

GPS NTRIP observations: A new alternative for precise positioning in Venezuela

A. Briceño, L. Mass I Rubí, V. Cioce, G. Royero, L. Bacaicoa, E. Wildermann, M. Hoyer y M. Barrios

*Laboratorio de Geodesia Física y Satelital (LGFS), Escuela de Ingeniería Geodésica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
vjcioce@fing.luz.edu.ve*

Abstract

Innovating developments and technologies at satellite positioning GNSS gives an increasing geosciences community a powerful tool for precise coordinate determination at a great application range in function of quality needed. Real time observations in combination with NTRIP services for broadcasting the differential corrections have been accepted at a great branch of applications. SIRGAS-REGVEN GPS permanent station Maracaibo (MARA) recently has been accommodated with newer equipment allowing transmission of corrections issued via NTRIP by the Internet. Receiving the transmissions freely (only handy flat rates apply), real time applications got available to the users of the growing internet community throughout the country. Strengthening geodetic national infrastructure should be obtained incorporating other stations of Venezuelan permanent GPS network (REMOS). Formerly, GPS with NTRIP had been applied only under experimental conditions. Using MARA NTRIP service, different application scenes have been performed at Maracaibo Lake district for investigating latency and quality purposes of the technique. Results show clearly a high consolidation potential for real time-NTRIP use solving a great branch of topographic and geodetic problems of the nation.

Key words: NTRIP, SIRGAS-REGVEN, GPS, real time, precise positioning.

Mediciones GPS NTRIP: una nueva alternativa para el posicionamiento preciso en Venezuela

Resumen

Las nuevas tendencias en materia de posicionamiento GNSS ofrecen a los usuarios de las geociencias una poderosa e innovadora herramienta para la determinación de coordenadas precisas, útiles para diversas aplicaciones de acuerdo a la calidad esperada de los resultados. La medición en tiempo real ha sido uno de los tópicos más beneficiados con este avance tecnológico, surgiendo así el NTRIP. Con la renovación y adecuación instrumental en la estación SIRGAS-REGVEN Maracaibo, se inició la transmisión de correcciones diferenciales bajo esta modalidad a través del IGS, siendo posible la medición en tiempo real de forma simple y menos compleja en campo, de forma gratuita y abierta para todo usuario. Adicionalmente la masificación en el uso de la Internet en Venezuela, crea las condiciones ideales para la activación de otras estaciones de la red permanente del país (REMOS), con lo cual se estaría fortaleciendo la infraestructura geodésica en beneficio del colectivo. Aunque en años anteriores ya se habían realizado observaciones GPS con NTRIP de forma experimental, es en esta ocasión cuando se evalúa formalmente esta herramienta para el posicionamiento preciso. En tal sentido, se planificaron y ejecutaron observaciones GPS de tipo estático diferencial postprocesado sobre una serie de estaciones localizadas a distancias variables con respecto a la estación MARA, adicionalmente, los mismos puntos fueron ocupados en modo tiempo real NTRIP con una y doble frecuencia, permitiendo de esta manera efectuar comparaciones entre las de-

terminaciones y evaluar los diversos efectos que sobre ellas influyen en términos de precisión y exactitud. Este trabajo describe los diversos ensayos realizados así como los resultados obtenidos, los cuales se ubicaron entre ± 2 y ± 5 cm para la componente horizontal. De esta manera se espera ofrecer a la comunidad geodésica nacional, respuestas concretas sobre las bondades y limitaciones del NTRIP.

Palabras clave: NTRIP, SIRGAS-REGVEN, GPS, tiempo real, posicionamiento preciso.

Introducción

La consolidación del GPS como herramienta primordial para el posicionamiento preciso, ha permitido el perfeccionamiento de los métodos de observación y de igual forma ha dado paso a la innovación en cuanto a estos se refiere. La tendencia está orientada a la búsqueda de mejores exactitudes en las determinaciones, minimizando el grado de complejidad que implica una medición GPS y su costo intrínseco.

El desarrollo tecnológico experimentado por las técnicas de posicionamiento geodésico satelital y las telecomunicaciones a través de la Internet, ofrecen a todo usuario en general y en especial a los vinculados con las geociencias, una nueva opción para la obtención de coordenadas tridimensionales, referidas a un marco geocéntrico global y de alta calidad en tiempo real.

Aunque las mediciones en tiempo real existen desde hace varios años y en distintas modalidades, son aquellas basadas en las correcciones NTRIP (*Network Transportation of RTCM via Internet Protocol*), las que están a la vanguardia y apuntan a consolidarse como una de las mejores opciones cuando se trata de obtener coordenadas confiables en el mismo instante de la observación, esto debido principalmente a la simplicidad y flexibilidad del método.

El trabajo presenta los resultados obtenidos luego de efectuar diversos ensayos de mediciones GPS diferenciales en tiempo real bajo el esquema del NTRIP, en locaciones seleccionadas en el Edo. Zulia, zona occidental del país. Previamente se exponen de forma breve, los fundamentos teóricos para discutir en detalle la parte experimental de campo. La alta calidad de las determinaciones realizadas, siendo entre ± 2 y ± 5 cm para la posición, permite inferir que este tipo de observaciones satelitales puede ser empleado de manera factible y confiable en una amplia gama de aplicaciones geodésicas y topográficas.

Fundamentos del NTRIP

De las diferentes modalidades de observación GPS, la técnica diferencial o relativa es la que ofrece hasta el momento los mejores resultados. En esta intervienen dos o más estaciones observando de forma simultánea hacia los mismos satélites y donde al menos una de ellas presenta coordenadas conocidas y de alta precisión, denominada *estación base* [1].

Cuando se incorporan algunos conceptos de las telecomunicaciones a la teoría y práctica del GPS, surgen las denominadas observaciones en tiempo real. Estas consisten en la emisión de correcciones diferenciales, generadas por una estación base, hacia las diferentes estaciones desconocidas que se estén levantando, obteniendo coordenadas confiables en el mismo instante de la medición [2]. Este tipo de mediciones requiere de instrumentación especial y en algunos casos resultan complejas y sensibles ante las condiciones del entorno, no obstante sus resultados son de muy buena calidad y suficientes para satisfacer los requerimientos de exactitud y precisión de levantamientos topográficos y geodésicos comunes; destacan por ejemplo las mediciones RTK y las DGPS en tiempo real.

Las innovaciones experimentadas por las observaciones GPS en tiempo real se han manifestado principalmente en la forma de transmitir las correcciones diferenciales y naturalmente en el desarrollo de algoritmos matemáticos aplicados a las mediciones y al tratamiento de las fuentes de error. De esta manera, las correcciones diferenciales pueden ser transmitidas por vía radio modem conectado directamente a los receptores, vía satélite, por telefonía celular o también vía Internet.

Las casas fabricantes han diseñado y puesto en el mercado instrumentos receptores capaces de ejecutar las observaciones en tiempo real en función de estas innovaciones. Por otra parte, grandes empresas especializadas, tanto de los sectores públicos como privados, nacionales o in-

ternacionales, han ofrecido a la comunidad de usuarios del GPS, servicios asociados con la emisión y aplicación de correcciones diferenciales, optimizando así las tareas de posicionamiento y la obtención de resultados asociados.

Los recientes avances en la ciencia y la tecnología beneficiaron sin duda alguna al surgimiento de estos cambios positivos en la metodología observacional. Hoy día, la comunicación a través de la red de redes, proporciona a la comunidad involucrada con las geociencias, una novedosa herramienta para la determinación de posiciones tridimensionales conocida como NTRIP.

El NTRIP fue desarrollado en Alemania de manera conjunta por la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia (*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, BKG*) y la Universidad de Dortmund [3], y consiste en la transmisión de correcciones diferenciales GNSS, originalmente en formato estándar RTCM, a través del protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP), las cuales son calculadas desde una estación de referencia y ofrecidas a los usuarios vía Internet.

El sistema está compuesto por tres elementos básicos [4]: **NTRIP Source**, es la fuente generadora de las correcciones diferenciales en formato RTCM, materializada por un receptor GNSS capaz de llevar a cabo este proceso y de enviarlas a un servidor, este último además de recibir las correcciones, también permite transferirlos vía HTTP al siguiente componente del sistema. El servidor NTRIP no es más que un computador con acceso a Internet y un software adecuado para cumplir dichas funciones. **NTRIP Caster**, es el agente transmisor, su función principal es la de difundir las correcciones GNSS calculadas a la comunidad de usuarios, la cual constituye al

NTRIP Client, este segmento es el receptor final de las correcciones diferenciales quien las aplica para la obtención de un posicionamiento preciso en tiempo real.

La Figura 1 ilustra los componentes del NTRIP. La diferencia más relevante con respecto a los sistemas tradicionales de medición GNSS en tiempo real, radica justamente en la transmisión de las correcciones a través de la Internet y que estas pueden ser capturadas desde cualquier dispositivo que disponga de conexión a la red: PC, PDA, teléfono móvil (GSM o CDMA), entre otros.

Operatividad en campo

Las principales casas comerciales de instrumentos receptores GNSS ofrecen actualmente productos capaces de soportar el NTRIP a nivel de hardware y software. Esto, junto a la masificación del uso de la Internet, generalmente en las zonas urbanas de Venezuela, crea las condiciones básicas para la ejecución de mediciones GNSS asistidas por este protocolo de datos.

En consecuencia, son estos los elementos básicos para la ejecución de mediciones GNSS bajo el esquema del NTRIP: un instrumento receptor que ofrezca esta alternativa y acceso a la Internet en el mismo sitio de la observación. La medición en tiempo real puede ser tanto de los códigos como de las portadoras en el caso del GPS. Cabe destacar que en este tipo de mediciones en tiempo real, a pesar de su carácter relativo, solo se necesita disponer de un instrumento capaz de realizar medición RTK y de permitir una conexión inalámbrica a Internet, logrando la obtención de resultados de calidad similar a otras

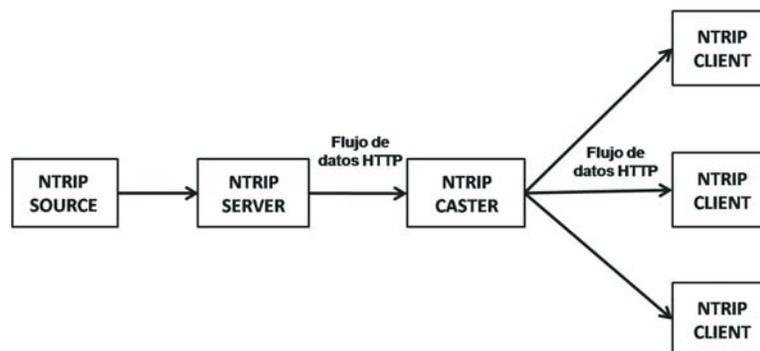


Figura 1. Arquitectura del NTRIP.

modalidades afines como el RTK convencional. Esto resulta beneficioso para aquel usuario que no pueda contar con un mínimo de dos receptores para llevar a cabo el trabajo de campo en modo diferencial.

Por otra parte, el usuario debe en primer lugar, poder acceder a las correcciones diferenciales pues no basta con disponer del instrumental. Todo usuario interesado puede registrarse debidamente en la base de datos del *International GNSS Service* (IGS), de manera completamente libre y gratuita a través de la siguiente dirección: <http://www.igs-ip.net/home>.

La recepción de la señal de corrección diferencial vía NTRIP, es canalizada a través de una aplicación informática asociada al hardware comercial o en su defecto gratuita, como por ejemplo *GNSS Internet Radio* que debe ser instalada previamente en el dispositivo que permita la conexión a Internet (PC, laptop, PDA o teléfono celular) [4]. El software define el entorno del usuario NTRIP al permitir la comunicación y transferencia de los datos GNSS a un IP establecido propio del IGS. Los transmisores NTRIP del IGS están protegidos, siendo esta la razón por la cual todo usuario debe estar registrado.

En Venezuela, desde el 31 de octubre de 2008, la estación REMOS Maracaibo (MARA), forma parte de la red mundial de estaciones NTRIP del IGS y ha venido funcionando de manera experimental como proveedor de estas correcciones para toda la colectividad geodésica nacional e internacional. En la Figura 2 se muestra la



Figura 3. Configuración del NTRIP en la estación Maracaibo.

ubicación relativa de la estación y la red NTRIP en su conjunto; por su parte, la Figura 3 representa los segmentos NTRIP propios de la estación. Se espera que en un futuro próximo toda la red de estaciones GNSS permanentes del país pueda ofrecer este servicio en forma conjunta.

Desde el punto de vista operativo, el trabajo de campo es relativamente sencillo, además de hacer la debida instalación del receptor GNSS según las características de la aplicación, solo es necesario establecer la conexión con el servidor NTRIP del IGS. También es posible conectarse al servidor de la estación MARA siempre y cuando se tenga acceso autorizado. Esto implica que pueden recibirse las correcciones estimadas desde otras estaciones de la red sin importar su ubicación geográfica; naturalmente, los efectos propios de la longitud de las líneas base pueden hacerse evidentes sobre las determinaciones así



Figura 2. Red de estaciones IGS NTRIP.

como otros factores inherentes a la transmisión de la señal como por ejemplo la latencia.

En esta investigación fueron evaluadas mediciones GNSS en modo estático y estático-rápido, siendo este último ideal para trabajos de producción que requieran un elevado número de estaciones levantadas por unidad de tiempo. Una amplia gama de aplicaciones pueden beneficiarse con esta modalidad de observación, desde un levantamiento parcelario con fines catastrales hasta la adquisición de datos geoespaciales para la confección de un SIG, incluyendo la generación de puntos de control terrestre para la georreferenciación de imágenes satelitales de mediana y alta resolución espacial.

Cabe destacar que la estrecha dependencia que tiene el NTRIP de la Internet representa su principal desventaja cuando se desee utilizar en zonas rurales del país e inclusive en aquellas áreas semi-urbanas donde la cobertura del mundo virtual no esté totalmente establecida. Se espera que en los próximos años esta situación esté completamente solventada gracias al lanzamiento del primer satélite venezolano de telecomunicaciones, el Simón Bolívar.

Validación de resultados

En el año 2007, la empresa *Mediciones Científicas e Industriales C.A.* (MECINCA), realizó las primeras mediciones GPS con auxilio de correcciones NTRIP. Estas pruebas consistieron en la ocupación de diversos puntos ubicados dentro de un radio de aproximadamente 40Km con respecto a una estación base colocada en sus instalaciones, en la ciudad de Caracas, D.C. [5]. Se emplearon instrumentos receptores de una y doble frecuencia para este ensayo. Las correcciones recibidas fueron generadas por la referida estación base (fuente local) y retransmitidas desde el Caster del IGS. Para ello, se utilizó un dispositivo de telefonía celular con el fin de establecer la conexión a Internet.

Los resultados obtenidos fueron contrastados con aquellos provenientes del posicionamiento estático diferencial postprocesado que se realizó para cada estación ocupada, y adicionalmente con posiciones obtenidas mediante observaciones RTK convencionales. Tal y como era de esperarse, se apreció una correlación entre la

longitud de las líneas bases y las exactitudes de las coordenadas, de manera que mientras mayor fue la distancia de separación base-rover, menor fue la exactitud. No obstante, las diferencias medias entre los modos de posicionamiento ensayados oscilaron en el orden de los $\pm 0,003\text{m}$ y $\pm 0,020\text{m}$ para separaciones de 1 y 30Km respectivamente.

Ante la potencialidad de esta herramienta de posicionamiento GNSS y su posible proyección a nivel nacional, gracias a la instalación de instrumental de última generación en la estación SIRGAS-REGVEN-REMOS Maracaibo, el *Laboratorio de Geodesia Física y Satelital de la Universidad del Zulia*, asumió la tarea de investigar más a fondo las bondades del NTRIP y sus aplicaciones.

En tal sentido, se planificó y ejecutó un conjunto de observaciones satelitales GPS tanto postprocesadas como en tiempo real NTRIP, en diversos sitios de la ciudad de Maracaibo y la Costa Oriental del Lago en el Edo. Zulia, utilizando receptores Thales Z-Max (de dos frecuencias) y Magellan Promark 3 (de una frecuencia), además de la estación permanente Sokkia GRS2700. Para establecer la conexión a Internet se dispuso de un teléfono celular con tecnología CDMA, el cual sirvió como modem; a través de una laptop y una controladora manual, se definió el enlace con los receptores GPS. En la Figura 4 se ilustran las configuraciones instrumentales para cada receptor utilizado.

La idea general fue la de realizar mediciones sobre puntos seleccionados a diferentes radios de separación con respecto a MARA recibiendo así la corrección NTRIP, para comparar sus resultados con los provenientes del posicionamiento estático postprocesado hecho sobre las mismas estaciones. De esta forma fue posible analizar los efectos del uso de una o dos frecuencias portadoras, longitud de las líneas bases, obstrucciones e interferencias a la señal GPS, latencia y otros factores, sobre las observaciones en tiempo real estudiadas.

El criterio predominante para la planificación de los ensayos fue la evaluación de los resultados en función de la separación con respecto a la estación MARA. Para ello, se seleccionó un total de 13 puntos de observación formando así radios de acción entre los 5m a 120Km, en la Figura 5 se presenta la ubicación relativa entre los

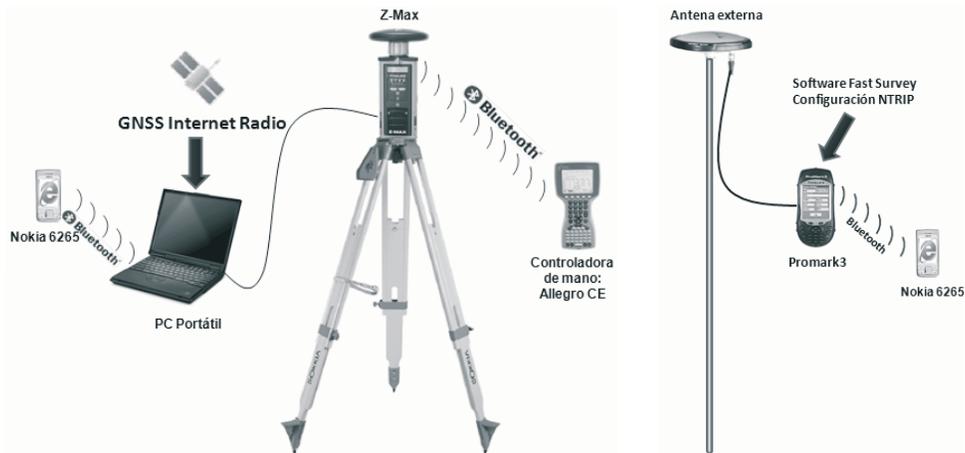


Figura 4. Configuración instrumental para el Thales Z-Maz (izq.) y Magellan Promark 3 (der.).

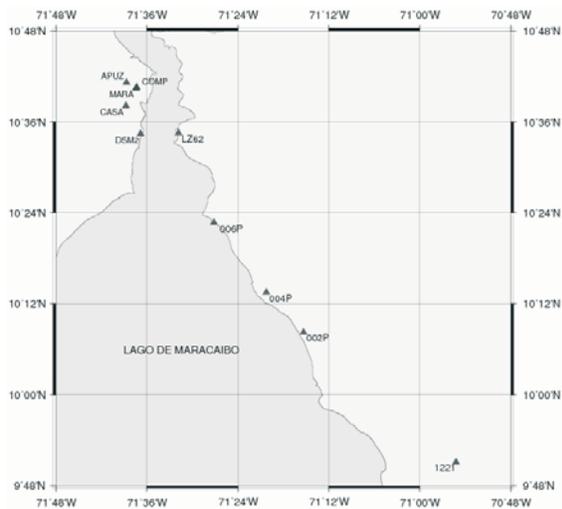


Figura 5. Ubicación relativa de las estaciones GPS NTRIP seleccionadas para el ensayo.

puntos; las condiciones del entorno para cada estación resultaron, en algunos casos, un poco adversas debido a la presencia de obstrucciones tanto vegetales como estructurales.

Cada una de las estaciones fue ocupada con los instrumentos receptores mencionados, contando entonces con determinaciones en tiempo real NTRIP con una y doble frecuencia portadora de manera independiente. Parámetros como la latencia, la fijación de ambigüedades *in situ* y los estimadores estocásticos de precisión interna arrojados por el receptor (HRMS y VRMS), se consideraron durante la etapa de adquisición con el fin de aceptar o rechazar las coordenadas estimadas.

Las mediciones estáticas postprocesadas sobre las mismas estaciones, se diseñaron y ejecutaron con la rigurosidad del caso. A fin de proporcionar resultados confiables que sirvieran como patrón de comparación, se llevó a cabo un cálculo con software cuasi-científico tomando en cuenta las bondades de este tipo de plataformas [6]. Adicionalmente, y con la finalidad de evaluar este tipo de mediciones en tiempo real en trabajos topográficos rutinarios, también se ejecutó un levantamiento planimétrico de los detalles presentes en un área de prueba seleccionada, siendo esta el *Parque Vereda del Lago*, situado al este de la ciudad de Maracaibo.

La operación consistió en la determinación de las coordenadas correspondientes a puntos que permitieran delinear aceras, jardinerías, estructuras y otros elementos. Como patrón de comparación, se midieron con cinta las longitudes y grosores de las mismas. La versatilidad del NTRIP para este tipo de aplicaciones resultó evidente durante el trabajo de campo, el tiempo de ocupación por estación no superaba un minuto, durante el cual se situaba el instrumento y se verificaba la recepción de la señal satelital y NTRIP. Por otra parte se supera la problemática de la pérdida de conexión entre bases y rovers, muy común en mediciones RTK convencionales [7].

Resultados y análisis

La bondad de los resultados obtenidos luego de efectuar el trabajo de campo y comparar las

determinaciones con aquellas provenientes del postprocesamiento, fue altamente satisfactoria en todos los puntos levantados dentro de los diferentes radios de acción, aun en las estaciones que presentaron horizontes obstruidos y dificultades para la recepción de la señal GPS. Las comparaciones son mostradas en la Tabla 1.

En la Figura 6 se presentan las diferencias absolutas entre las coordenadas estimadas a partir de observaciones GPS-NTRIP con ambas frecuencias portadoras y las postprocesadas con

software cuasi-científico. Las mediciones en tiempo real se hicieron hacia un mínimo de 6 satélites con un PDOP medio de 2 y una latencia en la señal diferencial de 2 segundos.

El comportamiento de las determinaciones en la componente horizontal describe una tendencia similar, las variaciones con respecto a las coordenadas patrón no exceden los $\pm 3\text{cm}$ con excepción de la estación ubicada a 5Km de MARA, en cuyos alrededores se encuentran árboles de considerada elevación. No obstante, la compara-

Tabla 1
Diferencias obtenidas entre coordenadas NTRIP y derivadas del postprocesamiento

Dist. (Km)	NTRIP-L1&L2				NTRIP-L1			
	$\Delta\phi$ (m)	$\Delta\lambda$ (m)	Δh (m)	Amb/Lat.	$\Delta\phi$ (m)	$\Delta\lambda$ (m)	Δh (m)	Amb/Lat.
0,005	0,008	0,001	0,089	Fija/2s	0,001	0,001	0,129	Fija/2s
0,006	0,010	0,002	0,112	Fija/2s	0,003	0,008	0,114	Fija/2s
0,017	0,014	0,020	0,130	Fija/2s	0,014	0,009	0,122	Fija/2s
0,275	0,008	0,019	0,018	Fija/2s	0,004	0,004	0,030	Fija/2s
1,500	0,005	0,007	0,050	Fija/2s	0,013	0,014	0,015	Fija/2s
2,000	0,015	0,015	0,065	Fija/2s	0,019	0,014	0,030	Fija/1s
5,000	0,061	0,008	0,089	Fija/2s	0,002	0,001	0,096	Fija/1s
11,134	0,002	0,018	0,168	Fija/2s	0,038	0,020	0,028	Fija/2s
14,959	0,020	0,025	0,066	Fija/2s	0,411	0,566	0,014	Flot/2s
37,755	0,007	0,022	0,227	Fija/3s	0,107	0,524	0,402	Flot/2s
58,809	0,006	0,015	0,170	Fija/2s	0,019	0,197	0,196	Flot/2s
71,863	0,025	0,005	0,129	Fija/2s	0,233	0,315	0,119	Flot/2s
119,279	0,227	0,189	0,151	Flot/3s	-	-	-	-

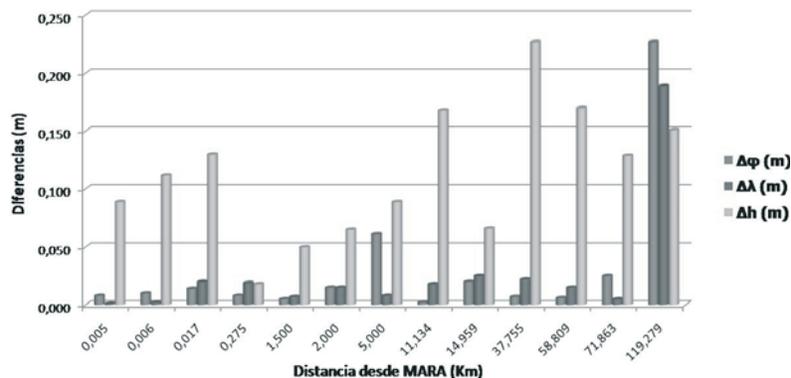


Figura 6. Comparación entre coordenadas postprocesadas y NTRIP para doble frecuencia.

ción en latitud para la misma arrojó una discrepancia de $\pm 6\text{cm}$.

Para la componente vertical la variabilidad es más acentuada, naturalmente, es sabido que la determinación de alturas con GPS es afectada significativamente por diversas fuentes, las cuales están presentes en toda modalidad de medición existente, sin ser el tiempo real NTRIP la excepción. En el caso de los ensayos efectuados, a diferencia del comportamiento mostrado por las componentes planimétricas en función del radio de acción, la altura mostró variaciones aleatorias con valores mínimos de $1,8\text{cm}$ y máximos de $27,1\text{cm}$. En todas las determinaciones se obtuvo una solución fija, excepto en aquella correspondiente a la máxima longitud de línea base (120Km), siendo esta de tipo flotante. El efecto de la resolución de ambigüedades se aprecia claramente en la Figura 6, incrementándose las diferencias a valores medios de 20cm .

Las comparaciones entre las observaciones GPS NTRIP de una frecuencia, con respecto a las coordenadas patrón, arrojaron las diferencias absolutas representadas en la Figura 7. El uso de la portadora L1 como magnitud observable en este tipo de mediciones, solo resultó efectiva para líneas menores de 11Km aproximadamente, es decir, líneas base cortas. Las determinaciones en posición dentro de este intervalo no sobrepasaron los $\pm 5\text{cm}$, mientras que para la componente vertical las exactitudes se ubicaron entre $\pm 3\text{cm}$ y $\pm 15\text{cm}$.

En ninguna de las determinaciones registradas por encima de los 11Km de separación con respecto a la estación base MARA, se logró fijar ambigüedades siendo flotantes las soluciones;

aunque se midió hacia la misma cantidad de satélites y los valores medios de latencia también se ubicaron en 2 segundos, puede inferirse que la aplicación de observaciones en tiempo real NTRIP con una frecuencia quedan contraindicadas sobre aquellas estaciones localizadas a distancias mayores a la mencionada, en donde los efectos atmosféricos (ionosfera y troposfera) son apreciables, si se buscan exactitudes en un orden centimétrico bajo. Debe destacarse que solo se realizaron comparaciones hasta los 80Km de separación, en contraste con las mediciones con doble frecuencia que fueron realizadas hasta los 120Km , la razón se debe a que a esta distancia la resolución de ambigüedades comenzó a ser flotante para una frecuencia en los puntos sucesivos.

Con relación al levantamiento planimétrico NTRIP realizado sobre el área de prueba, y solo con instrumental de una frecuencia, puede decirse que los beneficios en términos de productividad, costos y calidad, resultaron altamente satisfactorios; un total de 38 puntos fueron ocupados. Las primeras mediciones evaluadas fueron las correspondientes al levantamiento de 240m de acera, las diferencias medias con respecto a las mediciones tomadas con cinta métrica (consideradas estas como patrón) alcanzaron valores de $\pm 5\text{cm}$. A partir de las coordenadas obtenidas fue posible representar gráficamente con auxilio de una plataforma CAD, la forma y orientación de la acera, siendo esta coincidente con la realidad.

Aunque el interés principal fue determinar componentes planimétricas, también se registraron valores de altura elipsoidal, siendo estos uniformes a lo largo de todo el perfil levantado. El

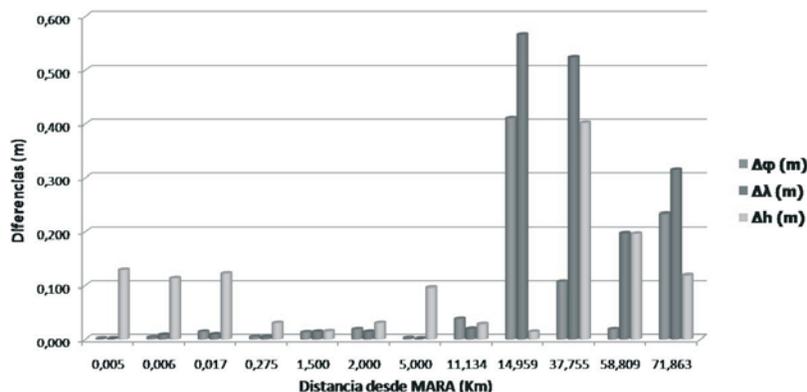


Figura 7. Comparación entre coordenadas postprocesadas y NTRIP para una frecuencia.

tramo de acera levantado es completamente plano, es decir, que se encuentra a un mismo nivel tal como se aprecia en la Figura 8. A partir de las alturas elipsoidales provenientes de las mediciones GPS NTRIP, se pudo obtener un perfil representativo del mismo. Otros detalles como jardineras e infraestructura deportiva también fueron levantados, las diferencias obtenidas con respecto a las medidas patrón, también se ubicaron en $\pm 5\text{cm}$ para la posición.

En cuanto a los costos, previamente se mencionó que el acceso a la red de redes se logró a través de un dispositivo de telefonía celular; ahora bien, obviando la inversión en instrumental y en logística, la única inversión que en el caso venezolano se requiere está relacionada directamente con el servicio de Internet. Con la plataforma tecnológica actual existente en Venezuela, durante un trabajo de campo de aproximadamente 1 hora de duración, el pago a la compañía telefónica por concepto de este servicio fue de BsF. 5,0 lo que equivale a \$2,3. Tal y como puede inferirse, las mediciones GPS NTRIP resultan ser muy beneficiosas en términos económicos, requiriendo inversiones relativamente mínimas para llevar a cabo la adquisición de los datos.

Conclusiones

Se ha demostrado la versatilidad y alta eficiencia de las mediciones GPS NTRIP mediante ensayos basados en comparaciones entre coordenadas obtenidas por medio de observaciones satelitales en tiempo real auxiliadas con este tipo de correcciones diferenciales, con respecto a las correspondientes a observaciones estáticas post-procesadas, realizadas sobre puntos definidos a diferentes radios de separación a partir de la estación SIRGAS-REGVEN Maracaibo, primera estación GNSS permanente adscrita a la red NTRIP del IGS en Venezuela.

La disponibilidad de instrumental adecuado y la posibilidad de acceder a la Internet son los requerimientos básicos que se necesitan para llevar a cabo este tipo de observaciones, haciéndolas menos complejas y más ventajosas en comparación con otros métodos observacionales en tiempo real.

Para distancias comprendidas entre 0,005Km a 120Km, con respecto a la estación



Figura 8. Levantamiento GPS-NTRIP de aceras en el parque Vereda del Lago.

REMOS-Maracaibo, las mediciones con doble frecuencia en tiempo real NTRIP arrojaron exactitudes menores o iguales a $\pm 3\text{cm}$ en posición, manteniendo una tendencia uniforme y estable. Aunque la componente vertical no mostró un mismo comportamiento, la exactitud se mantuvo en el orden de los $\pm 15\text{cm}$ en la mayoría de los casos con valores pico de $\pm 2\text{cm}$ y $\pm 27\text{cm}$. Se apreciaron los efectos de las obstrucciones vegetales y longitud de las líneas base sobre las determinaciones.

Al momento de evaluar el comportamiento de las observaciones con una frecuencia asistidas con estas correcciones diferenciales, los resultados fueron satisfactorios hasta 11Km con respecto a MARA. Dentro de este rango la exactitud en posición se ubicó en $\pm 5\text{cm}$ y entre $\pm 3\text{cm}$ y $\pm 15\text{cm}$ para la altura elipsoidal. Para longitudes superiores a la indicada, la resolución de ambigüedades es flotante, estando presente además los efectos de refracción ionosférica y troposférica, no obstante, las exactitudes derivadas desde esta distancia en adelante, pueden ser útiles en diversos trabajos topográficos que no requieren altos niveles de calidad, es decir, un orden centimétrico bajo. Es importante señalar que a pesar de las condiciones rurales de los sitios seleccionados para llevar a cabo los ensayos, el acceso a Internet no representó una limitante, siendo disponible en todo momento.

Por otra parte, al momento de ejecutar un levantamiento planimétrico de un área de prueba, las coordenadas estimadas para los detalles fueron determinadas con una exactitud de $\pm 5\text{cm}$, en un tiempo relativamente corto y con

un costo de operatividad mucho menor en relación a observaciones estático-rápidas o RTK convencionales.

Tomando en cuenta las consideraciones expuestas y la bondad de los resultados obtenidos luego de cada ensayo realizado, puede afirmarse que esta tecnología apunta a consolidarse como una de las mejores opciones para labores de posicionamiento propias de la Topografía y Geodesia nacional, como por ejemplo aquellas relacionadas con la industria petrolera en cuanto a las fases de exploración y producción, sondeos sísmicos terrestres, hidrografía, actividades vinculadas al catastro, levantamiento de detalles, apoyo a levantamientos fotogramétricos y a las actividades ingenieriles en general.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de LUZ-CONDES-, por el financiamiento otorgado para la ejecución del proyecto "Sistematización para la transmisión vía Internet de data GPS y DGPS en la estación permanente MARA". De igual forma, se agradece el co-financiamiento por parte de la Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología en el Estado Zulia -FUNDACITE ZULIA-.

Además, se deja constancia de la valiosa colaboración y asesoría por parte del Ing. Antonio Márquez (MECINCA) durante todas las etapas previas al inicio del proyecto y su implementación.

Referencias

1. Pratap M. y Misra E.: "GPS: Signals, Measurements and Performance", 2nd Ed. Ganga-Jamuna Press. 2006. pp 148-155. Lincoln-Massachusetts, EEUU.
2. Seeber G.: "Satellite Geodesy", 2nd Ed. Walter de Gruyter. 2003. pp. 289-297. Berlín, Alemania.
3. BKG: "Übertragung von GNSS-Echtzeitdaten über Internet und Mobilfunk". Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. 2007. Frankfurt, Alemania.
4. Waese C.: "NTRIP purposes and perspectives". 2nd Trimble GPSnet Users Seminar. 2006. München, Alemania.
5. Márquez A. "NTRIP, herramienta indispensable para la Cartografía y el Catastro". II Jornadas Nacionales de Geomática. 2007. Caracas, Venezuela.
6. Cioce V., Hoyer M., Suárez H., Camarillo D.: "Evaluación de algunas variantes en el procesamiento de mediciones GPS". II Jornadas Nacionales de Geomática. 2007. Caracas, Venezuela.
7. Elneser L. y Manzano N.: "Planificación de mediciones GPS RTK basada en análisis espacial y modelos de propagación de ondas". Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Geodésica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. 2006. Maracaibo, Venezuela. pp. 38-51.

Recibido el 22 de Abril de 2009

En forma revisada el 5 de Octubre de 2009