



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE AGRIMENSURA



# PRÁCTICA DE CAMPO 1 CONTROL DE INSTRUMENTAL

TOPOGRAFÍA ALTIMÉTRICA

DOCENTES:

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

GRUPO N°2

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: 05/09/2024

## OBJETIVO

El objetivo de esta práctica es introducir al estudiante en el manejo de instrumental altimétrico, mediante la manipulación del Nivel Óptico, con el fin específico de calcular la diferencia de nivel entre puntos, y también determinar si el instrumento contiene error de colimación.

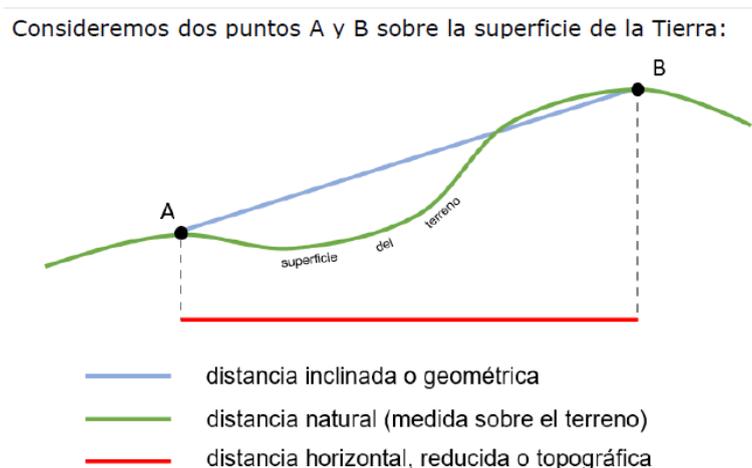
Para esto, debemos como estudiantes, evaluar la precisión del instrumental en conjunto con el equipamiento accesorio. También debemos poder realizar los cálculos propuestos en la práctica y que los resultados obtenidos sean coherentes con la realidad.

## MARCO TEÓRICO

A modo de introducción, en el curso de **Topografía Planimétrica**, pudimos emplear durante una práctica el manejo del Nivel Óptico pero en ese entonces como método para medir distancias de forma indirecta, ya que no trabajamos en el ámbito de altimetría.

La medición indirecta de distancias es un método comúnmente utilizado en topografía para determinar distancias horizontales, es indirecta cuando no se puede recorrer el terreno y se necesitan cálculos matemáticos para realizar la medición. Se basa en principios trigonométricos y el uso de instrumentos adecuados para obtener mediciones precisas.

La distancia topográfica corresponde a la proyección sobre un plano horizontal del segmento de recta AB, o lo que es lo mismo, a la proyección horizontal del recorrido más corto entre los puntos A y B sobre el terreno.



**Imagen 1 - Distancias en topografía.**

En la práctica mencionada, se utilizó el Nivel Óptico para determinar la distancia entre dos puntos de forma indirecta, ya que es un método rápido y que no requiere recorrer la distancia sobre el terreno. La precisión con la que se determina la

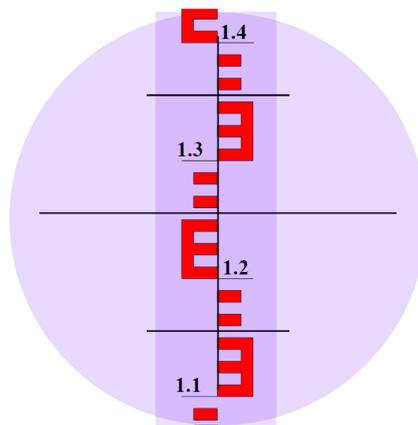
distancia es del orden del decímetro ( $\pm 0,1$  m).

El Nivel Óptico está constituido por un nivel tubular pegado a un anteojo astronómico, de forma tal que el eje de colimación de éste, sea paralelo al eje del nivel tubular.

Este instrumento va montado sobre un trípode mediante un tornillo ad-hoc y gira alrededor de un eje de rotación.

Se coloca la mira telescópica en el punto al que se va a medir y se le apunta con el nivel óptico. A través del ocular se ven 3 hilos, el superior (Ls), medio (Lm) e inferior (Li).

Siguiendo con la práctica realizada en el anterior curso, se calculaba la distancia a un punto aplicando la fórmula  $D = (Ls - Li) \times k$ , con  $k = 100$  y utilizando el ángulo horizontal indicado en el nivel.



*Imagen 2 - Lectura en la mira del hilo superior, medio e inferior.*

Una vez calculada la distancia entre el Nivel Óptico y los dos puntos donde se ubicó la mira, además de contar con el ángulo comprendido entre las alineaciones, se procedía a utilizar el teorema del coseno para poder calcular la distancia entre los dos puntos, ya que este teorema consiste en la obtención del largo de un lado del triángulo a partir del largo de los otros dos lados y el ángulo entre sí.

Al final de la práctica se pudo comprobar que las mediciones de distancias de forma indirecta con Nivel Óptico si bien es útil ya que permite realizar mediciones sin tener que recorrer el terreno, no tiene la precisión que si se puede tener empleando métodos de mediciones directas como lo son el empleo de cinta métrica o de una Estación Total.

Sin embargo, en este curso de **Topografía Altimétrica** utilizaremos el Nivel Óptico en el ámbito de la **altimétrica**, su principal función, mediante el cálculo de diferencia de nivel entre puntos.

La altimetría es la rama de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o cota de cada punto

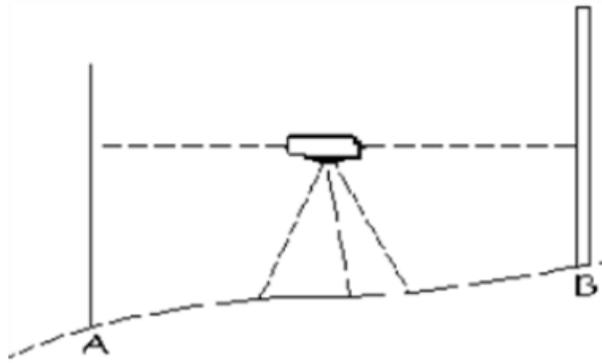
respecto de un plano o superficie de referencia. Por lo tanto, la altimetría tiene por objeto hallar la distancia de cada punto al plano horizontal que se toma como plano de comparación o referencia.

Existen varios ejemplos de trabajos en altimetría, algunos de ellos pueden ser: batimetría, dragado del Puerto de Montevideo, saneamiento, redes de abastecimiento y distribución, paso a desnivel, construcción de líneas de conducción eléctrica, canteras, control de maquinaria vial, etc.

Algunas definiciones importantes:

- La superficie concéntrica a la tierra que se toma como referencia para la determinación altimétrica se le denomina superficie de nivel o superficie de referencia, y se define como aquella superficie continua, situada en cualquier posición, pero perpendicular a la gravedad resultando, por lo tanto, una superficie equipotencial. Dentro de los límites propios de la topografía, las superficies de nivel pueden ser consideradas esféricas, y, por consiguiente, equivalentes y paralelas, pero por tal consideración no puede ser aceptada en geodesia.
- El plano horizontal, es el plano normal a la dirección de la fuerza de gravedad en ese punto, por lo tanto es tangente a la superficie de nivel que pasa por dicho punto. En topografía, el plano horizontal y la superficie de nivel correspondiente pueden considerarse coincidentes dentro de las distancias a las cuales se realizan las visuales de nivelación.
- En topografía clásica, las superficies de referencia pueden llegar a considerarse como planas, es por ello que serán análogas a la definición de una superficie de referencia, con la salvedad de que el ámbito de definición se encuentra acotado a los límites topográficos en geodesia lo correcto es hablar de superficies de referencia.
- Se denomina cota del punto a la distancia medida sobre la normal, entre éste y una superficie de referencia.  
Las cotas pueden referirse a superficies o planos de referencias arbitrarios (el cero de una obra) o superficies convenidas o decretadas (cero oficiales, geoide, etc).
- El desnivel entre dos puntos es la distancia vertical entre las superficies equipotenciales que pasan por dichos puntos. También puede definirse como la diferencia de elevación o cota entre ambos puntos.  $\Delta h = Q_B - Q_A$

La Nivelación Geométrica consiste en determinar las diferencias de alturas entre dos o más puntos mediante visuales horizontales generadas por Equialtímetros Niveles Ópticos, dirigidas a miras verticales colocadas sobre dichos puntos.



El desnivel será :  $\Delta H = l_A - l_B$

*Imagen 3 - Nivelación geométrica simple (el área de trabajo permite una sola puesta en estación del Nivel Óptico).*

Como mencionamos anteriormente, un Nivel Óptico o Equialtímetro es un instrumento topográfico que permite determinar el desnivel entre dos puntos mediante visuales horizontales dirigidas a miras verticales.

Este instrumento está constituido por un nivel tubular adosado a un anteojo astronómico, de forma tal que el eje de colimación de éste sea paralelo al eje del nivel tubular. Va montado sobre un trípode mediante un tornillo ad hoc y gira alrededor de un eje de rotación.



*Imagen 4 - Composición de un Nivel Óptico.*

- Objetivo: sistema de lentes que permiten maximizar la imagen de los objetos enfocados
- Tornillo de enfoque: permite visualizar los objetos enfocados con mayor claridad y nitidez.
- Ocular: permite enfocar los hilos del retículo y eliminar así el error de paralaje
- Tornillos calantes: permiten el movimiento de la base del nivel con la finalidad de verticalizar el eje principal (que siga la dirección de la plomada).

- Compensador: sistema de prismas suspendidos que funcionan según el principio del péndulo, asegurando así que el eje de colimación permanezca horizontal.
- Tornillos para pequeños movimientos: permite el movimiento del instrumento en torno al eje principal.
- Base del nivel: base del instrumento que permite su apoyo y posterior fijación al trípode.
- Círculo horizontal: permite la lectura de ángulos horizontales (con baja precisión).
- Nivel esférico: permite horizontalizar la base del nivel; para calar la burbuja movemos las patas del trípode y posteriormente utilizamos los tornillos calantes.

Estos instrumentos poseen la característica de ser autonivelantes, ya que sólo es necesario centrar un nivel esférico mediante los tornillos calantes y movimientos del trípode sobre el que se sitúa.

Un sistema de prismas compensadores ubicados entre el lente objetivo y el retículo, que actúan por gravedad, nivelan automáticamente las visuales.

Sobre el final del informe vamos a calcular la desviación estándar. Esto es la dispersión en la que los puntos de datos individuales difieren de la media, por lo que una desviación baja indica que los puntos de datos están muy cerca de la media, mientras que una desviación alta muestra que los datos están dispersos en un rango mayor de valores.

Otro concepto importante, es el de valor residual. Los valores residuales de varias medidas nos indican la diferencia entre los valores observados y los valores esperados o predichos por un modelo.

# METODOLOGÍA E INSTRUMENTAL

Instrumentos utilizados:



*Imagen 5 - Nivel Óptico South N10.*



*Imagen 6 - Trípode.*



*Imagen 7 - Mira (utilizamos dos).*



*Imagen 8 - Niveleta (utilizamos dos, una por cada mira).*



*Imagen 9 - Cinta métrica.*

En general, el instrumental accesorio necesario para utilizar un Nivel Óptico puede variar:

- Los trípodes pueden estar fabricados en madera o en aluminio. Los de madera pueden ser de pata fija o móvil. Los trípodes de aluminio son más livianos, lo que facilita su transporte, pero pueden ser más susceptibles a movimientos causados por el viento o el tránsito pesado. Por otro lado, los trípodes de pata fija son ideales para nivelaciones que requieren una mayor precisión, ya que sus patas estables minimizan el riesgo de movimiento.
- Podemos tener varios tipos de miras, pueden ser de aluminio, madera o invar, pueden ser plegables o telescópicas y también pueden ser milimetradas, centimetradas o incluso con código de barras (para niveles electrónicos).
- La niveleta desempeña la misma función que el nivel esférico en los instrumentos de medición, que es asegurar que la mira esté perfectamente vertical. Si la niveleta no está ajustada correctamente, las lecturas obtenidas podrían ser siempre superiores a las reales.

En nuestro caso, utilizamos un trípode de aluminio, dos miras (ambas de aluminio centimetradas) y dos niveletas para asegurarnos de mantener las miras de forma vertical y poder realizar de forma correcta las lecturas; esto lo podemos ver en las siguientes imágenes:



*Imagen 10.*



*Imagen 11.*

### Área de trabajo:

Debido a las condiciones climáticas que impidieron que la práctica se realizara al aire libre, se trabajó en el corredor del 1er piso de la Facultad de Ingeniería.



*Imagen 12 - Área de trabajo.*

### Metodología empleada:

La práctica consistió en evaluar dos aspectos del instrumental: la existencia de error en el eje de colimación y la precisión general del instrumento.

Para determinar el **error de colimación**, se siguió el siguiente procedimiento, llamado método inglés:

Se seleccionaron dos puntos A y B separados por 40 metros, los cuales se los midió con cinta.

En primer lugar se colocó el nivel de manera equidistante al segmento que une los puntos A y B. Desde allí se observaron las miras ubicadas una en el punto A y la otra en el punto B, se tomaron las lecturas respectivas con el hilo medio o hilo estadimétrico horizontal y se determinó el desnivel entre ambos puntos, es decir la diferencia entre las lecturas.

Posteriormente, se reubicó el nivel en el extremo del segmento AB, más precisamente, a 1 metro del punto A. Se realizó el mismo proceso, es decir, se tomaron las lecturas de las miras ubicadas en A y B y se volvió a determinar el desnivel.

Finalmente, se compararon las dos mediciones de desnivel. Si ambas medidas resultaban iguales, el instrumento no presentaba error de colimación. En caso de que el error de desnivel fuera distinto de cero y superior a los errores aleatorios del procedimiento, se indicaría la presencia de un error en el eje de colimación el cual sería:

$$\Delta H_{AB} = l_A + l_B + (d_B - D_A) \times \tan \varepsilon$$

Para evaluar la **precisión del instrumental** (la norma ISO 17123-2:2001 establece un procedimiento para evaluar niveles ópticos y digitales; dicho procedimiento se encuentra destinado a verificaciones en campo sin la necesidad de equipo auxiliar especial y están diseñados deliberadamente para minimizar las influencias atmosféricas sobre todo del gradiente de temperatura, además se adopta para determinar la mejor medida de precisión alcanzable de un nivel particular y su equipo auxiliar en condiciones de campo) se utilizaron los mismos dos puntos, A y B de la tarea anterior, separados por 40 metros (sin embargo la norma nos indica que para realizar la prueba la distancia entre los puntos debe ser de aproximadamente 60 metros, esto no pudo ser posible debido al espacio de trabajo que teníamos por las condiciones climáticas que obligaron a realizar la prueba en un espacio bajo techo, por tal motivo optamos por utilizar los mismos puntos de la tarea anterior).

Se colocaron las miras en puntos fijos, asegurando el mínimo movimiento posible. Se realizó una primera serie de 10 mediciones, tomando Lectura Atrás en el punto B y Lectura Adelante en el punto A, con el nivel ubicado equidistantemente entre los puntos. Se cambiaron los ajustes del plano colimador para cada medición de desnivel ( $\Delta H$ ) durante estas 10 lecturas. Se repitió el procedimiento con una segunda serie de 10 mediciones, pero tomando Lectura Atrás en el punto A y Lectura Adelante en el punto B. Después de completar las 20 mediciones iniciales, se intercambiaron las miras y se realizaron otras 20 mediciones, siguiendo el mismo procedimiento que en las series anteriores.

Además se tomaron los datos de temperatura antes de comenzar con la primera **tanta** de 20 mediciones y también antes de comenzar con la segunda **tanta** de 20 mediciones en la que se intercambiaron las miras.

Cabe destacar que para obtener una lectura correcta de las miras estas debían estar durante todo el proceso verticales de forma normal al plano horizontal y para que esto fuera posible fue imprescindible el uso de niveletas por parte de los operadores.

# RESULTADOS

## Tarea 1:

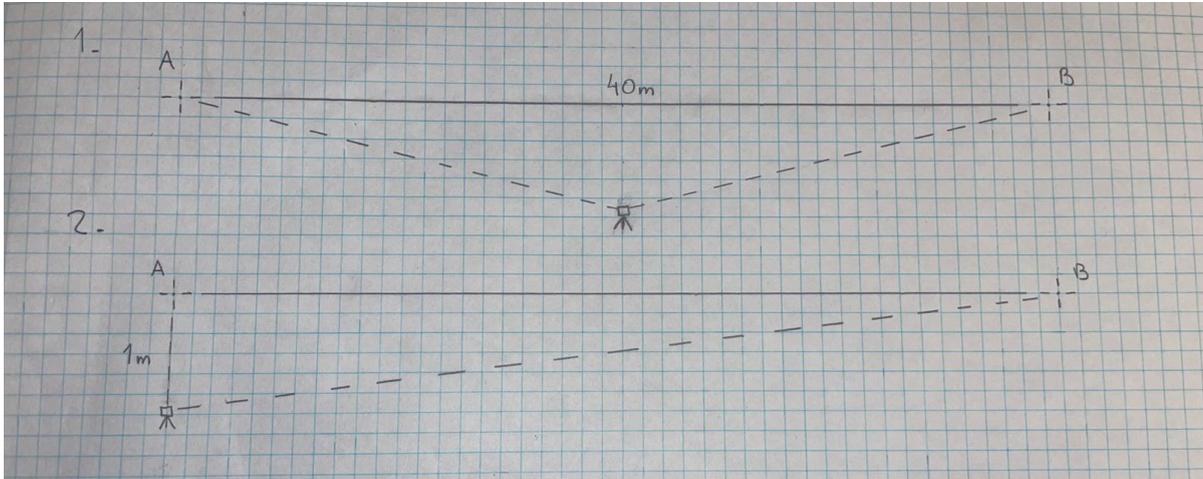


Imagen 13 - Croquis de la tarea 1.

### 1. Nivel estacionado equidistante al segmento AB.

	Lectura en A	Lectura en B	$\Delta H$
H (m)	1,502	1,504	0,002

### 2. Nivel estacionado en un extremo del segmento AB, a 1 metro del punto A.

	Lectura en A'	Lectura en B'	$\Delta H'$
H (m)	1,560	1,560	0,000

La diferencia entre  $\Delta H$  y  $\Delta H'$  es de 0,002 lo cual se encuentra dentro de la tolerancia como para poder afirmar que el instrumento se encuentra libre de error de eje de colimación.

## Tarea 2:

Fecha de realización del práctico: 19/08/24.

Instrumental: Nivel Óptico South N10.

### Primera serie de medidas:

- Hora de inicio: 8:28
- Hora de fin: 9:38
- Temperatura: 15 °C

Lecturas tomadas visando al Punto B (Lectura Atrás) y después al Punto A (Lectura Adelante):

Punto (cambio de plano colimador)	Lectura A (metros)	Lectura B (metros)
1	1,533	1,533
2	1,521	1,520
3	1,506	1,509
4	1,489	1,490
5	1,478	1,477
6	1,449	1,452
7	1,402	1,401
8	1,439	1,438
9	1,415	1,414
10	1,399	1,398

Lecturas tomadas visando al Punto A (Lectura Atrás) y después al Punto B (Lectura Adelante):

Punto (cambio de plano colimador)	Lectura A (metros)	Lectura B (metros)
1	1,559	1,556
2	1,517	1,521
3	1,502	1,508
4	1,475	1,473
5	1,441	1,441
6	1,426	1,424
7	1,410	1,409
8	1,389	1,388
9	1,369	1,368
10	1,334	1,333

**Segunda serie de medidas, cambio de miras:**

- Hora de inicio: 9:38
- Hora de fin: 10:08
- Temperatura: 15°C

Lecturas tomadas visando al Punto B (Lectura Atrás) y después al Punto A (Lectura Adelante):

Punto (cambio de plano colimador)	Lectura A (metros)	Lectura B (metros)
1	1,574	1,575
2	1,550	1,552
3	1,513	1,516
4	1,493	1,491
5	1,474	1,475
6	1,454	1,456
7	1,439	1,438
8	1,400	1,402
9	1,387	1,386
10	1,355	1,358

Lecturas tomadas visando al Punto A (Lectura Atrás) y después al Punto B (Lectura Adelante):

Punto (cambio de plano colimador)	Lectura A (metros)	Lectura B (metros)
1	1,522	1,521
2	1,520	1,519
3	1,508	1,507
4	1,500	1,499
5	1,492	1,490
6	1,481	1,486

7	1,460	1,461
8	1,464	1,463
9	1,449	1,447
10	1,441	1,440

## CÁLCULOS

Siguiendo el siguiente procedimiento, el cual se estableció en la propuesta de trabajo:

$$d_j = x_{A,j} - x_{B,j}; j = 1, \dots, 40$$

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{20} d_j}{20} \text{ donde } \bar{d}_1 \text{ es la media aritmética de los } \Delta H_{AB} \text{ para la primera serie de medidas}$$

$$\bar{d}_2 = \frac{\sum_{j=21}^{40} d_j}{20} \text{ donde } \bar{d}_2 \text{ es la media aritmética de los } \Delta H_{AB} \text{ para la segunda serie de medidas}$$

Los residuales van a ser:

- $r_j = \bar{d}_1 - d_j$  para  $j = 1, \dots, 20$
- $r_j = \bar{d}_2 - d_j$  para  $j = 21, \dots, 40$

Entonces la desviación estándar experimental será:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{38}}$$

$$s_{ISO-LEV} = \frac{s}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{1000m}{60m}} = s \times 2,89 \text{ (desviación estándar por kilometro en nivelaciones de doble recorrido).}$$

Llegamos así, a los siguientes resultados:

1.						2.					
Punto	Lectura A (metros)	Lectura B (metros)	dj1	rj1	rj1^2	Punto	Lectura A (metros)	Lectura B (metros)	dj2	rj2	rj2^2
1	1.533	1.533	0	1,114E-17	1,24104E-34	1	1.574	1.575	-0,001	0,0007	4,9E-07
2	1.521	1.52	0,001	-0,001	1E-06	2	1.55	1.552	-0,002	0,0017	2,89E-06
3	1.506	1.509	-0,003	0,003	9E-06	3	1.513	1.516	-0,003	0,0027	7,29E-06
4	1.489	1.49	-0,001	0,001	1E-06	4	1.493	1.491	0,002	-0,0023	5,29E-06
5	1.478	1.477	0,001	-0,001	1E-06	5	1.474	1.475	-0,001	0,0007	4,9E-07
6	1.449	1.452	-0,003	0,003	9E-06	6	1.454	1.456	-0,002	0,0017	2,89E-06
7	1.402	1.401	0,001	-0,001	1E-06	7	1.439	1.438	0,001	-0,0013	1,69E-06
8	1.439	1.438	0,001	-0,001	1E-06	8	1.4	1.402	-0,002	0,0017	2,89E-06
9	1.415	1.414	0,001	-0,001	1E-06	9	1.387	1.386	0,001	-0,0013	1,69E-06
10	1.399	1.398	0,001	-0,001	1E-06	10	1.355	1.358	-0,003	0,0027	7,29E-06
11	1.559	1.556	0,003	-0,003	9E-06	11	1.522	1.521	0,001	-0,0013	1,69E-06
12	1.517	1.521	-0,004	0,004	1,6E-05	12	1.52	1.519	0,001	-0,0013	1,69E-06
13	1.502	1.508	-0,006	0,006	3,6E-05	13	1.508	1.507	0,001	-0,0013	1,69E-06
14	1.475	1.473	0,002	-0,002	4E-06	14	1.5	1.499	0,001	-0,0013	1,69E-06
15	1.441	1.441	0	1,114E-17	1,24104E-34	15	1.492	1.49	0,002	-0,0023	5,29E-06
16	1.426	1.424	0,002	-0,002	4E-06	16	1.481	1.486	-0,005	0,0047	2,209E-05
17	1.41	1.409	0,001	-0,001	1E-06	17	1.46	1.461	-0,001	0,0007	4,9E-07
18	1.389	1.388	0,001	-0,001	1E-06	18	1.464	1.463	0,001	-0,0013	1,69E-06
19	1.369	1.368	0,001	-0,001	1E-06	19	1.449	1.447	0,002	-0,0023	5,29E-06
20	1.334	1.333	0,001	-0,001	1E-06	20	1.441	1.44	0,001	-0,0013	1,69E-06

d1 = 1,11402E-17	d2 = -0,0003
s = 0,002141077	
s ISO-LEV = 0,006187712	

## CONCLUSIONES

Al completar las dos tareas propuestas, se cumplió exitosamente el objetivo de aplicar de manera práctica el concepto de error de colimación en el Nivel Óptico. Durante el desarrollo de estas tareas, se adquirieron y perfeccionaron habilidades claves, como el estacionar el nivel y la lectura de la mira, lo que contribuyó a un uso más eficiente y consolidado del Nivel Óptico.

En la Tarea 1, se determinó que no existía un error de colimación significativo entre el punto A y el punto B, ya que la diferencia registrada fue de sólo 2 milímetros, lo que se encuentra dentro de las tolerancias permitidas. Esta pequeña variación puede atribuirse a la variabilidad natural en la estimación realizada por cada observador, ya que se trabajó con una regla centimetrada y por ende el milímetro fue estimado por cada uno de los observadores.

En la Tarea 2, las diferencias de altura identificadas también fueron del orden del milímetro, influenciadas en gran medida por la habilidad y experiencia del observador en la estimación.

Al analizar los resultados de los cálculos, observamos que obtuvimos una desviación estándar de 0,002. Esto indica que los datos obtenidos están muy próximos a la medida, es decir que al realizar las mediciones fueron realizadas con una buena precisión.

Por último, nos parece importante destacar que, durante el desarrollo de la práctica, se aplicaron procedimientos normados, como los establecidos por la norma ISO 17123-2:2001, para verificar la precisión del nivel óptico y su capacidad para realizar

mediciones confiables bajo diferentes condiciones de campo. Esta norma proporciona una metodología clara para llevar a cabo pruebas de campo, minimizando las influencias atmosféricas y asegurando la validez de los resultados, los cuales son cruciales para aplicaciones que requieren alta precisión, como la nivelación geométrica y estudios de ingeniería civil.