

Nuevas Tecnologías para el Catastro

Melvin Hoyer

Escuela de Ingeniería Geodésica, Universidad del Zulia

Resumen

El trabajo menciona algunas de las tecnologías modernas que en la actualidad deben considerarse en el catastro, concentrándose en la potencialidad de aplicación en el mismo del Sistema de Posicionamiento Global -GPS-. Al efecto se tratan los usos, exactitudes, sistemas de referencia, modos de medición e instrumental del GPS para trabajos catastrales. Asimismo, la vinculación de este sistema satelital con otras herramientas del catastro moderno como lo son: los sistemas de información geográfica, las imágenes digitales satelitares y las mediciones geodésicas inerciales.

Palabras claves: Catastro, GPS, GIS, mediciones inerciales.

Modern technologies for land registration

Abstract

This paper explains some of the modern technologies to be considered today in cadastre with special attention to the Global Positioning System -GPS-; therefore, uses, exactitudes, reference systems, survey modes and equipments of GPS are handled. It also focuses on the link of this satellite system with other tools of the modern cadastre as: Geographical Information System - GIS - satellite digital images and inertial survey systems.

Key words: Cadastre, GPS, GIS, inertial surveys.

Introducción

El Catastro como registro público y metódico (o inventario organizado) de la propiedad inmueble de una región o país tiene sus orígenes en las civilizaciones más antiguas que han existido, adaptándose a cada región y a cada época según las características propias de cada una de ellas.

Por su carácter multidisciplinario se han derivado diversas denominaciones o clasificaciones: catastro físico, catastro económico o fiscal, catastro jurídico, etc., los cuales deben comprenderse como un todo y no como partes aisladas o independientes.

Los tiempos modernos han visto desfilan una gran variedad de tecnologías, frente a las cuales el catastro no ha podido permanecer estático. Las computadoras, los satélites artifi-

ciales, el desarrollo electrónico en conjunto con modernos conceptos económicos, jurídicos y espaciales han modificado totalmente las técnicas y procedimientos catastrales, redundando en mayor seguridad para el usuario y para los entes oficiales.

El objetivo de este trabajo es identificar los desarrollos tecnológicos que impactan e impactarán los trabajos catastrales de hoy y del mañana, describiendo los aspectos fundamentales de la tecnología satelital para determinar las coordenadas que requieren tanto el catastro básico como otras tecnologías que auxilian a éste.

Se tratan, aun cuando con diferente enfoque y profundidad, cuatro temas:

- el sistema de posicionamiento global -GPS-
- las imágenes digitales satelitares

- los sistemas de información geográfica o territorial -GIS-
- los sistemas de mediciones inerciales

El trabajo hace énfasis en las tecnologías satelitares como apoyo a la información básica que requiere el catastro. La utilización de imágenes satelitares para desarrollar, actualizar y complementar mapas bases catastrales, se incrementa cada día, especialmente en el área rural. Sin embargo, la mayor contribución que los satélites artificiales aportan en la actualidad al catastro, es el potencial de aplicaciones del Sistema de Posicionamiento Global -GPS-, el cual se convierte en el medio más eficaz para determinar las coordenadas más exactas y económicas que requiera cualquier trabajo catastral. Al efecto, este artículo presenta los aspectos que deben considerarse para la utilización del GPS con esta finalidad.

Sin tratar los aspectos fundamentales de las técnicas de obtención y procesamiento digital de imágenes satelitares, ni conceptos o aplicaciones sobre los sistemas de información geográfica, el trabajo vincula la utilidad del GPS para estas otras dos herramientas del catastro moderno.

Aun cuando la tecnología inercial es independiente de los satélites artificiales, el enorme potencial de utilización para el catastro así como las perspectivas cada vez más próximas de que se comercialicen sistemas integrados GPS-inerciales, obligan a considerar este tópico en este trabajo.

La cada vez más creciente sustitución de métodos de posicionamiento convencional por el GPS, en virtud de las altas exactitudes y ventajas económicas (por la menor duración de los proyectos, a pesar del costo del instrumental) se presenta actualmente en el catastro así como en cualquier tarea de las geociencias que requiera coordenadas para su ejecución o utilización.

Sin ninguna duda el GPS está en capacidad de satisfacer en forma rápida y relativamente económica cualquier necesidad de posicionamiento del catastro moderno, en zonas rurales y en las urbanas más densamente pobladas donde el valor de la tierra es muy alto; de igual forma

es un excelente aliado para la utilización de imágenes satelitares y los sistemas de información geográfica en el catastro.

Sistema de Posicionamiento Global -GPS- y el catastro

Antecedentes

La utilización de tecnología satelitar como apoyo a los trabajos catastrales tiene su antecedente en el Sistema Transit, cuya metodología de determinación de coordenadas se conoció con el nombre de "método Doppler" siendo intensamente utilizado en todo el mundo especialmente durante las décadas de los años setenta y ochenta.

La exactitud máxima de las coordenadas Doppler, en el orden de 20 a 30 cm fue suficiente para cualquier tipo de trabajo en zonas rurales y suburbanas, pero fue una limitación para trabajos catastrales muy precisos en zonas urbanas densamente pobladas.

Algunas municipalidades en zonas urbanas y rurales del país apoyaron trabajos catastrales en puntos Doppler, generalmente medidos por empresas privadas para la industria petrolera.

El Sistema de Posicionamiento Global -GPS-

El NAVSTAR (Navigation System Time and Ranging) es el sistema de satélites artificiales que desarrolla el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y en el cual se fundamenta el Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System o GPS). Actualmente se encuentra en la fase final de implementación, previéndose que para el próximo año estén en órbita al menos 21 satélites girando a unos 20.000 Km de altura y en periodos de casi 12 horas, constelación que permitirá que en cualquier lugar del mundo puedan observarse al menos cuatro satélites durante las veinticuatro horas del día. [1]

Los satélites envían continuamente dos señales con frecuencias de 1575 y 1227 MHz, las cuales son moduladas de acuerdo a funciones matemáticas que generan los códigos C/A, P y Y. Estas señales pueden ser recibidas en instru-

mentos producidos comercialmente permitiendo determinar las coordenadas X,Y,Z o latitud, longitud y altura de las estaciones sobre las cuales se coloque la antena.

Desde hace casi diez años se están reportando resultados de mediciones GPS para una gran cantidad de aplicaciones, desde el control geodésico fundamental, apoyo a obras de ingeniería, a trabajos de prospección, al catastro, etc. El mercado está verdaderamente inundado de diferentes marcas y modelos de instrumentos para todo tipo de trabajo.

Aplicaciones

Por ser el GPS básicamente un sistema de posicionamiento por medio de satélites artificiales, su aplicación fundamental en el catastro será proporcionar las coordenadas de puntos de control, en los cuales pueda apoyarse cualquier tipo de trabajo catastral que así lo requiera, por ejemplo:

- la red geodésica catastral
- mensuras
- deslindes
- mapas catastrales

Ventajas importantes de estas coordenadas son: su carácter tridimensional, lo cual permite obtener la posición y la altura de los puntos simultáneamente, así como la posibilidad de vincularlas a cualquier sistema de referencia, global o local. Ventajas que en conjunto con la rapidez y economía de su obtención, las hacen insustituibles como información básica para el catastro moderno.[2]

Exactitudes

La calidad de las coordenadas que se obtienen a partir de mediciones GPS dependerá de varios factores, entre ellos: la longitud de la línea base de la cual se derivan el modo de medición, instrumental y procesamiento empleado, etc. Para observaciones entre distancias de pocos kilómetros se lograrán mejores resultados que para líneas largas. Las mejores precisiones que pueden obtenerse con GPS para el posicionamiento relativo están en el orden de 10^{-7} y 10^{-6} , lo cual significa entre 0.1-1 cm para distancias

de 10 Km y de 1-10 cm para distancias de 100 Km. [3]

Las exactitudes requeridas por el catastro variarán de acuerdo al medio (urbano o rural) y de acuerdo al tipo de trabajo (red de apoyo, mensura etc.). Para la delimitación de parcelas individuales y para la localización y relocalización de límites, las exigencias típicas son:

AREA	TOLERANCIA
Urbana	5 cm
Urbana-Suburbana	10 cm
Rural	50 cm

lo cual indica que GPS está en capacidad de satisfacer los más exigentes requerimientos de precisión del catastro, aún en zonas urbanas de alto valor.

Modo de medición

GPS permite obtener coordenadas absolutas o relativas para los puntos sobre los cuales se efectúan las mediciones. Absolutas, cuando se refieren directamente al centro de gravedad terrestre y no se procesan en conjunto con las mediciones de otra estación. Relativas, cuando se obtiene un vector de componentes DX,DY,DZ (o varios) entre dos o más estaciones.

Existen, a su vez, diferentes modos de medición, los cuales de acuerdo a las clasificaciones más prácticas y modernas [3] se resumen en dos:

- Pseudodistancias a partir de la fase de los códigos
- Pseudodistancias a partir de la fase de las portadoras

Las mediciones pueden ejecutarse en modo estático o cinemático, dependiendo de si la antena del receptor permanece fija o se mueve durante la recepción de la señal del satélite.

Las exigencias de exactitud del catastro, así como la de cualquier otra actividad geodésica, serán satisfechas solamente por el posicionamiento relativo, ya que las coordenadas absolutas GPS por varios motivos, tienen una calidad inferior. Esto significa que se deberá medir simultáneamente con dos o más receptores.

En general, deberán emplearse mediciones de diferencias de fases de las portadoras cuando se requieran altas precisiones como las exigidas por el catastro urbano. Así mismo, el posicionamiento cinemático será preferido al estático, cuando se necesite determinar las coordenadas de una gran cantidad de puntos en poco tiempo, o se disponga de poco tiempo para ejecutar el trabajo catastral.

Sistema de Referencia y vinculación a la red geodésica nacional

Las coordenadas determinadas por GPS se obtienen en el sistema geodésico mundial WGS-84, sin embargo son transformables y utilizables en cualquier datum o sistema, nacional o local, siempre y cuando se conozcan los respectivos parámetros de transformación entre el WGS-84 y el sistema deseado [4]. Esto permite que las mediciones GPS puedan ser perfectamente combinadas con mediciones convencionales (triangulaciones, poligonales, etc.), lo cual es de gran utilidad en el catastro.

Obviamente, en virtud de la baja exactitud que ofrece el posicionamiento absoluto con GPS (hasta cientos de metros con la "selective availability" -SA-), es necesario apoyar siempre las mediciones en estaciones con coordenadas conocidas, es decir, efectuar posicionamiento relativo, lo cual es indispensable y previo a la utilización de buenos parámetros de transformación para expresar las mediciones con fines catastrales en el datum local.

En Venezuela usualmente se apoyan estos trabajos en las estaciones de primer orden o segundo orden de la red de triangulación de la Dirección de cartografía Nacional.

Instrumentos apropiados

La generalización de la utilización del GPS para fines catastrales, dependerá en gran parte de la disponibilidad de receptores de señales satelitales GPS por parte de las oficinas o empresas privadas encargadas de ejecutar estos trabajos, en lo cual el costo del equipo tendrá gran influencia.

Actualmente existe una gran variedad de marcas y modelos de receptores GPS en el mercado. Para trabajos catastrales, será de gran

utilidad la casi totalidad de ellos, dependiendo de la tarea a ejecutar.

El catastro urbano requerirá mediciones GPS efectuadas con instrumentos capaces de procesar la diferencia de fase de las portadoras, de ser posible, en conjunto con los códigos, pero no solamente éstos. Si se trabajara únicamente en distancias cortas, menores de 15 Km, por ejemplo, serán suficientes receptores de una sola frecuencia, de lo contrario se necesitarán receptores de doble frecuencia (ejemplo Trimble SST o Ashtech XII).

De acuerdo a la tarea a efectuarse en el catastro rural, podrán utilizarse instrumentos de alta exactitud (como los mencionados anteriormente), especialmente si se trata de exactitudes sub-métricas se necesitarán instrumentos que trabajen en modo diferencial con la fase de la portadora.

Para exactitudes de pocos metros (1-3 m) pueden utilizarse receptores que midan sólo con los códigos, si están en capacidad de observar la misma constelación satelitar desde ambas estaciones. Trabajos menos exigentes en cuanto a precisión, permitirán el uso de receptores "de bolsillo". La mayoría de las casas fabricantes de instrumentos GPS, ofrecen varios modelos para las diferentes necesidades aquí expuestas (por ejemplo Trimble, Ashtech, Magellan, etc.).

Tal como fue mencionado anteriormente, las mediciones cinemáticas son de gran utilidad para la rápida determinación de coordenadas, por lo tanto, de ser necesario, deberán seleccionarse instrumentos con esta opción de observación.

Un instrumento, estático o cinemático, de una sola frecuencia puede costar en la actualidad entre veinte y treinta mil dólares, los de frecuencia doble aproximadamente diez mil dólares adicionales. Los instrumentos de bolsillo están en el orden de tres a cinco mil dólares. En general, la tendencia de los precios indica que éstos seguirán bajando en los próximos años.

Consideraciones Especiales

Los aspectos antes mencionados permiten derivar algunas conclusiones positivas con respecto a la utilización del GPS para tareas catas-

trales. Otras ventajas adicionales serían las mismas de la aplicación de los satélites artificiales para el posicionamiento en todas las geociencias; por ejemplo, el no requerir intervisibilidad entre puntos, su independencia de las condiciones atmosféricas imperantes, la rapidez de la determinación, etc.

Existen sin embargo otros aspectos adicionales que deben considerarse en forma especial en el catastro, por ejemplo las posibles obstrucciones a la recepción de la señal, lo cual en medios urbanos de altas edificaciones, puede constituirse en un grave problema [5]; al efecto, de acuerdo al caso debe tomarse la decisión mas conveniente: efectuar las mediciones GPS en lugares abiertos (plazas, parques, etc.) y luego combinar con métodos convencionales; medir en la parte alta de los edificios y luego llevar el control a la superficie por técnicas convencionales; o utilizar GPS sólo en la periferia del núcleo urbano. Cada posibilidad debe ser detenidamente analizada y dependerá en mayor parte de la densidad poblacional y de edificaciones del medio urbano a medir, aun cuando de acuerdo al tipo de trabajo, generalmente se encontrará una solución adecuada y se podrán planificar las mediciones GPS sin contratiempo de obstrucciones.

Otro aspecto a considerar es el peligro que se presenta en zonas urbanas de que las mediciones GPS estén afectadas por el error "multipath", producto de señales que registra el receptor no directamente del satélite sino "reflejada" de algún edificio u objeto cercano.

Problema importantísimo es la ausencia de especificaciones técnicas oficiales para ejecutar mediciones GPS con cualquier finalidad, sin embargo esto puede resolverse en el caso del catastro rural y urbano, haciendo formular tales especificaciones por especialistas antes de encargar o acometer las mediciones, para lo cual será necesario solamente definir previamente los objetivos del trabajo catastral para poder así, insertar la planificación, ejecución y procesamiento de las mediciones GPS en la forma más idónea de acuerdo a las necesidades.

Estas especificaciones deben incluir entre otros aspectos: el diseño de la red a ser medida,

el tipo de instrumento, modo de medición, duración de las observaciones, redundancia de observaciones, criterios de aceptación, procesamiento, vinculación con el control existente en la región o país, criterios de combinación con métodos convencionales etc.

De la correcta formulación y cumplimiento de las especificaciones depende el éxito del trabajo.

Imágenes Satelitares, Catastro y GPS

La década de los setenta sorprendió al ámbito científico y técnico en todo el mundo, con la potencialidad de utilización para diversos fines de las imágenes obtenidas desde satélites artificiales. Hoy es casi común en cualquier dependencia pública o privada, fundamentar estudios hidrológicos, ecológicos, edafológicos etc. en imágenes obtenidas por ejemplo por los satélites LANDSAT o SPOT.

El procesamiento digital de las mismas en conjunto con la capacidad de interpretación temática son poderosas herramientas para estudios de suelos, vegetación, cuencas hidrográficas y en general para la planificación del uso de la tierra y de sus recursos.

A medida que la resolución de las imágenes va mejorando, con el lanzamiento de nuevos satélites, se incrementa la posibilidad de identificar detalles en las mismas y por lo tanto de utilizarlas, aún cuando limitadamente, como generadora de información básica para fines catastrales. La resolución espacial del pixel en las imágenes SPOT es actualmente de 10 m para el panchromático y 20 m para el multiespectral, previéndose que el próximo satélite LANDSAT las mejore en algunos metros.

Con la tecnología actual, estas imágenes pueden ser utilizadas para generar o actualizar mapas bases catastrales en áreas rurales y suburbanas, requiriéndose como es lógico, un control de campo para el chequeo y densificación de detalles, trabajo que variará en exigencia de acuerdo a la región, esta información básica será de importancia especialmente en regiones

para las cuales no haya disponibilidad de tomas aéreas para la fotogrametría.

Las imágenes satelitares de grandes ciudades europeas y norteamericanas han permitido examinar las posibilidades y limitaciones de las mismas para fines catastrales, especialmente para la actualización de la información básica. Varias universidades y centros de investigación trabajan actualmente en este aspecto. [6]

Al igual que las tomas aerofotográficas, las imágenes satelitares requieren puntos de control terrestre con coordenadas conocidas para el proceso de corrección geométrica y rectificación, donde el GPS se constituye en la herramienta óptima para determinar las coordenadas de estas estaciones terrestres que deben ser fácilmente identificables en las imágenes. Así mismo, la vinculación de la imagen a cualquier datum o sistema de coordenadas planas, como las UTM, por ejemplo, puede hacerse mediante la medición de coordenadas GPS de puntos seleccionados.

En virtud de que las exactitudes que se requieren para las coordenadas GPS que se utilizan para imágenes satelitares en aplicaciones urbanas y suburbanas son similares a las exactitudes que requiere un GIS, explicaremos más adelante el tipo de posicionamiento GPS para estos fines.

GIS, Catastro y GPS

La relación entre los sistemas de información territorial o geográfica y el catastro, no puede ser más evidente. La información catastral puede ser considerada como un nivel del sistema de información y éste a su vez es un gran catastro de todo el espacio.

Todos los accidentes, fenómenos o atributos, naturales o culturales que integran el GIS, requieren una expresión de su posición espacial la cual debe corresponderse con la realidad de la ubicación de los mismos, para lo cual las coordenadas obtenidas por GPS resultan de suficiente calidad y eficientemente económicas con respecto a otros procedimientos convencionales.

Las aplicaciones más importantes del GPS en la conformación y utilización de los GIS son las siguientes:

- posicionamiento de puntos en imágenes satelitares
- inventario y representación gráfica de infraestructura
- inventario y representación gráfica de la vialidad
- control de líneas costeras
- mapas náuticos
- localización de lugares para deposición de desperdicios
- localizar zonas con riesgo de inundación
- control forestal
- localización de lugares de control (de todo tipo)

El elemento más importante de un sistema de análisis espacial es la exacta concordancia con la información de posición, para lo cual los requerimientos de exactitud pueden y deben ser contrastados con la aplicación deseada [6]. Es obvio que los linderos, derechos de paso y servidumbres deberían estar en el GIS con la mayor exactitud en posición que pueda ser posible. La localización de otros elementos, como límites de zonas boscosas, por ejemplo, no requerirán la misma exactitud que los límites de propiedades.

Las ventajas anteriormente mencionadas para las técnicas de posicionamiento satelitar: carácter tridimensional de sus coordenadas, altísima exactitud, rapidez en su determinación, etc., se potencializan en la aplicación a los sistemas de información.

Aspecto importante en este sentido, es la facilidad con la cual las mediciones GPS pueden expresarse en los sistemas de coordenadas que generalmente utiliza el GIS, lo cual garantiza un mapa base de alta calidad para éste

Sin embargo la consideración más importante que hay que hacer sobre la utilización del GPS para imágenes satelitares o para el GIS es el procedimiento de obtención de las coordenadas en virtud de la exactitud que se requiera. Los casos exigentes pueden referirse como tareas catastrales y ya fueron tratados en la parte 2.5.

sin embargo en general las exigencias de exactitud no son tan altas, pudiéndose considerar de 1 a 3 m, valores estandar.

Muchos usuarios de los GIS se quejan de que las especificaciones que se publican para las mediciones GPS se refieren solamente a trabajos de alta precisión, por lo tanto se han hecho experimentos con procedimientos e instrumentos que satisfagan las exactitudes necesarias para estos usuarios. [6],[7].

La medición diferencial o relativa de pseudoranges a partir del código C/A será suficiente frente a la utilización de la fase de las portadoras, lo cual permite trabajar con equipos receptores portátiles y por lo tanto más económicos. Las mediciones cinemáticas acortarian la duración del proyecto, sin arriesgar la exactitud deseada.

Los instrumentos del tipo Magellan o Pathfinder son muy apropiados para este tipo de trabajos, siempre y cuando se utilicen en modo diferencial (posicionamiento relativo).

En [6] se presentan los resultados de un experimento efectuado en el estado de Virginia, cuyo objetivo fue demostrar la posibilidad y conveniencia de utilizar mediciones GPS en conjunto con imágenes satelitares para aplicaciones urbanas y suburbanas. Las coordenadas de 11 puntos fueron determinadas con el instrumento Pathfinder en modo diferencial y cinemático, obteniendo para las estaciones errores medios de 0.38 a 3.0 m, lo cual garantiza la misma exactitud para corresponder los datos de la imagen al sistema de coordenadas del mapa estatal (UTM), demostrando que se está en capacidad de hacerlo en un orden mejor al de un pixel.

Es evidente que al existir una técnica capaz de determinar la posición de los datos de un GIS en forma rápida, económica y suficientemente precisa, la utilidad y credibilidad del mismo aumentarán significativamente.

Sistemas de Medición Inercial para el Catastro

La navegación aérea ha disfrutado desde hace muchos años de las ventajas de las técnicas de medición inercial, sin embargo apenas

durante la década de los setenta comenzaron a comercializarse instrumentos que permiten aplicar el mismo principio para los levantamientos geodésicos.

Los sistemas de mediciones inerciales están constituidos fundamentalmente por acelerómetros y giróscopos que de acuerdo a un determinado arreglo mecánico en el espacio, permiten medir la variación de la aceleración y orientación de una estación a otra, lo cual tras un complejo proceso de integraciones y cálculos, produce como resultado: la posición en tres dimensiones, la anomalía de la gravedad y las componentes de la deflexión de la vertical para los puntos medidos. [8],[9]

El instrumental colocado en un vehículo debe iniciar su recorrido en una estación cuyas coordenadas sean conocidas, la integración doble (primero para velocidad y luego para posición) del valor que indican los acelerómetros en cada estación en la cual se detiene el móvil, permite el cálculo de las coordenadas.

Exactitudes típicas del posicionamiento inercial son de 10 a 20 cm para la posición, 2 miligales para la gravedad y 2" para las componentes de la deflexión de la vertical. En condiciones óptimas puede mejorarse la calidad de la posición hasta en 5 cm.

Las mediciones inerciales han sido aplicadas en la densificación y control de redes geodésicas, control fotogramétrico, levantamientos geofísicos prospectivos, apoyo a obras de ingeniería civil y en levantamientos catastrales.

La total independencia de factores externos (como los satélites) y de intervisibilidad entre estaciones, la rapidez del trabajo, la posibilidad de medir a cualquier hora y bajo cualquier condición climática, son las mayores ventajas de las técnicas inerciales para el catastro, pero en especial la posibilidad de obviar el mayor problema del GPS en áreas urbanas: las obstrucciones que provocan las construcciones a la recepción de la señal del satélite, lo cual no es ningún impedimento para el trabajo inercial.

Por estas razones la tecnología inercial es una importante herramienta de la cual dispone el catastro para la determinación masiva de

coordenadas, tanto para efectos de la red básica catastral, como para determinación de linderos y tareas afines. La principal desventaja de su utilización la constituye el alto costo actual del instrumental, el cual para proyectos de pocos puntos, resulta antieconómico, en la mayoría de los casos mucho más costoso que el GPS diferencial.

[10] presenta los resultados de un proyecto reciente realizado en Dinamarca, cuyo objetivo principal fue la determinación de coordenadas para estaciones separadas cada 2 Km a lo largo de una poligonal de 21 Km en un área de 10 x 15 Km, las cuales servirían para controlar la red catastral de la localidad de Fyn, obteniéndose una exactitud de 10 cm para los puntos medidos.

Es importante destacar que varias municipalidades del país, especialmente en el centro y oriente, han utilizado para fines catastrales las coordenadas obtenidas en un gran proyecto inercial ejecutado por la entonces operadora de PDVSA, MENEVEN, en el cual se midieron aproximadamente 1000 puntos en el año de 1985 [11].

Desde hace muchos años se ha planteado e investigado con respecto a la integración de los sistemas inerciales con el GPS, [12]. Las ventajas de esta integración son evidentes si consideramos que ambos sistemas pueden complementarse, GPS puede servir para proporcionar la información de coordenadas en los puntos de arranque y de control en el trayecto y final del recorrido inercial, mientras que el sistema inercial transportará estos valores a los puntos intermedios en forma rápida y exacta. Esta integración puede materializarse en el procedimiento de cálculo o en el mismo hardware [13] resultando una solución óptima para las mediciones catastrales en cualquier medio, especialmente en áreas urbanas muy densamente pobladas, donde las obstrucciones a la señal del satélite dejarían de ser un problema para el sistema integrado; pudiéndose obtener exactitudes de hasta 1 cm en posición y de 1 a 2 miligales en anomalías de gravedad.

Conclusiones

1. El Sistema de Posicionamiento Global GPS está en capacidad de satisfacer todas las necesidades de posicionamiento de los trabajos catastrales, desde los más exigentes en exactitud hasta los más simples. Las especificaciones técnicas para las mediciones variarán de acuerdo a la precisión requerida, pero en general se puede utilizar el modo cinemático con instrumentos pequeños y en forma diferencial (2-3 m).

2. El único problema importante de la utilización del GPS para trabajos catastrales, se presenta en zonas urbanas de altas edificaciones, debido a la obstrucción para la recepción de la señal del satélite.

3. La utilización de imágenes digitales satelitares para fines catastrales se ha incrementado a medida que mejora la resolución de las imágenes, especialmente en el medio rural cuando no existe otro tipo de información básica. La utilización de puntos con coordenadas GPS para rectificar la imagen, garantiza una exactitud del decímetro al procedimiento.

4. GPS es la metodología más idónea en la actualidad para dotar de posición a los elementos que integran un GIS, debido a la forma rápida, confiable, económica y exacta en la cual pueden determinarse las coordenadas de los puntos.

5. Los sistemas geodésicos inerciales han demostrado ser un método eficaz para satisfacer las necesidades de posición en el catastro, especialmente cuando la densidad de puntos justifica los costos del proyecto.

6. La integración del GPS con los sistemas inerciales es la solución óptima para la determinación de coordenadas en el catastro, debido a que se compensan las fallas de ambos sistemas por separado, resultando un método rápido y exacto para los trabajos catastrales, donde la obstrucción de las señales en medios urbanos dejaría de ser un problema.

Referencias Bibliográficas

1. Wells David, Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associates, Canadá, 1986.

2. Baer Klaus, Catastro Inmobiliario y Técnicas Estadísticas en el Catastro Urbano, Curso de Extensión, Facultad de Ingeniería, LUZ, Maracaibo, 1987.
3. Seeber Gunter, Satelliten Geodäsie Walter de Gruyter, Berlín, 1989.
4. Hoyer Melvin, Análisis de los Aspectos Geodésicos a considerar en la utilización del GPS en Venezuela. Trabajo de Ascenso. Universidad del Zulia, Maracaibo, 1990.
5. Rapatz, Craymer, Kleusberg, Langley, Quek, Tranquilla, Wells, Procedures and Specifications for Urban GPS Surveys. Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Canadá, 1987.
6. Sivertson, Baker, Gann, Ott, GPS in concert with Satellite Images (Urban and Suburban Applications) Virginia Remote Sensing Center. Williamsburg, Virginia, 1991.
7. Nash L., Shrestha R., GPS Techniques for the GIS User, University of Florida. Gainesville, Florida, 1991.
8. Camargo Ernesto, Introducción a las Técnicas Geodésicas Inerciales, Tesis de Grado Escuela de Ingeniería Geodésicas de LUZ, Maracaibo, 1987.
9. Schwarz, Arden, Comparison of Adjustment and Smoothing Methods for Inertial Networks, Department of Surveying Engineering, University of Calgary, Canadá, 1984.
10. Forsberg Rene, Experience with the Uliss-30 inertial survey system for local geodetic and cadastral network control, Bulletin Géodésique 65:179-188 (1991).
11. Amaya, Lazzari, Posicionamiento de Puntos Geodésicos utilizando métodos inerciales (Experiencia en Venezuela 1985). Primer Congreso de la Sociedad de Fotogrametría, Percepción Remota y Cartografía, Mérida, 1986.
12. Lachapelle, Schwarz, Kinematic Applications of GPS and GPS/INS Algorithms, Procedures and Equipment Trends. Department of Surveying Engineering, University of Calgary, Canadá, 1990.
13. Wei, Schwarz, A Discussion of Models for GPS/INS Integration, Department of Surveying Engineering, University of Calgary, Canadá, 1990.

Recibido el 29 de Junio de 1992

En forma revisada el 22 de Marzo de 1993