

## CONSTRUCCIÓN DE UNA BASE CORTA DE CALIBRACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE AGRIMENSURA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNLP

Paús Pablo - Romano, José - Paredi, Jorge - Bergamini, Javier - Aldasoro, Roberto

Facultad de Ingeniería - UNLP, Calle 1 y 47 - La Plata (B1900TAG) - Buenos Aires - Argentina -, Tel.: 0221-425-8911 (int.254), [pablo.paus@ing.unlp.edu.ar](mailto:pablo.paus@ing.unlp.edu.ar)

### INTRODUCCIÓN

Las mediciones topogeodésicas cobran relevancia en gran número de situaciones, vinculadas al sector productivo, industrial y agropecuario; en obras civiles e hidráulicas: trazado de rutas, construcción de diques, edificaciones o mediciones catastrales. La falta de exactitud de estas mediciones puede conllevar un costo económico significativo, que suele pasar desapercibido para el común de la gente.

La importancia que cobran estas mediciones, hace necesario que los profesionales vinculados a su realización, deban dar certeza de las mismas, ya que los comitentes públicos o privados requieren la seguridad de que el trabajo que encarguen sigue las prácticas de medición adecuadas. Cabe mencionar que es cada vez más común el pedido de certificados de calibración de instrumentos topogeodésicos en licitaciones de obras públicas y privadas.

Los instrumentos topogeodésicos con tecnología M.E.D. (Medición Electro-Óptica de Distancias) son utilizados en todo tipo de labores que requieran la medición de distancias. Estos dispositivos emiten una señal electromagnética desde un extremo de una línea a medir hacia el otro, la que regresa al punto inicial luego de ser reflejada. A partir de la observación y procesamiento de la señal recibida se obtiene la medida de la distancia.

En nuestro país no existen laboratorios con la infraestructura necesaria para la calibración de instrumental MED, que cumplan con normas internacionales y demuestren su competencia técnica.

Vista esta necesidad, el Grupo de trabajo de Metrología del Dpto. de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería y el Laboratorio de Óptica Calibraciones y Ensayos (LOCE) de la Facultad de Ciencias Astronómicas de la UNLP, han abordado esta problemática. Ambos grupos han desarrollado actividades en temas de metrología y calidad en los últimos años. El presente trabajo trata sobre una de las actividades iniciadas en conjunto para dar solución a la inexistencia de laboratorios para la calibración de electrodistanciómetros.

En paralelo al trabajo de investigación, interpretación de la norma y desarrollo de procedimientos para la verificación y calibración de instrumental topogeodésico, se fijó como objetivo el diseño y construcción de una base corta de calibración. Fue así que, en conjunto con la Dirección del departamento de Agrimensura, se gestionaron el permiso y la construcción de una base, financiada y realizada por la Facultad de Ingeniería de la UNLP.

Luego de una gestión impulsada por el Dir. de Carrera del Dpto. de Agrimensura, en el mes de julio de 2018 se inició la construcción de los tres pilares (fig. 5), los gastos de esta obra estuvieron a cargo de la Facultad de Ingeniería.

### BASE CORTA DE CALIBRACIÓN.

#### Instrumentos M.E.D.

En las décadas de 1960 y 1970 la medición electroóptica de distancias se desarrolló en la Topografía y la Geodesia, estos primeros equipos eran autónomos. Posteriormente, en la década del 1980, la miniaturización y sofisticación de los M.E.D. permitieron asociarlos a goniómetros, integrando ambos instrumentos los equipos de estación total. El alcance de un distanciómetro MED de esta última clase es de unos 5 kilómetros (según fabricantes), no

obstante, las máximas distancias medidas en la generalidad de los trabajos es mucho inferior a esa longitud. La exactitud en la medición de una distancia con estos instrumentos depende de sus características técnicas, del equipamiento auxiliar (reflectores, trípodes, bastones nivelantes, etc.), de los requerimientos del trabajo, de la experiencia del operador y las condiciones medioambientales, pudiéndose alcanzar resultados con una incertidumbre del orden del milímetro o del centímetro según se requiera. También surgen trabajos excepcionales en los que se realizan mediciones con precisión sub-milimétrica.

Existe, además una variedad de electro-distanciómetros para labores de poco alcance y menor precisión, estos son “equipos de mano” y su utilización es muy frecuente en la agrimensura y la construcción. Las mediciones con estos instrumentos en raras ocasiones superan los 100 metros.



Figura 1: A la izquierda antiguo distanciómetro, en medio una estación total con su reflector y a la derecha un distanciómetro de mano.

### Laboratorio.

El análisis de las normas y la bibliografía especializada, sugieren para la calibración de instrumental MED, la necesidad del desarrollo e implementación de un laboratorio con personal calificado e infraestructura específica con los siguientes aspectos:

- Una **línea de base** o **base de calibración**. Ésta consiste en una alineación de pilares, fijos en el terreno, y dispuestos de modo que las distancias entre ellos obedezcan a un patrón de diseño particular.
- Un gabinete con instrumental óptico y electrónico para detectar y cuantificar la onda medidora. Este instrumental está conformado por osciloscopio, frecuencímetro y lector óptico, entre otros.
- El laboratorio además debe contar con personal calificado para la realización de los ensayos.
- Implementación de un sistema de calidad en el laboratorio.

### Necesidad de una base corta de calibración.

La calibración consiste en establecer una relación entre las indicaciones obtenidas con el instrumento y el valor de un patrón, ambos con su incertidumbre asociadas, de manera tal que esta información pueda ser utilizada en una segunda etapa, para obtener el resultado de una medida, a partir de la indicación del instrumento.

Los instrumentos M.E.D. que miden por el método de la diferencia de fase presentan los errores sistemáticos (Rüger, 1996) de: offset, escala y de ciclo. Para poder realizar la calibración de los instrumentos M.E.D. es necesario determinar estos errores y sus respectivas incertidumbres. La determinación de estos errores sistemáticos tiene una implicancia directa en el diseño de una base de calibración, determinado su extensión, número de pilares y separación entre los mismos (Romano, 2018). La bibliografía y normas sobre esta temática sugieren bases con siete pilares y una extensión mínima de 600 m (ISO 17.123-4).

La experiencia y el contacto con los usuarios indican que la generalidad de las mediciones con distanciómetros M.E.D. (estaciones totales) se encuentra en un rango que varía entre 10 y 1500 metros aproximadamente. No obstante, el surgimiento y la masificación en las últimas décadas, de los equipos topogeodésicos que aplican tecnología GNSS (Global Navigation Satellite System), ha relegado la utilización de los distanciómetros M.E.D., en trabajos de precisión, a distancias del rango corto.

En trabajos de precisión (montaje industrial, obras civiles, micro-geodesia, etc.), la medición de la distancia suele estar en el rango de 5 a 100 m. En estos casos, los procedimientos de calibración conocidos pueden no cumplir con los requisitos de precisión requeridos y las correcciones determinadas a partir de líneas de base largas pueden no representar los parámetros reales para distancias muy cortas (Braun, 2015).

En este trabajo se presenta una base de calibración corta, conformada por tres pilares y diseñada para ser emplazada en el predio lindante al departamento de Agrimensura de esta Facultad. Esta base corta permite determinar el error de offset de los distanciómetros (MED) integrados en las estaciones totales, en distancias cortas usualmente es el más significativo de los tres errores sistemáticos. En este tipo de base, el error de escala no podrá ser determinado, para ello la línea de base necesita una mayor longitud. Tampoco puede ser obtenido el error de ciclo, dado que se requeriría un número mínimo de cinco pilares, distanciados de modo específico (Romano, 2017).

Podrán ser verificados/calibrados, además, distanciómetros de mano, al ser posible en esta base de calibración contrastar los resultados de sus mediciones con los realizados con distanciómetros de mayor precisión.

### Diseño de una base corta de calibración.

Justificada la necesidad de una base de calibración con estas características, se emprendió su diseño y construcción en un sector del campus de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. En la figura 2 pueden ser apreciados los sitios elegidos para la ubicación de los tres pilares, denominados Pilar 1, Pilar 2 y Pilar 3.

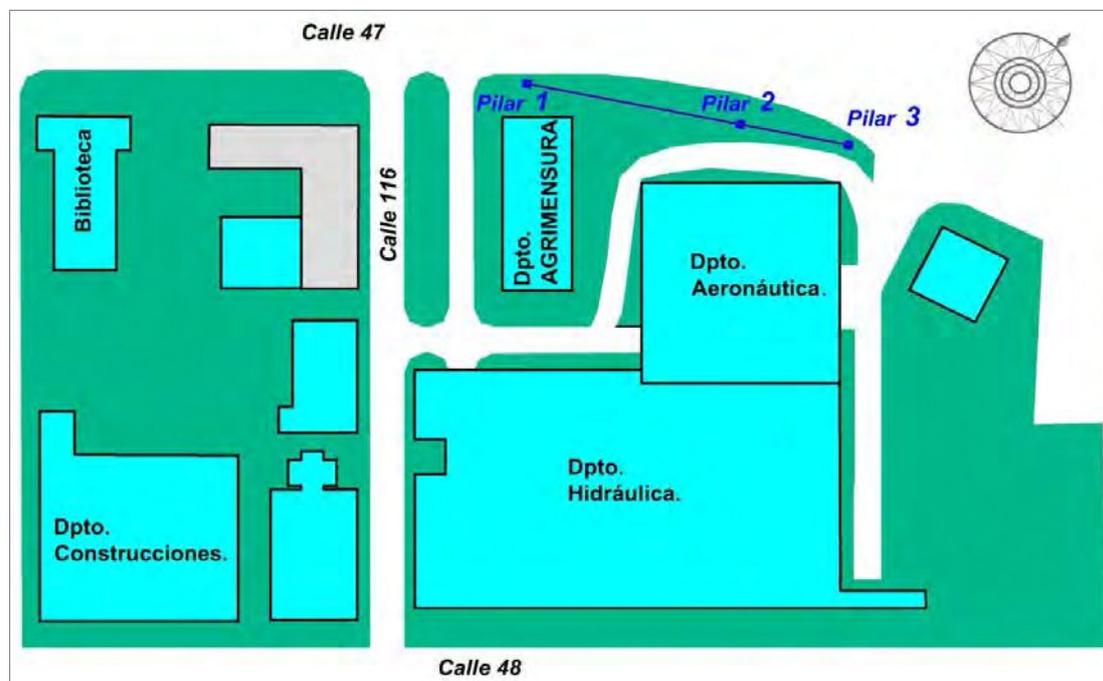


Figura 2: Ubicación de los tres pilares que componen la base de calibración en el predio lindante al Dpto. de Agrimensura (gráfico sin escala).

En una primera etapa, se realizó un relevamiento topográfico plani-altimétrico para obtener un modelo digital del predio. Sobre este modelo tridimensional del terreno fue

posible definir con precisión la ubicación de los tres pilares atendiendo a los siguientes criterios particulares de diseño:

- Los pilares deben estar perfectamente alineados para poder determinar el error de offset (Hazelton, 2009).
- La distancia entre los pilares extremos debe ser la mayor posible dentro del predio.
- La disposición de los pilares debe ser tal que exista una distribución uniforme de las distancias medidas entre pilares.
- La altura sobre el terreno de cada pilar debe ser de aproximadamente 1,25 m.
- El pilar intermedio no debe obstaculizar la visual entre los pilares de los extremos.

Teniendo en cuenta los criterios de diseño señalados y el plano obtenido a partir del relevamiento topográfico, se definió la ubicación definitiva sobre el terreno para los tres pilares.

A partir de la bibliografía consultada y del asesoramiento con técnicos especializados se diseñó un modelo de pilar que se adapta a las características del terreno y a los requerimientos de la base (fig. 3). Los pilares debían estar enterrados a una profundidad cercana a los 2 metros, de ese modo se asegura la inamovilidad de los mismos.

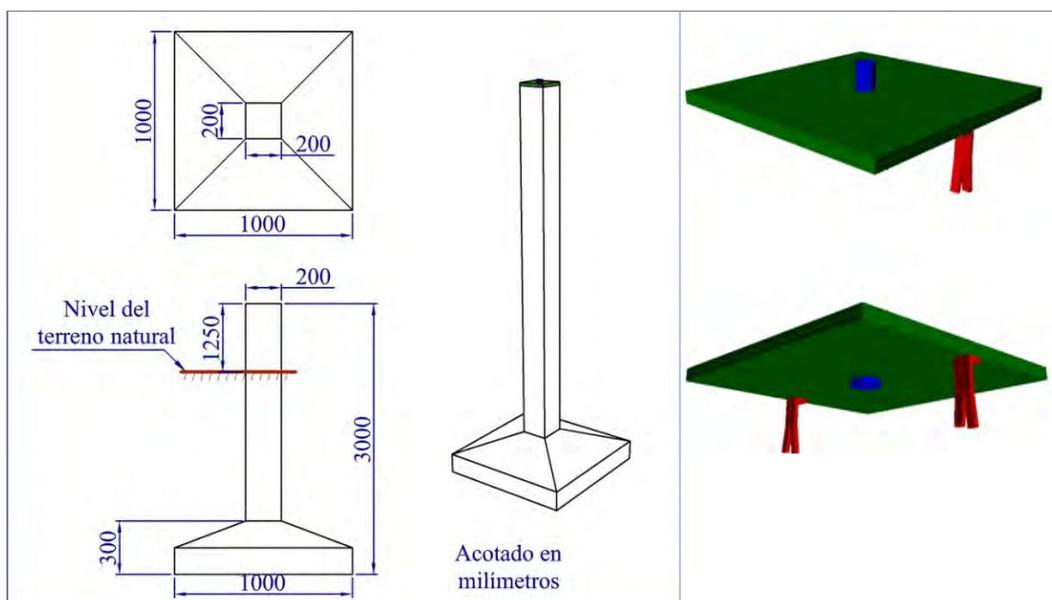


Figura 3: Modelo de pilar y placa de coronamiento (esquema fuera de escala).

Cada pilar debe estar coronado por una placa metálica (fig. 3), en cuyo centro se fija un bulón con rosca Whitworth de 5/8, designación BSW 5/8, con un paso de 11 hilos por pulgada. En cada pilar, su eje es coincidente con el eje del bulón. Estos bulones son utilizados para fijar tanto el instrumento como el reflector. Las longitudes a medir se corresponden con las distancias horizontales entre los ejes de los pilares.

## RESULTADOS.

### Construcción de la Base corta de calibración.

En julio de 2018 inició la construcción de los tres pilares que conforman la línea de base, como se mencionó, los gastos de esta obra estuvieron a cargo de la Facultad de Ingeniería. En la figura 4 pueden apreciarse diferentes estados en la edificación de los pilares.



Figura 4: Diferentes etapas en la construcción de los tres pilares.

Finalizada la construcción de los pilares, se contó con la colaboración del Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados (GEMA) para la construcción de las placas de coronamiento (fig. 5).



Figura 5: Placa de coronamiento y pilar.

La base de calibración con la que se dispone permite la medición de tres distancias tal como se indica en la figura 6.

La siguiente etapa de este proyecto contempla la realización de un cierto número de ensayos sobre instrumentos del Departamento de Agrimensura, como paso previo para ofrecer servicios de verificación/calibración a la comunidad.

Como etapa previa a la calibración de instrumentos M.E.D., se están realizando reuniones y charlas informativas con profesionales del Consejo Profesional de Agrimensura. En estos encuentros se expone acerca de la importancia asociada a la calibración de los instrumentos de medición, se brinda asesoramiento sobre la temática y se informa sobre los servicios de calibración/verificación que estarán disponibles próximamente.

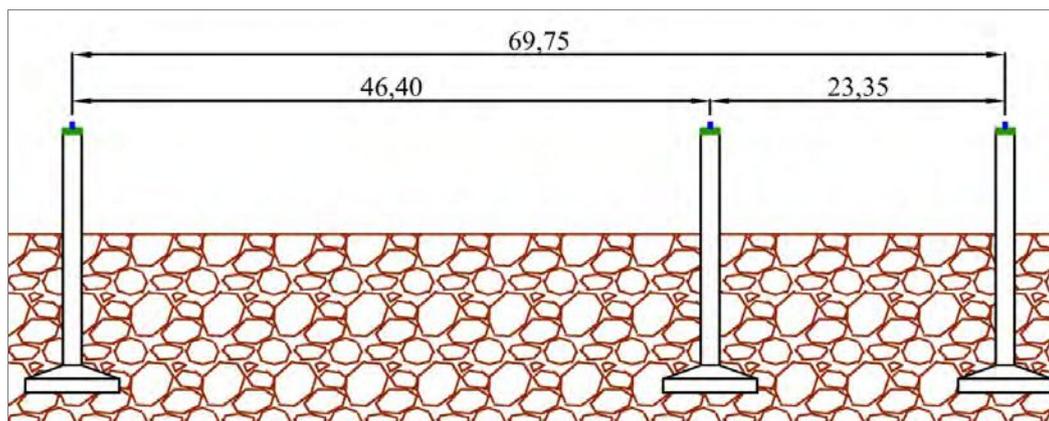


Figura 6: Esquema de la base corta de calibración (distancias en metros).

## CONCLUSIONES.

Esta instalación permitirá brindar a la comunidad los servicios de verificación y calibración de diferentes instrumentos topogeodésicos.

Además, la base permitirá realizar diversos trabajos experimentales que involucren mediciones topogeodésicas, lo que beneficiará a distintos grupos que realizan tareas de investigación en el Dpto. de Agrimensura.

Posibilitará también a los estudiantes de la carrera de Ingeniero Agrimensor realizar prácticas de medición que hasta el momento no son posibles por no contar con este tipo de instalaciones.

El conocimiento adquirido en el diseño y construcción de los pilares, y de sus placas de coronamiento, otorga una experiencia valiosa que podrá aplicarse en la construcción de bases de calibración de mayor escala.

## BIBLIOGRAFIA

J. Braun, M. Štroner, R. Urban, F. Dvořáček. 2015. Suppression of Systematic Errors of Electronic Distance Meters for Measurement of Short Distances - Sensors 2015, 15, 19264-19301

Rüeger, J. 1996. Electronic Distance Measurement. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.  
Hazelton, N. (2009). "Instrument Calibration for the 21st Century". Paper for the MSPS 57th Annual Meeting.

ISO 17.123, Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments).

J. Romano, P. Paús, J. Bergamini, R. Aldasoro. 2017. Diseño de base para calibración de instrumentos M.E.D - XXVIII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas y del Tercer Simposio sobre Inversión y Procesamiento de Señales en Exploración Sísmica (IPSES'17). Libro de Resúmenes Expandidos, páginas 194 a 200 - ISBN 978-950-34-1471-2.

J. Romano, P. Paús, J. Bergamini, R. Aldasoro. 2018. Diseño de base de calibración para instrumentos de medición electro-óptica de distancias. III Encuentro de Investigadores de Agrimensura (III ENIA 2018). ISBN N° 978- 987-661- 281- 4 - Editora: Gloria del Valle López.