



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE AGRIMENSURA



PRÁCTICA DE CAMPO 5

NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA CERRADA

TOPOGRAFÍA ALTIMÉTRICA

DOCENTES:

- Martin Wainstein
- Magali Martinez
- Alberto Mamrut
- Micaela Garcia

INTEGRANTES DEL GRUPO:

- Juan Borderre - CI: 5.237.687-1
- Agustín Cima - CI: 5.635.655-6
- Mateo Franco - CI: 5.150.058-4
- Joaquín Yarzabal - CI: 5.223.305-7

FECHA DE ENTREGA: 23/10/2024

OBJETIVO

El presente informe tiene como finalidad que el estudiante continúe afianzando sus conocimientos prácticos en el uso del instrumental y en la aplicación de los procedimientos propios del relevamiento altimétrico mediante el empleo, en este caso, de la Estación Total.

En particular, se utilizará el método de nivelación trigonométrica cerrada, con el fin de aplicar un nuevo método con el cual podemos comparar con los otros métodos utilizados anteriormente en términos de eficiencia, precisión, rapidez y practicidad.

MARCO TEÓRICO

En el ámbito de la topografía, la **Estación Total** es un instrumento fundamental que combina las funciones de teodolito y distanciómetro, permitiendo la medición precisa de ángulos (horizontales y verticales) y distancias en el terreno.

El uso de la Estación Total tiene grandes ventajas respecto de los instrumentos que se utilizaban anteriormente, ya que estas cuentan con un microprocesador con capacidad de guardar los datos relevados y capaz de realizar diversos cálculos de interés. También es de destacar la sencillez en su manejo y el ahorro de tiempo al tomar distancias, lo que claramente significa una disminución sustancial de los costos, y el hecho de minimizar las posibilidades de cometer errores de lecturas, anotaciones o transcripciones de los datos, ya que estos se realizan en forma automática.

Además, hoy en día existen estaciones con seguimiento de prisma que permiten ahorrar aún más en los tiempos que lleva un relevamiento.

A modo de introducción, una estación total consta de varias partes las cuales son indispensables para funcionar correctamente y para poder medir distancias de forma correcta en su uso cotidiano necesitamos de:

1. El telescopio: nos permite ver los puntos de medición.
2. El compensador: asegura que la estación esté vertical, lo que es crucial para mediciones precisas.
3. El prisma: nos ayuda a medir distancias reflejando la luz de la estación total.
4. El trípode y el bastón: proporcionan estabilidad y elevación tanto a la estación como al prisma según sea necesario.

Componentes básicos de una estación total:

Es esencial que los ejes de la estación total estén alineados correctamente.

- Eje Principal: es el eje de giro de la parte móvil de la estación total, llamada también alidada, y es el que debe verticalizarse sobre el punto. Debe mantenerse vertical.

- Eje Secundario: es el eje de giro del anteojo del instrumento. Debe ser perpendicular al eje principal para medir ángulos precisos.
- Eje de Colimación: es el eje de puntería del instrumento y queda definido por el centro del sistema objetivo del anteojo y el centro de la cruz de hilos del retículo. Al bascular el anteojo en torno al eje secundario, deberá describir un plano vertical. Debe ser perpendicular al eje secundario para alinear la luz de la estación total.

Estos tres ejes se cortan en un punto llamado “centro analítico” del instrumento.



EP – Eje principal

ES – Eje secundario

EC – Eje de Colimación

Imagen 1 - Ejes estación total

Además, la estación total posee los siguientes componentes:

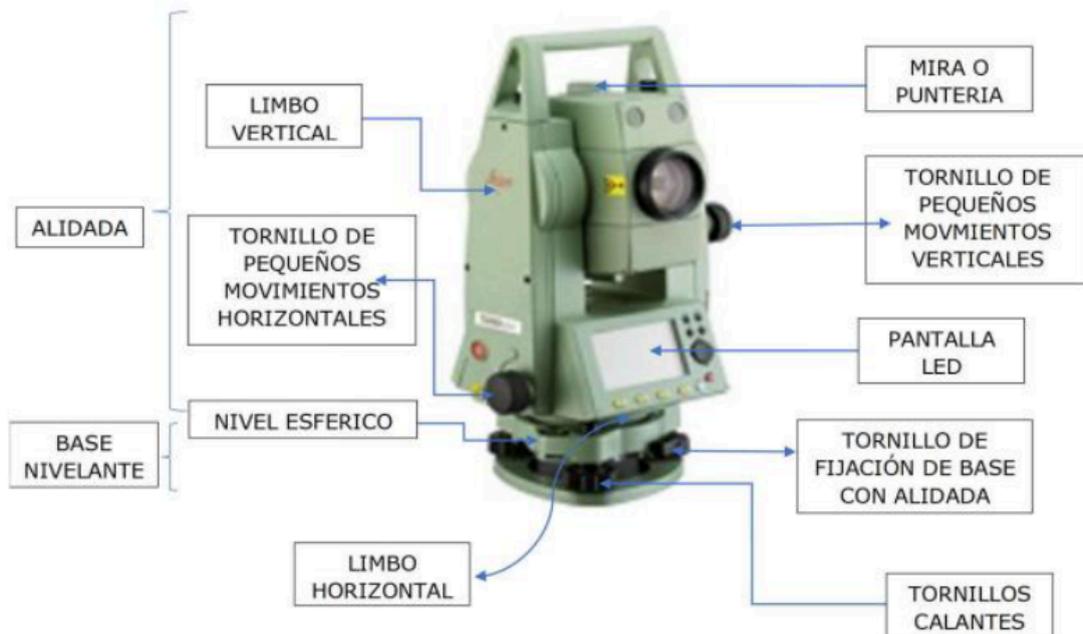


Imagen 2 - Componentes estación total

La base nivelante es la parte fija de los instrumentos topográficos y contiene el nivel esférico y los tornillos nivelantes o calantes. Estos tornillos se utilizan para ajustar la burbuja del nivel esférico, asegurando que la base esté horizontal. Los tornillos tienen rosca y están dispuestos en forma de triángulo equilátero, cuyo centroide debe coincidir con el eje principal del instrumento.

La alidada es la parte móvil y está compuesta por el limbo vertical y horizontal, la mira, pantalla led, tornillo de pequeños movimientos horizontales y tornillo de pequeños movimientos verticales.

El método de **Nivelación Trigonométrica** consiste en hallar la diferencia de altura entre dos puntos, A y B, mediante la resolución trigonométrica de un triángulo rectángulo vertical, formado por la línea horizontal que pasa por el centro analítico del instrumento, estacionado sobre uno de los puntos, la vertical que pasa por el otro punto y la visual dada por el eje de colimación del referido instrumento.

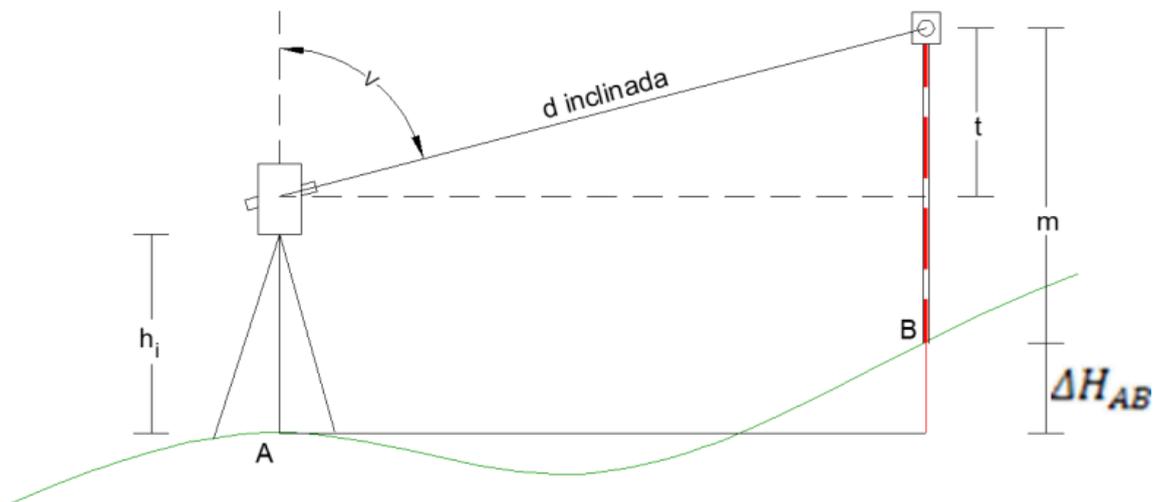


Imagen 3 - Nivelación Trigonométrica.

Considerando la imagen, se puede deducir la ecuación fundamental trigonométrica

$$\Delta H_{AB} = h_i + t - h_m = h_i + d \times \cos(V) - h_m$$

Se realizó una **nivelación cerrada**. Esto quiere decir, que si se parte de un punto y luego de efectuado un cierto itinerario se concluye en el mismo punto, la diferencia de nivel será cero.

Seguramente la diferencia entre ambas sumatorias no será nula. El valor obtenido será un indicador de la calidad del trabajo, determinando si el mismo cumple con las exigencias establecidas.

El método de **poligonización** implica la unión de puntos visibles entre sí (vértices), utilizando tramos rectos para formar una figura geométrica, ya sea abierta o cerrada.

Durante este proceso, se miden los ángulos entre los lados consecutivos y las longitudes de los mismos.

La poligonal cerrada es cuando se parte de un punto y se llega al mismo punto, de coordenadas previamente conocidas o no. La gran ventaja de la poligonal cerrada, es que se puede tener un control de cierre angular y lineal, el cual permite realizar un ajuste en caso de ser necesario.

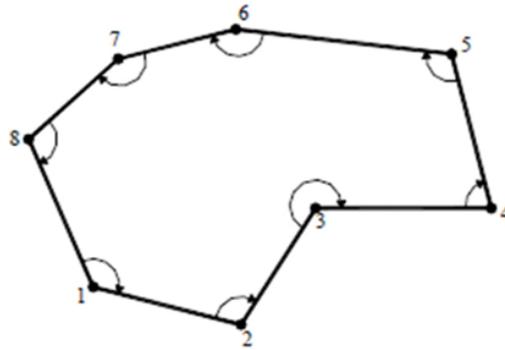


Imagen 4 - Poligonal cerrada.

Cuando ponemos en práctica el método de poligonización, a la hora de realizar las diferentes medidas, se produce la inherente acumulación de errores propios cometidos en las medidas de los ángulos y las distancias, por lo que a la hora de formar efectuar los cálculos para formar la poligonal no se llegará exactamente al punto desde el que partimos, es decir, las coordenadas del punto inicial siempre van a diferir de las coordenadas del punto final y a esta discrepancia o diferencia se la llama **vector de cierre**. Es por esto último que, su magnitud es un indicador de la calidad del trabajo, y es el que nos permitirá establecer si se cumple con las exigencias (precisiones) requeridas. De ser así, el siguiente paso será compensar la poligonal, de manera que el punto de llegada coincida exactamente con el punto indicado.

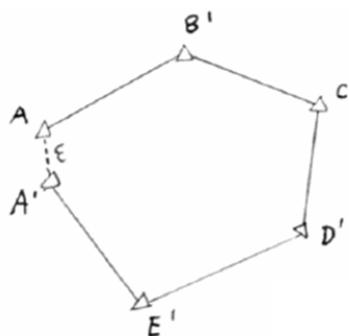


Imagen 5 - Ejemplo de vector de cierre.

METODOLOGIA E INSTRUMENTAL

Instrumentos:



Imagen 5, 6 y 7 - Trípode, mini prisma y Estación Total (Kolida).

Área de trabajo:



Imagen 8 - Área de trabajo.

Metodología empleada:

Se realizó una nivelación trigonométrica cerrada utilizando una Estación Total para medir las diferencias de altura entre los puntos fijos materializados de la poligonal. Este método se basa en determinar el desnivel entre dos puntos mediante el cálculo trigonométrico de un triángulo rectángulo vertical formado por la línea visual del instrumento y la vertical de los puntos. Al tratarse de una poligonal cerrada, se pudo verificar la precisión del levantamiento comparando las diferencias de altura al inicio y al final del recorrido.

Dado que el circuito era cerrado, el levantamiento comenzó y finalizó en el mismo punto fijo. Teóricamente, la diferencia de nivel al completar el recorrido debería ser nula; sin embargo, cualquier desviación que se observe en la práctica refleja los errores instrumentales o metodológicos acumulados durante el proceso.

Adicionalmente, debido a que algunos puntos no eran visibles entre sí, fue necesario realizar cambios de estación, reposicionando la estación total en dos puntos intermedios (1 y 6) para asegurar la continuidad de las mediciones. Esto permitió cubrir todo el trayecto y completar la poligonal con precisión. De igual manera, se estacionó también en el punto 4 con el fin de tener un mayor control de las mediciones y porque fue más práctico y sencillo que estacionarse en el punto 3.

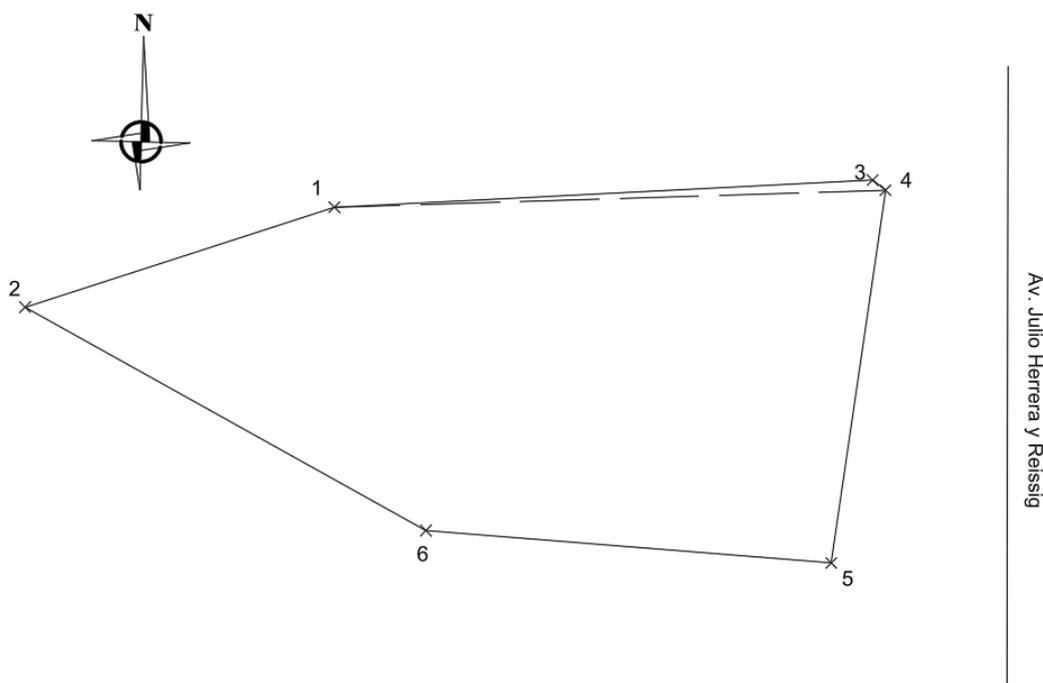


Imagen 9 - Croquis con la distribución de puntos.

Por lo tanto, los puntos distribuidos en el anterior croquis se tratan de 3 puntos fijos utilizados en las prácticas anteriores (2, 3 y 5) y otros 3 puntos estación (1, 4 y 6).



Imagen 10 - Punto de partida y llegada.



Imagen 11 - Imagen satelital del punto en cuestión.

Procedimiento realizado:

Para el primer punto (punto 1), nos orientamos de forma de establecer que el Norte de nuestro eje de coordenadas sea paralelo al eje de la calle Julio Herrera y Reissig. Para dicha primera estación en el punto establecimos como coordenada (100,000;200,000;10,000). Desde ahí tomamos los puntos 2, 3 y 4.

Luego estacionados en el punto 4 nos orientamos con respecto al punto 1 de manera de poder trabajar en el mismo sistema de coordenadas y tomamos los puntos 1, 3 y 5. Al tomar el punto 5 pudimos verificar que las coordenadas nos daban prácticamente igual siendo la diferencia entre estas de 2 milímetros como máximo.

Lo mismo hicimos estacionados en el punto 5 donde nos orientamos al punto 4 y tomamos los puntos 4 y 6, y también estacionamos en el punto 6 donde nos orientamos al punto 5 y tomamos los puntos 5 y 2.

En cada una de estas estaciones comprobamos si las coordenadas nos daban igual y pudimos ver que la diferencia en todas ellas fue muy pequeña, de unos pocos milímetros (3 mm como máximo en algunos casos), siendo estos los errores propios que luego determinan nuestro vector de cierre.

A la hora de realizar este relevamiento, medimos las coordenadas de los puntos, mientras que los ángulos internos y las distancias horizontales fueron obtenidas mediante el empleo de Autocad.

Teniendo las coordenadas de los puntos pudimos comprobar la diferencia de nivel entre el punto inicial y el punto final, mediante la fórmula de nivelación trigonométrica, objeto principal de la práctica, pero también se realizó un ajuste de la poligonal de manera de obtener un control de calidad del relevamiento.

Utilizando los métodos de ajuste, aplicamos las correcciones necesarias a la poligonal. Este proceso implica el uso de software (Excel).

RESULTADOS

Coordenadas tomadas desde el Punto 1 (Altura de la estación = 1,583m):

Punto	X (metros)	Y (metros)	Z (metros)
1	100,000	200,000	10,000
2 Punto Fijo	46,554	182,548	9,670
3 Punto Fijo	193,062	204,740	9,842

4	195,300	202,967	9,802
---	---------	---------	-------

Coordenadas tomadas desde el Punto 4 (Altura de la estación = 1,587m):

Las coordenadas del punto 1 y 3 se tomaron con el fin de realizar una verificación.

Punto	X (metros)	Y (metros)	Z (metros)
1	99,999	199,998	10,002
3 Punto Fijo	193,059	204,743	9,841
5 Punto Fijo	185,897	137,974	12,781

Coordenadas tomadas desde el Punto 5 (Altura de la estación = 1,589m):

La coordenada del punto 4 se tomó con el fin de realizar una verificación.

Punto	X (metros)	Y (metros)	Z (metros)
4	195,300	202,969	9,805
6	115,815	143,584	11,856

Coordenadas tomadas desde el Punto 6 (Altura de la estación = 1,619m):

La coordenada del punto 5 fue tomada con el fin de realizar una verificación.

Punto	X (metros)	Y (metros)	Z (metros)
5 Punto Fijo	185,897	137,974	12,784
2 Punto Fijo	46,553	182,551	9,673

Ajuste de las coordenadas planimétricas:

Para realizar el ajuste de la poligonal, se utilizaron las coordenadas que se tomaron en el primer sentido, esto debido a que al hacer una nueva estación y orientarnos al punto anterior se pudo verificar las coordenadas (que dieron como resultado una mínima diferencia de unos pocos milímetros como se pudo ver en las tablas anteriores) pero sin embargo nuestra última estación fue en el punto 6 por lo que para ese punto sólo se tiene una coordenada, es por eso, la elección de tomar las coordenadas que se tomaron en una primera instancia y no al verificar o hacer un promedio entre estas debido a que este último punto sólo tiene un dato.

Datos de campo y control primario										
Punto	Angulo	minuto	segundo	Ang. Rad	distancias	Azimuts	Proyecciones		X	Y
							Seno	Coseno		
2	47	26	40	0.82806177	79.469	2.08324	69.2611241	-38.9643254	46.553	182.551
6	155	12	58	2.70903219	70.306	1.65067954	70.0817965	-5.6102977	115.815	143.584
5	93	39	20	1.63459781	65.67	0.14368469	9.40333978	64.99327735	185.897	137.974
4	120	9	18	2.09710036	2.855	5.38237771	-2.23783084	1.772889766	195.300	202.967
3	138	41	49	2.42071834	93.183	4.6615034	-93.0623847	-4.7396253	193.062	204.740
1	164	49	56	2.87686499	56.223	4.39677573	-53.4459327	-17.4515902	100.000	200.000
sumatoria de angulos	717	176	241	sumatoria de distancias	367.706					

Calculo de vectores de cierre										
Punto	Angulo	minuto	segundo	Ang. Rad	distancias	Azimuts	Proyecciones		X	Y
							Seno	Coseno		
2	47	26	40	0.82806177	79.469	2.08324	69.2611241	-38.9643254	46.553	182.551
6	155	12	58	2.70903219	70.306	1.65067954	70.0817965	-5.6102977	115.815	143.584
5	93	39	20	1.63459781	65.67	0.14368469	9.40333978	64.99327735	185.897	137.974
4	120	9	18	2.09710036	2.855	5.38237771	-2.23783084	1.772889766	195.300	202.967
3	138	41	49	2.42071834	93.183	4.6615034	-93.0623847	-4.7396253	193.062	204.740
1	164	49	56	2.87686499	56.223	4.39677573	-53.4459327	-17.4515902	100.000	200.000
2'	47	26	40	0.82806177	79.469	2.08324	69.2611241	-38.9643254	46.554	182.548
6'	155	12	58	2.70903219	70.306	1.65067954	70.0817965	-5.6102977	115.815	143.584
5'	93	39	20	1.63459781	65.67	0.14368469	9.40333978	64.99327735	185.897	137.974
4'	120	9	18	2.09710036	2.855	5.38237771	-2.23783084	1.772889766	195.300	202.967
3'	138	41	49	2.42071834	93.183	4.6615034	-93.0623847	-4.7396253	193.062	204.740
1'	164	49	56	2.87686499	56.223	4.39677573	-53.4459327	-17.4515902	100.000	200.000

	Vectores			Error Relativo	Tolerancia	0.0001	Ax/Dtotal	Ay/Dtotal
	Ax	Ay	Modulo					
2-2'	0.00011208	0.000328517	0.00034711	9.4399E-07	-9.9056E-05	cumple	-3.04803E-07	-8.93422E-07
6-6'	0.00011208	0.000328517	0.00034711	9.4399E-07	-9.9056E-05	cumple		
5-5'	0.00011208	0.000328517	0.00034711	9.4399E-07	-9.9056E-05	cumple		
4-4'	0.00011208	0.000328517	0.00034711	9.4399E-07	-9.9056E-05	cumple		
3-3'	0.00011208	0.000328517	0.00034711	9.4399E-07	-9.9056E-05	cumple		
1-1'	0.00011208	0.000328517	0.00034711	9.4399E-07	-9.9056E-05	cumple		

Resultado de la nivelación:

La diferencia de nivel entre el Punto Inicial y el Punto Final es:

9,673 m - 9,670 m = **0,003 m**



CONCLUSIÓN

En esta instancia se realizó de manera exitosa una nivelación trigonométrica cerrada mediante el empleo de Estación Total, a diferencia de las prácticas anteriores donde se realizaron nivelación geométricas cerradas con Nivel Óptico.

Se trató de utilizar los conocimientos adquiridos en el curso pasado para el uso del equipo pero también se requirió poner en práctica los conocimientos que se obtuvieron en las nivelaciones geométricas pasadas.

Con el uso de la Estación Total fue posible tener un control estación a estación verificando si las coordenadas eran iguales o si se tenía una diferencia de unos pocos milímetros que permitieran seguir adelante con el trabajo y comprobando así que los datos recabados eran correctos.

La nivelación trigonométrica cerrada realizada entre los puntos materializados permitió obtener las coordenadas planimétricas y altimétricas de cada uno, garantizando un control de calidad del relevamiento además de obtener el fin principal de hallar el desnivel entre los puntos inicial y final.

Al analizar los datos, se observó que las variaciones en las coordenadas de los puntos medidos desde distintas estaciones fueron mínimas, lo que refleja una alta precisión en las mediciones. Por ejemplo, la coordenada del punto 1 desde la estación en el mismo punto fue de (100,000, 200,000, 10,000), mientras que desde la estación en el punto 4 fue de (99,999, 199,998, 10,002), mostrando una diferencia altimétrica de apenas 2 mm, lo cual está dentro de los márgenes tolerables.

Del mismo modo, el cierre del circuito muestra diferencias mínimas en las altitudes de los puntos comunes medidos desde estaciones diferentes, como el punto 3, que presentó una diferencia de sólo 1 mm entre las mediciones realizadas desde las estaciones 1 y 4. Además, el punto fijo 2, medido desde la estación 1 y la estación 6, presentó una variación de 3 mm, lo que confirma un buen control altimétrico, considerando que hubo tres cambios de estación, lo cual puede introducir pequeños errores en la nivelación.

Estas diferencias menores indican que el error de cierre altimétrico es bajo y se encuentra dentro de los límites aceptables, validando así la precisión del relevamiento.