

AVANCES EN LA APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 17123 PARA LA VERIFICACIÓN DE INSTRUMENTAL TOPOGEODÉSICO

Paús, Pablo; Romano, José

Dpto. Agrimensura, FI-UNLP. Calle 1 y 47 - La Plata.
pablo.paus@ing.unlp.edu.ar

Introducción

Este trabajo tiene por objeto presentar los últimos resultados de los servicios de verificación de instrumental topogeodésico brindados por el Grupo de Metrología del Dpto. de Agrimensura FI-UNLP. Este Grupo ha desarrollado diversas actividades de investigación y extensión en esta temática. En los últimos años se ha podido avanzar a una nueva etapa, la cual consiste en realizar el control metrológico de instrumentos de uso corriente en Agrimensura, de profesionales y empresas externas.

Se han implementado múltiples procedimientos para la verificación en campo de instrumental topogeodésico basados en la familia de normas ISO 17123. Las distintas partes de esta norma recomiendan una serie de procedimientos para medición y cálculo, contando en todos los casos con un procedimiento simple y otro completo. En su versión simple estos procedimientos permiten evaluar si un equipo cumple o no, con la precisión esperada. En la versión completa puede estimarse la desviación experimental que cuantifica la repetibilidad del instrumento.

Esta norma describe procedimientos en forma general, por lo que es necesario desarrollar las técnicas que permitan realizar en campo las pruebas de medición requerida; adecuadas a las necesidades de los usuarios locales y aplicarlos efectivamente.

El Grupo de Metrología, con el desarrollo de técnicas propias, ha adquirido la capacidad para efectuar el control metrológico de los distintos equipos de uso habitual en aplicaciones topográficas. De este modo, tanto los usuarios de equipos como sus comitentes pueden disponer de información objetiva sobre la capacidad de trabajo de sus instrumentos y la calidad de las mediciones.

Por otra parte, se han aplicado diferentes partes de la norma ISO 17025 "Requisito generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración", que ha permitido sistematizar todas las etapas comprendidas entre el ingreso y egreso del instrumento.

Procedimientos aplicados

A continuación, se hará un desarrollo sobre los servicios prestados por el Grupo de Metrología en los últimos años aplicando diferentes procedimientos sobre niveles ópticos, estaciones totales y equipos GNSS RTK.

Algunos de estos procedimientos han sido desarrollados en trabajos ya publicados que se mencionarán en cada caso, en este trabajo en particular se abordará la aplicación de esos procedimientos en equipos de profesionales externos que requerían un control sobre los mismos y documentación que respalde los resultados obtenidos.

Previo a la aplicación de los procedimientos específicos de cada equipo, se realiza un chequeo del instrumento sobre sus distintas partes (óptica, tornillos, plomadas, etc.) para verificar su

estado general y su aptitud para realizar los ensayos. En cada caso, además de las mediciones de rigor, se registran las características del equipo (fabricante, modelo, n° de serie, etc.) y condiciones meteorológicas, dado que las pruebas se realizan en campo. Esta información junto con los resultados del procedimiento forma parte del informe técnico emitido. La recepción de los equipos y su devolución, así como los ensayos, informe de resultados, y control de satisfacción sobre los servicios prestados se realizan mediante la instrumentación de la norma ISO 17025:2017.

Control angular de estaciones totales. norma ISO 1723-3:2001

Se implementó el procedimiento simple de la norma para establecer la precisión en la medición de direcciones y en la medición de ángulos verticales. El procedimiento completo de esta norma se aplicó únicamente en el control de instrumentos del Dpto. de Agrimensura, debido a que su aplicación requiere efectuar mediciones en días diferentes; mientras que el ensayo simple se puede realizar en un único día. Estos procedimientos se desarrollan a partir de repetir varias series de mediciones con un equipo en condiciones controladas, en las que se puedan descartar algunas fuentes de incertidumbre en las medidas y aislar otras tantas.

Las pruebas se realizaron sobre pilares de hormigón utilizando un sistema de centrado forzoso y se midió hacia señales de puntería establecidas en el entorno (figura 1).

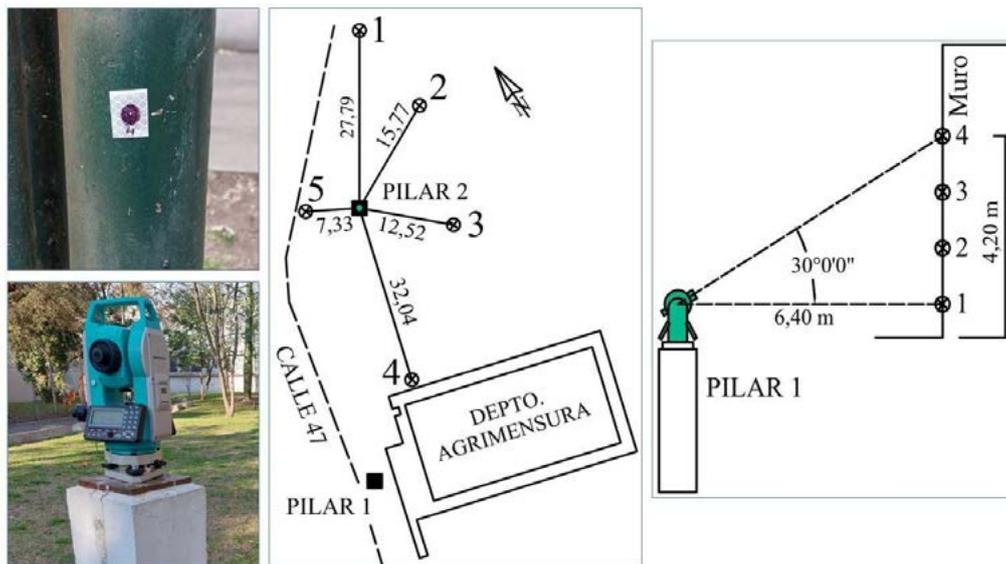


Figura 1. Izquierda: estación total sobre pilar 2 (abajo) y señal de puntería (arriba). Centro: Base de prueba para la escala horizontal. Derecha: Esquema de la base de medición para la prueba de ángulos verticales (pilar 1).

Para las mediciones en escala horizontal se conformó una base de prueba de cinco puntos distribuidos alrededor del pilar 2. Mientras que para los ángulos verticales se colocaron 4 señales de puntería sobre uno de los muros de la cara oeste del Dpto. de Agrimensura, para ser observadas desde otro de los pilares, el denominado 1, bajo un ángulo de 30° . Los esquemas de distribución de los puntos, para cada prueba, se aprecia en la figura 1.

El procedimiento completo requiere realizar 4 series de mediciones, en 4 días distintos con condiciones meteorológicas diferentes. El procedimiento simple consta de una sola serie. La aplicación del procedimiento simple da como resultado la desviación estándar experimental del instrumento. La aplicación de estos procedimientos permite determinar la existencia de error de colimación en la escala horizontal y del error de índice en la escala vertical.

Control del distanciómetro MED para estaciones totales. Norma ISO 17123-4:2012

Este ensayo se lleva a cabo en la base corta de calibración “Facultad de Ingeniería”, se constata el error de offset del instrumento, denominada comúnmente constante del prisma. El procedimiento aplicado es una adaptación de la Norma que ya fue descrito en un trabajo anterior (Paús, 2019). Durante este procedimiento se miden 36 distancias en un rango aproximado entre 23 y 70 metros, configurando el modo de medición preciso según las características técnicas de cada equipo.

Como resultado se obtiene la corrección que deba aplicarse a la constante aditiva nativa, dada por el fabricante del distanciómetro.

Niveles ópticos. Norma ISO 17123-2:2001

Se realiza el control del instrumento aplicando el procedimiento simplificado de la norma (Gil, 2013), lo que permite determinar la presencia y estimar la magnitud del error de colimación.

Se fijan dos miras topográficas junto a dos pilares, identificados como el 1 y el 2 de la figura 1, separados por una distancia de 46,18 m y se mide 10 veces el desnivel entre ambas con el equipo desde el medio (posición I). Se calculó el valor medio de este desnivel (d_1) y su desviación estándar (s).

Posteriormente se midió el mismo desnivel, otras 10 veces desde un punto de estación del nivel diferente, ubicado a 7,70 m de uno de los puntos y 38,48 m del otro punto (posición II). Se calculó el valor medio del desnivel (d_2).

A continuación, debe verificarse que la diferencia entre las dos medidas d_1 y d_2 del desnivel observado no supere en dos veces y media la desviación estándar s .

$$|d_1 - d_2| < 2,5 s$$

Determinando así, si el equipo verifica la condición propuesta en la norma 17123-2:2001, procedimiento simple.

Receptores GNSS RTK. Norma ISO 17123-8:2015

Se aplica el procedimiento completo de esta norma. El receptor utilizado como base se ubicó en la terraza del edificio de Agrimensura. El receptor utilizado como “rover” se ubicó a una distancia aproximada de 1 km de la base, en el predio de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. En este sitio se conformó una línea base con dos puntos que fueron medidos sucesivamente con el equipo “rover” y con una estación total (Paús, 2022).

Sobre la línea base, se realizaron las 3 series de mediciones indicadas por la norma a las cuales se les hicieron los correspondientes controles y verificaciones en campo.

La distancia horizontal y el desnivel entre los puntos de la línea base se determinaron con estación total. Se utilizó un sistema de centrado forzoso con trípodes y bases nivelantes tanto para el receptor “rover” como para la estación total (y su reflector) y se midió inmediatamente después de finalizada cada serie. Se realizaron 3 sesiones de estación total, donde cada una consistió en determinar la distancia horizontal y el desnivel aplicando el método de Bessel ocho veces, obteniendo así 48 mediciones de cada elemento.

Finalmente se calculó un valor para la desviación estándar experimental para las coordenadas XY y otro para la altura h , que mediante una prueba chi cuadrado son

comparados con los valores de fábrica para evaluar si el equipo cumple o no cumple con estos últimos.

Resultados y discusión

A la fecha de esta publicación han sido controlados 11 niveles ópticos, 14 estaciones totales y 2 equipos GNSS RTK. A modo de resultado se exponen los referidos a uno de cada tipo de equipo.

Por cuestiones de confidencialidad no se hará referencia a características que puedan identificar al equipo ensayado ni a su propietario. Se exponen y analizan los resultados de las verificaciones de tres equipos distintos realizadas durante el año 2022.

En la mayoría de los casos los equipos controlados verifican las condiciones impuestas por la norma, pero en otros no aprueban la verificación y se recomienda el envío del equipo al representante para su ajuste y/o reparación.

Control de una estación total.

Se muestran los resultados concretos, tanto para las mediciones angulares (en ambas escalas) como para la medición de distancias de un equipo de estación total. Este equipo se registró internamente con el número 19 y la precisión informada por el fabricante fue de $\pm 2''$ (segundos de arco) para mediciones angulares en ambas escalas y para la medición de distancias $\pm (2\text{mm} + 2 \text{ ppm D})$.

En el control de la escala horizontal, fue hallado un error de colimación de $-2,5''$ y la desviación estándar experimental fue de $1,5''$. Mientras que en el control de la escala vertical se obtuvo un error de índice de $4,5''$. La desviación estándar experimental fue de $1,0''$.

En el control del distanciómetro, el valor calculado para el error en la constante aditiva fue de $0,6 \text{ mm}$, este valor es menor a la precisión de medida dada por el fabricante, por lo que no se recomienda ninguna corrección. Las distancias medidas durante el ensayo resultaron: $D1.3= 69,741 \text{ m}$; $D1.2= 46,391 \text{ m}$ y $D2.3= 23,350 \text{ m}$.

Adicionalmente, se cuenta con un valor de referencia para la distancia $D2.3$ de $23,350 \text{ metros}$. La diferencia con la misma distancia obtenida con la estación total es de 0 mm .

El resultado del ensayo arroja que el equipo cumple con la precisión esperada de acuerdo con las características técnicas dadas por el fabricante, tanto para mediciones angulares como para distancias.

Control de un nivel

Se muestran los resultados de la verificación de un nivel óptico, el procedimiento se aplicó sobre la segunda mitad del año 2022. El equipo en cuestión se registró con el número 23.

Durante la inspección preliminar del nivel se encontró un error de colimación de $1,4 \text{ mm}$ por cada 10 metros de diferencia entre las distancias a miras atrás y adelante. Este error fue corregido y posteriormente se aplicó el procedimiento simple de la norma 17123-2:2001 para verificar que su incidencia está dentro de un rango aceptable.

El desnivel obtenido con el equipo equidistante entre los dos puntos de nivelación fue $d_1= 93,1 \text{ mm}$ con una desviación estándar experimental $s= 0,57 \text{ mm}$. El desnivel obtenido desde la posición excéntrica fue $d_2= 93,3 \text{ mm}$, en este caso el procedimiento no exige el cálculo de s .

Se calculó la diferencia $|d_1 - d_2|$ y se controló la condición: $|d_1 - d_2| < 2,5 s$

La condición de verificación se cumple dado que la diferencia de los desniveles, en valor absoluto, (0,20 mm) es menor que dos veces y media la desviación estándar (1,42 mm).

El resultado del ensayo es que el equipo verifica la condición propuesta en la norma 17123-2:2001, procedimiento simple.

Control de equipo GNSS RTK

El equipo ensayado con este procedimiento se registró internamente con el número 21. Un equipo GNSS RTK cuenta con una cierta cantidad de elementos principales y accesorios tales como receptores GNSS, antenas de radio UHF, base nivelante, baterías y cables de alimentación y transferencia de datos, lo que exige un registro pormenorizado de todos los elementos entregados por el propietario del equipo.

Se aplicó la técnica GNSS RTK utilizando el programa de campo "MAGNET Field" de la empresa Topcon, cada punto se midió con tres épocas. Se trabajó con el marco de referencia POSGAR 07 aplicando una proyección Gauss-Krüger Faja 6. Se utilizaron alturas elipsoidales.

Las condiciones meteorológicas medias durante la prueba fueron de 29°C y 1005 hPa.

Según el manual proporcionado por el usuario, las precisiones correspondientes a este equipo midiendo con la modalidad RTK son:

$$s_{xy} = 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \cdot D$$

$$s_h = 15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} \cdot D$$

La distancia horizontal y el desnivel entre los puntos de la línea base se determinaron con estación total Topcon ES-55 del Dpto. de Agrimensura, constituyendo estos los valores de referencia para el control de las observaciones GNSS RTK: distancia horizontal: 20,186 m \pm 0,001 m y desnivel: -0,059 m \pm 0,001 m

Se efectuó el control sugerido por la norma para detectar valores atípicos, no hallándose ninguno, todos los valores de las mediciones se encuentran dentro los máximos valores tolerables. Realizado el control anterior se calcularon los correspondientes valores de desviación estándar experimental que se toman como incertidumbre Tipo A:

- Incertidumbre estándar para una única posición (x, y): $\mu_{(\text{ISO-GNSS RTK-xy})} = 7,5 \text{ mm}$
- Incertidumbre estándar para una única altura (h): $\mu_{(\text{ISO-GNSS RTK-h})} = 11,4 \text{ mm}$

Para determinar si el funcionamiento del equipo se encuentra dentro de lo esperado se aplica una prueba estadística del tipo Chi Cuadrado:

$$\text{¿Es } \mu_{(\text{ISO-GNSS RTK-xy})} \leq \sigma_{xy}?$$

$$\mu_{(\text{ISO-GNSS RTK-xy})} = 7,5 \text{ mm} \leq 12,6 \text{ mm} = \sigma_{xy} \rightarrow \text{Hipótesis verdadera}$$

$$\text{¿Es } \mu_{(\text{ISO-GNSS RTK-h})} \leq \sigma_h?$$

$$\mu_{(\text{ISO-GNSS RTK-h})} = 11,4 \text{ mm} \leq 19,5 \text{ mm} = \sigma_h \rightarrow \text{Hipótesis verdadera}$$

Donde σ_{xy} vale 12,6 mm y σ_h 19,5 mm de acuerdo con la precisión indicada en el manual del usuario y considerando la distancia entre los equipos "base" y "rover". Se demuestra así que las incertidumbres obtenidas pertenecen a las mismas poblaciones que los parámetros de

referencia dados por el fabricante. Al superar esta prueba estadística se verifica que el equipo se desempeña según lo esperado para sus características técnicas.

Finalmente se realiza el balance de incertidumbres y se calcula la incertidumbre expandida. Se utilizó como valor para la altura de la antena 2,00 m que es la altura típica de rover evaluado. El factor de cobertura que se utilizó es igual a 2 (nivel de confianza del 95%).

Los resultados obtenidos son:

$$U_{xy}=18 \text{ mm}$$

$$U_h=24 \text{ mm}$$

Conclusiones

- Se han implementado una serie de ensayos de evaluación metrológica de instrumental desde un grupo de la facultad, como un actor independiente de las empresas comercializadoras de dichos instrumentos, dando de esta manera una visión objetiva del estado del instrumento.
- Se satisface una necesidad tanto de los Agrimensores propietarios de instrumental como de las empresas ejecutoras de obras, en cuanto a la posibilidad de garantizar la calidad de las mediciones efectuadas.
- La suma de los desarrollos descritos ha posibilitado la actualización de los contenidos de las cátedras: “Fundamentos de Instrumental” e “Instrumental y Técnicas Especiales”
- La mayor parte de estos trabajos se realizó con la participación de alumnos becados por la Facultad de Ingeniería, consiguiendo de esta manera la formación de recursos humanos en la temática descripta.

Bibliografía.

Paús, Pablo - Romano, José - Paredi, Jorge - Bergamini, Javier - Aldasoro, Roberto. Construcción de una base corta de calibración en el Departamento de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. 5tas Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería. La Plata, abril 2019. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/75011>

Paús, Pablo - Romano, José – Rohner, Agustín - Bergamini, Javier - Aldasoro, Roberto. Implementación de un procedimiento de ensayo y verificación de receptores GNSS RTK. IV Encuentro Nacional de Investigadores de Agrimensura (San Fernando del Valle de Catamarca, 10 y 11 de noviembre de 2022). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/145778>

Gil, Francisco – Paez, Bruno – Paús, Pablo S - San Martín, José – Aldasoro, Roberto - Soto, Jaime. Verificación de un nivel óptico. II Jornadas de Investigación y Transferencia de la Facultad de Ingeniería – La Plata, mayo 2013. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37775>

NORMA ISO 17.123 (2015). Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments.

ISO 17.025 (2017), “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”.

VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados, 3ª ed. 2012.