección espacial directa en el ámbito de la microgeodesia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Definir un sistema de referencia de alta precisión.

Aplicar el método de intersección espacial directa para el cálculo de coordenadas planialtimétricas de puntos fijos pertenecientes a un campo de prueba.

Obtener el elipsoide de error asociado a cada punto relevado para determinar la precisión alcanzada con el método.

Comparar los resultados obtenidos con el método de intersección espacial en relación a los alcanzados por otros métodos.

MARCO TEÓRICO

Los métodos de intersección son técnicas topográficas que permiten obtener las coordenadas de un punto incógnita a partir del apoyo en otros puntos con coordenadas conocidas. Estos métodos de intersección se clasifican de un modo genérico, según si se conocen o no las coordenadas del punto sobre el que se estaciona el teodolito, denominándose intersección directa si se estaciona en puntos conocidos e intersección inversa si se estaciona en puntos desconocidos.

Históricamente, conforme con lo expresando en Farjas [2], tanto en la topografía como en la geodesia los métodos de intersección se aplicaban solo con observaciones angulares ya que existían múltiples dificultades e inconvenientes a la hora de medir distancias con precisión milimétrica y submilimétrica, más aún cuando los puntos eran inaccesibles. En la actualidad los métodos de intersección incluyen tanto observaciones angulares como de distancias, dado que hoy es más preciso con el empleo de nuevos equipos, entre ellos el distanciómetro láser.

No obstante, debido a la exactitud que se requiere en la microgeodesia, el procedimiento habitual que aún hoy se utiliza es la intersección angular y el instrumento por excelencia es el teodolito de precisión. El empleo de este equipo presenta la ventaja que se pueden realizar observaciones de ángulos horizontales y verticales, tanto de puntos accesibles como inaccesibles, con precisión, lo que

permite determinar coordenadas planialtimétricas de puntos de interés con gran fidelidad. La precisión alcanzada es posible debido a la rigurosidad en las observaciones con teodolito, a las cortas distancias en que se realizan las operaciones y a que se evita que se midan distancias, acción que trae aparejado errores de magnitud considerable.

Por su parte, el empleo de estación total para la determinación de coordenadas, ha remplazado los métodos de intersección en distintos ámbitos. Sin embargo, en la microgeodesia, al hacer uso de la estación total se debe considerar que los errores pueden superar las tolerancias que los trabajos requieren, motivo por el cual el método de intersección con teodolito sigue superando el empleo de este equipo moderno.

Como consecuencia de ello, actualmente para la obtención de coordenadas planialtimétricas (X;Y;Z) en el ámbito de la microgeodesia, se realiza la observación de direcciones angulares con teodolitos de precisión, apoyándonos en puntos de coordenadas conocidas. Y el resultado se alcanza por medio de la solución tradicional la cual consiste en realizar una intersección simple para la obtención de las coordenadas planimétricas y utilizar uno de los ángulos verticales para determinar la cota del punto incógnita. No obstante, como adelanto al método tradicional, Parachú [1] propone dar solución a la determinación de coordenadas planialtimétricas por medio de la intersección espacial o tridimensional: método que busca la solución de la planimetría y altimetría conjuntamente por medio de la integración de las observaciones de los ángulos horizontales y verticales, logrando la solución de la planimetría y altimetría conjuntamente.

Conforme con lo postulado en Parachú [1], la idea de reunir en los ajustes las observaciones horizontales y verticales, data del siglo XIX. Sin embargo, en el ámbito de la geodesia, no ha habido aportes sustanciales en esta integración de la planimetría y altimetría ya que si las visuales son poco elevadas, las relaciones de observación de ángulos verticales no interactúan significativamente con las relaciones de observación de los ángulos horizontales. No obstante, sí interesa la integración cuando las visuales son altas.

La determinación de las coordenadas de un punto incógnita P a partir del método de intersección espacial directa se alcanza integrando las observaciones de los ángulos horizontales y verticales de ambas estaciones. La solución se puede lograr por

el método de medidas indirectas, el de ecuaciones de condición y por el de rectas alabeadas. Los primeros dos métodos corresponden a compensaciones que se abarcan en los problemas geodésicos siguiendo el criterio de mínimos cuadrados, mientras que el último fue el desarrollado por el Ing. Parachú y consiste en resolver el problema geométrico de hallar la distancia entre dos rectas alabeadas (Figura 1). Si bien los ajustes alcanzados por los tres métodos son equivalentes, el planteado por el Ing. Parachú es notablemente menos laborioso así como novedoso, por lo cual es el que se realizó en el presente proyecto.

tal que estas distancias d1 y d2 hagan mínima la distancia entre los puntos P1 y P2. Es por ello que a la metodología se la denomina mínima distancias entre rectas alabeadas y se la desarrolla a continuación siguiendo lo fundado en Meier [3].

Se define a Qi como el punto genérico de la visual i, k y h (variables) las distancias a los puntos Q1 y Q2 respectivamente y a partir de la ecuación de una recta en el espacio se define:

$$Q_i = S_i + h_i * \bar{u}_i \quad (3)$$

$$Q_2 - Q_1 = S_2 - S_1 + k\bar{u}_2 - h\bar{u}_1 \quad (4)$$

$$(\overline{Q_1 Q_2})^2 = (S_2 - S_1 + k\bar{u}_2 - h\bar{u}_1)^2 \quad (5)$$

Si se encuentra el mínimo resultará: $Q_1=P_1, Q_2=P_2, h=d_1$ y $k=d_2$. Por tal, se establece la condición de mínimo:

$$\frac{\partial f}{\partial h} = 0 \text{ y } \frac{\partial f}{\partial k} = 0 \quad (6)$$

Consecuentemente los valores de k y h serán las distancias d1 y d2, derivando la función (5) respecto a h y k se obtiene como resultado del desarrollo matemático d1 y d2:

$$d_1 = \frac{S_1 S_2 * (\bar{u}_2 * \cos \alpha - \bar{u}_1)}{\text{Sen}^2 \alpha} \quad (7)$$

$$d_2 = \frac{S_1 S_2 * (\bar{u}_1 * \cos \alpha - \bar{u}_2)}{\text{Sen}^2 \alpha} \quad (8)$$

Con la distancia d1 y d2 es posible calcular las coordenadas de los puntos P1 y P2 de la siguiente manera:

$$P_i(x; y; z) = S_i(x; y; z) + d_i * \bar{u}_i \quad i = 1; 2 \quad (9)$$

Para calcular las coordenadas de P, en primera aproximación, se puede hacer un promedio entre los puntos P1 y P2. Sin embargo como se requiere la mayor rigurosidad posible en la determinación de las coordenadas, se puede realizar un promedio ponderado partiendo de la base de que el punto cuya distancia es menor (d1 o d2) es más confiable que aquel cuya distancia es mayor, o demostrando que el punto P pertenece al segmento normal común a ambas visuales. Independientemente la opción que se escoja se arriba a la misma fórmula:

$$P = \frac{P_1 d_2^2 + P_2 d_1^2}{d_1^2 + d_2^2} \quad (10)$$

Las ventajas del método de intersección espacial directa son:

- El método por sí solo tiene sobreabundancia, lo que nos permite hallar una estimación del error mediante la distancia entre las rectas alabeadas y se puede determinar el elipsoide de error asociado al punto incógnita.
- Ángulo de intersección es útil aún cuando el ángulo de intersección en planimetría no resulta

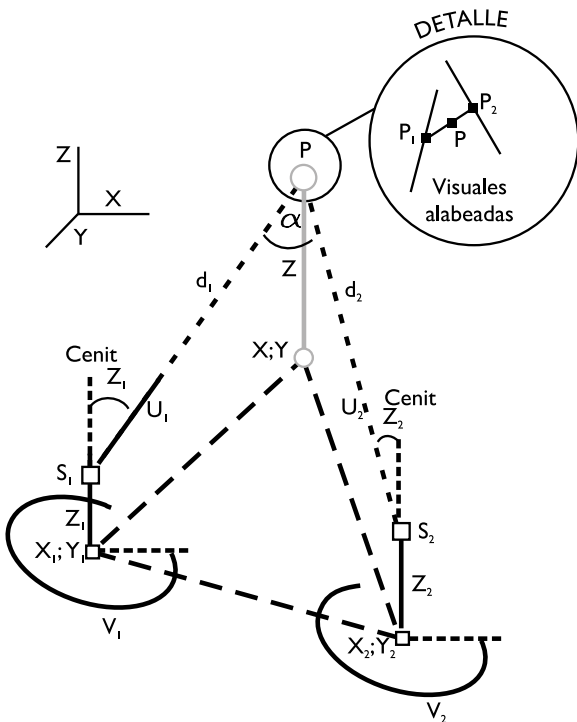


FIGURA 1: Visuales alabeadas en la intersección espacial directa

De la figura se determina:

- Si: punto estación (conocido)
- P: punto incógnita
- Pi: puntos observados
- i=1,2
- $\overline{P_1 P_2}$ distancia mínima entre visuales alabeadas
- \bar{u}_i : versor de SiP tal que:
 $\bar{u}_i = \text{Sen}Z_i * \text{Cos}V_i; \text{Sen}Z_i * \text{Sen}V_i; \text{Cos}Z_i \quad (1)$

• a: ángulo de intersección espacial, comprendido entre \bar{u}_1 y \bar{u}_2 tal que:

$$\alpha = \bar{u}_1 * \bar{u}_2 \quad (2)$$

Por este método lo que se busca son dos distancias desde S1 y S2 a P1 y P2 respectivamente,

conveniente para una buena determinación (0° o 180°).

- La resolución por el método de rectas alabeadas es menos laboriosa que realizar el método de ecuaciones de condición o de medidas indirectas.

ÁREA DE ESTUDIO

El campo de prueba se emplazó en el Estadio 15 de Abril de la ciudad de Santa Fe, capital de la provincia homónima.

MATERIALES

- Estación Total: Leica flexline TS06. Precisión angular: $2''$.

- Nivel óptico: South NL 28. Desviación estándar por 1km doble de nivelación: $\pm 1,5$ mm.

- Mira base invar o mira horizontal. Dimensión: 2 metros.

- Equipo topográfico menor: 4 trípodes, 2 miras estadimétricas, 2 placas de base o sapos de apoyo, 1 cinta métrica de 100 metros de longitud.

- Herramientas de campo: mojones de hierro de 5 mm de diámetro por 25cm de largo (5mmx25cm), mojones de hierro de 10 mm de diámetro por 30 cm de largo (10mmx30cm), dianas de punterías confeccionadas en papel vinilo adhesivo, 1 masa.

MÉTODO

Para alcanzar los objetivos planteados se trabajó en tres etapas. La primera, denominada planificación, consistió en tareas de gabinete de definición

y organización de aspectos vinculados al relevamiento; la segunda fueron las actividades de campo consistente en el relevamiento en sí; y la tercera en tareas de gabinete, fundamentalmente el procesamiento de los datos relevados.

PLANIFICACIÓN

El área de estudio en la que se emplazó el campo de prueba no constaba con ningún sistema de referencia, por lo cual la primera actividad de gabinete consistió en establecer el sistema de referencia al cual se vinculará el trabajo. Se impuso como condición que la precisión del sistema sea igual o superior que la del método a trabajar. Se resolvió crear un sistema de referencia local por medio de la intersección espacial directa, utilizando un método escalar (aplicado por Meier [3]).

El procedimiento abordado consistiría en realizar estación con una estación total en un punto cualquiera del terreno y definir S_1 correspondiente al centro óptico del instrumento. Luego, con otra estación total de la misma precisión, se estacionaría en otro punto arbitrario del terreno (próximo a S_1) y se determinaría S_2 en el centro óptico del segundo equipo. Se establecerían dos condiciones: que S_2 pertenece al plano XZ y que la distancia entre S_1 y S_2 es "d", donde d puede adquirir cualquier valor. Solo quedaría como variable el ángulo de elevación, y conociendo éste sería posible calcular las coordenadas (ficticias) de E_2 . El sistema de referencia en una escala desconocida quedaría determinado de la siguiente manera (Figura 2):

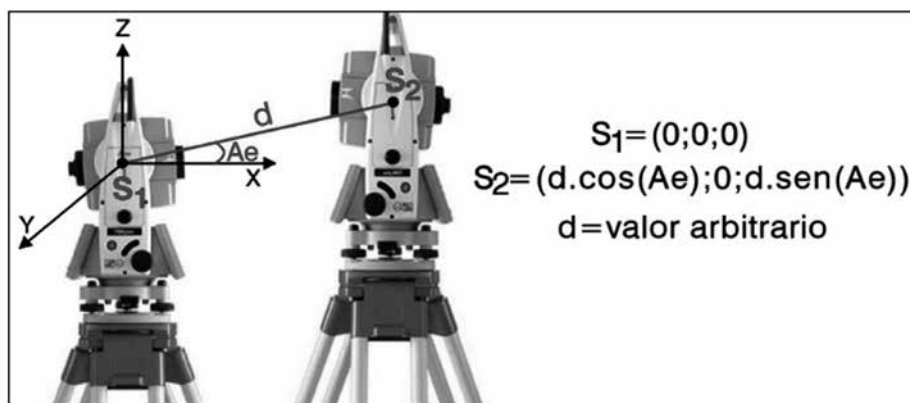


FIGURA 2: Definición del sistema de referencia en escala desconocida

Para obtener las coordenadas reales de S_2 sería necesario conocer la distancia entre dos puntos fijos y las coordenadas en el sistema de referencia creado. Estacionando una mira horizontal en las

proximidades de S_1 y S_2 se determinarían, por el método de intersección espacial directa, las coordenadas ficticias de las señales de punterías de la mira invar, M_1 y M_2 . Posteriormente se calcularía

la diferencia entre los puntos en la escala del sistema, y comparando esta distancia con la medida real entre las señales de puntería (2 metros) sería posible conocer las coordenadas reales de S_2 . Trabajando de esta manera se mejoraría notablemente la precisión ya que se elimina el error de estacionamiento, y se garantiza que el sistema de referencia este en el mismo orden de precisión que el método a trabajar ya que fue constituido utilizando la técnica de intersección tridimensional.

Sin embargo, la utilización de esta metodología para materializar el sistema de referencia implicaría el uso de dos estaciones totales iguales, equipos con los que no se contaba. Consecuentemente se realizaron modificaciones al método para poder desarrollarlo con un único instrumento. La variante introducida permitió crear un sistema de referencia donde, si bien no se elimina el error de

estacionamiento, se garantiza que el sistema definido tenga la precisión del método abordado en el presente trabajo.

Definido el sistema de referencia a utilizar, la siguiente actividad fue el diseño del campo de prueba. En primer lugar se determinó un área, delimitada por una circunferencia de 10 metros de diámetro, en la que se ubicaron los puntos que constituyen el sistema de referencia. Posteriormente se estableció la ubicación de los puntos incógnita del campo de prueba. Se distribuyeron en 3 regiones, según la distancia al área correspondiente al sistema de referencia, A, B y C y dentro de ellas en 2 sub-regiones según la altura, 1 y 2 (Figura 3). La disposición de puntos adoptada para el campo de prueba permitió conocer la precisión del método en función de la distancia y del ángulo de elevación.

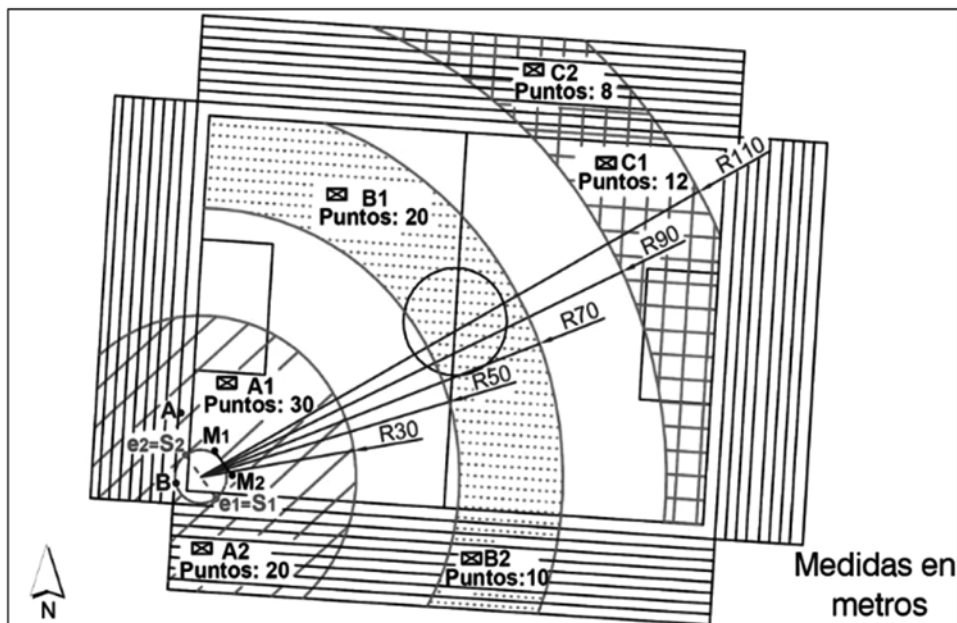


FIGURA 3: Diseño del campo de prueba

Se determinaron 100 puntos incógnita, de los cuales 50 corresponderían a la región A. La colocación de mayor cantidad de puntos en A se debió a que es la distancia ideal para el ámbito de la microgeodesia, por lo cual es importante que sea más exhaustiva la verificación del método en pocas decenas de metros.

TAREAS DE CAMPO

La primera actividad de campo fue la materialización de los puntos incógnita del campo de prueba, utilizando mojon de hierro para la subregión I

y dianas de puntería tanto en la subregión I como la 2.

Seguidamente se constituyó el sistema de referencia acorde a lo planificado previamente. La variante al método consistió en establecer una condición más, que el ángulo de elevación sea 0° en lugar de una variable. De esta forma se constituyó el sistema de referencia en campo, donde S1 corresponde al centro óptico del equipo cuando está centrado en e1 y S2 al centro óptico también, pero cuando se encuentra centrado en e2 (Figura 4).

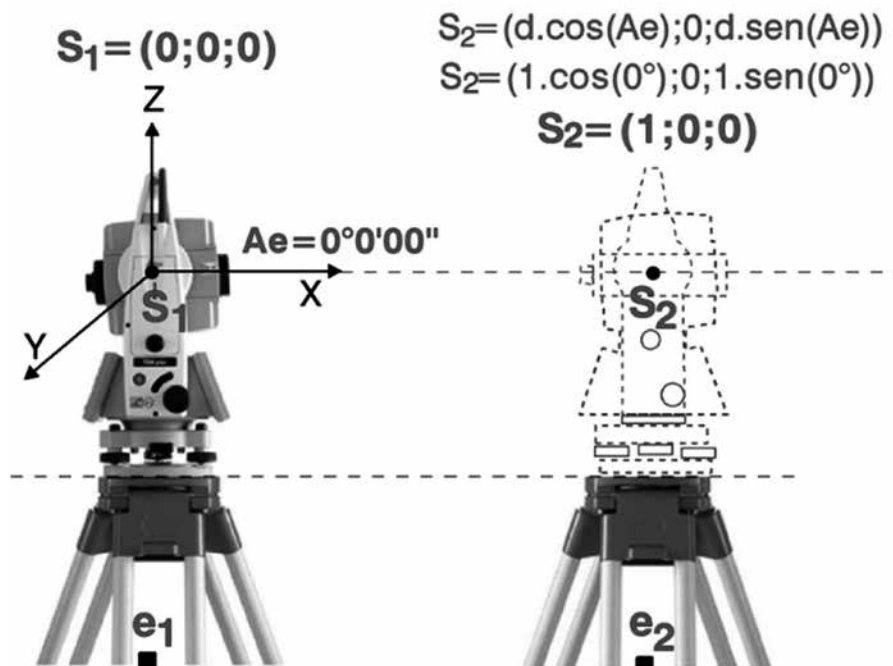


FIGURA 4: Constitución del sistema de referencia en escala desconocida

Constituido el sistema de referencia en escala desconocida, se colocó la mira horizontal en las proximidades de S1 y S2, y se calculó por intersección espacial las coordenadas de las señales de puntería de la mira, M1 y M2. Conocidas estas coordenadas en esta escala desconocida, se calculó la distancia ficticia entre estos dos puntos. Sabiendo que la distancia real es 2 metros, se halló el factor de escala y se recalcularon las coordenadas de S2. De esta forma se constituyó el sistema de referencia local en escala real.

Además se calculó en campo los elipsoides de error con los cuales se determinó M1 y M2, para de esta forma garantizar que este error sea inferior al milímetro, y no existan errores que se trasladen al sistema de referencia cuando se lo escala.

Las actividades posteriores consistieron en el relevamiento de los puntos incógnita del campo de prueba. Con la estación total se observó desde S1 los ángulos horizontales y verticales a los puntos, así como también se midieron las coordenadas con estación total. Desde S2 solo se observaron los ángulos. Al mismo tiempo, se realizó una nivelación cerrada utilizando el nivel óptico, donde se midieron los puntos de la subregión I materializados con mojón de hierro. Los puntos materializados con dianas de puntería no se observaron por la inaccesibilidad de los puntos con la mira estadimétrica.

TAREAS DE GABINETE: PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Esta etapa consistió en el procesamiento de los datos levantados en campo con estación total y nivel óptico. Se calculó las coordenadas de los puntos incógnita por distintos métodos: intersección espacial directa, intersección simple, nivelación trigonométrica, nivelación geométrica y coordenadas obtenidas empleando la estación total.

Con el objetivo de determinar la precisión que alcanza el método estudiado, se hallaron los semiejes de los elipsoides de error (Figura 5) asociados a los puntos determinados por intersección espacial, ya que éstos cuantifican los errores cometidos en la determinación de las coordenadas de los puntos. Estos elipsoides se componen de 3 semiejes, el semieje mayor, intermedio y menor, que justamente representan el mayor error, el error medio y el mínimo respectivamente, cometido en la determinación de un punto.

Con estos valores de semiejes, se observó si existieron efectivamente mediciones por debajo de los valores señalados (0,5 mm; 1 mm; 1,5 mm y 2 mm) para determinar la precisión del método por cada sector del campo de prueba.

Finalmente se compararon las coordenadas de los puntos incógnita obtenidos por distintos métodos para cada sector del campo de prueba.

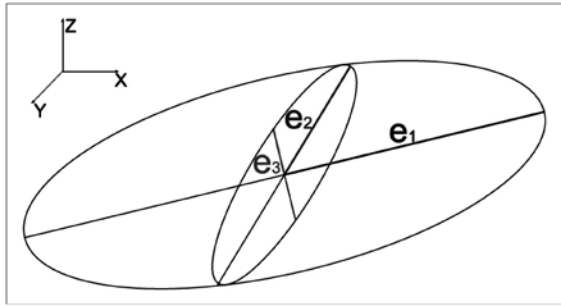


FIGURA 5: Semiejes de un elipsoide de error

RESULTADOS

En primer lugar se obtuvo la determinación de S1 y S2, puntos que constituyeron el sistema de referencia local al cual se vinculó el trabajo. La

precisión del sistema fue del orden de magnitud del método estudiado. Esto fue viable gracias a que para la constitución del sistema se recurrió a la intersección espacial directa en conjunto con un método escalar, utilizando una mira base invar donde se determinaron M1 y M2. Estos puntos sirvieron de apoyo en la constitución del sistema y la precisión con la que se determinaron sus coordenadas puede apreciarse en la magnitud de los semiejes del elipsoide de error obtenido para cada punto (Tabla 1). En la misma se observa los errores cometidos en la determinación de M1 y M2, los cuales reflejan la precisión del sistema, ya que éstos fueron los puntos utilizados para escalar el sistema de referencia.

TABLA 1: Coordenadas y elipsoide de error de M1 y M2

Punto	Coordenadas por intersección espacial			Semiejes elipsoides de error		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	e ₁ [m]	e ₂ [m]	e ₃ [m]
M ₁	5,61494	4,99840	-0,18731	0,00024	0,00021	0,00016
M ₂	3,61842	4,88049	-0,18489	0,00027	0,00021	0,00016

Se obtuvieron, por distintos métodos, las coordenadas planialtimétricas de 63 puntos incógnita, de los 100 puntos materializados en el campo de prueba (Figura 6).

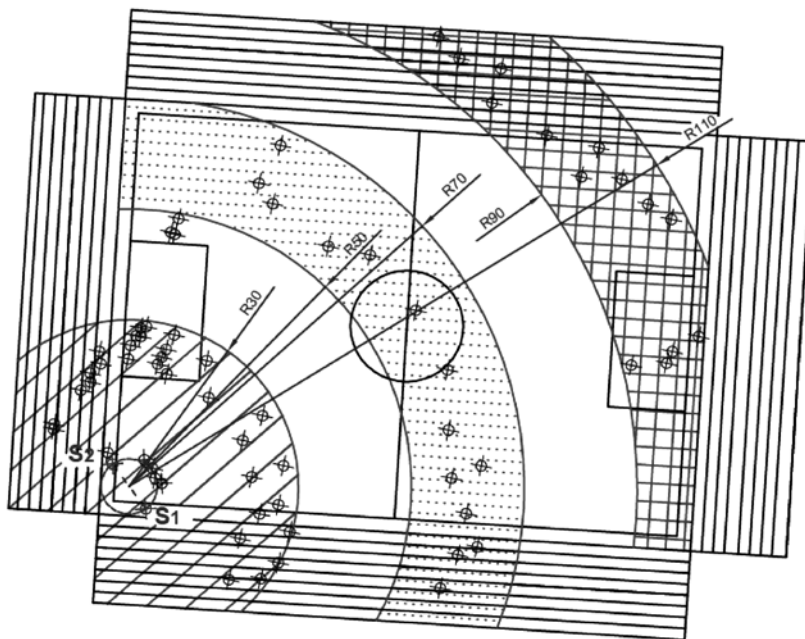


FIGURA 6: Puntos determinados del campo de prueba.

Esta configuración de los puntos permitió analizar la precisión del método en función de la distancia, a partir de las regiones A, B y C. Sin embargo, solo en la región A se apreció diferencia en

los ángulos de elevación entre la subregión 1 y 2, correspondiendo ángulos pequeños para la subregión 1 y ángulos más elevados (aproximadamente 25°) en la subregión 2. No obstante, en B y C no

se apreciaron grandes diferencias entre los ángulos de elevación entre las subregiones 1 y 2, a pesar de que los puntos se colocaron a 15 metros de altura. Por tal se decidió analizar la influencia del ángulo de elevación en la región A, discriminando A1 y A2, y en B y C no distinguir subregiones.

Del análisis de los semiejes de los elipsoides se observó que en la región A hubo puntos que fueron determinados con el mayor error inferior al milímetro, y existiendo mayor precisión en A1 que en A2. Lo cual indicaría una relación entre la pre-

cisión y el ángulo de elevación, donde la precisión disminuye a medida que el ángulo aumenta. En cuanto a los semiejes correspondientes a puntos de las regiones B y C, se observó que el mayor error, representado por el semieje mayor, no fue inferior a 2 mm, y que existió una mayor rigurosidad en la determinación de los puntos en B que en C. De esto último, y considerando lo obtenido en A, se desprende que existe una mayor precisión en cortas distancias, y a medida que esta aumenta el error también (Tabla 2).

TABLA 2: Cantidad de puntos para diferentes longitudes de semiejes de elipsoides.

Sector	Semiejes inferior a	Longitud semiejes elipsoide de error											
		e1 [mm]				e2 [mm]				e3 [mm]			
		0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2
A1	Cant. Ptos	4	5	8	12	18	19	19	19	18	19	19	19
	%	21	26	42	63	95	100	100	100	95	100	100	100
A2	Cant.	1	3	3	3	7	11	13	13	7	11	13	13
	%	8	23	23	23	54	85	100	100	54	85	100	100
B	Cant.	0	0	0	0	14	16	17	17	14	17	17	17
	%	0	0	0	0	82	94	100	100	82	100	100	100
C	Cant.	0	0	0	1	2	9	11	13	2	9	11	13
	%	0	0	0	7	14	64	79	93	14	64	79	93

En cuanto a la comparación de coordenadas entre la intersección espacial y la intersección simple más nivelación trigonométrica (solución tradicional), se observó que en el 90% de los casos la diferencia en las coordenadas fue inferior al milímetro. Esto era de esperar ya que en ambas técnicas los datos que se utilizan para calcular las coordenadas son los mismos, lo que varía es la solución matemática. Sin embargo, se encontraron puntos donde la diferencia alcanzaba el metro. Se analizó cuando sucedió esto y se determinó que este fenómeno ocurre cuando el ángulo de intersección planimétrico era próximo a los 0° (puntos estación y el punto incógnita se encontraban, prácticamente, en el mismo plano vertical). Como se había indicado en el marco teórico, esta situación produce un error en el cálculo de las coordenadas por la

solución tradicional y explicando así discrepancia de coordenadas. De esta forma se pone en evidencia la supremacía del método de intersección espacial dado que se evitar el uso de este ángulo y consecuentemente la introducción de errores.

De la comparación de coordenadas obtenidas por intersección espacial con estación total, se observó que las discrepancias iban de las décimas de milímetro hasta los 4 mm aproximadamente. Se encontró también que hubo equivocaciones en campo en la determinación de puntos con coordenadas por estación total, debido a la obstrucción de los puntos incógnita por otros objetos; detectándose la falencia del uso de la estación total para obtener coordenadas de puntos en lugares donde los puntos no se encuentran obstruidos por objetos o muy lejanos.

De la comparación de las coordenadas de nivelación geométrica con el método de interés, intersección tridimensional, no se apreciaron grandes diferencias (décima de milímetros hasta los dos milímetros). Sin embargo hay que destacar que lo puntos materializados por dianas de puntería, caso más frecuente en microgeodesia, por nivelación geométrica no se pueden medir, solo aquellos materializados por mojón.

CONCLUSIONES

Los elipsoides de error permitieron cuantificar el error en la determinación de las coordenadas de los puntos por el método de intersección tridimensional. Del análisis de la magnitud de los semiejes de los elipsoides de error se concluyó que las precisiones submilimétricas son alcanzadas, mayoritariamente, en la región A, correspondiente a distancias menores de 30 metros, o próximas a ella; y a medida que nos alejamos de los puntos estación la precisión disminuye. Se infiere que la precisión disminuye con la distancia. Esto se debe a que el método emplea observaciones angulares para calcular las coordenadas, y como es sabido el error en la medición de ángulos es proporcional a la distancia.

En cuanto al ángulo de elevación, solo pudo analizarse en la región A ya que para B y C no fue posible materializar puntos muy elevados (mayor a 15 metros) para conseguir ángulos de elevación significantes (igual o mayores a 45°). Del análisis de los elipsoides de error obtenidos en A1 y A2 se concluyó que, acorde con los resultados obtenidos, podría existir una disminución de la precisión a medida que el ángulo de elevación aumenta.

La comparación de las coordenadas obtenidas por intersección espacial con las obtenidas por otros métodos demostró que los métodos que menor diferencias presentan son la intersección simple en las coordenadas X, Y y la nivelación trigonométrica en la coordenada Z. Esto se debió a que para el cálculo se utilizan los mismos datos (coordenadas de estación conocidas y ángulos horizontales y verticales tomados en campo) y lo que varía es la solución matemática. Sin embargo se evidenciaron importantes falencias en la intersección simple y en la nivelación trigonométrica cuando los puntos se encuentran casi o totalmente en el mismo plano vertical. En cuanto a las coordenadas obtenidas con estación total se observaron diferencias que alcanzaron hasta los 4 milímetros

y puntos determinados incorrectamente debido a que la onda electromagnética se reflejó en un punto que no era de interés. Las coordenadas obtenidas por nivelación geométrica no presentaron importantes diferencias con las obtenidas por el método de intersección espacial.

Se concluye entonces que el método de intersección espacial es adecuado para utilizar en el ámbito de la microgeodesia, en extensiones preferentemente inferiores a los 30 metros, pudiéndose también emplear en distancias mayores, 50 metros aproximadamente, utilizando equipos de gran precisión angular, como ser teodolito con precisión angular 1".

BIBLIOGRAFÍA

[1] PARACHÚ, Oscar Adolfo. "La intersección espacial en Microgeodesia". Revista de Ingeniería N° 3 (1985): Rosario, pág. 19-21.

[2] FARJAS ABADÍA, Mercedes. Método de Intersección Simple. 2005 [en línea]. [Consulta: 6 de Marzo 2014]. <http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-fotogrametria/topografia-ii/Teoria_IS_Tema_7.pdf>.

[3] MEIER, Walter Tomás. "Intersección espacial directa e inversa". En: Apuntes de la cátedra geodesia. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. 2009.