

# Estudio y análisis de precisión de diversos navegadores GNSS de bajo costo

M. Soledad Souto<sup>1,3,4</sup>, Maximiliano Eschoyez<sup>2,4</sup>, Nicolás Morales<sup>2</sup>, Gonzalo Ripa<sup>1</sup>, Luciano Del Bosco<sup>1</sup>, Juan Pablo Castillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería en Agrimensura - Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba.

<sup>2</sup> Departamento Laboratorio de Arquitectura de Computadoras LAC, Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba.

<sup>3</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

<sup>4</sup> Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba - SECyT - UNC.

Fecha de recepción del manuscrito: 12/08/2016

Fecha de aceptación del manuscrito: 29/03/2017

Fecha de publicación: 15/09/2017

**Resumen-** En la actualidad existe una gran oferta de receptores satelitales de bajo costo con importantes prestaciones, como la capacidad de rastrear múltiples constelaciones, gran número de canales de recepción, mayor capacidad de procesamiento, entre otras. El presente artículo se centra en el estudio, desarrollo y análisis de precisión de nuevas metodologías operativas con diferentes navegadores satelitales GNSS de bajo costo versus un receptor geodésico de alta precisión, a fin de obtener un estudio detallado sobre los alcances e integridad de los datos obtenidos. Las pruebas se realizaron con cuatro receptores GNSS sobre un vértice del polígono de control GNSS emplazado en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

**Palabras claves** - Navegadores, GNSS, precisión.

**Abstract**— There is currently a large supply of low-cost satellite receivers with important advantage such as the ability to track multiple constellations, large number of receiving channels, more processing power, among others. This article focuses on the study, development and precision analysis of new operating methodologies with different satellite GNSS low-cost receivers versus a geodetic high precision receiver, in order to obtain a detailed study on the scope and integrity of the data. The tests were conducted with four GNSS receivers on a vertex of the polygon Control GNSS located at Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

**Keywords**— Low cost receivers, GNSS, precision.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la utilización del Sistema Satelital Global de Navegación (GNSS) de forma masiva en los ámbitos de la geodesia, topografía, fotogrametría, cartografía, etc., ha dado lugar a un crecimiento de la comunidad de usuarios. Estos usuarios demandan mayor disponibilidad de servicios e infraestructuras modernas adaptadas a la tecnología GPS disponible y que puedan proporcionar precisión, fiabilidad y alta productividad (Souto et. al. 2010).

Bajo este panorama, es de suma importancia el desarrollo de nueva infraestructura geodésica que complemente la actualmente disponible y que permita mejorar los niveles actuales de precisión, integridad y confiabilidad. Los receptores geodésicos de alta precisión son equipos de costo elevado, por ello, se pretende estudiar alternativas

posibles y asequibles a partir de navegadores GNSS de bajo costo, cuya precisión puede mejorarse significativamente a partir del postprocesamiento de los datos obtenidos.

Las diferentes aplicaciones basadas en tecnologías GNSS se pueden distinguir en función de los niveles de precisión e integridad que requiera su ejecución. Actualmente, las aplicaciones que demandan precisión centimétrica requieren trabajar con receptores GNSS de doble frecuencia debido a las altas precisiones que son capaces de alcanzar.

Los receptores GNSS navegadores trabajan con código, y solo permiten el posicionamiento en tiempo real con una precisión muy por encima del metro en función de las diversas variables que condicionan el posicionamiento. Por lo tanto, los navegadores GNSS constituyen la gama más baja de este tipo de receptores, y su uso queda reducido a aplicaciones en las que las precisiones exigidas no son excesivas, ni se requieren criterios de integridad, continuidad y disponibilidad (García et. al. 2005).

Este trabajo tiene como objetivo estudiar diversos receptores navegadores en postproceso para probar si el

Dirección de contacto:

Maximiliano Eschoyez, Av. Vélez Sarsfield 1611 Ciudad Universitaria, X5016 CGA. Tel: 5353800 interno 29050, maximiliano.eschoyez@unc.edu.ar

alcance de precisiones submétricas es adecuado, con la finalidad de ampliar su rango de aplicación a partir de la aplicación de correcciones en modo diferencial.

## METODOLOGÍA

Se desea estudiar el funcionamiento de diferentes dispositivos de posicionamiento GNSS de bajo coste, con diferentes características funcionales, tales como cantidad de canales de recepción, posibilidad de recibir varias constelaciones, diseño de la antena, calidad, potencia y robustez del software de observación y procesamiento que llevan incorporados. A partir de este análisis se pretende describir las posibilidades y límites del posicionamiento estático usando las observaciones de código de navegadores GNSS de bajo coste y mostrar, mediante un análisis comparativo de coordenadas, sus alcances de precisión e integridad.

Cabe destacar que este estudio se realiza como parte de un proyecto a mayor escala, cuyo objetivo es el diseño de infraestructura de posicionamiento GNSS de alta precisión para el emplazamiento de nuevas estaciones permanentes en la provincia de Córdoba a costos asequibles. Por lo tanto, a partir de este trabajo se puede establecer un rango de precisión de los navegadores comerciales, desde el cual comenzar a trabajar en el futuro con metodologías diferenciales para recuperar los observables de fase.

Para las mediciones de campaña se utilizó un vértice del polígono de control ubicado en Helipuerto de la Universidad Nacional de Córdoba. Este vértice se eligió debido a que cuenta con amojonamiento de precisión y coordenadas conocidas. Cada receptor satelital se posicionó sobre dicho vértice un tiempo aproximado de 30 minutos, de manera tal que todas las mediciones se realizaran prácticamente en la misma franja horaria y las mismas condiciones ambientales. Para la obtención de los datos de campaña se utilizó un software *datalogger* desarrollado en lenguaje Python que permite registrar las coordenadas geodésicas, el tiempo UTC, la calidad GNSS, número de satélites, HDOP, entre otros datos importantes, para cada receptor satelital. La información registrada por el *datalogger* se almacena en una computadora personal, para luego poder realizar el postproceso de los datos junto a su correspondiente análisis estadístico.

El instrumental utilizado consiste en:

- Receptor bifrecuencia Sokkia GRX2.
- Receptor GPS navegador Garmin GPS 72H.
- Receptor GNSS genérico USB navegador MINI SIM968 EVB.
- Software Postproceso Magnet Tools (Topcon).
- Software *datalogger* para captura de la información en bruto de los navegadores GNSS y transformación a archivo de texto plano.
- Computadora portátil HP G 61.

De la medición con el receptor geodésico Sokkia, se obtiene un archivo Rinex de observación. Combinando este archivo RINEX medido, con un archivo de datos de observación y navegación de otro receptor de referencia (base) o alguna de las estaciones de referencia permanentes

cercanas, la línea/s base observada/s se calcula en postproceso mediante software de cálculo GPS.

El primer paso a efectuar en el cálculo de las coordenadas precisas del punto ha sido la adquisición de todos los datos necesarios para el mismo, algunos de los cuales pertenecen a instituciones públicas, como es el caso de las observaciones de estaciones permanentes y los ficheros de efemérides (Souto, 2014). En este caso se ha descargado los ficheros RINEX de observables y navegación correspondientes a la estación UCOR y CORD de 2 hs., intervalo de 1 segundo, mediante el servidor FTP del Servicio GNSS de la provincia de Córdoba (Gabinete de Cálculos - UNC) y RAMSAC (IGN). En cuanto a las efemérides se han utilizado las publicadas en Internet por el IGS, seleccionando las efemérides precisas rápidas porque ya aportan la precisión requerida (precisión de las órbitas inferior a 5cm y precisión de los relojes inferior a 0.1ns) aunque se publican 17 hs. después de la época a la cual están referidas, con la ventaja de que las precisiones son entre 20 y 40 veces mejores que las efemérides radiodifundidas en tiempo real.

Por otro lado, han sido necesarias las coordenadas de los puntos de control para poder realizar los ajustes al sistema de referencia POSGAR 07 época 2006.632.

Una vez cargados los ficheros de observación mencionados y las efemérides precisas, se procesó la línea base. Previamente, se comprobaron los datos de trabajo como alturas y tipos de antena, tiempos de observación y ocupaciones y coordenadas del punto fijo.

Para el procesamiento de las líneas base, se definieron los parámetros de procesamiento básicos como el límite de elevación de satélites o el tipo de órbita, máscara de elevación de 15°, el intervalo de proceso se ha establecido en 1 segundo, efemérides precisas, tipo de fase de portadora empleada en el procesamiento de línea-base combinada (Lc) y libre combinación ionosférica de datos L1 y L2 si la línea es mayor de los kilómetros indicados (Hernández Pajares et al. 2001).

Se utilizó el modo Estático para el procesamiento y forma de proceder con las sesiones de observación. Para validar las pruebas realizadas se describe la configuración de los parámetros relacionados y el análisis estadístico de calidad que se estableció para el procesamiento y ajuste.

Sobre los vectores procesados se realizó un test estadístico de control de calidad que estima la desviación estándar de los residuos en todas las componentes. Este test permite analizar si los vectores tienen un comportamiento estadístico aceptable a través de la comparación entre los errores en las componentes horizontal y vertical con los valores expresados por el usuario. Para la prueba se estableció un nivel de confianza del 95% y una ventana de control de calidad entre 0,02 y 0,03 m. para las componentes horizontal y vertical, respectivamente. De igual forma, el software determina el tipo de solución que expresa la capacidad de fijar las ambigüedades.

En el procesamiento se obtuvieron los vectores tridimensionales que forman el punto de observación con información obtenida de UCOR y CORD. Las componentes de estos vectores consisten en incrementos de coordenadas cartesianas geocéntricas en el sistema WGS-84. La línea base se ajustó en el sistema oficial POSGAR07 época

2006.632, a partir de fijar las coordenadas de control del punto conocido en dicho marco. En primer lugar se realiza un ajuste libre, donde no se introduce ningún tipo de restricción. Lo interesante de un ajuste libre es la determinación del encaje geométrico de los vectores calculados. La detección de errores groseros se realiza mediante el test de Tau. El observable que no pasa el test es aquel cuyo residual normalizado es mayor que un valor Tau establecido y se lo elimina del ajuste. Esto puede ser producto tanto de una solución de línea base ruidosa como de una incorrecta medida de la altura de la antena. Después de haber procesado los datos correspondientes y el ajuste libre, se procedió a realizar el ajuste tridimensional, fijando las coordenadas de los puntos de control conocidos.

## RESULTADOS

A fin de conseguir los objetivos mencionados, se realizaron una serie de pruebas sometiendo a estudio el comportamiento de los navegadores GNSS, analizando diferentes variables con diversas configuraciones e integraciones de equipos y con variación de los tiempos de observación.

A pesar que los navegadores GNSS no permiten la configuración de parámetros de observación (máscara de elevación, intervalo de registro y altura de antena) no representó un problema porque en el postproceso se pueden analizar estos parámetros a partir del tiempo UTC, número de satélites, un factor de configuración geométrica HDOP y un valor de calidad GPS. Además, en la medición con los navegadores GNSS se procuró que la altura de la antena sea prácticamente cero.

Sobre los datos obtenidos con los navegadores GNSS se realizó un filtrado y posterior análisis estadístico, a los fines de estudiar el comportamiento y dispersión de los datos y obtener las coordenadas definitivas (Tabla 2). El navegador GNSS MINI SIM968 logra obtener valores HDOP significativamente bajos y constantes debido a que permite rastrear doble constelación y, por lo tanto, un mayor número de satélites. Además, se verifica que el software de observación y procesamiento incorporado (*firmware*) posee una mayor calidad, potencia de cálculo y robustez. Esto permite obtener una menor dispersión en los valores de latitud, longitud y altura elipsoidal.

**TABLA 1.** NÚMERO DE SATÉLITES, ERROR MEDIO CUADRÁTICO (M) Y HDOP POR RECEPTOR.

Receptor	Satélites	RMS	HDOP
Sokkia GRX2	16 GPS + GLONASS	0,01	0,82
Garmin 72H	8 GPS	4,74	1,05
SIM968 EVB	17 GPS + GLONASS	0,01	0,65
Genérico USB	8 GPS	3,84	1,05

En los navegadores Garmin y USB genérico la dispersión de los datos tiene un error cuadrático medio de 4,7 m y 3,8 m respectivamente en las tres componentes (Tabla 1), que supone unos 5 cm en la componente horizontal y 4 m en la componente vertical para ambos navegadores (Tabla 3). Por

lo tanto, se puede observar que existe una importante incertidumbre en la determinación de alturas, frente a las componentes planimétricas. Este hecho puede tener relación directa con la reducción en el número de canales de recepción y la posibilidad de rastrear sólo la constelación GPS.

**TABLA 2.** COORDENADAS GEODÉSICAS EN LAS COMPONENTES NORTE, ESTE Y ALTURA ELIPSOIDAL POR RECEPTOR.

Receptor	Latitud	Longitud	Altura elipsoidal
Sokkia GRX2	31°26'27,518"	64°11'24,558"	462,26
Garmin 72H	31°26'27,614"	64°11'24,467"	446,97
SIM968 EVB	31°26'27,696"	64°11'24,576"	454,60
Genérico USB	31°26'27,530"	64°11'24,582"	449,59

**TABLA 3.** DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN LAS COMPONENTES NORTE, ESTE Y ALTURA ELIPSOIDAL POR RECEPTOR.

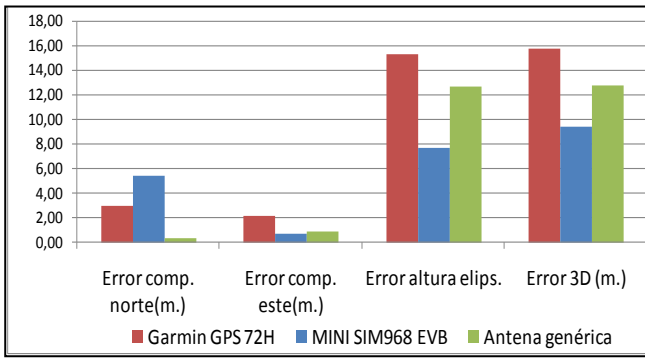
Receptor	Desviación Estándar		
	N	E	U
Sokkia GRX2	0,005	0,004	0,011
Garmin 72H	0,042	0,043	4,737
SIM968 EVB	0,001	0,001	0,010
Genérico USB	0,074	0,062	3,838

Una vez realizado el análisis estadístico de los datos obtenidos con los navegadores GNSS, se procedió a estudiar los errores obtenidos en el posicionamiento respecto a un receptor geodésico de alta precisión (Tabla 4).

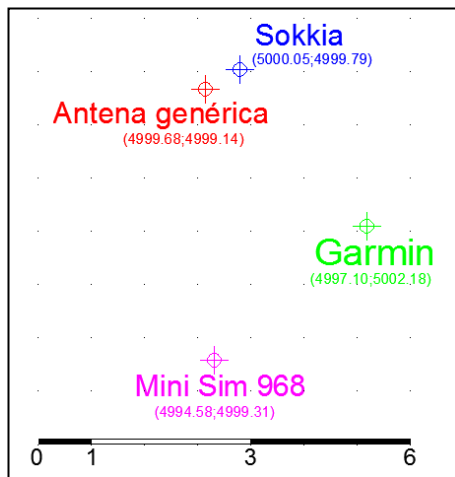
**TABLA 4.** ERRORES EN LAS COMPONENTES NORTE, ESTE Y ALTURA ELIPSOIDAL POR RECEPTOR Y VECTOR DE ERROR 3D.

Receptor	Componentes		Altura elipsoidal	3D
	Norte	Este		
Garmin 72H	2,95	2,13	15,28	15,71
SIM968 EVB	5,47	0,74	7,66	9,44
Genérico USB	0,37	0,91	12,67	12,71

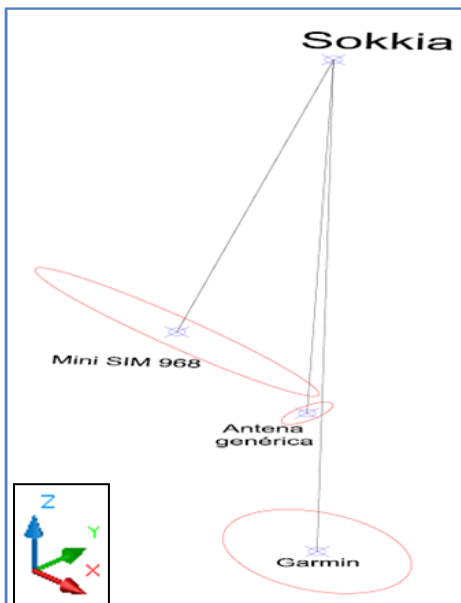
Si bien en las componentes norte-sur se obtienen mejores resultados con los receptores Garmin y USB genérico (Fig. 1 y 2), en las componentes este-oeste, altura elipsoidal y en el vector 3D (Fig. 3) se obtienen mejores resultados con el navegador Mini SIM968. Como hipótesis se plantea que el error en la componente norte-sur del receptor Mini SIM968 puede deberse a un error de tipo sistemático, dado que se pueden observar errores notables en dicha componente con todos los receptores. Queda como trabajo futuro la recuperación de los observables de los navegadores para trabajar en postproceso los errores sistemáticos y obtener de forma fiable precisiones submétricas.



**Fig. 1.** Errores de posición en las componentes norte, este y altura elipsoidal de los navegadores vs. Receptor geodésico.



**Fig. 2.** Errores de posición en las componentes norte y este (2D) de los navegadores vs. receptor geodésico.



**Fig. 3.** Errores de posición 3D para cada navegador GNSS vs. receptor geodésico Sokkia.

## CONCLUSIONES

Analizando la exactitud obtenida en el posicionamiento con los tres navegadores GNSS, podemos observar que en general los mejores resultados se obtienen con el navegador Mini SIM968, teniendo en cuenta el error cuadrático medio del desvío de los datos y la precisión del posicionamiento 3D. Esto se debe a su capacidad de rastrear doble constelación y su mayor calidad, potencia y robustez del software de observación y procesamiento incorporado.

Como ya se mencionó, se observa que los errores en la componente norte-sur son mucho más significativos que en la componente este-oeste. No obstante, siguen siendo mayores los errores en la componente altura elipsoidal (como es de esperar en el posicionamiento GNSS).

En resumen, el navegador Mini SIM968 presenta un comportamiento estadístico estable con desvíos pequeños en todas las componentes y menores errores posicionales que los navegadores GNSS simple constelación. Se plantea como trabajo futuro profundizar el estudio sobre el navegador Mini SIM968, para recuperar los observables de código y fase L1, eliminar en postproceso los errores de tipo sistemático (errores en los relojes de los satélites, en las efemérides y retardos atmosféricos) y obtener de forma fiable precisiones submétricas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración como fuente de financiamiento de este trabajo de investigación a la Secretaría de Ciencia y Técnica – SECyT- de la Universidad Nacional de Córdoba, a través del proyecto N° 30820130100242CB, al Dpto. Laboratorio de Arquitectura de Computadoras LAC y al Dpto. de Agrimensura de la UNC.

## REFERENCIAS

- [1] García, I. Q., Salguero, A. G., Cervera, J. I., & Ferre, J. P. 2005. Estudio y análisis de receptores GPS monofrecuencia diferencial de bajo coste para la obtención de precisiones simétricas.
- [2] Souto, M. S., Capilla, R. M., & Berné Valero, J. L. (2010). Establecimiento de redes activas GNSS con fines científicos y profesionales: el caso de Córdoba (Argentina) y contraste con la técnica Precise Point Positioning. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (13), 0-0.
- [3] Souto, M. S. (2014). Análisis de calidad y preprocesamiento de datos GNSS de la estación permanente UCOR (Córdoba, Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 1(1), 91.
- [4] Hernández Pajares, M., Zornoza, J. J., & Subirana, J. S. (2001). Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas.