

## VERIFICACIÓN DE UN NIVEL ÓPTICO

Gil Francisco<sup>2</sup>, Paez Bruno<sup>2</sup>, Paús Pablo S.<sup>1,2</sup>, San Martín José, Aldasoro Roberto<sup>2,3</sup>,  
Soto Jaime<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP – Calle 1 y 47, (1900) La Plata

<sup>2</sup> Departamento de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, UNLP – Calle 1 y 47, (1900) La Plata

<sup>3</sup> INIFTA, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP – Diag. 113 y 64, (1900) La Plata

<sup>4</sup> ESNM, Instituto Universitario Naval, Armada Argentina – Río Santiago, Ensenada

### Unidad de Investigación y Desarrollo en GPS y Metrología (UIDGPSyM)

Dpto. Agrimensura - Facultad de Ingeniería – UNLP

Contacto: Ing. Roberto Aldasoro - Calle 23 N° 290 - (1896) City Bell

[robertoaldasoro@gmail.com](mailto:robertoaldasoro@gmail.com)

**Palabras Claves:** nivel, ensayo, verificación, colimación, precisión

### Resumen

El objetivo de este trabajo consiste en implementar y analizar un método de campo para verificar si el instrumento se encuentra apto para la realización de una determinada tarea según la Norma ISO 4463-1. Se utilizó el procedimiento simplificado de la Norma ISO 17123-2 (Óptica e instrumentos ópticos-Procedimientos de campo para pruebas de instrumentos topográficos y geodésicos – Parte 2 Niveles). Durante la ejecución del trabajo y por cuestiones prácticas se utilizó el Nivel Automático Sokkia C28 (disponible en el Departamento de Agrimensura) cuya desviación estándar establecida en el Manual del Fabricante es de 2 mm en una nivelación de 1 km ida y vuelta.

### 1. Introducción

Un Nivel es un instrumento topográfico que permite determinar el desnivel entre dos puntos mediante visuales horizontales. 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. El conjunto va montado sobre un trípode mediante un tornillo ad-hoc y gira alrededor de un eje vertical de rotación.

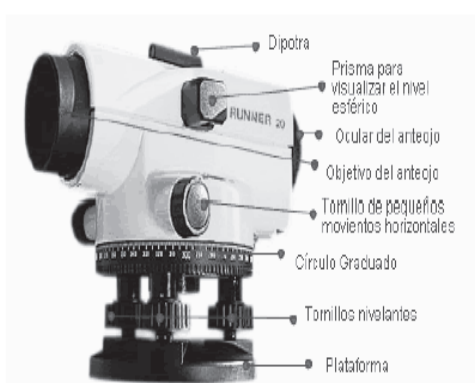


Figura 1

El anteojo se encuentra rígidamente unido a la plataforma nivelante y la horizontalidad del eje de colimación se consigue mediante el mecanismo compensador situado en el interior del anteojo, que de forma automática proporciona la visual horizontal.

#### Miras de nivelación

Son reglas graduadas en metros y decímetros, generalmente fabricadas de madera, metal o fibra de vidrio. Usualmente, para trabajos normales, vienen graduadas con resolución de 1 cm y apreciación de 1 mm. Comúnmente, se fabrican con longitud de 4 m divididas en 4

tramos plegables para facilidad de transporte y almacenamiento. Existen también miras telescópicas de aluminio que facilitan el almacenamiento de las mismas.

A fin de evitar los errores instrumentales que se generan en los puntos de unión de las miras plegables y los errores por dilatación del material, se fabrican miras continuas de una sola pieza, con graduaciones sobre una cinta de material constituido por una aleación de acero y níquel, denominado INVAR por su bajo coeficiente de dilatación longitudinal.

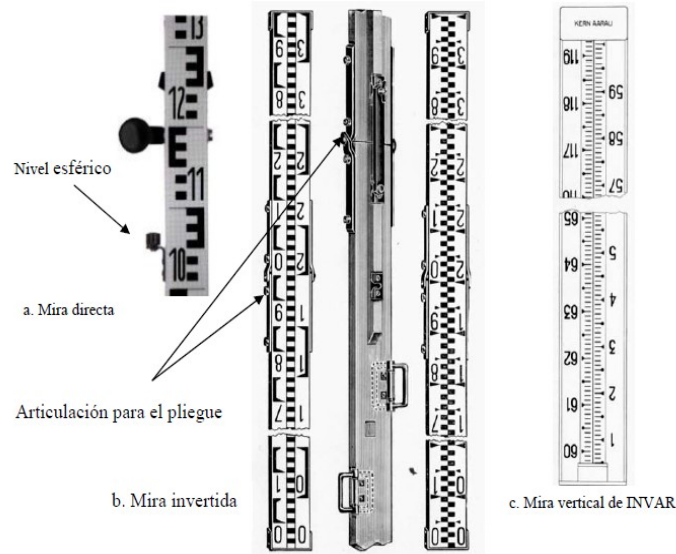


Figura 2: Diferentes tipo de miras

### Nivelación entre dos puntos

Para encontrar la diferencia de nivel entre dos puntos cualesquiera del terreno se utilizan un nivel y dos miras. En la Figura 3, tenemos dos puntos A y B distantes unos 60 metros y se desea conocer la diferencia de niveles o distancia vertical entre ambos puntos. El nivel se coloca aproximadamente en el centro entre los puntos, se cala la burbuja con precisión para asegurar la horizontalidad de la línea de colimación. Se toma una lectura de la mira mantenida verticalmente en A de 2,500 m, y luego una lectura de la mira mantenida verticalmente en B de 0,500 m.

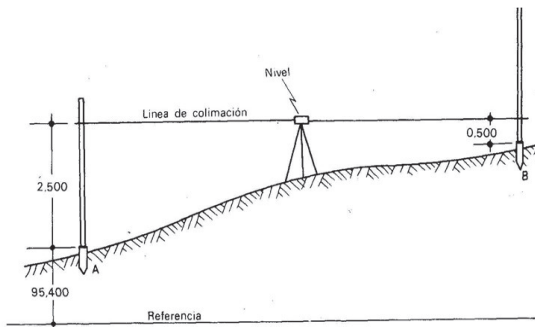


Figura 3

Por el dibujo es claro que el punto B está mas alto que el A en  $2,500\text{ m} - 0,500\text{ m} = 2,000\text{ m}$ . Es decir que, la diferencia de lecturas en la mira atrás-adelante es igual a la distancia vertical entre los puntos visados.

## 2. Parte experimental

### Procedimiento de ensayo simplificado

El procedimiento de ensayo simplificado proporciona una estimación de si la precisión de un equipo de nivelación dado está dentro de la desviación permitida especificada según la norma ISO 4463-1 (Métodos de medición para edificios – Replanteos y medición. Parte 1: Planificación y organización, procedimientos de medición, criterios de aceptación).

Según este procedimiento se llevan a cabo dos conjuntos de lecturas. Para el primer conjunto, el nivel se establece aproximadamente equidistante entre los puntos A y B de

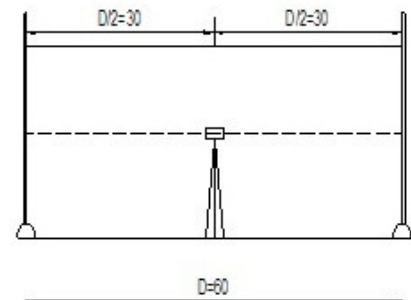


Figura 4

nivelación ( $D / 2 = 30$  m). Esta configuración minimiza la influencia de la refracción y el desplazamiento del eje colimación (Fig.4). Un conjunto de diez medidas deben llevarse a cabo con cada medición que consiste en una lectura hacia atrás,  $XA_j$ , a la mira de la nivelación en el punto A y una lectura hacia adelante,  $XB_j$ , a la mira de nivelación en el punto B ( $j = 1, 2 \dots 10$ ). Entre cada par de lecturas el instrumento ha de ser levantado, y se coloca en una posición ligeramente diferente. Después de cinco mediciones ( $XA_1; XB_1 \dots XA_5; XB_5$ ) las lecturas hacia atrás y hacia adelante se invierten por otras cinco mediciones ( $XB_6; XA_6 \dots XB_{10}; XA_{10}$ ).

Obsérvese que, aunque haya error de colimación éste no afecta al desnivel hallado, puesto que la equidistancia entre instrumento y miras hace que dicho error sistemático de colimación incida con igual signo y magnitud en ambas lecturas.

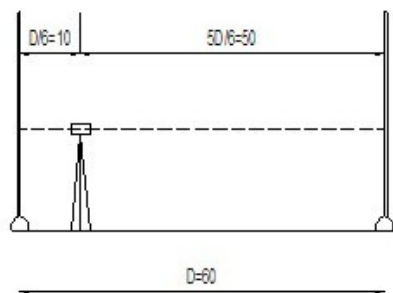


Figura 5

Para la segunda serie de lecturas, el nivel se coloca aproximadamente en  $D / 6 = 10$  m desde el punto A y  $5D / 6 = 50$  m desde el punto B (Fig.5). Luego, otras diez mediciones ( $XA_{11}; XB_{11} \dots XA_{15}; XB_{15}; XB_{16}; XA_{16} \dots, XB_{20}; XA_{20}$ ) se toman de la misma manera como se definió para el primer conjunto de medidas ( $J = 11, 12, \dots 20$ ). Si la diferencia de altura obtenida en ambas medidas es distinta existe error de colimación y el mismo es un error sistemático.

### 3. Resultados

Primeramente se utilizó el Nivel Automático Sokkia C28 con sus respectivas miras de nivelación graduadas con resolución de 10 mm y apreciación de 1 mm.

Una vez situadas las miras en los vértices se procedió a estacionar el aparato en el punto medio, dejándolo adaptarse a la temperatura ambiente algunos minutos y se efectuaron las lecturas hacia ambas miras en el sentido que especifica la norma (tomando lectura primero al punto A y luego al B durante cinco pares de lecturas y luego invirtiéndolo durante las restantes cinco) obteniendo así un desnivel **d1** que representa la diferencia de altura entre los puntos A y B, lo que se acepta como un valor verdadero. Las medidas se encuentran en la tabla a).

A continuación se trasladó el equipo a la estaca que se encuentra a 10 metros del vértice B y se volvieron a tomar las lecturas de la misma manera que en el caso anterior, obteniendo un desnivel **d2** de las segundas mediciones. Los valores medidos se encuentran en la tabla b).

j	XAj (mm)	XBj (mm)
1	1950	1350
2	1950	1350
3	1951	1351
4	1950	1351
5	1951	1350
6	1950	1351
7	1950	1351
8	1950	1350
9	1950	1350
10	1950	1351

Tabla a)

j	XAj (mm)	XBj (mm)
1	2128	1526
2	2129	1527
3	2128	1527
4	2128	1526
5	2128	1528
6	2128	1527
7	2129	1528
8	2128	1527
9	2128	1527
10	2128	1527

Tabla b)

Finalizada las mediciones se procedió a los cálculos determinados por la norma, para verificar el error de colimación del nivel óptico.

CÁLCULO DE DESNIVELES Y PROMEDIO PARA LA POSICIÓN 1:

Sea **d1** la media aritmética de las diferencias de altura  $d_j$  de la primera serie de medidas.

$$d1 = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} d_j \quad \text{con } d_j = X_{A_j} - X_{B_j} \text{ las diferencias para cada par de lecturas.}$$

CALCULO DE LOS RESIDUOS

Se calculan los residuos  $r_j$  como:  $r_j = d1 - d_j$  con  $j = 1, 2, \dots, 10$ .

Donde  $r_j$  es el residuo de la correspondiente diferencia de altura  $d_j$  de la primera serie de mediciones entre los dos puntos de nivelación A y B. Como una verificación aritmética, la suma de los residuos de conjunto 1 será igual a cero (excepto por los errores de redondeo).

Posición 1					
	XAj (mm)	XBj (mm)	dj (mm)	rj (mm)	rj^2 (mm^2)
1	1950	1350	600	-0,30	0,09
2	1950	1350	600	-0,30	0,09
3	1951	1351	600	-0,30	0,09
4	1950	1351	599	0,70	0,49
5	1951	1350	601	-1,30	1,69
6	1950	1351	599	0,70	0,49
7	1950	1351	599	0,70	0,49
8	1950	1350	600	-0,30	0,09
9	1950	1350	600	-0,30	0,09
10	1950	1351	599	0,70	0,49
<b>Suma</b>	19502	13505	5997	<b>0,00</b>	
<b>N</b>	<b>10d1</b>		<b>599,70</b>		

Tabla c)

CALCULO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

$$S = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{r_j^2}{v}}$$

Los grados de libertad **v** resultan igual a **n-1**, donde **n** es el numero de observaciones realizadas para cada serie.

Así **v = 9** y **S = 0,675** para la primer serie de medidas.

CALCULO DE DESNIVELES Y PROMEDIO PARA LA POSICIÓN 2:

De la misma manera que para la posición 1 ahora calculamos para la posición 2 **d2**: la media aritmética de las diferencias de altura  $d_j$  de la segunda serie de medidas.

$$d_2 = \sum_{j=11}^{20} d_j \text{ con } d_j = X_{A_j} - X_{B_j} \text{ las diferencias para cada par de lecturas.}$$

j	Posición 2		
	XAj (mm)	XBj (mm)	dj (mm)
11	2128	1526	602
12	2129	1527	602
13	2128	1527	601
14	2128	1526	602
15	2128	1528	600
16	2128	1527	601
17	2129	1528	601
18	2128	1527	601
19	2128	1527	601
20	2128	1527	601
<b>Suma</b>	21282	15270	6012
<b>N</b>	<b>10</b>	<b>d2</b>	<b>601,20</b>

Tabla d)

El valor de  $D = |d_1 - d_2|$  representa fundamentalmente la influencia del error de colimación. El error de Colimación es inherente al instrumento; ocurre cuando en éste se ha perdido el paralelismo entre el eje óptico y el eje horizontal del nivel. En nuestro caso:

$$D = |d_1 - d_2| = 1,50 \text{ mm}$$

#### VERIFICACIÓN:

El valor  $|d_1 - d_2|$  tiene que estar dentro de la desviación permitida (  $\pm p$  ) especificada en la norma ISO 4463-1 para la tarea de medición prevista. Si no se dispone de dicho valor, la diferencia deberá ser  $|d_1 - d_2| < 2,5 \times S$ , donde  $S$  es la desviación típica experimental calculada. Si la diferencia  $|d_1 - d_2|$  es demasiado grande, esto indica una incertidumbre excesiva de la medición a través de la distancia larga (50m), provocado por un error de lectura, la refracción y fundamentalmente el desplazamiento del eje de colimación.

Así resulta  $2,5 \times S = 1,69 \text{ mm}$  y en consecuencia  $1,50 \text{ mm} < 1,69 \text{ mm}$ . Como se puede observar el instrumento cumple con la verificación especificada por la Norma ISO 17123-2.

Posteriormente se realizó el mismo ensayo en la base materializada para la experiencia anterior con el mismo nivel, pero utilizando las miras geodésicas del Departamento de Agrimensura. Dichas miras son de INVAR, tienen una graduación mínima de 2,5 mm y un largo de 3 m.

Con los valores obtenidos en el campo se hicieron las tablas y los cálculos correspondientes de la desviación estándar (del mismo modo que para el primer ensayo) dando los siguientes resultados:

$$d_1 = 600,95 \text{ mm} \text{ , } d_2 = 603,08 \text{ mm} \text{ , su diferencia } (\bar{d}_1 - \bar{d}_2) = 2,13 \text{ mm} \text{ y } s = 0,456 \text{ mm}$$

También se verificó el cumplimiento de la Norma  $(\bar{d}_1 - \bar{d}_2) < 2,5 \cdot s$  que da  $2,13 < 1,14$  y vemos que dicha condición **no se cumple**.

En este punto podemos destacar el importante viento a ráfagas que hubo ese día y el peso de dichas miras, lo que dificultó mantener la verticalidad de las mismas.

Por último se verificó el buen funcionamiento del nivel utilizado en ambas experiencias en el laboratorio de la división de metrología del INTI donde se realizaron las mismas medidas con dicho nivel en la base del laboratorio. Dicha base tiene una distancia aproximada de 30 metros y las miras están conformadas por unas regletas milimetradas fijadas en la pared. Estas medidas realizadas en el INTI permitieron corroborar que el nivel utilizado en las experiencias de campo verificaba la especificación del fabricante.

#### **4. Conclusiones**

- ✓ La primera experiencia realizada en el campo con las miras de aluminio graduadas con una división mínima de 10 mm arrojó resultados positivos en cuanto a que el nivel cumplió con la exigencia de la norma.
- ✓ Si se desea trabajar con mayor resolución en el campo se deben utilizar miras geodésicas. En este trabajo se utilizaron miras graduadas con una división mínima de 2,5 mm y una longitud de 3 m. La verificación de la Norma no se cumplió debido a una importante dispersión de las medidas. Esta experiencia no arrojó los resultados esperados, ya que por el buen estado del nivel comprobado en el INTI el instrumento cumplía con las especificaciones establecidas.
- ✓ Con las miras geodésicas se dificulta la lectura en la distancia larga (50 m) debido a la resolución del antejo y adquiere relevancia el factor climático, dada la altura y peso de las miras, para mantener la verticalidad de las mismas por lo que para obtener una mejor resolución e independizarse de estos factores negativos se aconseja realizar la experiencia en un ambiente cerrado con una base más corta (30 m) y utilizar como miras regletas milimetradas fijas a la pared y con una buena iluminación de sus escalas.
- ✓ Se comprobó que con las miras y las resoluciones que trabajamos no es necesario tomar en cuenta las variaciones de temperatura para compensar las dilataciones de los materiales.
- ✓ Si bien el procedimiento analizado en el presente trabajo está basado en un número limitado de medidas, y por lo tanto, no puede ser obtenida una desviación estándar significativa, es un método de campo relativamente simple de implementar y que permite realizar una verificación rápida de la precisión de un nivel óptico/electrónico y estimar su error de colimación, con las limitaciones expuestas en este trabajo en cuanto a las miras a utilizar.

#### **Bibliografía:**

- ISO 17123-4:2001: Optics and optical instruments -- Field procedures for testing geodetic and surveying instruments -- Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments).
- ISO 4463-1:1989: Measurement methods for building -- Setting-out and measurement -- Part 1: Planning and organization, measuring procedures, acceptance criteria.
- Apuntes de la Cátedra Fundamentos de Instrumental, Dto. de Agrimensura, FIUNLP.
- Apunte: Incertidumbre de Medición, Ing. Marcelo Iglesias - Ing. Flavio Piotto – Ing. Jorge Stella, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).
- Evaluación de la incertidumbre de medida de ángulos, distancias y desniveles medidos con instrumentación topográfica, José Luis García Balboa, Antonio Miguel Ruiz Armenteros, José Luis Mesa Mingorance, *Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén. 23071 Jaén, España.*