

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE ENSAYO Y VERIFICACIÓN DE RECEPTORES GNSS RTK

Rohner, S. Agustín - Paús, Pablo - Romano, José - Aldasoro, Roberto – Bergamini, Javier

Facultad de Ingeniería, FI-UNLP, Universidad Nacional de La Plata - Calle 1 y 47 - La Plata (B1900TAG) - Buenos Aires - Argentina -, Tel.: 0221-425-8911 (int.254), agusrohner@gmail.com

Palabras claves: gnss rtk – metrología – agrimensura – incertidumbre – extensión

Introducción

El presente trabajo se enmarca dentro de una beca de extensión otorgada por la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Las tareas se realizaron de forma virtual con el Grupo de Metrología del Departamento de Agrimensura que desarrolla sus actividades en el Gabinete “Prof. Ing. Gabriel Jesús Gómez”, con la colaboración de personal del Laboratorio de Óptica, Calibraciones y Ensayo de la FCAGLP.

El levantamiento de puntos en modo cinemático en tiempo real (RTK, por sus siglas en inglés) es de uso habitual y extendido por profesionales de la Agrimensura. Pero regionalmente, el uso masivo de estas técnicas no ha sido acompañado por el desarrollo e implementación de métodos orientados a garantizar la calidad de las determinaciones efectuadas, ofreciendo la correspondiente certificación. La tendencia a nivel global es la adopción de normas internacionales, las cuales dentro del campo de la Geodesia y la Topografía (Normas ISO 17.123), establecen los procedimientos para la verificación de instrumentos. Por otro lado, para la implementación de estos procedimientos se deben observar los “requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”, como los establecidos en la norma ISO 17.025.

El objetivo de este trabajo consistió en analizar e implementar la norma ISO 17.123-8:2015 *GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK)*. Esta norma establece los procedimientos de campo y gabinete para determinar la precisión (repetibilidad) de equipos GNSS aplicando la metodología RTK.

Este trabajo se suma a las tareas que viene desempeñando el Grupo de Metrología del Departamento de Agrimensura, en cuanto a la verificación y calibración de Instrumental Topogeodésico, orientadas a brindar al sector oficial y privado la posibilidad de disponer de un certificado de verificación y/o calibración de instrumental de uso corriente en la Ingeniería, y en particular en aplicaciones propias de la Agrimensura.

Desarrollo

Sistemas GNSS RTK

GNSS (Sistemas de Navegación Global por Satélite) es el término que se utiliza genéricamente para cualquier tipo de sistema de posicionamiento satelital. Los equipos receptores GNSS son el segmento de usuario en este sistema de posicionamiento, y su objetivo es observar las señales transmitidas por los satélites para calcular su posición sobre el globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Existen distintos tipos de técnicas GNSS, la norma ISO 17.123-8:2015 trata sobre los de tipo cinemático en tiempo real (RTK: Real Time Kinematics) que requiere del uso de dos o más receptores. Todos los equipos deben estar recibiendo en simultáneo la señal de, por los menos, cuatro satélites en común, lo que permitirá determinar posiciones (coordenadas en el espacio) sobre el terreno, prácticamente

en cualquier parte del planeta, con una exactitud de algunos centímetros, lo que lo hace muy adecuado para la mayoría de los propósitos de topografía y cartografía.

La medición con GNSS RTK consiste en colocar uno de los equipos, denominado **base** sobre un punto cuya posición (coordenadas) es conocida. Como la misma es un dato, el receptor base puede calcular los errores de medición y las correspondientes correcciones, las que luego se transmiten al otro equipo denominado **rover**, que se ubica sobre un punto de coordenadas desconocidas a determinar. Al recibir éste las mismas señales de los satélites y además las correcciones de la estación base, se encuentra en condiciones de calcular sus coordenadas en tiempo real.

Cuando se trabaja en RTK, la transmisión de las correcciones desde el equipo base hacia el rover se realiza mediante una conexión de radio UHF, cuyo alcance máximo varía entre los 5/10km, donde se puede considerar que los errores que afectan a los dos equipos son los mismos.

Campo de ensayo

La norma ISO 17123-8:2015 provee dos procedimientos, uno simple y otro completo. En ambos casos el ensayo de campo requiere de una base con dos puntos fijos sobre los que se posicionará el equipo rover, separados una distancia que puede variar dentro de un rango de 2 a 20 metros (figura 1).

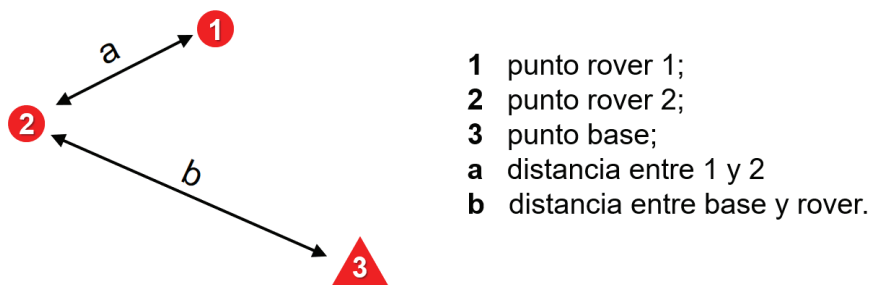


Figura 1: Esquema del campo de ensayo.

Para los puntos 1 y 2, la distancia horizontal y la diferencia de altura calculadas a partir de las coordenadas en cada grupo de mediciones, deben ser comparadas con los respectivos valores nominales para asegurar que estén libres de errores groseros. Estos valores nominales se deben determinar por métodos cuya precisión sea mejor que 3mm, excluyendo a RTK, y se usan en el primer paso de ambos procedimientos de las pruebas.

En estos procedimientos, una sesión de mediciones consiste en cinco grupos. Cada grupo consiste en 2 mediciones, una en el punto 1 y la otra en el punto 2 de rover; en total, son 10 mediciones por sesión (figura 2).

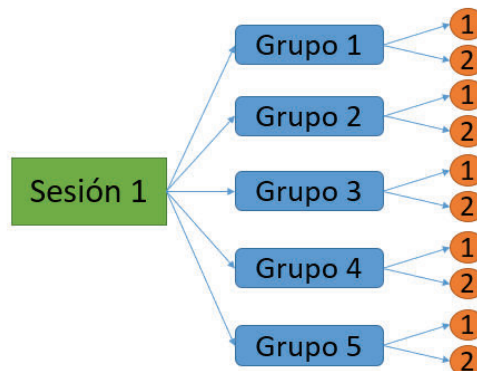


Figura 2: Una sesión de medición se conforma por 5 grupos, donde cada grupo consta de dos mediciones, una en el punto 1 y la otra en el punto 2.

Entre sucesivos grupos de mediciones debe existir un lapso de tiempo de 5 minutos. Por lo tanto, una sesión de medición tiene una duración de al menos 25 minutos. Además, el tiempo de inicio entre sesiones sucesivas debe ser de al menos 90 minutos. De este modo, se tienen en cuenta la influencia de los cambios en la configuración de los satélites y las variaciones en las condiciones ionosféricas y troposféricas.

Procedimiento de ensayo simple

Consiste en una única sesión de medición y permite determinar si un equipamiento es apto o no para realizar una tarea que requiere una determinada precisión. En este procedimiento se busca identificar la existencia de errores groseros, cuya presencia implicaría el descarte de las mediciones y la necesaria repetición del procedimiento. Si se rechaza nuevamente el procedimiento, se debe dudar del operador o de algún daño en el equipo.

Este procedimiento está basado en un limitado número de mediciones, por consiguiente, no se puede aplicar ningún análisis estadístico. Si se requiere una evaluación más precisa del equipamiento, es recomendable adoptar un procedimiento más riguroso, como el sugerido en el ensayo completo.

Procedimiento del ensayo completo

Este procedimiento requiere de tres sesiones de medición y permite obtener más información que el procedimiento simple sobre la precisión alcanzable con un equipo RTK. Como resultado de su aplicación, se obtienen los valores correspondientes a la desviación estándar experimental para una posición (x,y), así como la desviación estándar experimental para una altura (h) de un punto medido con el equipo ensayado. Una vez definidos estos parámetros, se realiza el test estadístico chi-cuadrado para verificar si la desviación estándar experimental es un estimador del desvío estándar de la población.

Trabajo de campo realizado

El campo de ensayo se configuró en AGGO (Observatorio Argentino Alemán de Geodesia), ubicado en el predio del IAR, en el Parque Pereyra Iraola (La ubicación de los puntos se aprecia en la figura 3).



Figura 3: Campo de ensayo en AGGO.

Los equipos ensayados fueron dos receptores gemelos, marca TOPCON, modelo Hiper V, uno configurado como base y otro como rover (figura 4).



Figura 4: (a) Receptor base colocado sobre un punto de coordenadas conocidas (pilar). (b) Receptor rover sobre el punto 2 (trípode).

En lo que respecta al ensayo con los equipos, se colocó al receptor base en un pilar con coordenadas conocidas y se conformó una línea de base para el rover con dos trípodes (figura 5) y se realizaron las tres sesiones de medición como indica la norma. La duración total del ensayo fue de aproximadamente 4,5 hs.



Figura 5: Línea base, a la izquierda punto 2 y a la derecha el punto 1.

Para poder comparar las distancias y las diferencias de alturas obtenidas a partir de GNSS RTK con sus correspondientes valores nominales fue necesario utilizar trípodes con bases nivelantes con sistema de centrado forzoso, para asegurar la precisión exigida por la norma. A su vez, las coordenadas planas (x,y) obtenidas con GNSS RTK corresponden al sistema oficial argentino POSGAR 07 empleando la proyección Gauss-Krüger Faja 6, mientras que las alturas (h) son elipsoidales.

Los puntos rover 1 y 2 conforman una línea base de 19,039 m y el desnivel entre ambos es de 0,176 m. Las dos magnitudes anteriores, que constituyen los valores nominales, se calcularon a partir de un método elaborado por este grupo de trabajo que consiste en la utilización de estación total, realizando tres estaciones recíprocas y midiendo al prisma en las dos posiciones aplicando el método de doble lectura de Bessel. En total son 48 mediciones realizadas con el instrumento, lográndose una precisión de ± 1 mm en la determinación de cada una.

Con se ve en la figura 6, para el grupo 1 de la sesión 1 se calculan la distancia horizontal (D_j) y la diferencia de altura (Δh_j) entre los puntos rover 1 y 2. Esto se realiza para cada grupo de las tres sesiones. Posteriormente las distancias horizontales y las diferencias de alturas se contrastan con los valores nominales, para así detectar posibles errores groseros. Finalizadas y verificadas las tres sesiones, se pasa al cálculo estadístico y a la realización del test de hipótesis.

Secuencia Nro.	Sesión	Grupo	Punto Rover	Mediciones			Distancia Horizontal D_j	Diferencia de altura Δh_j
				x	y	h		
1	1	1	1	6140851,301	6395787,390	16,901	19,044	-0,179
2	1	1	2	6140870,316	6395786,343	16,722		

Figura 6: Mediciones realizadas en los puntos rover 1 y 2 para grupo 1 de la sesión 1.

Resultados

Cumpliendo con el procedimiento completo, a partir de las coordenadas planas observadas de los puntos se calcula la desviación estándar experimental para una única posición denominada s_{xy} y la desviación estándar experimental para una única altura s_h . Estos resultados corresponden a las denominadas incertidumbres tipo A, para el caso del equipamiento ensayado:

$$s_{xy} = 4,0 \text{ mm} \qquad s_h = 7,9 \text{ mm}$$

La norma ISO 17.123-8:2015 aplica el test de hipótesis chi-cuadrado (figura 7) que permite dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Es la desviación estándar experimental calculada a partir de las mediciones, menor o igual al valor de referencia (dado por el fabricante)?

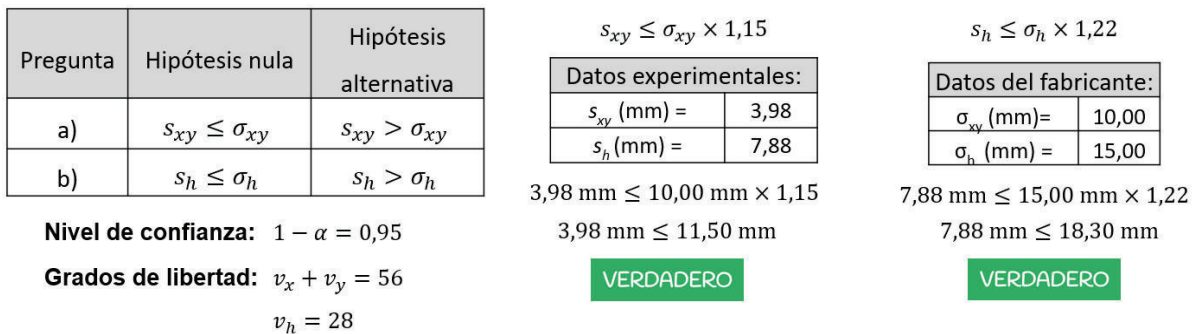


Figura 7: Test de hipótesis chi-cuadrado para la desviación estándar experimental.

Las desviaciones estándar experimentales para una posición (s_{xy}) y para una altura (s_h) superan el test estadístico.

Estas incertidumbres tipo A deben combinarse con las tipo B propuestas por la norma (figura 8).

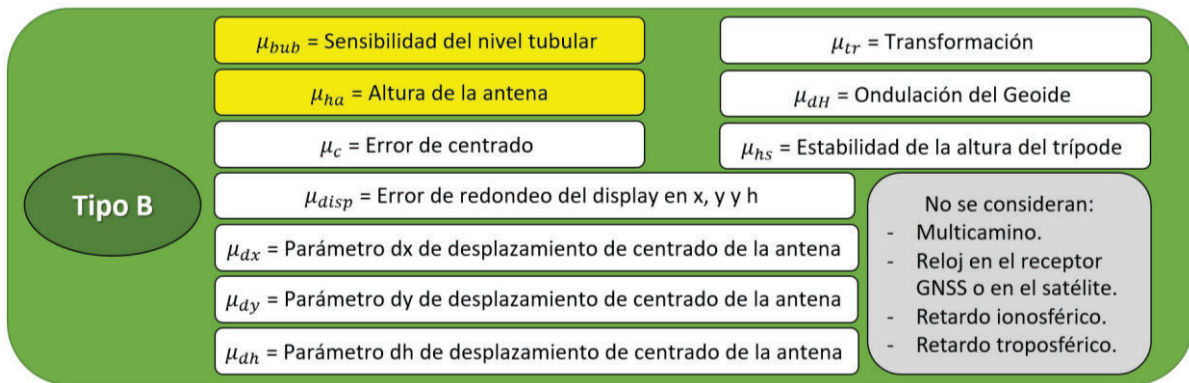


Figura 8: Incertidumbres tipo B consideradas.

Las ecuaciones aplicadas para obtener las incertidumbres combinadas para una posición (μ_{xy}) y una altura (μ_h) son:

$$\mu_{xy} = \sqrt{\mu_{ISO-GNSS-xy}^2 + [h_a \times \tan(\mu_{bub})]^2 + 2 \times \mu_{disp}^2 + \mu_c^2 + \mu_{dy}^2 + \mu_{tr}^2}$$

$$\mu_h = \sqrt{\mu_{ISO-GNSS-h}^2 + \mu_{disp}^2 + \mu_{ha}^2 + \mu_{hs}^2 + \mu_{dh}^2 + \mu_{dH}^2}$$

Finalmente, se calculan las incertidumbres expandidas (U_{xy} y U_h). Se utilizó, según lo expresado en la norma, un factor de cobertura de 2 para un nivel de confianza de 94,45%:

$$U_{xy} = 2 \times \mu_{xy} = 13 \text{ mm}$$

$$U_h = 2 \times \mu_h = 17 \text{ mm}$$

Conclusiones

A raíz de este trabajo fue posible

1. **Aplicar exitosamente** la Norma ISO 17.123-8:2015 a un equipo GNSS RTK de uso común en Agrimensura.
2. Incorporar al gabinete una nueva **evaluación metrológica**, que se suma dentro del proyecto de calibración y verificación de instrumental Topogeodésico.
3. Satisfacer la **necesidad** de los **profesionales de la Agrimensura** en cuanto a la posibilidad de verificación de **instrumentos GNSS RTK**.
4. **Actualizan los contenidos** de distintas cátedras de la carrera de Ing. Agrimensur.

Finalmente destacamos que para este trabajo se siguió en todo momento el protocolo propuesto para Agrimensores por el Colegio Profesional de Agrimensura de la Provincia de Buenos Aires (C.P.A.) en el contexto de la pandemia, dado que se realizó en septiembre de 2020.



Bibliografía

- NORMA ISO 17.123 (2015). Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 8: GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK).
- NORMA ISO 17.123 (2010). Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 1: Theory.
- BERNÉ VALERO, José Luis (2014). GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática. Valencia. Universitat Politècnica de València.
- GHILANI, Charles D. and WOLF, Paul R. (2006). Adjustment Computations: Spatial Data Analysis (4th ed.). United States of America. John Wiley & Sons, Inc.
- MONTGOMERY, Douglas C (2003). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería (2da ed.). México. LIMUSA, S.A.
- CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA (2012). Vocabulario Internacional de Metrología: Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM) (3ra ed.).
- TOPCON (2012). HiPer V Operator's Manual.