

RESUMEN

El uso del protocolo NTRIP para la realización de observaciones GNSS en tiempo real, es sin duda alguna, una de las modalidades de estimación precisa de coordenadas con amplia aceptación a nivel mundial y su optimización ha sido objeto de estudio en los años recientes. A partir de las experiencias existentes en Venezuela, se comenzó una etapa de implementación práctica para la resolución de problemas cotidianos dentro del ámbito propio de la Topografía y el Catastro. En este sentido, se llevaron a cabo levantamientos en tiempo real asistidos por el referido protocolo, demostrando su eficiencia en labores como la actualización cartográfica con fines catastrales, verificación de linderos, mensuras, apoyo a la georreferenciación de imágenes, entre otras. Este trabajo expone las ideas básicas y procedimentales que fueron materializadas para su fin dentro del perímetro urbano y extraurbano de la ciudad de Maracaibo al occidente del país.

CATASTRO Y CARTOGRAFÍA EN VENEZUELA

La confección y mantenimiento del catastro resulta de gran importancia para aquellas actividades asociadas con la ordenación territorial, planificación urbana, desarrollo agrario, demografía, asuntos tributarios, entre otros; siendo responsabilidad del Estado en todos sus niveles e involucrando a varios organismos públicos.

Siendo el aspecto físico del catastro quien establece la base geoespacial para el sustento de sus otras dos componentes (i.e. jurídico y económico), el proceso de elaboración cartográfica debe garantizar la adecuada ubicación geoespacial de los elementos sujetos al registro catastral, lo que implica a su vez la ejecución de levantamientos que satisfagan los criterios de calidad establecidos para tal fin.

Al ser el Municipio la unidad político-administrativa primaria de la organización nacional de la República, recae sobre esta entidad todo lo relacionado al catastro dentro de su jurisdicción, regulando las actividades propias de manera autónoma. Esta particularidad permitió que cada Municipio del país contase con sus propias normas y especificaciones para el levantamiento, representación y administración de su información geoespacial con fines cartográficos y catastrales. Un ejemplo de ello se sigue presentando en la ciudad de Maracaibo.

Con la adopción en 1999 de SIRGAS-REGVEN (*Sistema de Referencia Geocéntrica para las Américas – Red Geocéntrica de Venezuela*) como sistema geodésico de referencia, el IGVSB (*Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar*) como ente rector en la materia, inició trámites conducentes a la estandarización de los levantamientos geoespaciales en Venezuela, de ahí la promulgación de la *Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional* y de las *Normas Técnicas para la Formulación y Conservación del Catastro Nacional*.

A la fecha, el IGVSB ha dado inicio al *Plan Nacional de Catastro*, con el que se pretende contar con una base de información actualizada, segura y permanente, con la cual las comunidades puedan diseñar sus planes, programas y proyectos de desarrollo integral (IGVSB, 2013). Este busca establecer un nuevo orden territorial que permita corregir el caos generado por la anarquía y avanzar en la democratización de la información geográfica, cartográfica y catastral.

La implementación de novedosas tecnologías para la adquisición de datos e información geoespacial, como el GNSS-NTRIP (*Global Navigation Satellite System – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*), resulta atractivo y ofrece amplias ventajas respecto a otras alternativas de posicionamiento, así como en la generación y/o actualización de productos cartográficos con fines catastrales, partiendo naturalmente, de una infraestructura geodésica adecuada.

MARACAIBO Y SU CONTEXTO CATASTRAL Y CARTOGRAFICO

El Municipio Maracaibo del Estado Zulia-Venezuela, cuya ubicación relativa se muestra en la Figura 1, abarca en su mayoría a la ciudad del mismo nombre, siendo su capital y la segunda en importancia a nivel nacional. Se extiende sobre una superficie aproximada de 393 km² dividida en 18 Parroquias y con una población poco mayor a los 2 millones de habitantes.



Figura 1. Ubicación relativa de la ciudad de Maracaibo (DigitalGlobe, 2013).

La principal fuente de información cartográfica existente y utilizada por el Municipio para fines catastrales, proviene de vuelos fotogramétricos y vectores derivados de la correspondiente digitalización (Barrios y Canga, 2012). Ante el crecimiento descontrolado de la ciudad durante los últimos años, el plano digital de Maracaibo ha quedado desfasado y no refleja fielmente la configuración de los elementos geoespaciales sujetos a registro catastral, imperando la necesidad de una actualización de toda la información cartográfica. A esto debe sumarse la problemática ocasionada por la ejecución de los levantamientos topográficos sin tomar en cuenta el marco de referencia oficial del país y la carencia de una red geodésica que lo densifique.

De hecho, toda información cartográfica del Municipio, existente o que sea generada, debe ser referida por disposición legal, al denominado *Sistema Catedral de Maracaibo*. El mismo tiene un carácter local y por años ha sido utilizado por el órgano municipal a través de su materialización por medio de una poligonal urbana, ilustrada en la Figura 2.



Figura 2. Plano digital de Maracaibo (izq.) y Poligonal Urbana (der.).

El Sistema Catedral de Maracaibo tiene las siguientes características (Royero, 2003):

- Es plano, con origen definido por el par ordenado N, E = (200000, 200000) m, físicamente situado en la parte superior del campanario de la catedral de la ciudad, como se indica en la Figura 3.
- El origen geométrico corresponde a la proyección del origen físico sobre la superficie coincidente con el NMM.
- Su eje N-S coincide con el meridiano del lugar y el eje E-W con el primer vertical.
- Se considera como una proyección azimutal oblicua, tangente a la superficie terrestre en el origen Catedral.

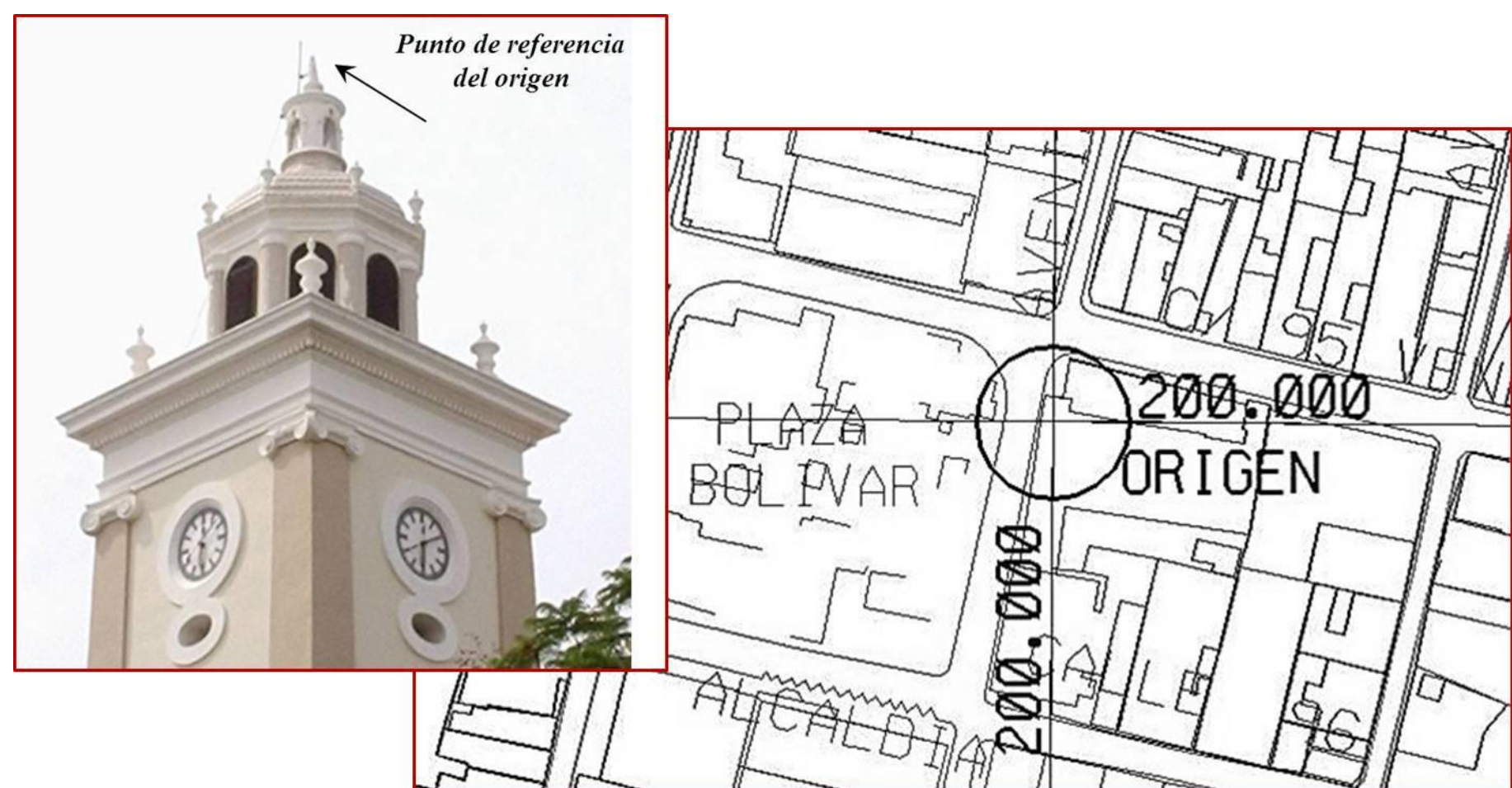


Figura 3. Origen físico del sistema Catedral de Maracaibo.

Eventualmente, fue necesario expresar la información catastral de la ciudad al datum La Canoa-Hayford (PSAD-56), obligando a determinar las coordenadas del Origen Catedral referidas al mismo. Royero (2003) realizó la posterior transformación a SIRGAS-REGVEN ofreciendo además una alternativa para la migración del datum, no obstante, a la fecha esto no ha sido implementado.

¿POR QUÉ GNSS-NTRIP?

En Venezuela instituciones públicas (Universidad del Zulia, Petróleos de Venezuela S.A.) y privadas (MECINCA) han acumulado experiencias en el desarrollo y utilización del NTRIP como una tecnología eficaz para obtener posiciones en tiempo real mediante GNSS para diversos fines, reportadas por Márquez (2007), Briceño y Mass I Rubi (2009), Ramos y Viloria (2009), Cioce et al. (2010) y más recientemente Barrios y Canga (2012). Se cuenta además con la presencia de la estación SIRGAS-CON Maracaibo, incorporada en 2008 a la red IGS-IP.

Esto ha permitido demostrar la versatilidad de las observaciones en tiempo real asistidas por el protocolo NTRIP, haciendo más productivos y rentables los levantamientos de datos e información geoespacial manteniendo e incluso mejorando los niveles de calidad en las estimaciones, en comparación con la modalidad RTK estándar o bien la estático-rápida en postproceso.

Se presenta entonces una problemática: la necesidad de actualizar la cartografía municipal apejándose a la normativa legal, pues cambios en la configuración urbana de la ciudad son evidentes, situación que se aprecia en el resto del país, esto implica la no disposición de información geoespacial que soporte la actividad catastral de una manera eficiente, precisa y sobre todo, apegada a la ley respectiva. Si bien se han venido adelantando esfuerzos para la adaptación de la infraestructura geodésica catastral, los mismos se encuentran en fase de implementación o certificación.

Y también una posible alternativa: aprovechando las novedosas tecnologías de adquisición geoespacial, como el posicionamiento GPS/GNSS en tiempo real asistido por el protocolo NTRIP, la actualización de la infraestructura geodésica municipal pudiera ser viable, representando un medio atractivo y relativamente económico para soportar las diferentes labores propias de la confección física del catastro.

La tecnología NTRIP ofrece un posicionamiento preciso que cumple con las exigencias establecidas por ley y además permite la vinculación directa con el sistema de referencia continental SIRGAS, favoreciendo la integración en materia geoespacial de la región.

Una diversificación del NTRIP entre la comunidad de usuarios en Venezuela dependerá en gran medida del óptimo funcionamiento de REMOS y de la instalación de un *caster* nacional, de la misma forma, la conformación de un Sistema Geodésico Nacional integrado, consistente y de vanguardia es de interés estratégico para la ordenación territorial.

ADQUISICIÓN GEOESPACIAL CON NTRIP

Para efectos de este trabajo fueron seleccionadas algunas locaciones dentro de la ciudad de Maracaibo y zonas adyacentes, para el levantamiento de datos geoespaciales de interés cartográfico y catastral, utilizando mediciones GPS en Tiempo Real NTRIP. Las líneas-base conformadas respecto a la estación Maracaibo presentaron una extensión entre los 3 y 23 km, estas son representadas en la Figura 4.

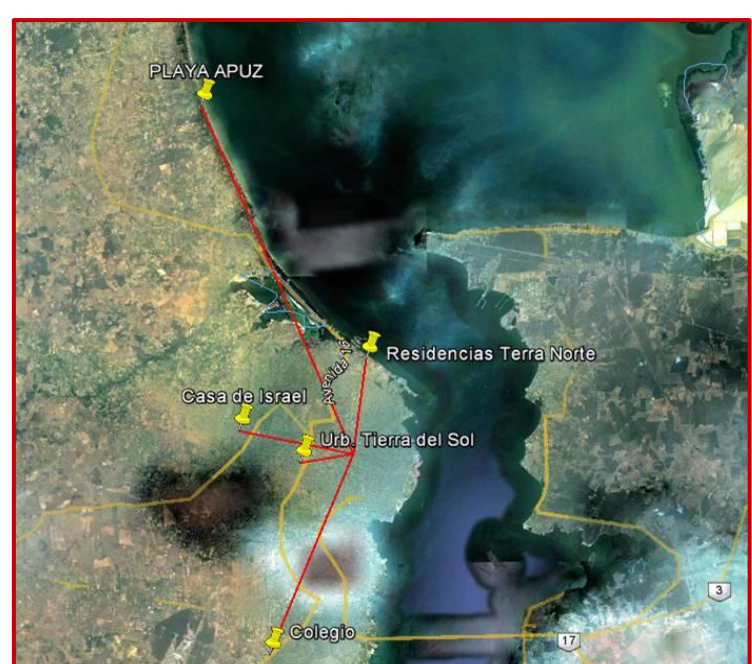


Figura 4. Líneas-base formadas entre la estación Maracaibo y las locaciones de prueba.



Figura 5. Configuración instrumental utilizada para las labores de campo.

Se utilizó un receptor GPS de frecuencia simple capaz de soportar el protocolo NTRIP, y para garantizar acceso a Internet, dispositivos de telefonía celular con tecnología GSM y 3G, evaluando a su vez el estado actual de estos servicios dentro del área de estudio. La configuración instrumental se ilustra en la Figura 5.

Los elementos levantados pueden ser apreciados en la Figura 6, en cada locación se realizaron las observaciones sobre los límites de inmuebles, edificaciones, caminerías y similares. Para efectos del control de calidad, observaciones en modo estático-rápido postprocesado fueron ejecutadas.



Figura 6. Elementos sujetos al levantamiento con GPS-NTRIP.

Uno de los aspectos analizados durante estas pruebas, fue la calidad obtenida en cada estimación GPS-NTRIP sobre las locaciones a diferentes distancias de la estación de referencia, con respecto a la cantidad de épocas de medición. Las determinaciones se hicieron con 3, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 épocas, recibiendo datos GPS L1 a 1 segundo.

De esta manera, se obtuvo un nivel de calidad consistente en todas las estimaciones realizadas, ubicándose en el orden medio de $\pm 0,03$ m con solución fija (líneas inferiores a 10 km por limitaciones propias del instrumental utilizado), lo que puede apreciarse en la Figura 7, independientemente de la cantidad de épocas registradas.

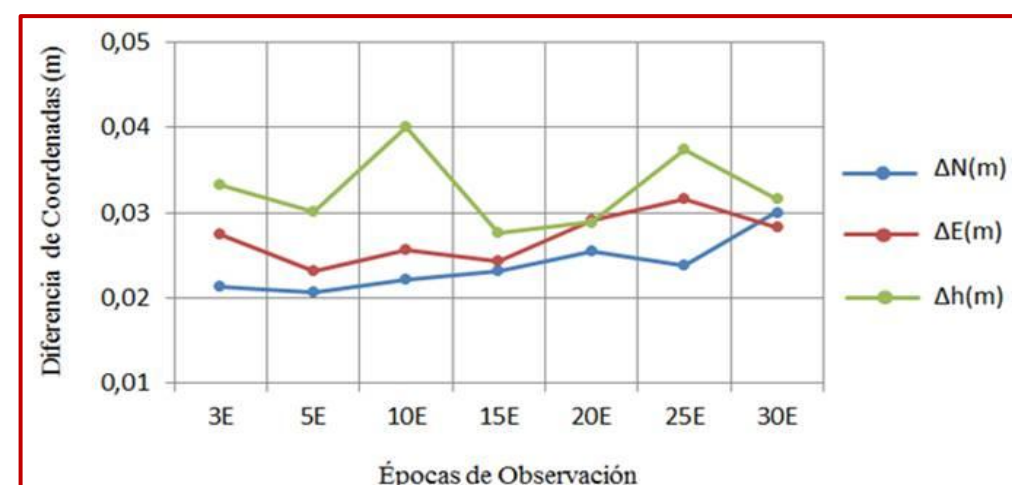


Figura 7. Diferencias de coordenadas estimadas a partir de las épocas de registro utilizadas.

En términos de la línea-base, como era de esperarse, las mejores estimaciones resultaron para aquellas comprendidas entre los 3 y 13 km, no obstante, para la línea-base de 23 km, los resultados arrojaron una incertidumbre en el orden de los 0,20 m en posición horizontal, con solución flotante. Tratándose de una zona rural, estos resultados se consideran aceptables pues según la normativa catastral, las estimaciones deben estar por debajo de los 0,50 m en dichas zonas. Con el uso de doble frecuencia, estas diferencias resultarían centimétricas (Briceño y Mass I Rubi, 2009). La Figura 8 representa las diferencias según las líneas-base ocupadas.

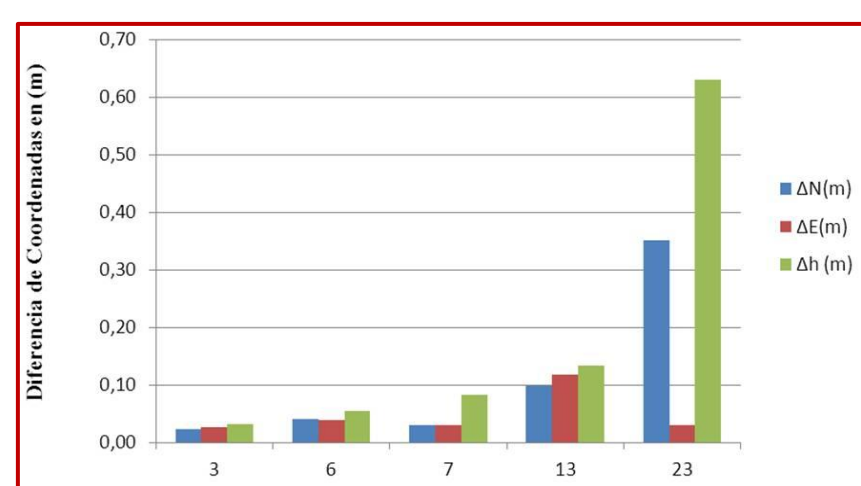


Figura 8. Diferencias de coordenadas en función de la longitud de línea-base.

Con estas pruebas queda demostrado dentro del contexto catastral y cartográfico venezolano, que la implementación del GNSS-NTRIP representa mayor rapidez para los procesos de adquisición geoespacial en comparación con las metodologías comúnmente empleadas, y además, que una baja cantidad de épocas de registro (e.g. 3 ó 5) le otorga a la estimación un nivel de calidad satisfactorio. Estos resultados son reproducibles en cualquier sitio dentro del perímetro municipal urbano y en caso de requerirse levantamiento de predios rurales, coordenadas de vértices pueden obtenerse por debajo de 0,50 m con solución NTRIP L1 flotante.

ÁMBITO DE APLICACIONES

Aportes técnicos y económicos pueden ser inferidos a partir de las pruebas realizadas, sobre las actividades que se ejecutan en trabajos cartográficos y catastrales a nivel municipal:

- Obtención de exactitudes menores a 0,10 m sobre líneas-bases de hasta 12 km con equipos de una frecuencia.
- Vinculación con el sistema de referencia vigente (SIRGAS-REGVEN) o actual (ITRF2008), ambos de utilidad constante en el país.
- Agilización y optimización de los procesos que se llevan a cabo en la adquisición de datos geoespaciales, generando reducción de costos, tiempo, personal y aumentando la productividad en campo.

En este sentido, se describen algunas aplicaciones de esta tecnología, que bien pudieran ser utilizada por los organismos públicos y privados no solo en la ciudad de Maracaibo, sino también en el resto del territorio nacional. El control de la calidad de los puntos de la Red Geodésica Municipal, levantamientos parcelarios, verificación de linderos, levantamiento de detalles, planos de mensura y actualización del catastro, son algunas de las aplicaciones factibles.

Se presenta en la Figura 9, un extracto del plano de mensura (referido a Catedral de Maracaibo) correspondiente a uno de los inmuebles levantados durante la realización de este trabajo, cada vértice cuenta con una calidad de 0,03 m y sus dimensiones resultaron plenamente consistentes con la realidad en campo.

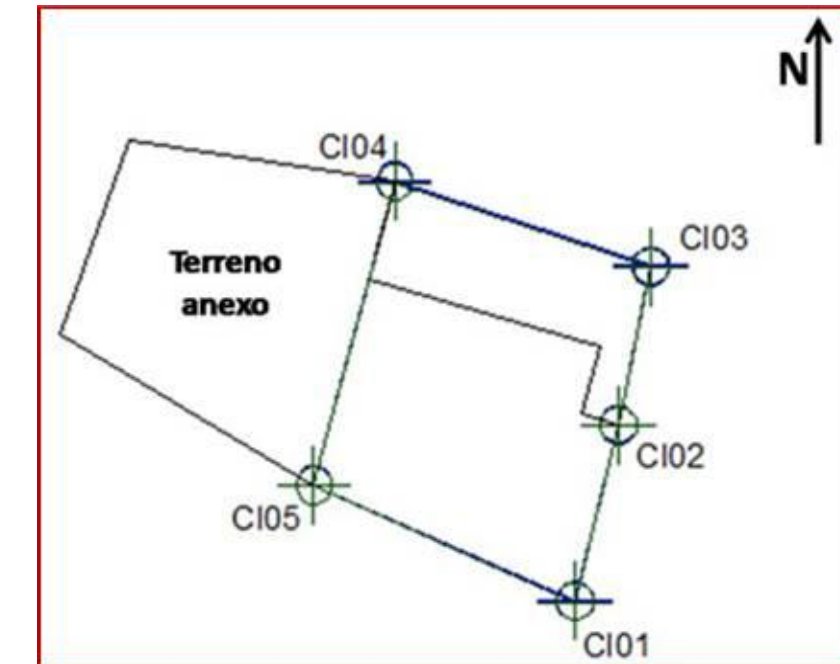


Figura 9. Plano de mensura (extracto) de un inmueble levantado con GPS-NTRIP.

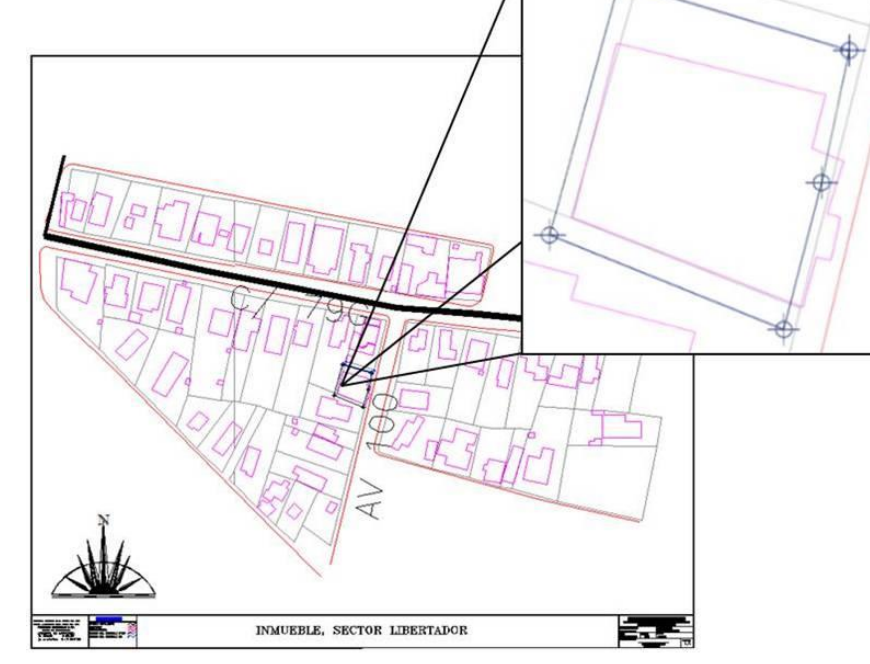


Figura 10. Verificación del mapa digital de la ciudad de Maracaibo.

Este inmueble ocupa hoy en día un terreno anexo en su parte posterior y una inclusión adicional hacia su costado Norte, de aquí otra aplicación potencial: la **verificación del mapa digital de la ciudad**, referido al sistema Catedral de Maracaibo y usado por la Dirección de Catastro del Municipio en sus actividades cotidianas. Al superponer sobre dicha base cartográfica, la información derivada del GPS-NTRIP (líneas en color azul de la Figura 10), pudo contrastarse la situación actual de los linderos así como un desplazamiento de ± 2 m entre los vértices levantados con GPS respecto al mapa, que se atribuyen a las deficiencias de la digitalización de los productos fotogramétricos que conllevaron a la confección del mismo.

Queda demostrado que la verificación de linderos y detección de inconsistencias en la información cartográfica es confiable con el empleo de esta tecnología. Por otra parte, considerando que el mapa base de la ciudad ofrece una configuración de elementos que para la fecha actual no necesariamente se mantiene o bien no están contenidos en él (e.g. nuevas edificaciones, desarrollo vial, ampliación de terrenos, parcelamientos, entre otros), se emplearon los levantamientos GPS-NTRIP para desarrollar otra aplicación: la **actualización del mapa de la ciudad**.

Las Figuras 11 y 12 muestran la inclusión en el mapa digital de la ciudad, de una parte del circuito vial interno de un conjunto residencial, no representado en la base cartográfica y en la que solo se contaba con el perímetro del terreno, esto debido a que para el año de realización del vuelo fotogramétrico no existían las residencias ubicadas hacia esta zona de Maracaibo. Para esta prueba fue utilizado el mapa digital georreferenciado por Royero (2003) y no el de la Alcaldía del Municipio.

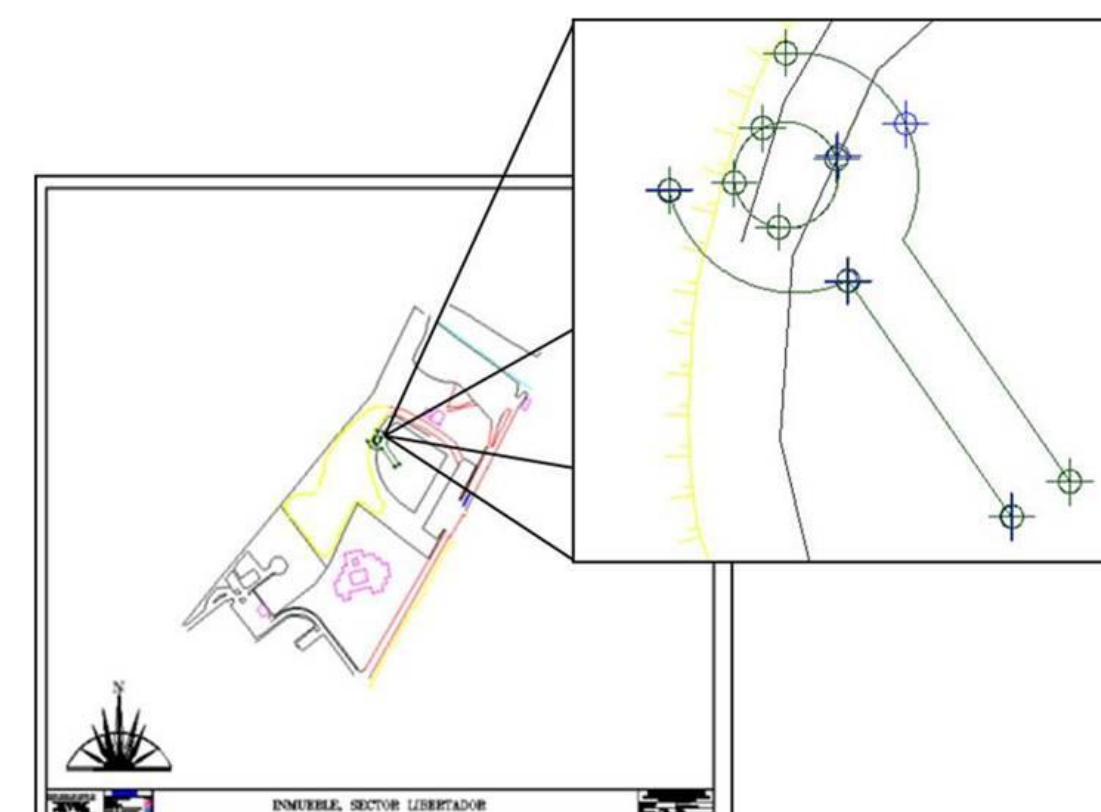


Figura 11. Inclusión de nuevos elementos al mapa digital de la ciudad.



Figura 12. Vista del conjunto residencial tomado para la prueba de actualización.

Con la implementación del protocolo NTRIP para efectuar levantamientos GPS/GNSS en tiempo real, se dispone entonces de una herramienta valiosa al momento de adquirir datos geoespaciales que permitan la generación de mapas actualizados, confiables y en un sistema/marco de referencia moderno.

Otro ensayo de implementación se dio a partir del levantamiento en un segundo conjunto residencial, que pudiera orientarse a **labores de inspección y control de obra** por parte de los entes gubernamentales responsables. Este consistió en contrastar las medidas de cada inmueble indicadas en el plano arquitectónico de la urbanización, con aquellas derivadas de las observaciones GPS-NTRIP. Las diferencias resultaron en el orden de $\pm 0,09$ m, estando apegadas a la norma.

En materia cartográfica, vale decir que el NTRIP resulta atractivo y confiable para los procesos de producción dentro de dicha área, ofreciendo rendimiento en términos de calidad de la información geoespacial levantada. En el marco del Programa Nacional de Catastro desarrollado por el IGVSB, en donde se tiene previsto generar cartografía urbana a escala 1:1000 (IGVSB, 2012), el uso del tiempo real NTRIP ofrece resultados que sin duda, satisfacen ampliamente la calidad necesaria en la georreferenciación.

Como ejemplo, se presenta en la Figura 13 la disposición de los puntos levantados con GPS-NTRIP, sobre imágenes base ortorectificadas del servicio *web* de ArcGIS, cuya resolución espacial dependiendo de la zona, puede estar por debajo de 1 m.



Figura 13. Disposición de puntos levantados con GPS-NTRIP sobre imágenes base ortorectificadas.

Procesos de georreferenciación para generación de productos cartográficos a diferentes escalas, encuentran en el NTRIP una manera más rápida y confiable para definir los puntos de control terrestre y a su vez para el posterior seguimiento y verificación de los resultados.

COMENTARIOS FINALES

Las pruebas realizadas en las distintas locaciones, demuestran la bondad de las observaciones en tiempo real con el protocolo NTRIP usando la portadora GPS L1 y la ventaja de contar con una estación continua/activa en la zona, que genere correcciones diferenciales.

En Venezuela el desarrollo y futuro del NTRIP pudiera ser exitoso si se impulsa su aplicación, al contar con las herramientas primordiales, ofreciendo al usuario una forma adicional, confiable y sencilla para generar y/o actualizar información cartográfica con fines diversos incluyendo el catastral.

Por ello, promover el uso de la tecnología NTRIP a nivel de los municipios que requieran generar productos catastrales y cartográficos, así como la revisión y actualización de las leyes y normas en la materia, constituyen retos que deben ser asumidos.

REFERENCIAS

- Barrios G. y Canga A. (2012). "Implementación de mediciones GNSS en tiempo real NTRIP en trabajos cartográficos y catastrales" Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Briceño A. y Mass I Rubi L. (2009). "Implementación del servicio NTRIP en la estación GPS de monitoreo permanente REMOS-MARA". Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Cioce V., Wildermann E., Royero G., Espinoza R., Méndez T., Montero M., Espinoza M., Ceballos R. (2010). "Actividades desarrolladas por el Centro de Procesamiento y Análisis SIRGAS de la Universidad del Zulia (CPAGS-LUZ) durante el periodo 2009-2010". Reunión SIRGAS. Lima, Perú.
- IGVSB (2012). "Programa Nacional de Catastro". Disponible en <http://www.igvsb.gob.ve>
- IGVSB (2013). "Programa Nacional de Catastro". Disponible en <http://www.igvsb.gob.ve>
- Márquez A. (2007). "NTRIP Herramienta Indispensable para el Catastro y la Cartografía". II Jornadas de Geomática. Mediciones Científicas e Industriales C.A. MECINCA. Caracas. Venezuela. Disponible en: <http://www.mecinca.com>
- Ramos F. y Viloria D. (2009). "Evaluación e implementación de mediciones GNSS mediante el uso de NTRIP en Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA)". Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Royero G. (2003). "Georreferenciación del mapa digital de Maracaibo en el datum SIRGAS-REGVEN apoyándose en imágenes satelitales y mediciones GPS". Trabajo de Ascenso. Escuela de Ingeniería Geodésica. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.