

EL SISTEMA DGPS RASANT EN CATALUÑA

J.Talaya¹, J.Mesa², J.Segarra², I.Colomina¹

¹ Institut Cartogràfic de Catalunya

Parc de Montjuïc

E-08038 Barcelona

² Escola Universitària Politècnica de Barcelona

Av. Doctor Marañón 44-50

E-08028 Barcelona

Resumen

En el presente artículo se desarrollan los conceptos básicos del sistema RASANT utilizado para la transmisión de correcciones diferenciales GPS. Se muestra la precisión que puede obtenerse con RASANT, así como los factores que pueden degradar la precisión nominal del sistema. Finalmente se mencionan los pasos necesarios para una utilización óptima del sistema RASANT y para la representación de la posición dada por un receptor móvil sobre cartografía.

1 Introducción

El *Institut Cartogràfic de Catalunya* (ICC), el *Centre de Telecomunicacions de la Generalitat de Catalunya* (CTGC) y la *Direcció General de Transports* (DGT) ofrecen el servicio RASANT de correcciones diferenciales para el Global Positioning System (DGPS) desde mediados de 1996 de forma oficial. En realidad, se han estado transmitiendo correcciones diferenciales con RASANT desde Noviembre de 1995 sin interrupción. En estos momentos RASANT cubre el 75% del territorio de Cataluña. Usuarios equipados de receptores GPS con capacidad de usar correcciones de las observaciones de código C/A pueden determinar las coordenadas de puntos sobre prácticamente todo el territorio de Cataluña con una precisión de hasta 1 m en tiempo real.

RASANT es una abreviatura de *Radio Aided Satellite Navigation Technique* y utiliza el sistema RDS (*Radio Data System*) de las emisoras de FM como sistema de transmisión de datos. En particular, la implementación de RASANT en Cataluña se realiza por medio de la emisora Cataluña Música en cuya banda subportadora RDS se transmiten las correcciones generadas en una de las estaciones GPS permanentes del ICC situada en el recinto de las instalaciones del CTGC en Bellmunt de Segarra.

RASANT es un estándar europeo de radiodifusión de correcciones diferenciales que, en estos momentos, está desplegado en los *Länder* alemanes y en Cataluña. Otros organismos españoles y del resto de Europa están analizando la posible extensión de RASANT a otras regiones y estados.

RASANT ha sido desarrollado por el LVANRW (*Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen*) y por la WDR (*West Deutsche Rundfunk*) con vocación de ser un servicio DGPS de acceso público, gratuito y cuyos formatos están abiertos a prácticamente cualquier institución o empresa que desee integrar soluciones de posicionamiento o navegación DGPS. El ICC ha adaptado la tecnología RASANT a los protocolos de comunicaciones RDS utilizados por el CTGC y a la configuración particular de la red de repetidores FM del CTGC.

El equipo para realizar posicionamiento DGPS con RASANT consiste en un receptor GPS con capacidad "input RTCM SC-104" y un receptor RASANT. Un receptor RASANT es un receptor de radio FM con capacidad RDS y capacidad de descompresión de datos RASANT. Un receptor RASANT puede ser adquirido en el mercado o puede ser construido después de haber obtenido la correspondiente licencia de los inventores del sistema. (Como ya se ha indicado, RASANT ha sido diseñado con vocación de servicio público gratuito).

El despliegue de RASANT impulsado por el ICC, así como iniciativas similares e incluso más ambiciosas en otros países europeos, en Norteamérica y en Japón, son una muestra del tipo de actividades que las

agencias geodésicas oficiales ofrecerán en el futuro. En particular, ya es clara la tendencia a ampliar los servicios ofrecidos: de la red geodésica a las estaciones permanentes, a los servicios de suministro de datos “on-line”, al apoyo a la navegación terrestre, etc.

2 Posicionamiento diferencial GPS (DGPS)

El Sistema GPS (Global Positioning System) permite el posicionamiento de un receptor en cualquier parte del mundo a partir de la información de efemérides y de código transmitida por una constelación de 24 satélites.

Los satélites GPS transmiten en dos frecuencias L1 y L2. Un código, llamado C/A (coarse/acquisition), se modula sobre la frecuencia L1. El receptor GPS genera una réplica del código C/A y mide el intervalo de tiempo entre la transmisión y la recepción de dicho código, este intervalo de tiempo multiplicado por la velocidad de la luz se denomina pseudodistancia, o simplemente observación de código. Los receptores civiles de navegación utilizan las observaciones del código C/A de cuatro o más satélites, junto con información sobre la posición de los satélites, para posicionarse.

Las señales de los satélites GPS pueden ser utilizadas para el posicionamiento y la navegación absolutos -utilizando un único receptor- con una precisión de unos 50 m. Las observaciones de código tomadas por los receptores GPS se ven afectadas por una serie de errores: troposféricos, ionosféricos, errores de las órbitas de los satélites, errores de los relojes de los satélites, ... Algunos de estos errores se aumentan deliberadamente por la llamada Selective Availability (S/A). Debido a que estos errores, que afectan a la precisión del posicionamiento, son muy similares en receptores relativamente cercanos entre ellos, puede situarse un receptor de referencia en un punto de coordenadas conocidas y, a partir de las observaciones de código, calcular una corrección para cada satélite. El uso de correcciones diferenciales permite conseguir precisiones de hasta 1 m.

El receptor de referencia calcula la distancia entre la posición de cada satélite (información transmitida por los propios satélites) y la posición del propio receptor de referencia (situado en un punto de coordenadas conocidas). Comparando la distancia calculada con las pseudodistancias observadas el receptor de referencia puede calcular una corrección de la pseudodistancia para cada satélite así como también la velocidad de cambio de dicha corrección. En la figura 1 se observan las correcciones calculadas para el satélite 28; por ejemplo, en el segundo 131000 el valor de la corrección es de -28.7 m, mientras que la velocidad de cambio de esta corrección es de 0.25 m/s.

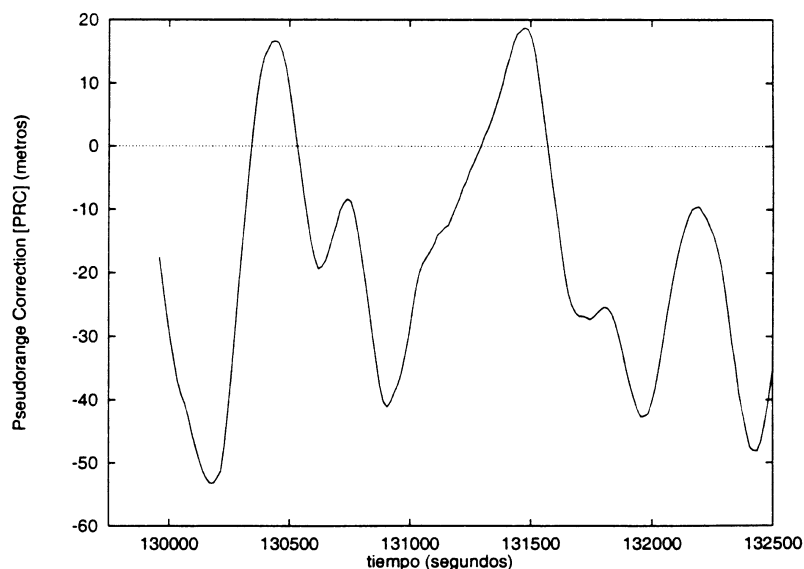


Figura 1: Correcciones diferenciales para el satélite 26

<u>MESSAGE TYPE NO.</u>	<u>CURRENT STATUS</u>	<u>TITLE</u>
1	Fixed	Differential GPS Corrections
2	Fixed	Delta Differential GPS Corrections
3	Fixed	Reference Station Parameters
4	Retired	Surveying
5	Fixed	Constellation Health
6	Fixed	Null Frame
7	Fixed	Beacon Almanacs
8	Tentative	Pseudolite Almanacs
9	Fixed	Partial Satellite Set Differential Corrections
10	Reserved	P-Code Differential Corrections (all)
11	Reserved	C/A-Code L1,L2 Delta Corrections
12	Reserved	Pseudolite Station Parameters
13	Tentative	Ground Transmitter Parameters
14	Reserved	Surveying Auxiliary Message
15	Reserved	Ionosphere (Troposphere) Message
16	Fixed	Special Message
17	Tentative	Ephemeris Almanac
18	Tentative	Uncorrected Carrier Phase Measurements
19	Tentative	Uncorrected Pseudorange Measurements
20	Tentative	RTK Carrier Phase Corrections
21	Tentative	RTK Pseudorange Corrections
22-58	-	Undefined
59	Tentative	Proprietary Message
60-63	Reserved	Multipurpose Usage

Tabla 1: Tipos de mensajes definidos por RTCM SC-104 Version 2.1 [6]

2.1 Formato RTCM

En 1983 el U.S. Institute of Navigation (ION) solicitó el desarrollo por parte de la Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) de un conjunto de recomendaciones para la transmisión de correcciones diferenciales a los usuarios del sistema GPS [3]. RTCM estableció el Special Committee No. 104 (SC-104) bajo el nombre de *Differential Navstar GPS Service*. El primer borrador con un conjunto de recomendaciones sobre protocolos, intervalos de transmisión y definición sobre la información que debería ser transmitida apareció en Noviembre de 1985, posteriormente se han efectuado ligeras modificaciones de los formatos de transmisión apareciendo la versión 2.0 en Enero de 1990 mientras que en Enero de 1994 apareció la versión 2.1 [6]. En la tabla 1 aparecen los diferentes tipos de mensajes definidos en la versión 2.1. Actualmente se está trabajando para definir mensajes que contengan correcciones diferenciales para los satélites de la constelación GLONASS.

El formato de datos RTCM SC-104 (o simplemente RTCM) para la transmisión de correcciones diferenciales GPS se ha constituido como un estándar defacto en toda la comunidad de receptores GPS, de manera que la práctica totalidad de receptores GPS que pueden trabajar en modo diferencial aceptan correcciones diferenciales en formato RTCM.

3 Difusión de correcciones diferenciales vía RDS

El sistema Radio Data System (RDS) es un estándar europeo para la transmisión de datos a los receptores FM. Entre la información transmitida vía RDS tenemos: nombre de la emisora, tipo de programa, información horaria ... La información RDS se transmite en subportadores inaudibles (57 kHz) de los canales FM comerciales. Las condiciones de recepción de las señales RDS son idénticas a las de recepción del programa de radio. Gran parte de las autoradios tienen capacidad para descodificar la información RDS que se transmite juntamente con los programas comerciales de FM.

3.1 Características del sistema RASANT

RASANT es un sistema de radiodifusión de correcciones diferenciales calculadas por el ICC en estaciones de referencia equipadas con receptores GPS. Las correcciones están basadas en el formato estándar RTCM y se envían a través del sistema RDS que incorpora la señal de Catalunya Música a sus emisiones. La frecuencia en la que puede sintonizarse Catalunya Música dependerá del centro emisor más cercano, en el caso de Barcelona es 101.5 Mhz. La cobertura útil es la misma con la que se recibe la señal estereofónica de Catalunya Música en condiciones normales y se extenderá, aproximadamente, a un 90% del territorio y abarcará un 95% de la población. La información transmitida por el sistema RASANT consta de los mensajes RTCM tipo 1, 2, 3, 5, 9 y 16.

En la estación de referencia el programa *RASREF* reformatea y comprime las correcciones diferenciales generadas por el receptor GPS en formato RTCM, de manera que puedan inyectarse en los codificadores RDS de las emisoras FM, ver figura 2. La información RDS se distribuye en grupos, el sistema RASANT utiliza los grupos 5A o el 11A. Cada uno de estos grupos tiene una capacidad útil de 37 bits. La compresión efectuada por RASANT permite transmitir las correcciones diferenciales de un satélite en solo un grupo RDS. El usuario recibe la información RDS a través de un receptor FM convencional; a partir de las correcciones de cada satélite contenidas en los grupos RDS junto con información adicional sobre los tiempos de referencia el programa *RASKOMBI* se encarga de regenerar las correcciones diferenciales en formato RTCM, ver figura 3. La estructura de las correcciones diferenciales transmitidas por RASANT permite que la información sobre los tiempos de referencia de los mensajes RTCM (conocida como z-count) puede ser transmitida a menor velocidad que las correcciones diferenciales propiamente dichas.

Al estar las correcciones diferenciales de un satélite contenidas en un solo grupo RDS, el sistema adquiere una gran robustez frente a interferencias. Si se observan 7 satélites el mensaje en formato RTCM ocupa 420 bits, si se transmitiese directamente en formato RTCM se necesitarían 12 grupos RDS, de perderse debido a interferencias uno de estos 12 grupos entonces no sería posible inyectar el mensaje recibido a un receptor GPS. En el sistema RASANT la corrección de estos 7 satélites es transmitida en sólo 7 grupos RDS, y en caso de perderse algún grupo, entonces *RASKOMBI* regeneraría un mensaje en formato RTCM conteniendo las correcciones diferenciales de los restantes 6 satélites.

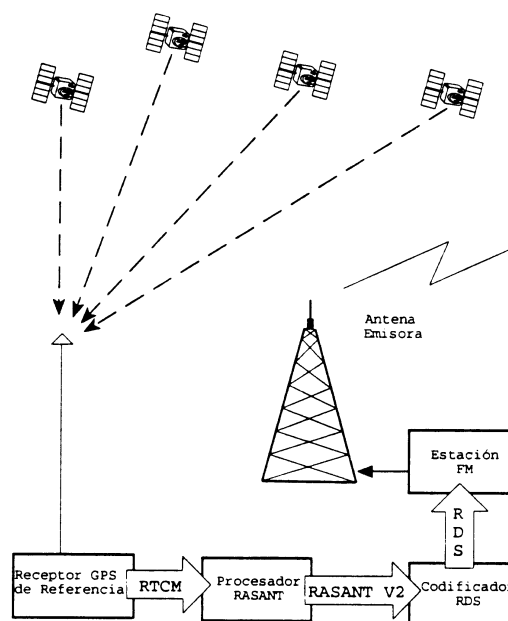


Figura 2: Generación de correcciones diferenciales RASANT/RDS.

4 Utilización del sistema RASANT

La utilización del sistema RASANT por parte de los usuarios requiere un receptor de radio FM con capacidad RDS juntamente con un receptor GPS que admita correcciones diferenciales en el formato estándar RTCM. El receptor de radio RDS debe ser capaz de extraer la información de las correcciones diferenciales GPS de entre toda la información que se transmite en el sistema RDS (como se ha indicado anteriormente las correcciones diferenciales, a diferencia de los otros datos transmitidos, están incluidas en los grupos 5A o 11A). Finalmente el usuario deberá utilizar el programa *RASKOMBI* para reconstruir el mensaje en el formato RTCM. Este mensaje reformateado puede inyectarse directamente en el receptor GPS con capacidad diferencial. Una vez se han inyectado las correcciones diferenciales al receptor GPS, el propio receptor ya se encargará de utilizarlas para proporcionar un posicionamiento de precisión.

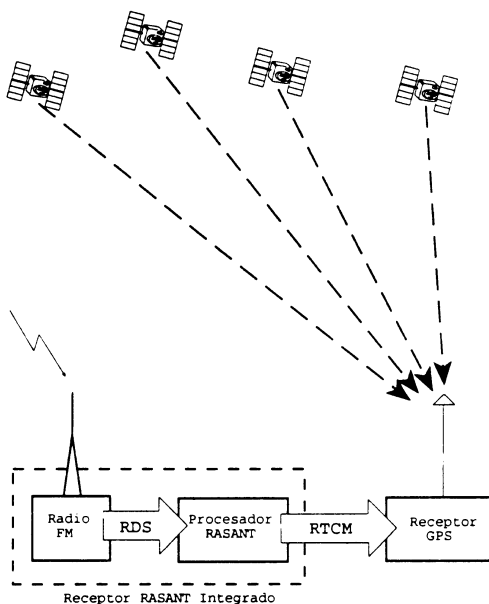


Figura 3: Utilización de correcciones diferenciales RASANT

En la práctica el usuario utilizará receptores integrados RASANT. Actualmente existen en el mercado diversos receptores integrados RASANT con precios a partir de 85.000 pta. Los receptores integrados RASANT actúan a modo de caja negra, tienen una entrada para una antena FM y una salida RS232 para las correcciones diferenciales en formato RTCM. Los receptores integrados se componen de un sintonizador FM con capacidad RDS junto con un procesador que reformatea las correcciones diferenciales de la forma señalada anteriormente de forma totalmente automática y transparente para el usuario. Los receptores integrados RASANT pueden sintonizarse a una frecuencia predeterminada o escanear todo el espectro en busca de emisoras que incluyan RASANT en su información RDS. Para aumentar la robustez, algunos receptores RASANT tienen la posibilidad de incorporar un segundo sintonizador FM para mejorar la calidad de recepción de la información RDS.

Finalmente podemos remarcar que también existe la posibilidad de disponer de receptores integrados RASANT-GPS, en este caso las correcciones diferenciales RTCM se aplican automáticamente al receptor GPS integrado en el equipo, obteniéndose directamente posiciones GPS en modo diferencial.

5 Precisión del sistema RASANT

La precisión que puede obtenerse utilizando el sistema RASANT depende de una serie de factores: calidad de las correcciones diferenciales, geometría de los satélites, edad de las correcciones diferenciales, distancia a la estación de referencia y finalmente la calidad del equipo del usuario. Un estudio exhaustivo de la

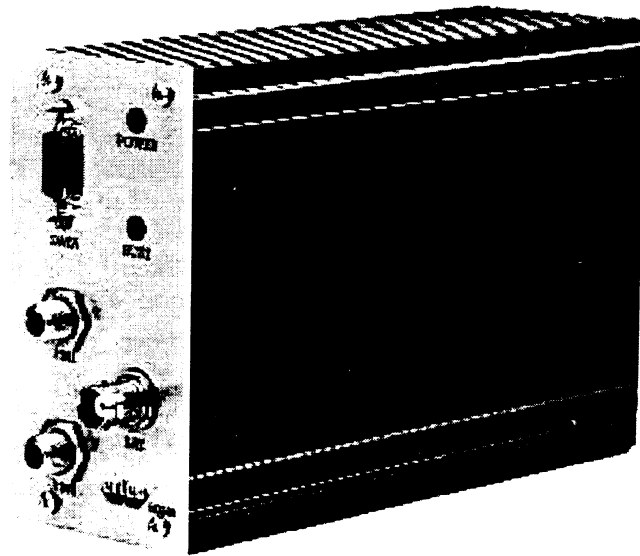


Figura 4: Receptor integrado RASANT-GPS, dimensiones 22x12x9 cm (gentileza de ertec GmbH)

operatividad del sistema RASANT puede encontrarse en [7]. Utilizando observaciones de código de calidad el sistema RASANT permite el posicionamiento diferencial en tiempo real con una precisión submétrica (1σ) en planimetría y ligeramente peor en altimetría. En la figura 5 puede observarse el error en el posicionamiento planimétrico de un conjunto de 10160 observaciones.

5.1 Calidad de las correcciones diferenciales GPS

La precisión de las correcciones diferenciales generadas en la estación de referencia dependerá de la calidad de las observaciones de código realizadas por el receptor GPS de referencia junto con la precisión en la determinación de sus coordenadas. Las coordenadas de la antena de la estación de referencia del sistema RASANT han sido calculadas con mucha precisión a partir de datos de estaciones permanentes del IGS (*International GPS Service for Geodynamics*) y de efemérides de precisión, además el receptor de referencia utilizado por el sistema RASANT (Trimble 4000SSI) suaviza las observaciones de código con observaciones de la portadora L1, lo que permite la generación de correcciones diferenciales altamente precisas.

5.2 Geometría de los satélites

El efecto que la posición relativa entre el receptor del usuario y los satélites observados tiene en la precisión obtenida viene determinado por los factores DOP (Dilution of Precision). De forma general puede decirse que factores DOP altos impiden un posicionamiento de precisión, mientras que factores DOP bajos permiten un posicionamiento de precisión.

5.3 Edad de las correcciones diferenciales

En la figura 1 puede observarse que las correcciones diferenciales no son constantes en el tiempo. Según vaya aumentando la edad de las correcciones diferenciales aplicadas, los errores de posicionamiento irán aumentando. En la figura 6 se observa el deterioro de la posición al aumentar la edad de las correcciones diferenciales aplicadas. Al disponer el sistema RASANT en Cataluña de una capacidad de 3 grupos RDS por segundo se puede asegurar que los usuarios dispondrán de las correcciones diferenciales de todos los satélites con un retardo de unos 2-3 segundos dependiendo del número de satélites observados. Así pues, a partir de la figura 6, podemos concluir que no hay una pérdida de precisión debido al tiempo de transmisión de las correcciones diferenciales.

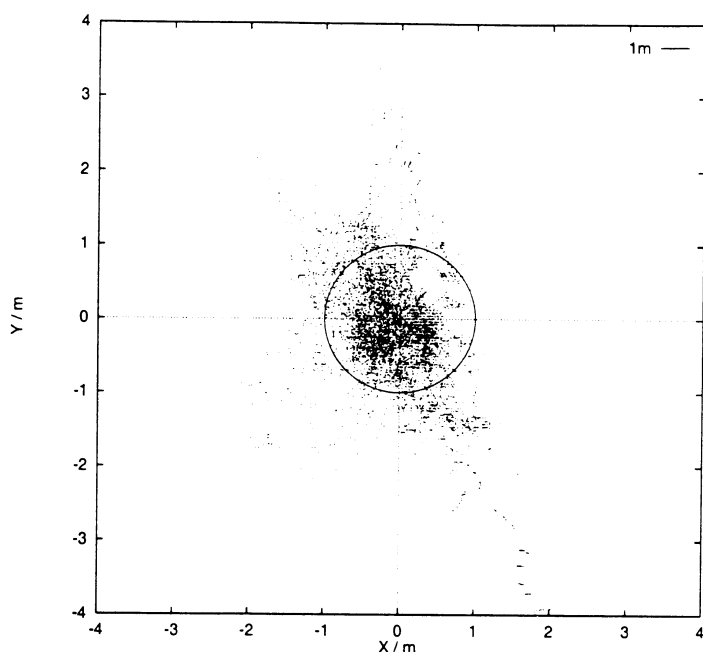


Figura 5: Error en el posicionamiento planimétrico (10160 observaciones, dispersión $1 \sigma \approx 84\text{cm}$)

5.4 Distancia a la estación de referencia

Las observaciones de satélites GPS se ven afectadas por una serie de errores: troposféricos, ionosféricos, órbitas de los satélites, relojes de los satélites, ... El posicionamiento diferencial GPS (DGPS) se basa en que estos errores adquieren una magnitud similar en puntos cercanos. Por tanto, a medida que nos alejamos de la estación de referencia los errores que afectan a las observaciones del usuario diferirán de los errores que afectan a las observaciones de la estación de referencia. Empíricamente se ha demostrado que la precisión se degrada del orden de 0.2–0.4m/100km por tanto al estar la estación de referencia situada en el centro de Cataluña (Bellmunt de Segarra) el error debido a la distancia entre el usuario y la estación de referencia será siempre inferior a 0.3–0.6m.

5.5 Calidad del equipo del usuario

La precisión de las observaciones GPS efectuadas por el usuario es otro factor importante en el posicionamiento GPS-RASANT. Si se realizan observaciones en zonas afectadas por rebotes de señales (multipath) o se utilizan receptores GPS que realizan observaciones de código de baja calidad, la precisión obtenida será sensiblemente inferior a los resultados de la figura 5.

6 Utilización óptima del sistema RASANT / representación sobre cartografía

Para un uso óptimo del GPS, y para representar correctamente las coordenadas así obtenidas sobre la cartografía, debemos tener en cuenta las diferencias entre el sistema de referencia WGS84 -el propio del GPS- y el sistema ED50 -el utilizado en el estado español-. En Cataluña la diferencia total entre el sistema de referencia WGS84 y el sistema ED50 es de unos 175 m. El ICC dispone de los parámetros necesarios para realizar la transformación entre los sistemas de referencia. Estos parámetros están calculados de manera local, de tal forma que su valor es óptimo para Cataluña. Los parámetros de transformación pueden obtenerse llamando a la BBS del ICC, Geofons (teléfono 93-426 76 65) o ser proporcionados por el Servicio de Geodesia del ICC, en un futuro próximo estarán disponibles vía internet (<http://www.icc.es>). También debemos tener en cuenta las diferencias entre las cotas elipsoidales -las que se obtienen del GPS- y las ortométricas -las que se representan en los mapas-. El conjunto de estas diferencias es el llamado

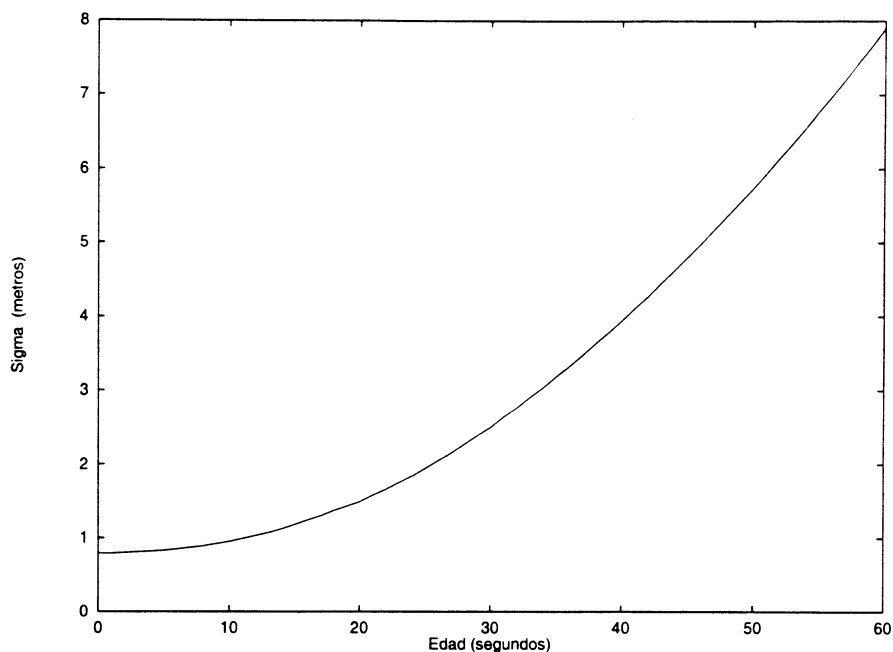


Figura 6: Desviación estándar dependiendo de la edad de las correcciones diferenciales usadas

geoide. En Catalunya se dispone de un geoide local, el UB91, que puede obtenerse en la tienda del ICC por un precio simbólico, o bien llamando a Geofons. En el sistema WGS84 la diferencia entre cotas elipsoidales y cotas ortométricas en la zona de Catalunya varía entre 49.5m i 55m. Para un aprovechamiento máximo del GPS es necesario, pues, combinar los datos del receptor de trabajo con los datos de un receptor de referencia, para poder trabajar en modo diferencial (DGPS), los parámetros de transformación entre los sistemas WGS84 y ED50 y los datos del geoide.

En las figuras 7 y 8 puede observarse la representación sobre cartografía de la trayectoria de un receptor RASANT/GPS después de aplicarse las transformaciones mencionadas en el apartado anterior. El mayor problema para el uso de posicionamiento diferencial GPS en ciudades son las obstrucciones de los satélites GPS causadas por los edificios. Aunque la readquisición de la señal GPS es muy rápida, ver figura 8 donde se representa la posición de un receptor móvil cada segundo, en algunas zonas los edificios pueden provocar valores DOP muy altos e incluso la imposibilidad de posicionamiento al disponer de un número insuficiente de observaciones de satélites. En los casos en que sea necesario un posicionamiento de precisión continuo en zonas urbanas debería complementarse el sistema RASANT/GPS con sensores adicionales (giróscopos y odómetros).

7 Conclusiones

Con el servicio de GPS diferencial RASANT, el ICC, el CTGC y la DGT ponen a disposición de una amplia comunidad de profesionales una infraestructura importante para el desarrollo de sistemas de posicionamiento de precisión media, de sistemas de navegación de alta precisión y, en particular, para el desarrollo de sistemas de transporte inteligentes.

8 Agradecimientos

Los autores, en nombre del ICC y de la EETT, quieren agradecer a Paul Raven (LVARW) el soporte recibido durante la implantación y el análisis del sistema en Cataluña.

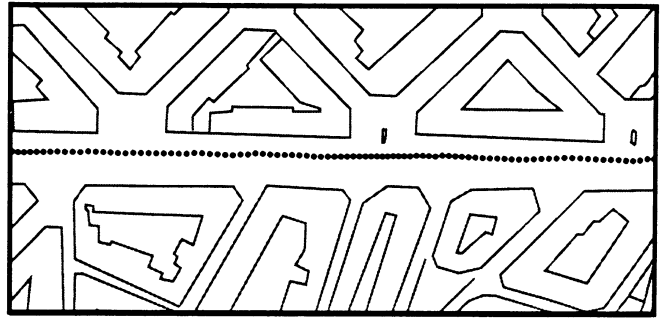


Figura 7: Operatividad en avenidas anchas

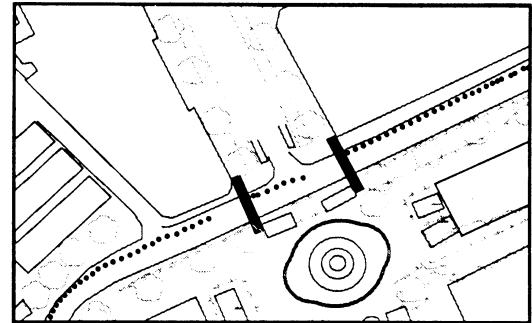


Figura 8: Operatividad en zonas con obstrucciones, readquisición rápida de la posición

Referencias

- [1] Colomina,I., Ortiz,M.A., Térmens,A., 1995. Redes geodésicas virtuales. Maraton GPS. Madrid, 3-4 Abril 1995.
- [2] Hankemeier,P., 1995. The DGPS Service for the FRG: Concept and Status. GPS Trends in Precise Terrestrial, Airborne and Spaceborne Applications. International Association of Geodesy Symposia 115. Boulder,CO,USA, 3-4 Julio 1995.
- [3] Langley,R.B., 1994. RTCM SC-104 DGPS Standards. GPS World, Mayo 1994.
- [4] McGarigle,B., 1993. Top 40 Hydrography: Surveying with FM-based DGPS GPS world, Abril 1993.
- [5] Raven,P., Sandmann,S., Schoemackers,G., 1996. RASANT: Radio Aided Satellite Navigation Technique. EBU Technical Review No. 267- Primavera 1996, ISSN 1019-6587, pp. 27-31.
- [6] RTCM Recommended Standards For Differential NAVSTAR GPS Service. Version 2.1. Developed by RTCM Special Committee No.104.
- [7] Segarra,J., Mesa,J., 1996. Anàlisi de l'Aplicació de la Tècnica RDS en el Posicionament GPS Diferencial amb Mesures de Codi en Temps Real. Projecte de Treball Final de Carrera. Escola Universitària Politècnica de Barcelona. Octubre 1996.
- [8] Tiwari,A., Weber,L., 1994. The Radio Data System - A Data Link for DGPS. DSNS 94. The Third International Conference on Differential; Satellite Navigation Systems. London, 18/22 Abril , 1994.