

POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL MEDIANTE EL USO DE NAVEGADORES SATELITALES

M. Gende^{1,3}, *M.V. Mackern*^{2,3,4}, *C. Brunini*^{1,3}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.

² Unidad de Aplicaciones Geodésicas y Gravimétricas- IANIGLA-CRICYT

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

⁴ Facultad de Ingeniería, Universidad Juan Agustín Maza.

mgende@fcaglp.unlp.edu.ar, vmackern@lab.cricyt.edu.ar, claudio@fcaglp.unlp.edu.ar

RESUMEN

El Sistema de Posicionamiento Global posee una gran variedad de usos, que van desde la determinación de movimientos tectónicos, que requiere exactitudes milimétricas, hasta la navegación recreativa, caso en que algunos metros de error en la posición resulta aceptable. Los costos del equipamiento están relacionados en forma directa con la exactitud requerida; como consecuencia de esto los trabajos geodésicos requieren receptores aproximadamente cien veces más caros que un navegador.

Presentaremos aquí un trabajo que muestra como es posible mejorar en al menos un orden de magnitud las exactitudes de las coordenadas que usualmente provee un navegador, utilizando técnicas clásicas de posicionamiento diferencial. Se examinan diferentes casos donde se muestra como es posible obtener exactitudes entre pocos decímetros y el metro.

Los casos analizados involucran distintas longitudes de base y distintos lapsos de tiempo de observación. De esta manera se estima el valor óptimo de tiempo de observación en función de la distancia, así como el límite de la exactitud que se puede alcanzar en cada caso.

Finalmente se muestra que, si bien la alternativa que se presenta no puede reemplazar a los receptores geodésicos para trabajos de alta precisión, puede sin embargo ser muy útil cuando se requieran exactitudes decimétricas; siendo su atractivo principal el bajo costo del instrumental requerido.

Palabras claves: GPS, Navegadores, DGPS, Topografía.

ABSTRACT

The Global Positioning System is used for a great variety of applications, from crustal movement estimation where sub-centimeter accuracy is required, to recreational navigation where errors of several meters are acceptable. The equipment cost is directly related to the required accuracy; hence receivers for geodetic applications are approximately one hundred times more expensive than those for navigation purposes. In this paper we show the possibility to improve the accuracy provided by a hand-held GPS receiver by using the well-known differential positioning technique. We analyze the results of a series of experiments involving different baseline lengths as well as several measurement intervals. This allows for the estimation of an optimum relationship between measurement interval and baseline length. The obtained accuracies range from few decimeters to one meter.

We finally show that, though the presented alternative cannot replace the geodetic receivers for high precision requirements, it can nonetheless be quite useful when decimeter-level accuracies are required. Its main attraction is the low cost of the equipment needed.

Key words: GPS, Handheld receivers, DGPS, Topography.

INTRODUCCION

El sistema de posicionamiento satelital GPS presenta una amplia variedad de usos, entre los que se encuentran los recreativos, como el dado por deportistas y turistas, los comerciales, como lo son los usos en mensuras y los científicos, asociados entre otras áreas a la geodinámica o la aeronomía. Cada una de estas actividades requiere distintos tipos de receptores que pueden ser clasificados como se muestra la tabla 1.

Numerosos estudios geodésicos han logrado mejorar la productividad y aumentar la exactitud del posicionamiento centimétrico con receptores costosos, Fotopoulos ha realizado un compendio de los mismos (Fotopoulos, 2001), pero muy pocos estudios se han centrado en precisiones decimétricas y en receptores económicos; uno de los pocos trabajos previos al que aquí se presenta fue publicado por Schwieger (Schwieger, 2005). En este trabajo se ha evaluado el posicionamiento con receptores de bajo costo. El estudio analiza las posibles exactitudes a alcanzar cuando sesiones de 120, 60 o 30 minutos son utilizadas en vectores de entre 1 y 300 kilómetros.

Posicionamiento absoluto versus posicionamiento relativo

Existen dos maneras de posicionarse con GPS:

- a) En forma absoluta, utilizando un solo receptor.
- b) En forma relativa, utilizando más de un receptor.

El posicionamiento absoluto es automático, instantáneo y muy sencillo por no requerir conocimientos previos de parte del usuario. Su principal desventaja está en la limitación de su exactitud que se encuentra cerca de los 3 a 30 metros

El posicionamiento relativo saca ventaja de la correlación espacial de los errores que afectan a la señal GPS para obtener exactitudes centimétricas o mejores. En general requiere el almacenamiento de las observaciones para procesarlas a tiempo diferido y el entrenamiento de los usuarios en esta metodología de trabajo. Estos dos factores limitantes se pueden mitigar si se dispone de equipos costosos conectados por un radioenlace.

Respuesta a las limitaciones de un receptor tipo navegador

Existe una gran variedad de navegadores que no difieren significativamente en cuanto a la electrónica del receptor propiamente dicho, pero que, según el segmento del mercado al que están dirigidos, presentan diferentes accesorios como pantallas para desplegar mapas digitales, telefonía celular incorporada, barómetros, etc. Ninguno de estos receptores almacena los datos que mide: la pseu-

Tabla 1. Clasificación de receptores

Clase	Navegador	Cartográfico	Topográfico	Geodésico
Observables	C/A	C/A	C/A-L1	Y, C/A-L1 y L2
Almacena el observable	No	Si	Si	Si
Uso	Posicionamiento Instantáneo absoluto (PIA)	PIA Posicionamiento relativo (PR)	PIA PR	PIA PR
Precisión	3 a 30 m (PIA)	3 a 30 m (PIA) 1 a 3 m (PR)	3 a 30 m (PIA) pocos mm (PR) bases pocos km	3 a 30 m (PIA) pocos mm (PR) Bases pocos miles de km

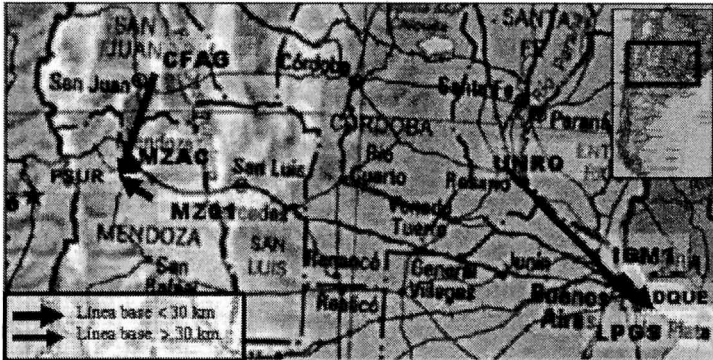


Figura 1. Zona de trabajo

La distancia del código C/A y la fase de la onda portadora L1. Esta limitación impide su utilización para el posicionamiento relativo y por consiguiente su exactitud no supera los 10 metros.

Tanto Galán como Hill han implementado en forma independiente métodos para extraer, de algunos modelos de navegadores, el código C/A y la fase de la onda portadora L1 para llevarlas a un dispositivo electrónico con memoria como una computadora portátil, una colectora de datos o agendas electrónicas del tipo PDA (Galan, 2002; Hill, 2000). En este trabajo se usó la implementación realizada por Galán, la que trabaja en dos etapas: primero guarda en forma instantánea los datos en formato binario, y en una segunda etapa convierte los datos al formato rinex.

POSICIONAMIENTO RELATIVO CON RECEPTORES DE BAJO COSTO

En esta sección se evalúa la exactitud posible de alcanzar mediante posicionamiento relativo en función de la longitud del vector y de la duración de la sesión, factores que inciden directamente en la productividad.

Metodología de medición

Se realizaron observaciones de manera tal de formar bases o vectores de 1, 10, 30, 60,

150 y 350 km aproximadamente. (Fig. 1). En todos los casos un receptor fue geodésico, perteneciente a alguna de la Estaciones Permanentes (EP) de la Republica Argentina y el otro receptor fue un navegador unido mediante un puerto de comunicación tipo serie a una computadora portátil donde se guardaban los datos a medida que eran observados.

Todos los lugares elegidos para realizar las mediciones pertenecen a redes de control, por lo que cuentan con coordenadas conocidas a priori, siendo los errores de estas menores a un centímetro en el marco de referencia POSGAR 98. El intervalo de registro fue de 30 segundos y se realizaron sesiones de 30, 60 y 120 minutos. Se utilizaron las EP de La

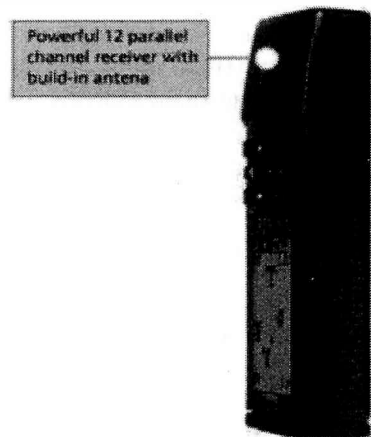


Figura 2. Receptor Garmin 12

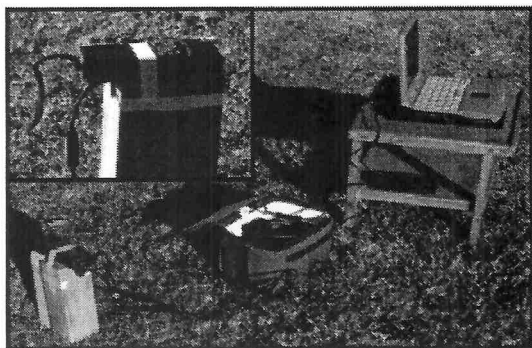


Figura 3. Equipamiento

Plata (LPGS), Buenos Aires (IGM1), Mendoza (MZAC y MZ01), Rosario (UNRO) y San Juan (CFAG), todas provistas de receptores geodésicos doble frecuencia y antenas geodésicas.

Debido a que no se pretendía una exactitud centimétrica, la centración del navegador se realizó directamente colocando la parte superior del receptor, donde se ubica la antena (Fig. 2), sobre la estaca o bulón que materializaba a los distintos puntos de la red de control. (Fig. 3)

Metodología de Procesamiento

Un programa comercial fue utilizado para realizar el procesamiento diferencial a fin de evaluar las exactitudes que podría alcanzar un usuario no especializado. Las coordenadas de las EP se fijaron y se utilizó la fase de la señal sobre L1 como observable.

El procesamiento se realizó en tres etapas: primero se realizó un procesamiento convencional; luego analizando los residuos de la solución de este primer resultado se eliminaron las épocas de los satélites que presentaban residuos superiores a 0,15 de ciclo de L1. Finalmente, una vez eliminadas las épocas con residuos discordantes, se volvió a procesar el vector y se compararon las coordenadas obtenidas con las de cada punto de control.

Para todos los casos que se presentan se repitió el procedimiento con el fin de validar estadísticamente las conclusiones. Los

resultados que se presentan resumen las experiencias realizadas, que en total suman 10 horas de observación y un total de 5, 10 y 20 muestras de datos, para las sesiones de 120, 60 y 30 minutos respectivamente.

EVALUACION DE LA PRECISION

Los métodos diferenciales poseen dos limitaciones importantes que degradan la calidad del posicionamiento. Por un lado, la correlación espacial de los errores disminuye a medida que aumenta la separación entre receptores, lo que resta eficiencia a la mitigación de los sesgamientos comunes a las señales GPS que llegan simultáneamente a ambos equipos desde un mismo satélite. Por otro, el uso de la fase de la portadora requiere determinar el número de ciclos enteros entre cada satélite y el receptor, lo que comúnmente se denomina ambigüedad. Esta determinación se hace a expensas de aumentar el periodo de observación, existiendo un tiempo mínimo de observación necesario para resolver las ambigüedades.

Para este trabajo se estimó el error en el posicionamiento restando a las coordenadas obtenidas en cada procesamiento las coordenadas a priori, que son conocidas con un error cercano al centímetro. Como se tenía más de una medición por base, se utilizó la fórmula:

$$\text{Error en la posición} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{posición}_i - \text{posición_apriori})^2}{n}}$$

para estimar en forma estadística el error de la coordenada.

Donde debe tenerse en cuenta que la variable posición_i y posición_apriori son vectores y la resta se realiza componente a componente.

Análisis en función de la longitud del vector

La Figura 4 muestra errores inferiores a $\pm 0.20\text{m}$ y $\pm 0.40\text{ m}$ para vectores menores de 30 y 60 km respectivamente; mientras que si consideramos líneas bases o vectores largos:

en 150 km los errores ya superan los ± 0.40 m y para más de 300 km los errores superan el metro, limitando el método para alcanzar objetivos decimétricos pero ofreciendo una alternativa válida para una gran gama de aplicaciones menos exigentes. Esta disminución de la precisión en las coordenadas con las distancias era esperable, considerando que superados los 30 km comienza a percibirse en observaciones de L1 la influencia residual del retardo ionosférico en el posicionamiento diferencial.

Análisis en función de la duración de la sesión

La Figura 4 muestra que basta media hora para obtener precisiones mejores que 20 cm con bases menores a los 30 km. Para bases de hasta 150 km es posible conseguir precisiones del orden de los 40 cm no siendo fácil distinguir una correlación entre la longitud de la sesión y la precisión.

Una base de 300 km necesita un mínimo de una hora de observación y la precisión mejora un 40 % si se observa durante dos horas.

LAS ESTACIONES PERMANENTES GPS Y EL METODO

En la Argentina existen 18 EP GPS públicas, como se muestra en la Figura 5. Entonces, utilizando alguna de estas EP como estaciones bases en la metodología de trabajo propuesta solo se requiere de un navegador, con lo que la propuesta resulta muy económica.

Como ya se mostró, precisiones mejores que ± 0.40 m. se alcanzan para bases de hasta 100 km resultando aplicable la técnica sobre los principales centro urbanos y rurales (Fig. 5-b). Mientras que para bases de hasta 300 km se cubre un 70 % de la superficie del territorio, incluyendo las zonas costeras (Fig. 5-a) y se obtienen precisiones del orden del metro.

CONCLUSIONES

La investigación realizada muestra que los receptores de bajo costo son aptos para realizar posicionamiento relativo con una exactitud de 0,30 cm para líneas bases menores que 30 km

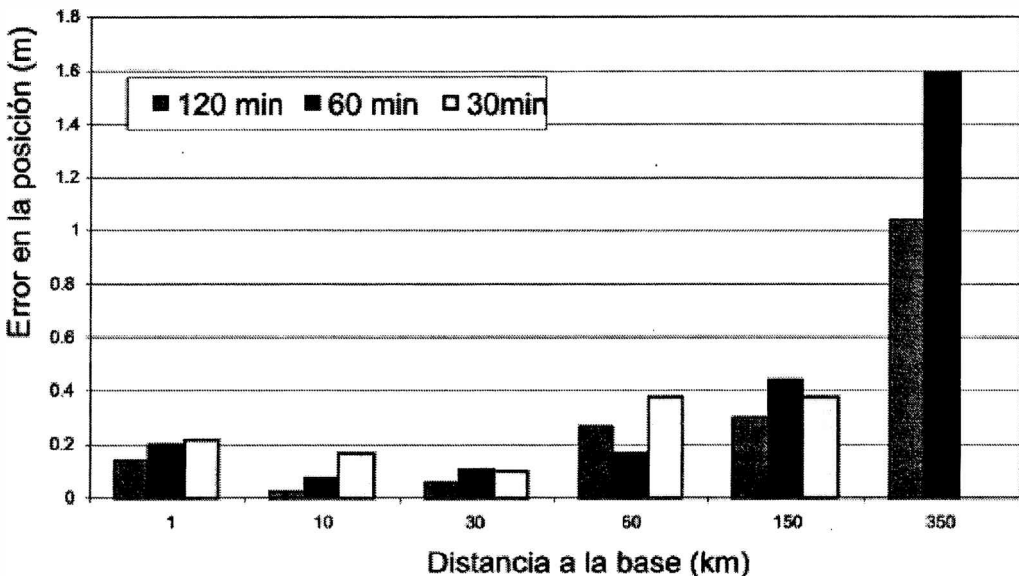


Figura 4. Error en la posición en la función de la distancia a la Base y al tiempo de medición.

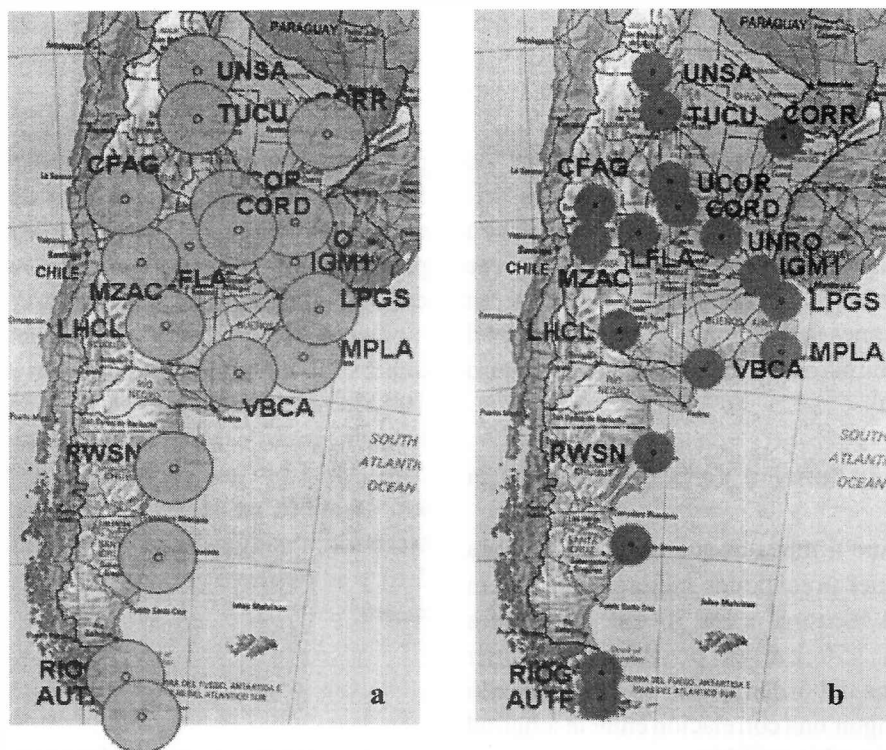


Figura 5. a. EP GPS-Radios de cobertura 300 km. b. EP GPS-Radios de cobertura 100 km.

y del orden del metro para líneas bases de entre 30 y 300 km. Las líneas bases menores que 30 km requieren de una longitud de sesión mínima de 30 minutos, las líneas bases más largas sesiones no menores que 60 minutos.

La metodología presentada está limitada a navegadores que permitan tomar los observables y no pretende reemplazar al posicionamiento centimétrico con receptores topográficos y geodésicos

Finalmente, los autores quieren destacar que la técnica diferencial resulta más económica y sencilla en el caso de que una de las estaciones sea una EP; lo cual muestra, una vez más, la importancia de mantener y densificar la Red Nacional de EP GPS.

Agradecimientos. Se agradece la colaboración desinteresada prestada por el In. Agrimensor Hernán Alvis Rojas en las tareas de adquisición de datos y del Dr. Juan Moirano

y de la Sra. María Elena Soler en la revisión de esta versión.

REFERENCIAS

- Fotopoulos, G. and M. E. Cannon (2001). "An overview of multireference station methods for cm-level positioning." *GPS Solutions* 4(3): 1-10.
- Galán, A. T. (2002). "Obtaining raw data from some Garmin units ", from <http://artico.lma.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/async/>.
- Hill, C. J., T. Moore, et al. (2000). *Gringo: Recording RINEX Data from Handheld GPS Receivers*. 4th European Conference on Global Navigation Satellite Systems, Edinburgh.
- Schwieger, V. and A. Gläser (2005). Possibilities of Low Cost GPS Technology for Precise Geodetic Applications. FIG Working Week 2005: From Pharaohs to Geoinformatics, Cairo, Egypt.