

EVALUACIÓN DEL USO DE DIFERENTES ANTENAS Y LA INFLUENCIA DE LA NO VERTICALIDAD EN MEDICIONES GPS

EVALUATION OF THE USE OF DIFFERENT ANTENNAS AND THE INFLUENCE OF THE NON VERTICALITY IN GPS MEASUREMENTS

Marcelo Durand¹, Esteban Lannutti¹, María Gabriela Lenzano¹, Luis Eduardo Lenzano¹

¹Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales IANIGLA-CONICET,
Mendoza-Argentina.
E-mail: mdurand@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

En este trabajo se realizaron seis tests de mediciones episódicas GPS, con 48 horas de observación, cuyo objetivo es el de evaluar la repetitividad de una posición al usar diferentes modelos de antenas y estimar la influencia de la no verticalidad en las coordenadas resultantes. El requerimiento de obtener posicionamientos precisos en estudios de la dinámica de la Tierra, donde los fenómenos que se quieren observar producen efectos de apenas unos milímetros, lleva a considerar factores importantes como el tipo de antena a utilizar, evitar inclinaciones en la monumentación y la aplicación de los archivos de correcciones a los centros de fases de las antenas. Las observaciones GPS fueron procesadas con el software Bernese v5.0, utilizando distintos observables, pseudo-observables y estimación de parámetros troposféricos. La comparación entre antenas mostró resultados con diferencias significativas, de 3 a 5 cm en la componente *Vertical*, principalmente cuando se utilizan antenas aptas para uso topográfico o cartográfico (Trimble Zephyr), en redes de líneas de base mayores a 1000 km, con soluciones de la combinación libre de ionósfera con estimación de parámetros troposféricos (L3+Tropo). En líneas de base cortas (aproximadamente 200 m) y procesamientos de simple frecuencia L1, las diferencias en la componente *Vertical* resultaron con valores entre 0,02 cm y 0,1 cm. En el caso en que la monumentación fue inclinada aproximadamente 5° en la dirección norte, se observó una variación de las coordenadas del orden de 1 cm en la componente *Norte*, dirección de la inclinación.

Palabras clave: GPS, Geodesia Satelital, Posicionamiento preciso, Monumentación, Cambio de antenas.

ABSTRACT

In this work six tests of episodic GPS measurements were performed with 48 hours of observation, which aims to evaluate the repeatability of a position by using different models of antennas and also estimate the influence of non-verticality in the resulting coordinates. The requirement to obtain precise positioning in studies of the dynamics of the Earth, where the phenomena to be observed produce effects of just a few millimeters, leads to consider important factors such as the type of antenna to be used, avoid inclinations in monumentations and the application of correction files to observations. GPS observations have been processed with the Bernese software v5.0 using different algorithms. The comparison between antennas showed results with significant differences, 3 to 5 cm in the Up component, mainly when antennas suitable for topographic or cartographic uses (Trimble Zephyr) are used in networks with base-lines greater than 1000 km, with ionosphere-free combination with tropospheric parameter estimation solutions (L3+Tropo). In short base-lines (approximately 200 m) and single frequency L1 processing, differences in the Up component values were between 0,02 cm and 0,1 cm. In the case where the monumentation was tilted angle of approximately 5° toward

north, a variation of the coordinates in the order of 1 cm in the Northern component was observed (tilt direction).

Key Words: GPS, Satellite Geodesy, Precise Positioning, GPS Monuments, Antennas Changing.

INTRODUCCIÓN

En estudios de la dinámica de la corteza terrestre, entre los que podemos destacar la identificación de tendencias de desplazamientos, fluctuaciones estacionales (Argus et al., 2014), deformaciones y velocidades de la superficie de la Tierra (Brooks et al., 2003), requiere de métodos precisos que permitan obtener soluciones confiables. En este sentido el sistema de posicionamiento global GPS (por sus siglas en inglés, Global Positioning System) ha dado respuestas certeras desde hace algunas décadas atrás a esta problemática. En estas mediciones, cuando requieren de precisiones milimétricas, deben tenerse en consideración algunos parámetros, tales como el empleo de diferentes modelos de antenas en cada campaña, entre otros, y así asegurar las precisiones pretendidas.

Cabe destacar que persisten algunos factores que afectan la precisión en posicionamiento GPS, como la influencia de multipath (Johnson et al., 1995) y la variación del centro de fase (Antenna Phase Center Variation) (Mader, 1998), luego de haber mitigado el efecto de aquellos cuyos órdenes de magnitud son superiores, como el error de relojes, la atmósfera, cargas en la litósfera, procesos tectónicos, etc. Éstos difieren entre cada tipo de antena y varían con la intensidad y dirección de las señales incidentes, además del método de procesamiento empleado. Estas diferencias también contribuyen al posible desplazamiento de la coordenada solución del punto.

Por otro lado, otro aspecto muy importante a tener en cuenta es el tipo de monumentación empleada, con fines geodésicos, que puede presentar diferentes características (Combrinck & Schmidt, 1998). Dos tipos de monumentaciones son usadas con frecuencia, a saber: la de anclaje cementado (monumentación con anclaje fijo, en inglés Stainless Steel Mast) en afloramiento rocoso o en hormigón (Normandeau et al., 2008, ver Figura 1), la cual no permite modificaciones una vez materializada; y la otra (Tech2000) cuando el mástil posicionado en el punto está sujeto por tensores (Normandeau et al., 2008). En estos últimos tipos de anclajes resulta difícil lograr una nivelación en ambientes de topografía compleja. Por lo tanto, si la posición de la antena no está perfectamente verticalizada podría influir en la determinación de la coordenada resultante si, además, se utilizan distintos modelos de antenas para la medición de un mismo punto.

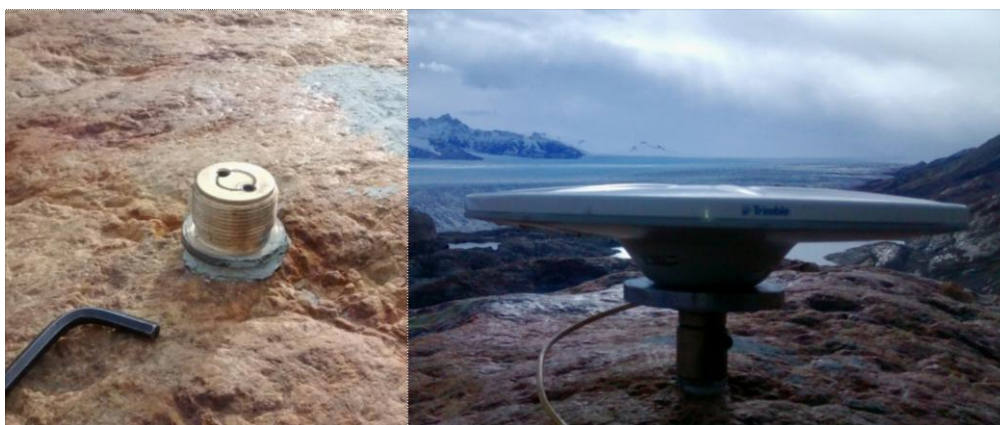


Figura 1. Monumentación con anclaje de posición fija.
Figure 1. Stainless Steel Mast.

El objetivo del presente estudio es realizar pruebas con distintas condiciones de inclinación de antenas, en monumentaciones con anclaje. Para ello, se reprodujeron las condiciones de

mediciones in situ, tales como el uso de diferentes tipos de antenas y generando una inclinación de 5° respecto de la vertical. Con los procesamientos realizados, a través de una red geodésica generalmente usada en estudios geodinámicos con mediciones episódicas GPS, se verificaron la repetitividad de las coordenadas resultantes del punto. De esta manera, se busca determinar la magnitud del posible desplazamiento de la posición debido los cambios de antenas e inclinaciones para mediciones que requieran de alta precisión.

Test: Configuración del sitio

Se realizaron seis tests de 48 horas cada uno, los tres primeros consistieron en determinar la posición de un punto con tres modelos de antenas manteniendo la monumentación nivelada, y en los tres restantes se repitieron las mediciones sobre el mismo punto para cada modelo de antena pero con una inclinación en la monumentación de 5° hacia el Norte (Figuras 2 y 3), el cual fue considerado un valor límite a partir de la realización de 15 pruebas de nivelación de antenas cuyas inclinaciones eran aproximadamente de $1,9^{\circ} \pm 2,2^{\circ}$. Además, en función de los resultados obtenidos, se realizó una medición de 27 días, con la monumentación nivelada, para determinar la amplitud de dispersión en cada componente (*Norte, Este y Vertical*) para evaluar si los residuales del procesamiento están dentro del rango de la dispersión.

La monumentación dónde se realizaron los test, se encuentra dentro del predio del Centro Científico Tecnológico-Mendoza, que consiste en un pilar de hormigón armado que fue construido para la calibración de instrumentos topográficos. El mismo se encuentra en un lugar con cielo despejado, excepto por una línea de árboles que se encuentra a 10 metros al norte y al oeste del pilar, sin embargo, la altura de estos árboles pueden afectar a la señal próxima al horizonte. Se eligió utilizar este pilar para emular las condiciones de proximidad al suelo que podrían suscitarse en el terreno. Se fijó una base nivelante de centración forzosa para la sujeción de las antenas y así se logró controlar la inclinación, orientación y altura de las antenas.

El equipamiento utilizado fue un receptor Trimble 5700 L1L2 (doble frecuencia) y antenas Ashtech Choke-Ring (ASH701945E_M), Trimble Zephyr Geodetic (TRM41249.00) y Trimble Zephyr (TRM39105.00), las cuales fueron elegidas debido a que son utilizadas con mayor frecuencia, las dos primeras para mediciones geodésicas y la última en topografía/cartografía. Las antenas presentan diferentes características en la tecnología para su fabricación, con el fin de mitigar la influencia de errores relacionados al comportamiento y calidad de la señal de entrada. En ese sentido, los modelos ASH701945E_M (Jackson, 2002) y TRM41249.00 (Krantz et al., 2001) poseen estas características de optimización ya que son fabricadas específicamente con fines geodésicos de alta precisión, mientras que el modelo TRM39105.00 (Trimble Zephyr Antennas, Trimble Navigation Ltd.) fue diseñado para equipos móviles de trabajos topográficos y mapeo que no requieren precisiones milimétricas.

Se verificó constantemente la orientación y que la posición de la antena fuera siempre la misma, midiendo la distancia entre la base de la monumentación y el punto de referencia de las antenas (ARP). En la Tabla 1 se muestra la configuración estándar usada para todos los test.

Altura del punto de referencia de la antena (ARP)	0,00 m
Orientación	Norte (corrección por declinación magnética)
Inclinación	0° y 5° hacia el Norte
Tiempo de observación	48 horas
Intervalo de Registro	15 segundos
Máscara de elevación	7°

Tabla 1. Configuración del equipo.
Table 1. Setting up of the receiver.

MÉTODOS

Pre-procesamiento

Para chequear la calidad de las observaciones de los test realizados, se hizo un análisis previo de los datos con el software TEQC (Translation, Editing and Quality Checking for GPS/GNSS data) (Estey & Meertens, 1999), el cual escanea los archivos RINEX y compila estadística de los datos, número de observaciones, relación señal ruido, multipath, salto de ciclos, etc.



Figura 2. Antenas inclinación 0° (Ashtech Choke Ring, Trimble Zephyr Geodetic, Trimble Zephyr).
Figure 2. Tilt antenna 0° (Ashtech Choke Ring, Trimble Zephyr Geodetic, Trimble Zephyr).



Figura 3. Antenas inclinación 5° (Ashtech Choke Ring, Trimble Zephyr Geodetic, Trimble Zephyr).
Figure 3. Tilt antenna 5° (Ashtech Choke Ring, Trimble Zephyr Geodetic, Trimble Zephyr).

Las fuentes de errores como multipath, considerando la influencia de la monumentación o de la proximidad al suelo, y la variación del centro de fase de la antena fueron consideradas para disminuir sus influencias. En el primero, la monumentación utilizada permitió alejar la antena del suelo aproximadamente 1,5 m. para disminuir el efecto multipath de la señal reflejada en el suelo (ICSM, 2014). Para el segundo, se utilizó el correspondiente archivo de calibración absoluta de antenas (Wübbena et al., 2006; Görres et al., 2006), cuyas ventajas respecto a la calibración relativa son que la calibración es independiente de una antena de referencia, no necesita coordenadas de referencia, la variación del centro de fase calculada es referida al punto de referencia de la antena (ARP) y una buena cobertura de la antena con correcciones debido a las rotaciones e inclinaciones (Menge et al., 1998).

Se generaron gráficas de vista del cielo (skyplot) con el software libre RTKLIB (Takasu et al., 2009), centrada en la posición del punto CCT1 (Fig. 4) y de la línea de tiempo para el período de observación de 48 horas dónde se ve la repetición del paso de los satélites en dos días consecutivos (Fig. 5). Estas gráficas son a modo de ejemplo, ya que son muy similares para los distintos casos. Las líneas en color verde representan la trayectoria del satélite mientras está visible para el receptor.

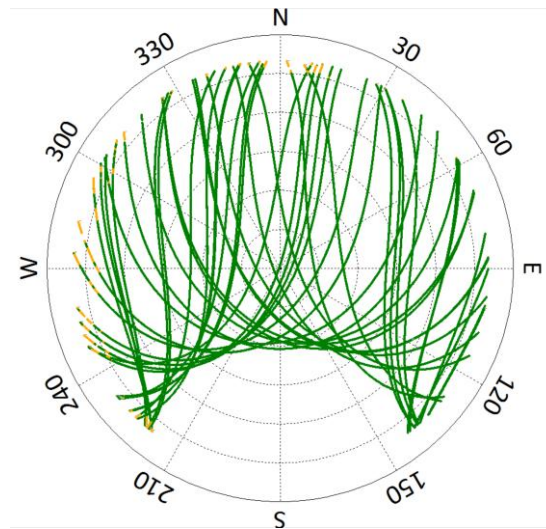


Figura 4. Skyplot. Máscara de elevación 7°.
Figure 4. Skyplot. Elevation mask 7°.

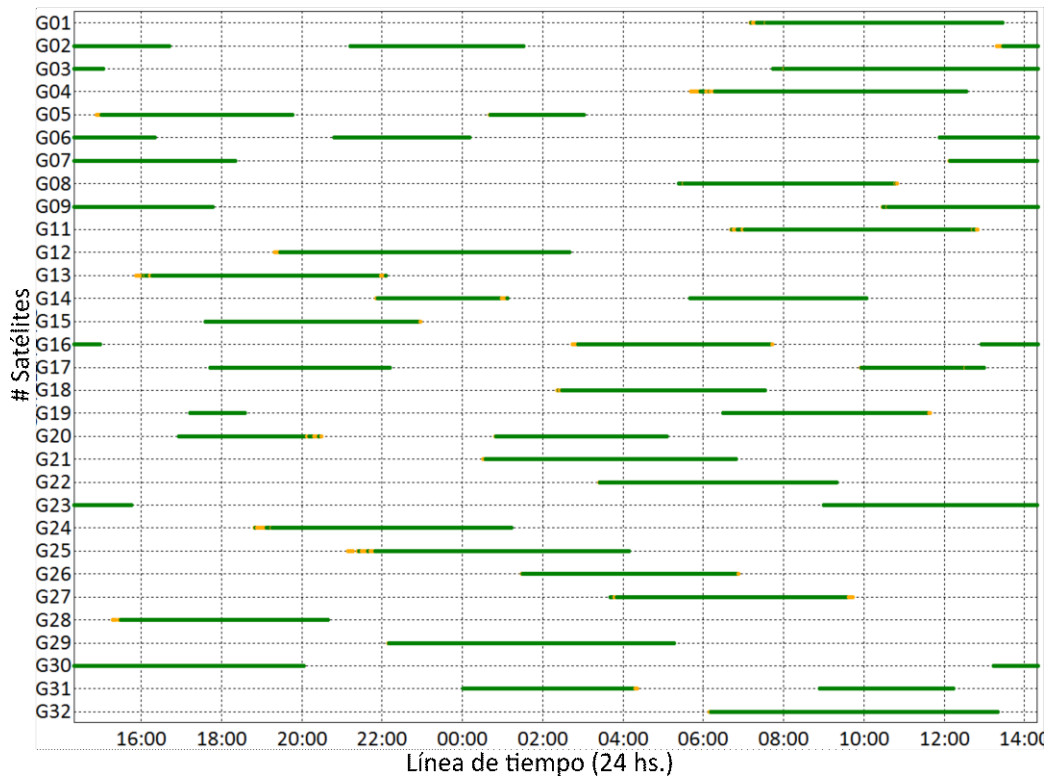


Figura 5. Dos pasos consecutivos de los satélites en 48 horas.
Figure 5. Two consecutive passing of satellites in 48 hours.

Se determinó la cantidad de datos observados, por cada uno de los test, durante las 48 horas de medición (software TEQC). En la Tabla 2 se muestra un resumen de la cantidad de posibles datos observados por encima del horizonte, por encima de la máscara de elevación de 7° (elegida para reducir el efecto de obstrucción de la señal de árboles próximos) y en la última columna se indica la cantidad de datos efectivamente observados, con los que se realiza el posterior procesamiento. Las observaciones con las antenas niveladas obtuvieron el 91% de los datos esperados, mientras que los datos obtenidos con las antenas inclinadas 5° llegan a un 86%. En ambos casos, con inclinación y sin inclinación, los porcentajes respecto a los posibles datos observados por encima de la máscara de elevación son elevados.

Inclinación	Modelo de Antena	Posibles obs. Másc. > 0°	Posibles obs. Másc. > 7°	Obs. Obtenidas Másc. > 7°
0°	ASH701945E_M	126448	107368	97688 (91%)
	TRM41249.00	126284	107281	97540 (91%)
	TRM39105.00	126363	107346	97775 (91%)
5°	ASH701945E_M	126487	107474	92958 (86%)
	TRM41249.00	126403	107453	92855 (86%)
	TRM39105.00	126450	107474	93054 (87%)

Tabla 2. Cantidad de datos observados.
Table 2. Amount of observed data.

Se obtuvieron las estimaciones de multipath MP1 (combinación lineal de C1, L1 y L2) y MP2 (combinación lineal de C2, L1 y L2) (TEQC, Estey & Meertens, 1999), con máscara de elevación 7°. La monumentación utilizada tiene un ancho mayor al diámetro de las antenas de manera que emula condiciones como la mostrada en la Figura 1. La mayor magnitud de MP, 0,648 m para L1 y 0,516 m para L2, se da en la antena TRM39105.00, lo que es esperable por sus características de fabricación con fines topográficos/cartográficos, y menor MP para la ASH701945E_M (ver Figura 6). En el caso para las antenas inclinadas 5°, no existen significativas diferencias entre las dos antenas Trimble. Sin embargo, los valores de MP para la ASH701945E_M siguen siendo los menores (columna azul), (ver Figura 7).

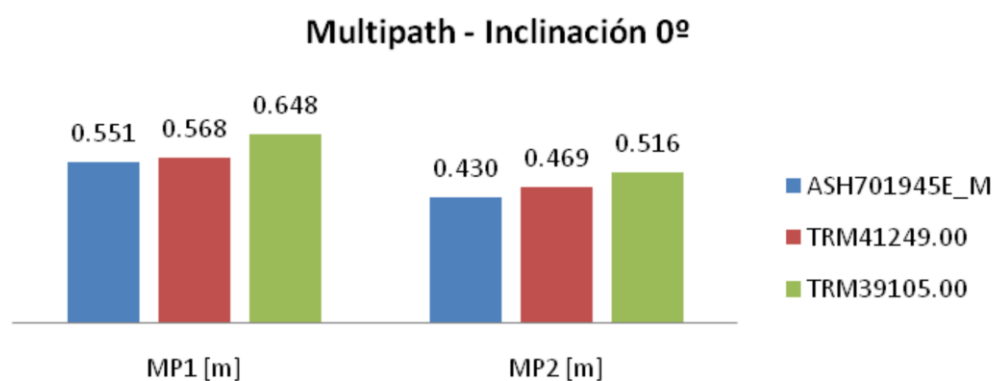


Figura 6. Multipath estimado de las 3 antenas con inclinación 0°.
Figure 6. Estimated multipath of the 3 antennas with tilt 0°.

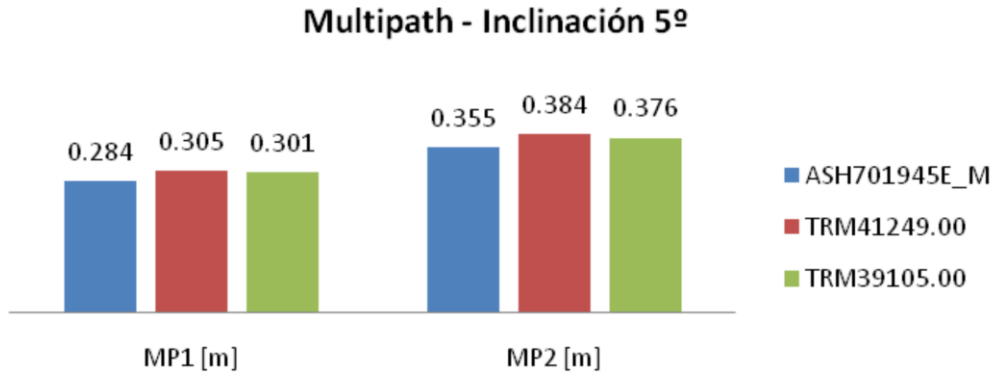


Figura 7. Multipath estimado para las 3 antenas con inclinación 5°.
Figure 7. Estimated multipath of the 3 antennas with tilt 5°.

Procesamiento

Los datos fueron procesados con el software Bernese v5.0 (Dach et al., 2007). En el procesamiento se tuvieron en cuenta archivo de calibración de antenas, efemérides precisas, parámetros de rotación y orientación de la Tierra, corrección de los relojes. El marco de referencia utilizado fue IGB08 (correspondiente también al de las efemérides precisas) elegido de forma arbitraria, ya que solo interesa comparar las soluciones relativas entre ellas y no respecto a una coordenada de un marco en particular. Las estaciones utilizadas (L3+Tropo) fueron: BRAZ (Brasil), UNSA (Argentina), LPGS (Argentina), PARC (Chile) y MZAC (Argentina) (Figura 8). La estación seleccionada para procesar el vector corto (L1, L2 y L3) fue MZAC (Figura 8). A la monumentación de prueba se la denominó CCT1 (Mendoza, Argentina).



Figura 8. Ubicación de las Estaciones Continuas GPS del IGS, Est. Continua MZAC y Est. CCT1.
Figure 8. Continuous Stations GPS sites of IGS, MZAC and CCT1 sites.

La determinación del aparente desplazamiento de las coordenadas consistió en calcular la posición del punto en función de una red global (líneas de base > 1000 km) y en función de un vector muy corto respecto de una sola estación (línea de base ≈ 200 m). A su vez, la solución depende del algoritmo de procesamiento, de la portadora utilizada en el procesamiento y de la parametrización del software, por lo tanto, se implementaron cuatro tipos de procesamientos. De esta manera, se obtuvo una coordenada solución para cada antena con las distintas configuraciones del software.

Tipos de procesamientos implementados (Bernese 5.0 software manual, Dach et al., 2007):

- *L3+Tropo*: doble frecuencia de combinación lineal L3 iono-free con estimación de parámetros troposféricos. Estimación de coordenadas con una red de estaciones IGS, longitud de vector > 1000 km.
- *L1*: simple frecuencia usando únicamente la portadora L1. Estimación de coordenadas por un vector muy corto (200 m aproximadamente).
- *L2*: simple frecuencia usando únicamente la portadora L2. Estimación de coordenadas por un vector muy corto (200 m aproximadamente).
- *L3*: doble frecuencia de combinación lineal L3 iono-free. Estimación de coordenadas por un vector muy corto (200 m aproximadamente).

RESULTADOS

Se obtuvieron las soluciones para los 4 tipos de procesamientos. En la Figura 9 se muestran las comparaciones de las soluciones entre cada antena, para el caso en que están niveladas (inclinación 0°), las mayores diferencias se dan en la componente *Vertical* de las soluciones L3+Tropo y L3. Diferencias entre 3 cm y 5 cm resulta de la comparación de la antena TRM39105.00 tanto con la ASH701945E_M como con la TRM41249.00 para las soluciones L3+Tropo, mientras que las menores diferencias se dan en la solución del procesamiento simple frecuencia con L1 para vector muy corto. Las diferencias en las componentes horizontales son significativamente menores, en el orden de 4 veces más chicas. Entre las antenas ASH701945E_M y TRM41249.00 disminuyen dichas diferencias en todos los tipos de procesamientos, quedando un residual en la componente *Vertical* de un poco más de 1 cm lo cual es normal al introducir la portadora L2 en el procesamiento. La misma tendencia de diferencias se muestra en la Figura 10, cuando las antenas tienen una inclinación de 5°.

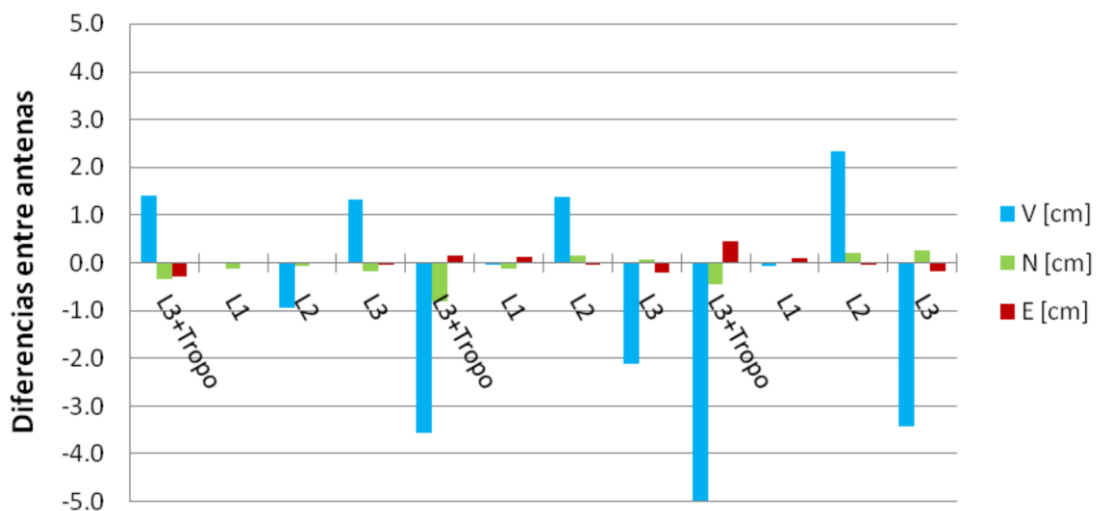


Figura 9. Comparación de posiciones entre las antenas con inclinación 0°. **Figure 9.** Comparison of positions between the antennas with tilt 0°.

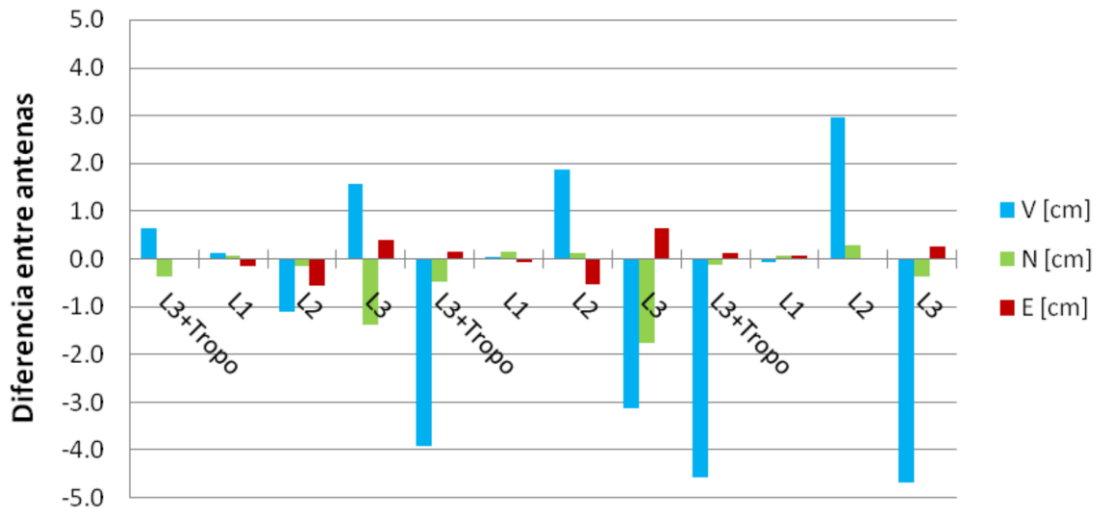


Figura 10. Comparación de posiciones entre las antenas con inclinación 5°. **Figure 10.** Comparison of positions between the antennas with tilt 5°.

En la Figura 11 se muestra la comparación de las soluciones para cada antena entre 0° y 5° de inclinación, dónde encontramos que existe una tendencia de desplazamiento de la posición en la componente *Norte* (dirección Norte-Sur) del orden de 0,8 cm a 1 cm, además de las diferencias en la componente *Vertical*. Mientras que en la componente *Este*, las diferencias se mantienen en el orden de 0,1 cm y 0,8 cm (Figura 10).

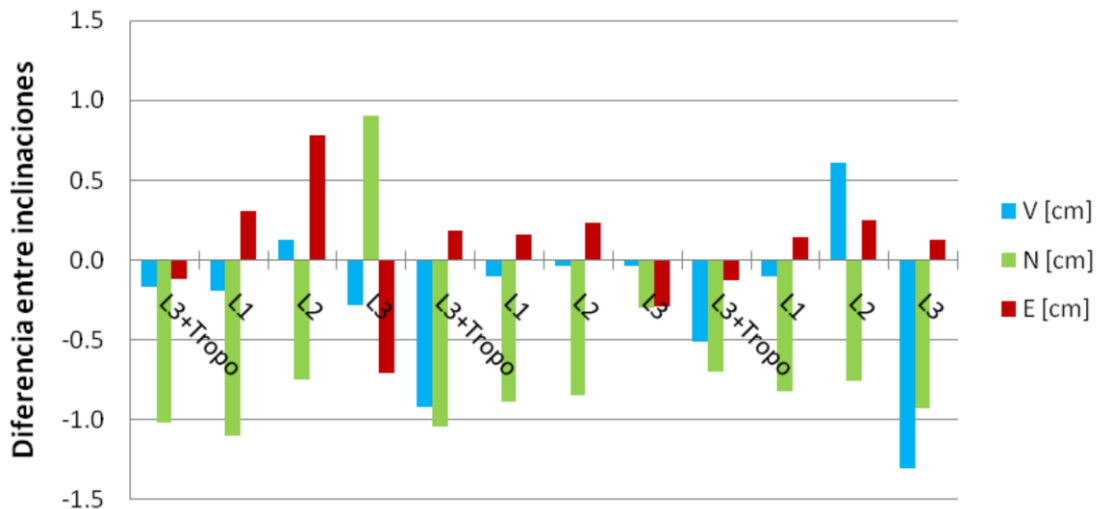


Figura 11. Comparación de una misma antena ante la variación de la inclinación de 0° a 5°. **Figure 11.** Comparison of positions between the antennas with tilt 0°.

En la Figura 12 se muestra una serie temporal de 27 días consecutivos dónde se observa la dispersión en las soluciones diarias para las componentes *Norte*, *Este*, *Vertical*. La amplitud de dispersión en la componente *Vertical* es mayor respecto a las demás, siendo aproximadamente de 1 cm a 1,5 cm. Estos valores se encuentran dentro de lo esperado debido a la implicancia de un procesamiento a escala global (L3+Tropo), dónde influyen las longitudes de los vectores, la atmósfera, la geodinámica, además de las fuentes de errores propias del sistema GPS tales como las órbitas de los satélites, los relojes, el hardware de los receptores, etc.

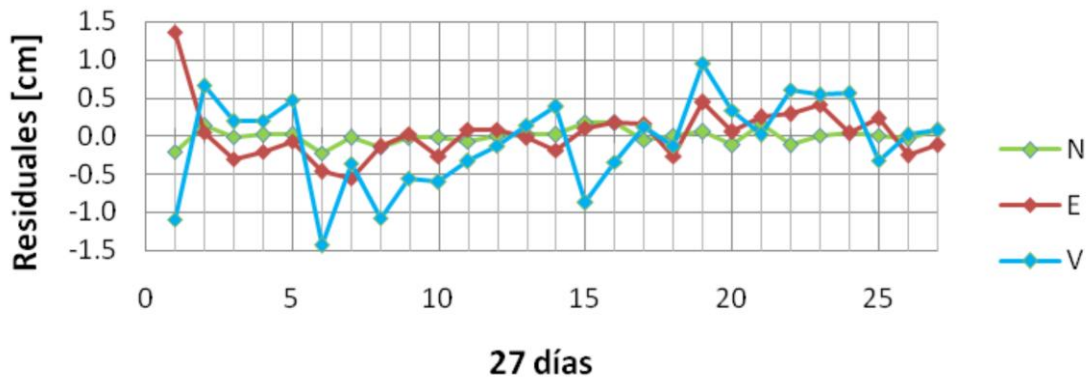


Figura 12. Serie temporal de 27 días en las tres componentes. Solución L3+Tropo.
Figure 12. Time serie of 27 days for the three components. L3+Tropo Solution.

CONCLUSIONES

Los resultados de los tests realizados ayudaron a valorar la importancia de considerar los modelos de antenas a ser usados para obtener posiciones precisas, y además, la influencia de la falta de verticalidad en las posiciones al instalar las antenas.

Al comparar las soluciones de la antena TRM39105.00 respecto a las otras dos (ASH701945E_M y TRM41249.00) resultan las mayores diferencias en posición, sobre todo en la componente *Vertical*, lo cual es lógico ya que tal antena no fue diseñada para fines geodésicos por lo tanto es más sensible a las fuentes de errores. Sin embargo, al comparar entre ASH701945E_M y TRM41249.00 aún existe una diferencia, pero de menor orden, siendo estas antenas de alta tecnología para la mitigación de los efectos de multipath, interferencia de radio-frecuencia y señal GPS de baja potencia. Estas diferencias son mayores al introducir la frecuencia L2 en el procesamiento, tanto en la solución simple frecuencia como en las combinaciones lineales L3 y por supuesto, más acentuadas en la componente *Vertical*, ya que este es el punto débil del sistema GPS. Esto es debido a la geometría satélites-receptor que impide observaciones por debajo del horizonte, además de una combinación de retardos atmosféricos desconocidos, movimientos satelitales no modelados, variaciones en el centro de fase de las antenas de los receptores, diferentes procesos de cargas, inestabilidad de la monumentación, entre otros (Bennett et al., 2007; Serpelloni et al. 2013).

Analizando los resultados de comparaciones entre antenas para las diferentes soluciones de procesamientos, vemos que las diferencias son del mismo orden tanto para las antenas niveladas como cuando están inclinadas 5°. Respecto a TRM39105.00, en las soluciones L3+Tropo (red), L3 y L2 (vector corto), encontramos diferencias entre 2 y 5 cm en la componente *Vertical* mientras que en las componentes horizontales tenemos desde unos pocos milímetros hasta 1,5 cm. Entre ASH701945E_M y TRM41249.00 se tiene como diferencia máxima de 1,5 cm en *Vertical* principalmente y menores en las otras componentes. Sin embargo, existe una diferencia residual de entre 1 cm y 1,5 cm en las soluciones de las combinaciones lineales que es propio del tipo de procesamiento donde los resultados tienen una dispersión del orden del residual que mencionamos, que se observa en la serie de tiempo analizada en la Figura 12.

A partir de los resultados para la solución de L1, se observa que las diferencias se minimizan sustancialmente en las 3 componentes para los 3 tipos de antenas, hasta un máximo de 0,15 cm. Esto es esperado ya que las mejores precisiones en posicionamiento se obtienen en procesamientos en simple frecuencia L1 de vectores cortos, ya que en el procesamiento diferencial en líneas de base muy cortas se cancelan al nivel milimétrico todos los errores comunes, además, el ruido en L1 es menor que el de L2 y el de L3.

Comparando los resultados de las posiciones de cada antena a 0° y 5° de inclinación, resulta evidente que existe una tendencia de desplazamiento en el orden de 1 cm hacia el Norte, dirección hacia donde se inclinó arbitrariamente la monumentación. Por lo tanto, vemos que una inclinación de 5° es suficiente para introducir un error considerable que puede llegar a ser mal interpretado si no se tiene el cuidado correspondiente al momento de realizar la monumentación y nivelación de la antena. Para obtener mejores resultados resulta relevante considerar las correcciones de centro de fase de las antenas, efemérides precisas, y según

corresponda el caso, parámetros ionosféricos y troposféricos, también utilizar modelos de antenas que minimicen el efecto multipath y aun así evitar los entornos que lo generen.

Agradecimientos: El trabajo fue realizado dentro del marco del proyecto PICT 1995-2013 de la ANCYT. Los autores agradecen las valiosas contribuciones de los revisores anónimos, que ayudaron a mejorar la calidad del manuscrito.

REFERENCIAS

- Argus, D., Y. Fu, F. Landerer, (2014). Seasonal variation in total water storage in California inferred from GPS observations of vertical land motion. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 1971–1980.
- Bennett, R.A., S. Hreinsdottir, M. S. Velasco, N.P. Fay, (2007), GPS constraints on vertical crustal motion in the northern Basin and Range, *Geophys. Res. Lett.*, 34 (L22319), 1-5.
- Brooks, B.A., M. Bevis, R. Smalley Jr., E. Kendrick, R. Manceda, E. Lauría, R. Maturana, M. Araujo, (2003). Crustal motion in the Southern Andes (26°–36° S): Do the Andes behave like a microplate? *Geochemistry Geophysics Geosystems* 4(10): 1-14.
- Combrinck, L., and M. Schmidt, (1999). Physical Site Specifications: Geodetic Site Monumentation. En: *Proceedings of the IGS Network Workshop, Nov 2-5, 1998, IGS Central Bureau JPL, At Annapolis, USA*, pp 91-107,
- Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl (Eds.), (2007). *Bernese GPS Software Version 5.0*. Astronomical Institute Univ. of Bern, Switzerland. <http://www.bernese.unibe.ch/docs50/DOCU50.pdf>.
- Estey, L. and C.M. Meertens, (1999). TEQC: The multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. *GPS Solutions* 3(1): 42-49.
- Görres, B., J. Campbell, M. Becker, M. Siemes, (2006). Absolute calibration of GPS antennas: laboratory results and comparison with field and robot techniques. *GPS Solut.* 10(2): 136–145.
- ICSM, (2014). Permanent Committee on Geodesy (PCG). Standard for the Australian Survey Control Network (SP1), Version 2.1, October 2014. Guideline for Continuously Operating Reference Stations V2.1. 1-43. http://www.icsm.gov.au/publications/sp1/Guideline-for-Continuously-Operating-Reference-Stations_v2.1.pdf
- Jackson, M., (2002). Preliminary report on data quality with a Trimble 5700 GPS receiver and an Ashtech Choke Ring Antenna. <http://kb.unavco.org/kb/assets/237/5700Ashtech.pdf>.
- Johnson, J., J. Braun, C. Rocken, T. VanHove, (1995). The Role of Multipath in Antenna Height Tests at Table Mountain, UNAVCO. <https://www.unavco.org/projects/project-support/development-testing/publications/tblmtn/tblmtn.pdf>
- Krantz, E., S. Riley, P. Large, (2001). The Design and Performance of the Zephyr Geodetic Antenna. En: *Proceedings of the 14th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2001)*, Salt Lake City, UT, pp. 1942-1951.
- Mader, G., (1998). Calibration of GPS Antennas. NOAA, NOS, NGS, GRD. <http://www.grdl.noaa.gov/GRD/GPS/Projects/ANTCAL>.
- Menge, F., G. Seeber, C. Völksen, (1998). Results of Absolute Field Calibration of GPS Antenna PCV. En: *Proceedings of the 11th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1998)*, Nashville, TN, USA, pp 31-38.
- Steigenberger, P., U. Hugentobler, U. Hessels, K. Röttcher, S. Lutz, R. Dach, (2015). Monitoring of Antenna Changes at IGS Stations in Iceland. *IAG 150 Years*. Springer, Cham., pp 579-585.
- Normandeau, J. E., C. Meertens, B. Bartel, (2008). GPS antenna monuments and mounts supported by UNAVCO: Options and Effectiveness. En: *AGU Fall Meeting Abstracts*. Boulder, Colorado, USA.
- Serpelloni, E., C. Faccenna, G. Spada, D. Dong, S.D.P. Williams, (2013). Vertical GPS ground motion rates in the Euro-Mediterranean region: New evidence of velocity gradients at different spatial scales along the Nubia-Eurasia plate boundary. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth* 118: 6003–6024.
- Takasu, T., N. Kubo, A. Yasuda, (2007). Development, Evaluation and Application of RTKLIB: A program library for RTK-GPS, GPS/GNSS. http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.1.pdf.
- Wübbena, G., M. Schmitz, G. Boettcher, C. Schumann, (2006). Absolute GNSS Antenna Calibration with a Robot: Repeatability of Phase Variations, Calibration of GLONASS and

Determination of Carrier-to-Noise Pattern. En: Proceedings of the IGS Workshop, "Perspectives and Visions for 2010 and beyond", ESOC, Darmstadt, Germany. http://www.geopp.com/pdf/gppigs06_pabs_g.pdf.

Recibido: Marzo, 2017

Aceptado: Diciembre, 2017