

NOTA TECNICA

MONITOREO DE LA CALIDAD DE DATOS GPS CONTINUO: LA ESTACION UNSJ (SAN JUAN, ARGENTINA)

Alfredo Herrada^{1,3}, *Silvia Miranda*^{1,2}, *Carlos Fuentes*^{3,4}, *Oscar Torres Lobato*³,
Héctor Pintos^{3,4}, *Robert Smalley (Jr)*⁵

¹Instituto Geofísico Sismológico "Fernando S. Volponi". Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan.

²Departamento de Geofísica y Astronomía. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan. smiranda@unsj-cuim.edu.ar

³Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan.

⁴Dirección de Geodesia y Catastro de la Provincia de San Juan.

⁵Center for Earthquake Research and Information, University of Memphis, USA

RESUMEN

Como parte de la red de referencia de operación continua de Argentina, la estación GPS (Global Positioning System) denominada UNSJ (Universidad Nacional de San Juan) fue establecida en la ciudad de San Juan el 6 de Marzo de 2007. Los datos registrados de UNSJ son ampliamente utilizados en aplicaciones catastrales, y sirven como base para la definición de los marcos de referencia geodésicos nacional y regional. Como una componente fundamental de la infraestructura geodésica, resulta conveniente un eficiente control de calidad de los datos crudos y el monitoreo de la estabilidad de una estación GPS de referencia. En este trabajo se presentan los resultados del control de calidad de las observaciones UNSJ luego de dos años de operación. Para controlar y caracterizar el desempeño del receptor GPS y además el medio ambiente de la estación, se eligieron cuatro índices. Ellos son el número de observaciones, multicamino en L1, multicamino en L2 y ocurrencia de saltos de ciclos. También, se evaluó la estabilidad de largo término de la estación UNSJ a través del análisis de las series temporales de las coordenadas semanales provistas por los centros de cálculo SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). Completa este estudio el análisis de las coordenadas calculadas por distintos servicios de procesamiento disponibles en Internet. Nuestros resultados indican que durante el período analizado, el funcionamiento de la estación UNSJ fue satisfactorio, produciendo índices de calidad que son aceptables para estándares internacionales.

Palabras Clave: GPS, estación de referencia, control de calidad, San Juan

ABSTRACT

As a part of the Argentine continuously operating reference station network, a GPS (Global Positioning System) station named UNSJ (Universidad Nacional de San Juan) was established in San Juan city on 6th March 2007. The recorded data of UNSJ are widely applied to cadastral surveys and serve as the basis for defining national and regional geodetic reference frames. As a key component of the geodetic infrastructure, an efficient quality control of raw data and stability monitoring of a GPS reference station is highly convenient. In this study, results of quality control of the UNSJ observations after two year of operation are reported. In order to check and characterize the receiver performance and the station environment, four indices were chosen. They are the number of observations, multipath on L1, multipath on L2 and cycle slips occurrence. Also, the long term stability of UNSJ station was evaluated through the analysis of weekly coordinate time series provided by the SIRGAS (Geocentric Reference System for the Americas) calculus centers. The analysis of the coordinates derived from different online processing services completes this study. The results indicate that during the analyzed period, the functioning of the station UNSJ was satisfactory, producing quality indexes that are acceptable to international standards.

Keywords: GPS, reference station, quality control, San Juan.

INTRODUCCION

El posicionamiento relativo provee coordenadas precisas para ser utilizadas en distintas aplicaciones (e.g., agrimensura, ingeniería, geofísica). Esta técnica requiere del uso simultáneo de dos o más receptores, en forma tal que uno de los receptores es emplazado fijo (base) en un sitio de coordenadas conocidas mientras los otros receptores ('rover') registran en distintas estaciones de coordenadas a determinar. En este contexto se han establecido redes continuas de control las cuales consisten de un número de estaciones de referencia adecuadamente distribuidas en una región, de tal manera que en campañas de levantamientos geodésicos se utiliza como base del posicionamiento relativo a una estación de referencia de la red de control. Así, los usuarios sólo deben disponer de receptores en modo 'rover', mejorando la eficiencia del levantamiento.

La estación de referencia GPS de operación continua, denominada UNSJ, fue instalada en la ciudad de San Juan en el mes de Marzo de 2007 para ser parte de la red GPS de Argentina (Herrada *et al.*, 2007). Esta estación está ubicada en el edificio sede de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FAUD) de la Universidad Nacional de San Juan. Fue instalada en el marco de un acuerdo de colaboración entre FAUD, que da alojamiento al receptor y a la antena, CERl (Center for Earthquake Research and Information) de la Universidad de Memphis (USA) que proveyó el equipamiento, y la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFN), que realizó la instalación y se encarga de la administración de la estación. El receptor es un Ashtech Z-XI3 con antena Zephyr Geodetic. Los datos (adquiridos cada 15 segundos) están disponibles gratuitamente a través del servicio de la Red Argentina de Monitoreo SATelital Continuo (RAMSAC) administrada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, ex Instituto Geográfico Militar de Argentina). El sitio de Internet es <<http://www.ign.gob.ar/DescargaRamsac>>.

En la actualidad, RAMSAC consta de 33 estaciones GPS permanentes en su mayoría a cargo de Universidades u otros organismos de gestión estatal, con la asistencia técnica y operativa del IGN. Los datos aportados forman las bases para la definición de los marcos de referencia geodésicos nacional y regional. También y en forma creciente, las estaciones RAMSAC son usadas por usuarios diversos en levantamientos GPS para referencia, control y calibración, generando ahorros de tiempo, operativos y de recursos humanos.

Uno de los factores determinantes para el éxito (e.g., que cada vez más usuarios usen sus estaciones) de una red GPS de referencia es el control de calidad y el monitoreo de la integridad los datos, que en conjunto con la estabilidad de la red determinan el nivel de posicionamiento que es factible de alcanzar usando la misma (Brown *et al.*, 2002; Yeh *et al.*, 2007; Yeh *et al.*, 2008).

En este trabajo se presentan para la estación UNSJ distintos índices de calidad de los datos producidos y se analiza la relación entre dichos índices y la precisión del posicionamiento. Puesto que se evalúan observaciones correspondientes a algo más de 2 años de mediciones, debería ser posible identificar cambios en el medioambiente de la estación capaces de afectar la calidad de la información.

Además, se investiga la estabilidad de la monumentación de la antena de UNSJ a través del análisis de la evolución de las coordenadas calculadas por los centros de procesamiento SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). La variación secular de las coordenadas de UNSJ también es analizada en base a los resultados provistos por distintos servicios de procesamiento 'online' en comparación con las coordenadas fiduciales de UNSJ.

METODOLOGIA

Para llevar a cabo el control de calidad de las observaciones crudas se utilizó el programa TEQC (Translate/Edit/Quality Check) desarrollado en UNAVCO (University NAVstar Consortium) (Estey and Meerterns, 1999). TEQC permite al usuario transformar archivos de receptor en lenguaje binario al formato RINEX o formato estándar de intercambio independiente del receptor, pudiendo entonces los archivos ser editados y sometidos a un control de calidad. En este análisis se consideraron los siguientes índices:

'Obs' es el número diario de observaciones de todos los satélites. La importancia de este índice se explica si se tiene presente que en principio, un mayor número de datos brindaría mejores posibilidades de corregir errores (Yeh *et al.*, 2008). Este índice depende del número de épocas, en nuestro caso 5759. No obstante, el número de satélites recepcionados por el receptor varía en cada época, de modo que el número de observaciones cambia con el tiempo. En este sentido, las

disminuciones en el número de datos se consideran pérdidas relacionadas con diferencias en el medio ambiente o en el receptor (i.e., baja relación señal/ruido, datos L1 y L2 no apareados y pérdida del código C/A).

‘slps/1000 obs’ es el número de saltos de ciclo cada 1000 observaciones. Los saltos de ciclo son debidos a una pérdida de captura de señal en los datos de fase, manifestada por saltos bruscos en la señal recibida. Las causas pueden ser variadas: bloqueo de la señal de un satélite por edificios, influencia de eventos ionosféricos o troposféricos repentinos, mal funcionamiento del receptor, o inclinación de la antena entre otros factores (Seeber, 2003).

mp1. ‘mp1’ es el efecto medido en metros de multicamino (‘multipath’) sobre L1, calculado como:

$$mp1 = P_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right) \Phi_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \Phi_2$$

Siendo: P la observación de pseudo-distancia y Φ la observación de la fase portadora, $\alpha = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2$ para

f_1 y f_2 frecuencias de Φ_1 y Φ_2 , respectivamente.

mp2. ‘mp2’ es el efecto (en metros) de ‘multipath’ sobre L2, computado según:

$$mp2 = P_2 - \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right) \Phi_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1} - 1\right) \Phi_2$$

mp1 y mp2 son errores estocásticos que pueden ser considerados como ruido en las observaciones (Yeh *et al.*, 2007). El efecto multipath resume la situación en donde la señal GPS arriba al receptor desde más de una trayectoria, debido a que la señal se refleja en un edificio, un auto, un árbol, etc. (Seeber, 2003). Para eliminar los efectos de reloj de estación, reloj de satélites, y retardos troposférico y ionosférico, mp1 y mp2 son calculados como combinaciones lineales de las mediciones de código P_1 y P_2 (pseudo-distancia) y fases Φ_1 y Φ_2 hechas por el receptor GPS, e involucran tanto señales de trayectorias directas como indirectas (Estey and Meertens, 1999). Estas últimas provienen de interferencias producidas por la reflexión y dispersión de la señal GPS en los alrededores de la antena. TEQC reporta sólo la raíz cuadrática media de las variaciones de mp1 (rms avg mp1) y mp2 (rms avg mp2) promediadas sobre la longitud de la sesión. Valores usuales de rms avg mp1 y rms avg mp2 alcanzan unas pocas décimas de metro, y en general son diferentes para distintos tipos de receptores y pueden ser diferentes para el mismo receptor dependiendo de la versión del programa interno (‘firmware’) (Ray y Senior, 2003).

Puesto que todo software de posicionamiento preciso (Hugentobler *et al.*, 2001) presupone una trayectoria directa entre el satélite y el receptor, la presencia de errores de multiticamino en los observables GPS conduce a errores en el posicionamiento. Variaciones inusuales en mp1 y mp2 (en especial, saltos bruscos o tendencias) podrían indicar problemas en la calidad de los datos de la estación (Yeh *et al.*, 2007).

La figura 1 muestra los índices calculados para la estación UNSJ entre Abril de 2007 y Junio de 2009, intervalo que comprende desde la semana GPS 1421 hasta la 1538. Debemos señalar que en la semana 1510 (a finales de 2008) el receptor debió ser sustituido por una falla súbita. El nuevo receptor es de igual marca, modelo y versión de ‘firmware’ que el anterior. Nuestros resultados indican que esta situación no produjo cambios en los índices calculados. A partir de las gráficas en la figura 2 puede apreciarse la estabilidad de período largo de los índices de calidad de los datos producidos por UNSJ.

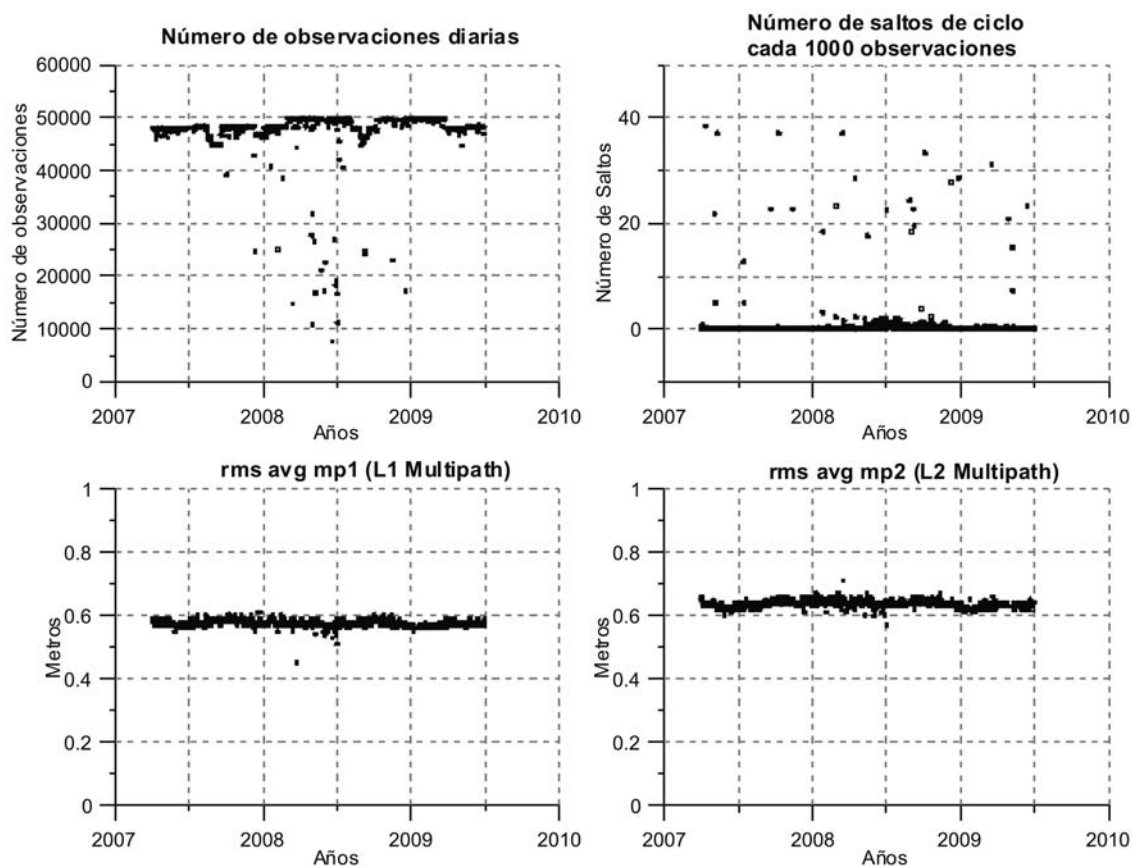


Figura 1. Índices de control de calidad para la estación UNSJ entre Abril de 2007 y Junio de 2009.

La tabla 1 resume los principales estadísticos del control de calidad. En ella hemos incluido además la cantidad de satélites electrónicamente visibles capturados por UNSJ, en forma simultánea. Esto es que, UNSJ dispone en forma efectiva y para cada época de la información proveniente de al menos 8 satélites.

Tabla 1. Estadística de los índices de calidad evaluados para la estación UNSJ entre Abril de 2007 y Junio de 2009. N° SEV: Número de Satélites Electrónicamente Visibles. mp1 y mp2 son calculados como la raíz cuadrática media de las variaciones de multipath sobre L1 y L2, respectivamente, promediadas sobre la longitud de la sesión.

	Número de épocas	Número de observaciones	mp1 [m]	mp2 [m]	slps/1000 obs.	N° SEV
Mínimo	870	7569	0,45	0,57	0,02	8
Máximo	5759	49973	0,61	0,71	38,46	10
Media	5662	47635	0,575	0,64	0,94	9

ESTABILIDAD DE LA ANTENA UNSJ. RESIDUOS DE POSICIÓN.

Debido al modo de monumentación podrían producirse movimientos de la antena ocasionado por eventos geológicos, calentamiento diurno y expansión de la estructura edilicia, efectos del viento, entre otros factores. Los movimientos aludidos influyen la estabilidad temporal de las coordenadas de posición de la estación GPS y junto con la calidad de los datos determinan el nivel de ruido de la misma.

A nivel continental, la estación UNSJ forma parte de la red SIRGAS de funcionamiento continuo SIRGAS-CON compuesta en la actualidad por cerca de 200 estaciones, de las cuales 50 pertenecen a la red global del IGS (International GNSS Service). Para el análisis de la estabilidad de UNSJ se usaron las coordenadas derivadas de las soluciones semanales fijas SIRGAS-CON ajustadas a la red IGS05 (realización del ITRF 2005) calculadas por los Centros de Procesamiento SIRGAS y publicadas en la página de Internet [www.sirgas.org]. Usando estas coordenadas se pueden generar gráficos de las series de tiempo de los residuos para las direcciones Este, Norte y Vertical.

Para obtener los residuos de las series de tiempo regionalmente filtradas que muestra la figura 1, se siguió un procedimiento basado en Beavan (2005), tratando separadamente las componentes Este, Norte y Vertical. La metodología seguida se basa en que las series de tiempo crudas de las coordenadas (en nuestro caso SIRGAS-CON) pueden mostrar diferencias debido a la ocurrencia de eventos sísmicos, cambios en el equipo, y cambios estacionales de fuente diversa. Superpuesta a la señal anterior se presenta una componente de ruido de 'modo común', la cual se considera aproximadamente constante a través de la región de emplazamiento (Beavan, 2005), proveniente en especial del uso de órbitas satelitales con leves errores, cambios de masa a escala local o regional, y el uso en el procesamiento diario de modelos no óptimos.

Siguiendo a Beavan (2005), la estabilidad de UNSJ quedaría descrita por las series de tiempo regionalmente filtradas. En nuestro estudio, para definir el ruido regional (modo común) se consideró como estación de referencia a la estación continua CFAG, que está ubicada a unos 33 km de distancia de UNSJ. CFAG es parte de SIRGAS y además es una estación IGS de modo que cumple con estándares de calidad intrínsecos. Para cada componente (X, Y, Z) de las coordenadas semanales fijas de CFAG, entre mayo de 2007 y mayo de 2009, se representaron las series temporales, y se les sustrajo la tendencia lineal de mejor ajuste en el sentido de mínimos cuadrados. Luego, el ruido regional fue punto a punto sustraído de las series temporales crudas para UNSJ, y finalmente se removió de cada serie la tendencia regional de mejor ajuste mínimo cuadrático. Esta tendencia representaría el movimiento natural de la placa Sudamericana, mientras que los residuos de la figura 1 indicarían el 'ruido de posición' de la estación y servirían para detectar en la estación GPS movimientos bruscos o incrementales. De acuerdo a nuestros resultados la estación UNSJ tuvo un comportamiento estable (e.g., no se produjeron cambios bruscos en las coordenadas) durante las 109 semanas evaluadas (Abril de 2007 hasta Junio de 2009), con residuos menores a ± 5 mm, ± 6 mm, y ± 5 mm para las direcciones Norte, Este y vertical, respectivamente.

En este análisis de las series de tiempo de las coordenadas UNSJ un factor que deberemos considerar próximamente es la influencia de la configuración de subredes utilizadas para hallar las soluciones SIRGAS. Cambios en la configuración de la red podrían influenciar las series temporales (Takacs y Bruyninx, 2001).

COORDENADAS CALCULADAS POR SERVICIOS DE PROCESAMIENTO

Se realizó el procesamiento de datos de UNSJ en servicios de procesamiento 'online' gratuitos disponibles en Internet. Este procesamiento tiene como objetivo la verificación de la estabilidad de las coordenadas UNSJ según el posicionamiento calculado por cada servicio. Existen varios servicios de procesamiento utilizables, entre los cuales seleccionamos:

Servicio CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning), administrado por Canadian Geodetic Service of Natural Resources Canada. Procesa datos GPS de simple o doble frecuencia, en formato RINEX, observados en modo estático o cinemático. El procesamiento es realizado en modo absoluto, utilizando archivos de órbitas precisas y de corrección de reloj provistos por IGS. El acceso es a través de la dirección (<http://ess.nrcan.gc.ca/>). Las coordenadas calculadas están referidas a ITRF 2005 (Internacional Terrestrial Reference Frame 2005).

Servicio SCOUT (Scripps Coordinate Update Tool), administrado por SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) de Estados Unidos. Realiza el procesamiento en modo relativo utilizando estaciones IGS (que el servicio mismo selecciona) para la determinación de las coordenadas de la estación de interés. Los archivos son requeridos en formato RINEX, y deben ser observados en modo estático por receptores de doble frecuencia. SCOUT utiliza archivos de órbitas precisas y de corrección de reloj provistos por IGS. El acceso es a través de la dirección (<http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi>). Las coordenadas calculadas están referidas a ITRF 2005.

Los datos procesados corresponden a días julianos para cada año de registro para los meses de Marzo de 2009 (días 75, 77, 80), Noviembre de 2008 (días 318, 319) y Julio de 2007 (días 182, 184). La tabla 2 resume las diferencias entre las coordenadas de UNSJ calculadas por cada servicio y las coordenadas oficiales de UNSJ publicadas y computadas por IGN, las cuales están referidas al marco geodésico de Argentina POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007) basado en ITRF 2005 época 2006,632 (IGN, 2009). Ellas son:

$$X= 1987485,0313 \text{ m} \quad Y= -5065493,3508 \text{ m} \quad Z= -3317557,4888 \text{ m}$$

Para el procesamiento de las coordenadas de UNSJ, el servicio SCOUT seleccionó las estaciones SANT, COPO y CONZ, ubicadas en Santiago de Chile, Copiapó y Concepción, respectivamente, distantes de UNSJ en 491 km (valor promedio). Por su parte, el servicio OPUS procesó tomando como referencia las estaciones VALP, SANT y CFAG localizadas en Valparaíso, Santiago y San Juan, respectivamente, que se encuentran a una distancia de entre 331 km y 33 km. Debe notarse que los residuos calculados (Tabla 2) contienen una componente de variaciones temporales de coordenadas debidas al movimiento natural de la Placa Sudamericana (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, 2009). Por otro lado, en los residuos de figura 2 esta componente ha sido eliminada.

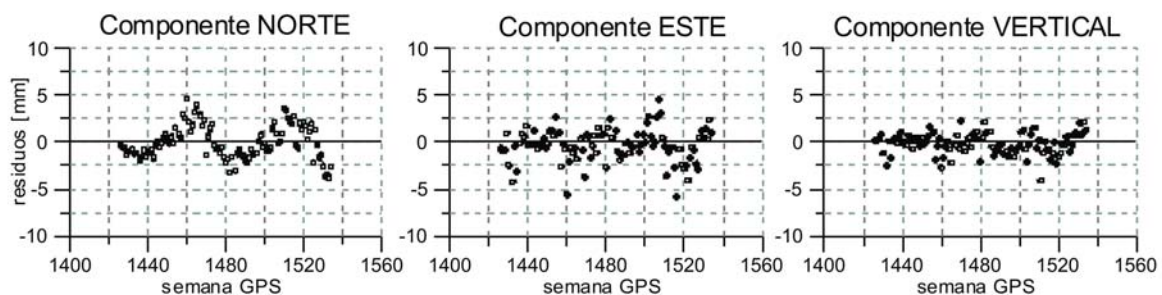


Figura 2. Residuos de las componentes Norte, Este y Vertical de UNSJ derivadas de soluciones SIRGAS-CON para el período 2007-2009. Los residuos se computaron punto a punto con respecto al ruido regional estimado en base a la estación CFAG.

A partir de las diferencias obtenidas (Tabla 2) se puede concluir que los servicios CSRS-PPP y SCOUT entregan coordenadas con precisión mejor que 10 cm para las épocas consideradas. Nótese que los días seleccionados corresponden a épocas con menor actividad (Junio-Julio) y mayor actividad de la ionosfera (Marzo y Noviembre). Ambos servicios de procesamiento ofrecen resultados con errores centimétricos y por lo tanto su uso podría recomendarse a usuarios diversos para el procesamiento de un mayor número de observaciones, aunque para algunos fines sería conveniente realizar más comprobaciones que garanticen su fiabilidad.

Tabla 2. Diferencias medias entre las coordenadas de UNSJ calculadas por los servicios de procesamiento CSRS-PPP y SCOUT y las coordenadas fiduciales POSGAR 07 calculadas por IGN, para los días juliano y año indicados en cada caso. σ es el desvío estándar.

Días 075, 077, 080, Año 2009

	ΔX [cm] $(\overline{\Delta X} \pm \sigma)$	ΔY [cm] $(\overline{\Delta Y} \pm \sigma)$	ΔZ [cm] $(\overline{\Delta Z} \pm \sigma)$
CSRS-PPP	5,870 \pm 0,200	-8,587 \pm 0,400	-1,120 \pm 0,900
SCOUT	2,843 \pm 1,390	-0,363 \pm 0,155	3,300 \pm 1,030

Días 318, 319, Año 2008

	ΔX [cm] $(\overline{\Delta X} \pm \sigma)$	ΔY [cm] $(\overline{\Delta Y} \pm \sigma)$	ΔZ [cm] $(\overline{\Delta Z} \pm \sigma)$
CSRS-PPP	5,870 \pm 0,200	-8,420 \pm 0,500	-2,120 \pm 0,950
SCOUT	2,095 \pm 1,730	-0,430 \pm 0,125	2,740 \pm 1,250

Días 182, 184, Año 2007

	ΔX [cm] $(\overline{\Delta X} \pm \sigma)$	ΔY [cm] $(\overline{\Delta Y} \pm \sigma)$	ΔZ [cm] $(\overline{\Delta Z} \pm \sigma)$
CSRS-PPP	3,370 \pm 0,300	-8,420 \pm 0,700	-4,120 \pm 1,400
SCOUT	0,445 \pm 1,560	0,300 \pm 0,080	2,235 \pm 1,060

CONCLUSIONES

Luego de más de dos años de funcionamiento ininterrumpido, se realizó un control de calidad de las observaciones colectadas por la estación GPS permanente UNSJ que abarca dos aspectos: el análisis de las observaciones crudas y el monitoreo de la estabilidad. Las gráficas presentadas proveen una herramienta sencilla y clara para que los usuarios y operadores del sistema puedan controlar el funcionamiento de UNSJ. Cualquier problema en el equipo o cambios en las condiciones ambientales de rastreo pueden ser detectadas y eventualmente corregidas.

A partir del análisis de los datos crudos realizado con el programa de preprocesamiento TEQC se concluye que: el número de observaciones diarias exhibe una efectividad superior al 98% de modo que la pérdida de datos es reducida; el número de saltos de ciclo/observaciones es muy reducido (< 0,1 %); los valores de multipath mp1 y mp2 muestran valores medios de 57,5 cm y 64,0 cm, respectivamente.

Para el período analizado, la regularidad de estos índices indicaría que no se han producido cambios en el medio ambiente de la antena UNSJ. En síntesis, el desempeño del receptor UNJS es muy bueno y el ruido del medio ambiente de la estación es muy bajo.

El monitoreo de las coordenadas UNSJ usando soluciones SIRGAS-CON demuestra la estabilidad de UNSJ, que para el período 2007-2009 ha producido coordenadas con errores menores a ± 5 mm. Las coordenadas de UNSJ calculadas por los servicios de procesamiento online de posicionamiento absoluto CSRS-PPP y de posicionamiento relativo SCOUT cuando son comparadas con las coordenadas fiduciales de UNSJ muestran residuos siempre inferiores a 10 cm. Nuestra prioridad a futuro es la implementación de un sistema automático de monitoreo continuo de la calidad de los datos de UNSJ, accesible tanto a los administradores como a los usuarios.

REFERENCIAS

- Beavan, R.J., 2005. Noise properties of continuous GPS data from concrete pillar geodetic monuments in New Zealand, and comparison with data from US deep drilled braced monuments. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 110(B8): B08410, doi:10.1029/2005JB003642.
- Brown, N., A. Kealy, J. Millner, P. Ramm and I. P. Williamson, 2002. Quality control and integrity monitoring of the Victorian GPS reference network. *Proceedings of FIG XXII International Congress*, 19-26 April, Washington D.C. USA, Commission 5, 1-13.
- Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, 2009. IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS (IGS RNAAC SIR). Disponible en: <<http://www.dgfi.badw.de/index.php?id=123>>. Acceso 27 de octubre de 2009.

- Herrada, A., S. Miranda, J. Sisterna, C. Fuentes, O. Torres Lobato, H. Pintos y R. Smalley (Jr), 2007. Establecimiento, Operación y Aplicaciones de la Estación GPS Permanente UNSJ. Revista CIENCIAS de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. 11 (1): 117-122.
- Hugentobler, U., S. Schaer and P. Fridez, 2001. BERNESE GPS Software Version 4.2, 650 Astronomical Institute, University of Berne, 515 pp.
- IGN, 2009. <<http://www.ign.gov.ar/DescargaRamsac>>. Acceso 27 de octubre de 2009.
- Ray, J. and K. Senior, 2003. Geodetic techniques for time and frequency comparisons using GPS phase and code measurements. Metrologia, 40, 215-232.
- Seeber, G., 2003. Satellite Geodesy. Foundations, methods and applications. 2nd. Edition. Walter de Gruyter. Berlin-New York, 2003. 588 pp.
- Estey, L. H. and C. M., Meertens, 1999. TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. GPS Solutions, V3, 1: 42-49.
- Takacs, B. and C. Bruyninx, 2001. Quality Checking the Raw Data of the EUREF Permanent Network. Proceedings EUREF Symposium, May 16 - 18, 2001, Dubrovnik, Croatia, 10 pp.
- Yeh, T. K., C. S. Wang, B. F. Chao, C. S. Chen and C. W. Lee, 2007. Automatic data-quality monitoring for continuous GPS tracking stations in Taiwan. Metrologia, 44, 393-401.
- Yeh, T. K., Y. A. Liou, C. S. Wang and C. S. Chen, 2008. Identifying the degraded environment and bad receivers setting by using the GPS data quality indices. Metrologia, 45: 562-570.