

Estudio y aplicaciones de servicios de posicionamiento/navegación RTK basado en IP

Dr. Israel Quintanilla García, Dr. José Luis Berné Valero
Daniel Gómez López, Joel Grau Bellet

Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, Spain
iquinta@cgf.upv.es jlberne@cgf.upv.es dagolo1@topo.upv.es joegrbel@topo.upv.es

24 de Enero de 2004

keywords: NTRIP, navegación, DGSP/RTK, IP, GPRS/UMTS

Resumen

Con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos mediante las nuevas metodologías y dispositivos de posicionamiento en tiempo real se plantea el estudio de un servicio DGPS/RTK en base a una red de estaciones permanentes y/o a partir de una única estación que proporciona correcciones diferenciales de código o de fase para cada caso. Se proponen dos opciones en lo que se refiere al sistema de conexión a los sistemas RTK: NTRIP vía UMTS/GPRS y conexiones punto a punto GSM, siendo prioritaria la primera o RTK vía radio. El estudio se realiza analizando la cobertura, precisiones y viabilidad del servicio, a la vez que se efectúan comparaciones con puntos de redes geodésicas.

1. Introducción

Los sistemas de posicionamiento diferencial GPS (DGPS) permiten aumentar la precisión del posicionamiento absoluto en base a un receptor GPS situado en un punto de coordenadas conocidas, el cual procesa los observables y evalúa los errores del reloj y de la trayectoria del satélite así como los retardos ionosféricos y troposféricos que sufre la señal. El estudio de un sistema de posicionamiento diferencial de código o de fase requiere distintos elementos, que influyen directamente a la hora de evaluar las posibilidades y aplicaciones susceptibles de ser desarrolladas en cada ámbito. Dichos elementos, entre otros, son los siguientes, redes de coordenadas de precisión en Geodesia, cartografía y ortofotos de distintas precisiones en entornos SIG, integración de dispositivos propios de cada una de las disciplinas asociadas a las diferentes ingenierías...

Con todo ello, el aspecto más destacable es la combinación e integración de los diferentes sistemas que forman la base del protocolo NTRIP: Sistema de Posicionamiento, Sistema de Comunicaciones y, en función de la aplicación, un Sistema de Gestión de la Información, cuya conjunción e integración de los mismos pueden dar lugar a un sistema de grandes posibilidades y aplicabilidad.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo se basa en el desarrollo y estudio de un sistema de posicionamiento diferencial optimizado, entendiéndolo como un sistema DGPS/RTK al que se le incorporan nuevos dispositivos para incrementar su precisión y aplicabilidad: Sistema de Comunicación y Sistema de Gestión de la Información.

Se plantean tres objetivos secundarios que pretenden sustentar la idea anterior. En primer lugar, se estudian las precisiones y viabilidad de las nuevas metodologías de posicionamiento diferencial DGPS/RTK basadas en NTRIP; en segundo lugar, se analizan los dispositivos de posicionamiento y sistemas de comunicación para optimizar los posibles servicios (código/fase, velocidades de transferencia...); y en tercer lugar, se evalúan las aplicaciones viables a partir de estos nuevos servicios (cartografía, sistemas de información geográfica, ingeniería civil...).

3. Instrumental

La importancia de la solución que se pueda adoptar en la combinación de los dispositivos no depende tanto de los dispositivos propiamente sino de una correcta integración de los mismos en base al objetivo para el que se diseña el conjunto. Lógicamente, siempre y cuando los dispositivos mencionados sean los adecuados.

3.1. Dispositivos de posicionamiento

Dentro de los dispositivos de posicionamiento se puede distinguir entre receptores geodésicos y navegadores, pudiendo funcionar ambos de forma independiente o acoplados a otro dispositivo, como por ejemplo una PDA. En el presente artículo se pretende mostrar el comportamiento de todos ellos y los resultados que se pueden obtener, teniendo en cuenta las diferentes partes que forman estos dispositivos (receptor, antena...) y no sólo la solución conjunta que proporcionan.



Figura 1: Dispositivos de posicionamiento

Así, como receptor geodésico se utiliza el Trimble 5700 con antena Zephyr y/o Zephyr Geodetic. Por otra parte, dentro de los navegadores se usan dispositivos como el Garmin GPS III Plus y los navegadores para PDA Navman 1400 y Navman 3000.

3.2. Dispositivos de comunicación

En lo que a dispositivos de comunicación se refiere, a pesar que el proyecto se basa en correcciones diferenciales vía *Internet Protocol*, se plantean alternativas como el posicionamiento RTK por radio. Por tanto, en base al posicionamiento vía Internet se emplea un terminal Nokia 6650 con conexión a la red y Bluetooth; y para el posicionamiento mediante radio se utiliza un radio-módem interno de Trimble para el receptor móvil y un Trimtalk 450 S para el dispositivo que calcula y emite las correcciones.

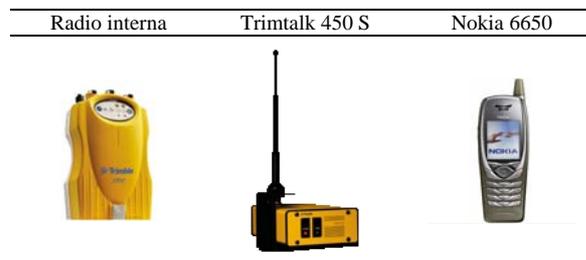


Figura 2: Dispositivos de comunicación

3.3. Dispositivos de gestión

Es importante, en la infraestructura que se construye, la incorporación de dispositivos que permitan gestionar la información de la cual se dispone, a la vez que hagan operativo todo el sistema. El navegador Garmin GPS III Plus ya comentado no necesita ningún dispositivo adicional para su gestión; sin embargo, el controlador TSCe de Trimble dirige directamente el comportamiento del receptor geodésico citado y la PDA (hp ipaq 5550) permite gestionar todos los dispositivos mencionados, diversificando ampliamente la aplicabilidad de esos módulos.

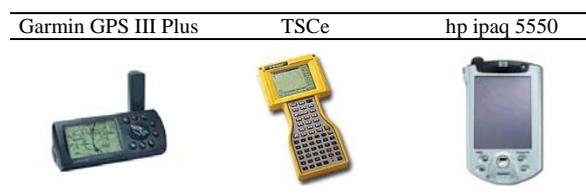


Figura 3: Dispositivos de gestión

4. Metodología

En base al posicionamiento diferencial que se ha descrito en el apartado 1 se plantea la solución vía NTRIP. Así, una estación de coordenadas conocidas almacena los observables de los satélites junto con las coordenadas conocidas de la misma y los envía a un caster que se encarga de procesar todos los datos; la mayor diferencia con los sistemas tradicionales se plantea a partir de este punto, donde las correcciones diferenciales procesadas por el caster se transmiten a los usuarios a través de Internet. Estas correcciones diferenciales se pueden capturar desde cualquier dispositivo que disponga de conexión a la red: ordenador personal, PDA, teléfono móvil... Habitualmente, y como consecuencia de la movilidad que requieren los procesos que se desarrollan con estas metodologías, el teléfono móvil suele ser el dispositivo más empleado.

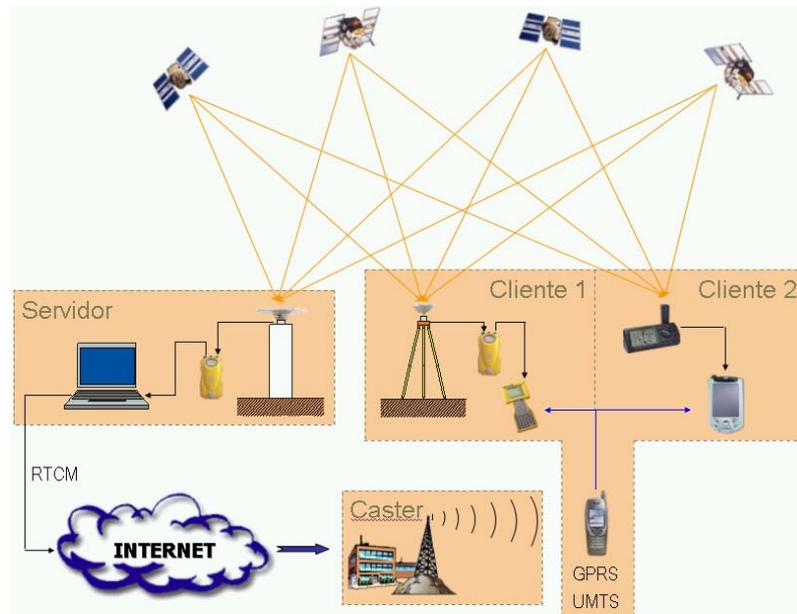


Figura 4: Metodología de trabajo

En la Figura 4 se describe la metodología de trabajo comentada, donde se involucran todos los dispositivos relativos a NTRIP que forman parte del instrumental. El servidor y el caster son infraestructuras que, en el presente estudio, aparecen como módulos administrados por otros entes. En este caso, las estaciones que se pueden emplear para actuar como servidor son "VALE", perteneciente a la red de estaciones permanentes del Instituto Geográfico Nacional (IGN) dentro del marco de EUREF, y "ALCO" y "UTIE", pertenecientes a la red ERVA del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV). Cabe remarcar que cada una de estas instituciones dispone de un caster propio que procesa todos los datos, desde el cual se pueden descargar las correcciones diferenciales de las estaciones pertinentes en tiempo real. En este primer análisis se ha realizado el estudio con la estación "VALE"



Figura 5: Estaciones servidor cercanas

Una vez calculadas las correcciones diferenciales y puestas a disposición de los usuarios, se puede acceder a ellas desde múltiples dispositivos como ya se ha comentado, adoptándose el teléfono móvil como prioritario para el presente trabajo. Como ya comentamos, el terminal móvil (GPRS/UMTS) es el que permite capturar las correcciones diferenciales para incorporarlas al sistema de posicionamiento.

4.1. Metodología de comprobación del sistema

Antes de empezar con las comprobaciones propiamente se debe seleccionar el tipo de solución que corresponda con el posicionamiento que se pretende realizar. El IGN proporciona soluciones de código y fase para algunas de sus estaciones, siendo la más cercana a la zona de trabajo “VALE”, y por tanto, la que se utiliza para el estudio en cuestión. El ICV provee también dos tipos de solución: de código y de fase; pudiéndose seleccionar una estación concreta para descargar las correcciones diferenciales de dicha estación o adoptando directamente una solución de multiestación. La solución de multiestación requiere del envío del posicionamiento aproximado del cliente para que el caster pueda proporcionar las correcciones diferenciales más apropiadas en base a la mayor proximidad del cliente a la estación.

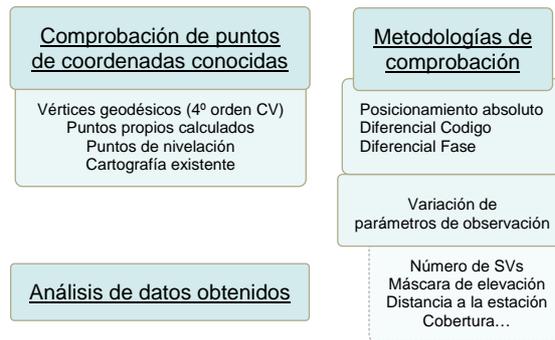


Figura 6: Metodología de comprobación del sistema

En primer lugar, se estudia el posicionamiento diferencial que se consigue vía NTRIP contrastándolo con las coordenadas conocidas de una serie de puntos de Control:

- Red de Control Propia de Precisión
- Vértices geodésicos de la red de 4º orden de la Comunidad Valenciana.

Posteriormente, y para cada una de las comprobaciones que se sugieren en el párrafo anterior, se propone el estudio de la Posición Absoluta y de la solución DGPS/RTK vía NTRIP con código y fase. Asimismo, se realizan las observaciones con distintos sistemas de Gestión y para planimetría y altimetría. Para finalizar, se realiza el estudio y análisis estadístico de los distintos datos.

5. Resultados

En base al instrumental, la metodología y los objetivos mencionados se desarrollan una serie de pruebas, los resultados de las cuales se procede a describir a continuación. Como vimos en el apartado anterior, los tests de Posicionamiento Diferencial y Absoluto se realizan sobre la Red de Control Propia de Precisión, observada y ajustados previamente ([13] Quintanilla et al.(2004)) de los cuales se conocen sus coordenadas y precisiones, y sobre el vértice geodésico “4054” de la red de 4º orden de la Comunidad Valenciana.

Punto	Latitud WGS84	Longitud WGS84	h WGS84	σ Lat. WGS84	σ Lon. WGS84	σ h WGS84
p3	39°28' 50.70246"	-0°20' 15.20273"	74.0379 m	5.8 mm	8.6 mm	22.8 mm
p4	39°28' 50.60669"	-0°20' 14.87337"	74.0388 m	11.5 mm	7.1 mm	15.0 mm
4054	39°28' 50.28900"	-0°20' 14.67640"	77.6820 m	8.6 mm	7.4 mm	14.6 mm

Tabla 1: Coordenadas y desviaciones de los puntos de la red de trabajo

Cabe remarcar la precisión obtenida en el ajuste, superior a la que se pretende conseguir en las pruebas que se realizan.

Los resultados obtenidos en esta primera fase del análisis se basan en observaciones simultáneas en los puntos $p3$ y $p4$ realizadas en modo absoluto y modo **diferencial con correcciones de Código vía protocolo IP**, con registro de datos cada 30 s para el dispositivo *Garmin GPS III Plus* y cada 1 s para el receptor *Trimble 5700*.

Paralelamente, se realizan tres observaciones consecutivas en el punto 4054 con el receptor *Trimble 5700*: **RTK con solución L1 fija, Diferencial en tiempo real** (ambos con correcciones de **Fase vía protocolo IP**) y por último un **Posicionamiento Absoluto**. La solución RTK se basa en el procesado de los datos observados por el receptor a los cuales se les aplican las correcciones diferenciales para calcular el vector de posición desde la estación de referencia; mientras que la observación Diferencial en tiempo real únicamente aplica las correcciones diferenciales al posicionamiento absoluto para calcular la solución.

El estudio de ambas pruebas se divide en:

5.1 Análisis de posición observada y estadísticos asociados

5.2 Comparativa entre posición observada y conocida

5.3 Comparativa final de metodologías.

5.1. Estudio de la posición obtenida

El objetivo de este primer estudio es reflejar la bondad, precisión y representatividad de las posiciones obtenidas y de las observaciones efectuadas. Para ello, se realiza un análisis de estadística descriptiva que refleje las principales características de las tareas realizadas en campo. Los dos dispositivos utilizados y las metodologías de observación abordadas generan las gráficas asociadas a sus respectivas tablas, que se presentan a continuación, donde:

- Posición observada
- Media de todas las posiciones observadas
- ▲ Posición conocida del punto observado

Cabe tener en cuenta, también, que las abscisas y ordenadas de las gráficas se corresponden con la longitud y la latitud de las posiciones, respectivamente, donde sólo se indican los segundos correspondientes a cada coordenada por ser grados y minutos constantes en todas las posiciones (longitud $-0^{\circ} 20'$ y latitud $39^{\circ} 28' N$).

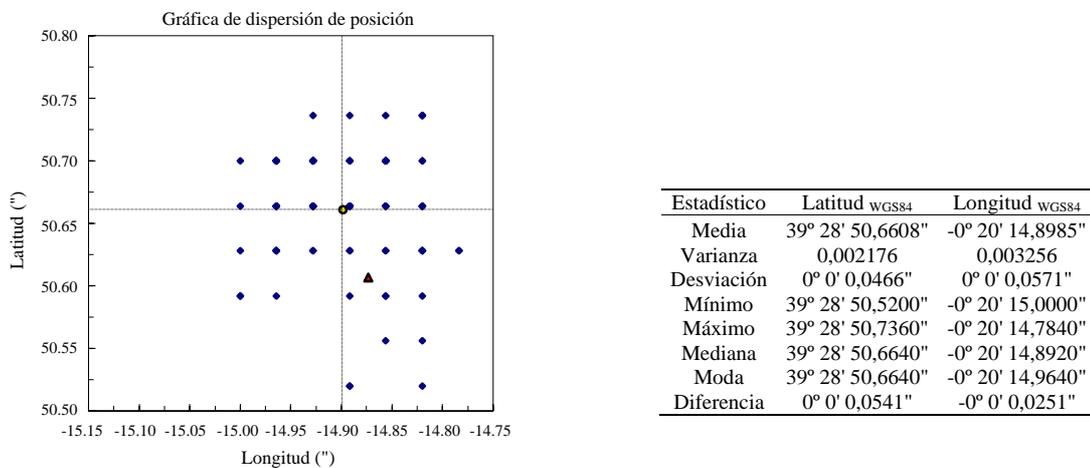
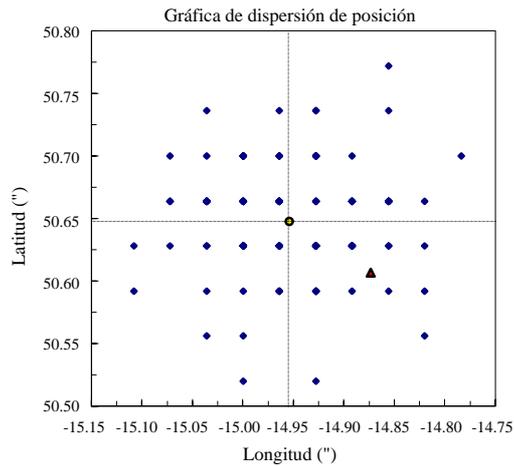


Figura 7: Posicionamiento absoluto con Garmin GPS III Plus

La Figura 7 representa las posiciones obtenidas con el dispositivo Garmin GPS III Plus en efectuar un posicionamiento absoluto, donde también se puede ver la media de todas las observaciones y la posición conocida del punto observado. El resto de estadísticos asociados a esta observación se puede observar en la tabla adjunta, donde además se acompañan algunos de los valores que aparecen en la gráfica.



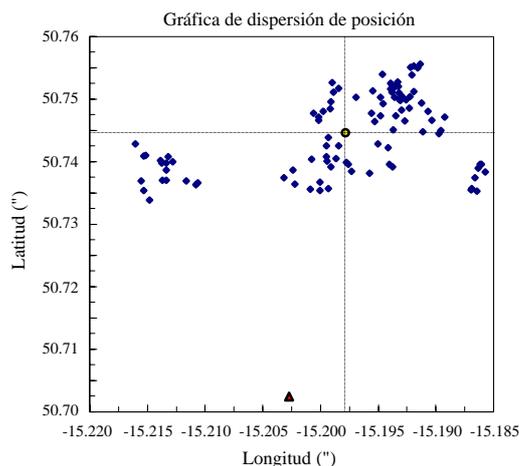
Estadístico	Latitud _{WGS84}	Longitud _{WGS84}
Media	39° 28' 50,6467"	-0° 20' 14,9507"
Varianza	0,002133	0,004835
Desviación	0° 0' 0,0462"	0° 0' 0,0695"
Mínimo	39° 28' 50,5200"	-0° 20' 15,1080"
Máximo	39° 28' 50,7720"	-0° 20' 14,7840"
Mediana	39° 28' 50,6640"	-0° 20' 14,9640"
Moda	39° 28' 50,6640"	-0° 20' 14,9280"
Diferencia	0° 0' 0,0400"	-0° 0' 0,0773"

Figura 8: Posicionamiento diferencial con Garmin GPS III Plus

En el caso de la Figura 8, las posiciones que se muestran provienen de una solución de posicionamiento diferencial obtenida con el navegador Garmin recibiendo correcciones en tiempo real del **puerto IP** citado anteriormente. El patrón que se observa en las gráficas que representan las observaciones realizadas con el Garmin GPS III Plus (Figura 7 y Figura 8) es debido a la resolución y precisión del dispositivo, que generan esta disposición en el momento de representar la solución obtenida.

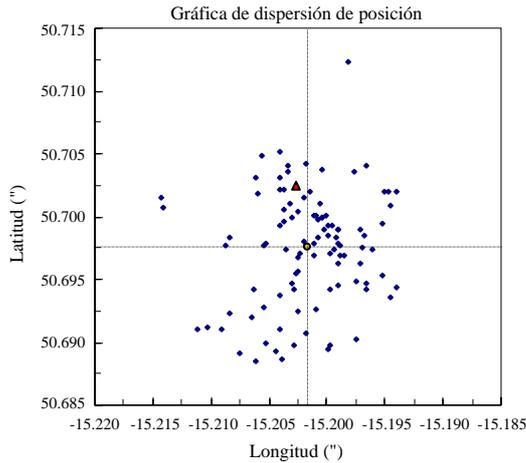
En lo que a posicionamiento propiamente se refiere, cabe mencionar que las soluciones obtenidas con Posicionamiento Diferencial y Absoluto poco difieren una de la otra; las desviaciones estándares de las coordenadas obtenidas están en torno a 1.5 m y la diferencia de las coordenadas obtenidas con las conocidas es de unos 6 m. El beneficio que se obtiene con el posicionamiento diferencial no se ve mejorado en este caso siendo la falta de precisión achacable al dispositivo utilizado como consecuencia de que en las especificaciones técnicas proporcionadas por la casa Garmin indica que la precisión obtenida con correcciones diferenciales a este navegador se encuentre entre 1 y 5 metros, que es la precisión obtenida para la observación en absoluto.

Las dos gráficas y tablas que se presentan a continuación ilustran las soluciones obtenidas con el receptor 5700 de Trimble, para Posición Absoluta y para Posicionamiento Diferencial de código; cabe remarcar que la captura de estos datos se efectúa al mismo tiempo que para los navegadores Garmin GPS III Plus con la finalidad que los resultados sean comparables desde el punto de vista de los parámetros y condiciones de observación.



Estadístico	Latitud _{WGS84}	Longitud _{WGS84}	h _{WGS84}
Media	39° 28' 50,7446"	-0° 20' 15,1978"	70.891 m
Varianza	0,000038	0,000068	0.655
Desviación	0° 0' 0,0062"	0° 0' 0,0082"	0.810 m
Mínimo	39° 28' 50,7339"	-0° 20' 15,2161"	69.919 m
Máximo	39° 28' 50,7556"	-0° 20' 15,1857"	72.810 m
Mediana	39° 28' 50,7449"	-0° 20' 15,1949"	70.666 m
Diferencia	0° 0' 0,0421"	-0° 0' 0,0049"	-3.147 m

Figura 9: Posicionamiento absoluto con Trimble 5700



Estadístico	Latitud WGS84	Longitud WGS84	h WGS84
Media	39° 28' 50,6975"	-0° 20' 15,2016"	74.396 m
Varianza	0,000020	0,000017	0.182
Desviación	0° 0' 0,0045"	0° 0' 0,0042"	0.427 m
Mínimo	39° 28' 50,6884"	-0° 20' 15,2143"	73.019 m
Máximo	39° 28' 50,7122"	-0° 20' 15,1940"	75.629 m
Mediana	39° 28' 50,6978"	-0° 20' 15,2013"	74.334 m
Diferencia	0° 0' 0,0050"	-0° 0' 0,0011"	0.358 m

Figura 10: Posicionamiento diferencial (código) con Trimble 5700

En el caso del receptor Trimble 5700 se puede apreciar (usando la misma metodología y los mismos observables que en el caso del Garmin GPS III Plus) la evidencia de que el uso de correcciones diferenciales mejora sustancialmente el resultado del posicionamiento absoluto. Así, la desviación típica del conjunto de observaciones efectuadas se reduce aproximadamente a la mitad, mientras que la diferencia de las coordenadas observadas con las conocidas se reduce entre cinco y diez veces, llegando a valores inferiores a los 20 cm, tal y como se puede ver en la tabla de la Figura 10.

Una vez realizadas las pruebas de posicionamiento diferencial de código se realiza el estudio para el posicionamiento de fase. Así, y en base al receptor 5700 capaz de procesar los observables y datos de fase, se realizan tres observaciones sucesivas de una hora cada una, tal y como se apuntaba al principio del apartado 5.

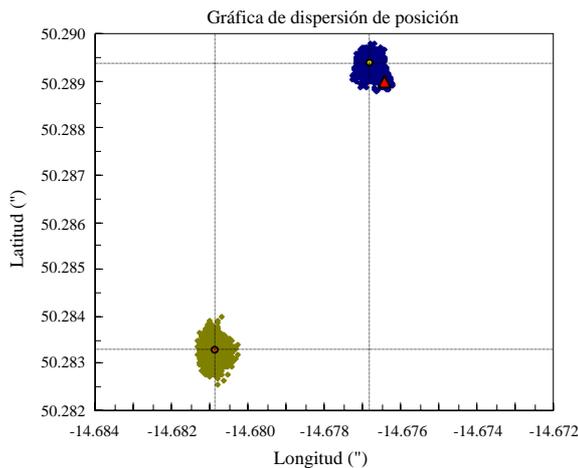
RTK con solución L1 fija: La primera observación consiste en un RTK con correcciones de fase provenientes de la estación de "VALE" y que se transmiten hacia el receptor GPS vía protocolo IP; este posicionamiento incorpora el cálculo de vectores desde la estación de referencia en tiempo real.

Diferencial en tiempo real: La segunda observación es un posicionamiento absoluto al cual se le aplican correcciones diferenciales de fase en tiempo real (solución diferencial en tiempo real).

Posicionamiento Absoluto: La tercera observación es un posicionamiento absoluto que reafirma la solución obtenida anteriormente y presentada en la Figura 9 y, por tanto, no se introduce nuevamente.

La solución obtenida en ambos posicionamientos diferenciales se presenta en la Figura 11 donde:

- Posición observada (RTK)
- Posición observada (diferencial en tiempo real)
- Media de todas las posiciones observadas (RTK)
- Media de todas las posiciones observadas (diferencial en tiempo real)
- ▲ Posición conocida del punto observado



RTK	Latitud WGS84	Longitud WGS84	h WGS84
Media	39° 28' 50.2894"	-0° 20' 14.6768"	77.695 m
Varianza	0,00000001	0,00000002	0.000099
Desviación	0° 0' 0,00012"	0° 0' 0,00014"	0.010 m
Mínimo	39° 28' 50,2888"	-0° 20' 14,6773"	77.663 m
Máximo	39° 28' 50,2898"	-0° 20' 14,6762"	77.739 m
Mediana	39° 28' 50,2894"	-0° 20' 14,6768"	77.695 m
Diferencia	0° 0' 0,0004"	-0° 0' 0,0004"	0.013 m

Diferencial	Latitud WGS84	Longitud WGS84	h WGS84
Media	39° 28' 50.2833"	-0° 20' 14.6809"	77.756 m
Varianza	0,00000003	0,00000002	0.00009
Desviación	0° 0' 0,00018"	0° 0' 0,00016"	0.009 m
Mínimo	39° 28' 50,2826"	-0° 20' 14,6813"	77.723 m
Máximo	39° 28' 50,2840"	-0° 20' 14,6802"	77.786 m
Mediana	39° 28' 50,2833"	-0° 20' 14,6809"	77.756 m
Diferencia	0° 0' 0,0057"	-0° 0' 0,0045"	0.074 m

Figura 11 Posicionamiento diferencial (fase) con Trimble 5700

Debemos aclarar que las correcciones diferenciales aplicadas y las coordenadas absolutas obtenidas serían las mismas en ambos tipos de posicionamiento (RTK o Diferencial en tiempo real) para el mismo instante, y es por eso que la desviación típica obtenida para los puntos es similar; no es lo mismo, sin embargo, el cálculo de las coordenadas del punto observado, ya que la solución RTK cinemática resuelve un vector para cada observable en tiempo real y sitúa un afijo en la estación de referencia, siendo el otro extremo del vector el punto del cual se quieren determinar las coordenadas.

La forma de obtener las coordenadas mediante posicionamiento Diferencial en tiempo real consiste en aplicar la corrección diferencial al posicionamiento absoluto, omitiendo el cálculo del vector anteriormente mencionado.

En la Figura 11 se puede observar como la solución RTK se adecua mejor a la posición esperada ya que el cálculo de cada vector en tiempo real posiciona los puntos con más precisión. La solución Diferencial no está ligada a ninguna estación sino que simplemente incorpora las correcciones diferenciales al posicionamiento absoluto que obtiene, presentando ésta un desplazamiento respecto al punto esperado y que en la solución RTK se corrige gracias a los vectores calculados.

Cabe mencionar también las diferencias obtenidas entre un posicionamiento Diferencial de Código (Figura 10) y un posicionamiento Diferencial de Fase (Figura 11), donde la desviación típica se llega a mejorar hasta cuarenta veces y el resultado del posicionamiento se aproxima diez veces más al conocido.

5.2. Posición observada y posición conocida

En este apartado se contrasta la bondad de la posición obtenida con la observación y la posición conocida del punto, a la vez que se describe la tendencia de la misma en el transcurso del tiempo. Así, lo que se representa en las sucesivas gráficas es la diferencia entre las coordenadas obtenidas en cada instante de observación y las conocidas del punto en cuestión. La simbología utilizada corresponde a:

- / Diferencia de longitud
- / Diferencia de latitud
- / Diferencia de altura elipsoidal

Como en el apartado anterior, las dos primeras gráficas que se muestran hacen referencia a las observaciones realizadas con el Garmin GPS III Plus, en posicionamiento absoluto y diferencial, respectivamente.

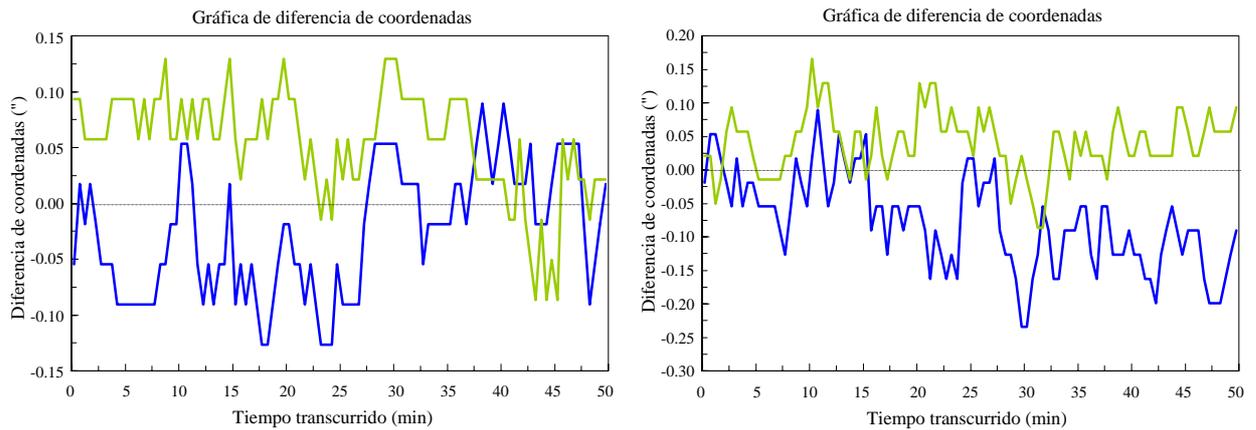


Figura 12: Posicionamiento absoluto (izquierda) y diferencial de código (derecha) con Garmin GPS III Plus

Las gráficas de la Figura 12 no presentan diferencias de altura elipsoidal ya que el dispositivo utilizado no permite la captura de puntos con esta coordenada. En estas gráficas de posicionamiento con el dispositivo Garmin GPS III Plus se reafirma el concepto de heterogeneidad que ya se había apuntado anteriormente; es decir, las coordenadas obtenidas no necesariamente mejoran con el aumento del tiempo de observación o con la aplicación de correcciones diferenciales. El motivo como comentamos anteriormente es atribuible al dispositivo utilizado.

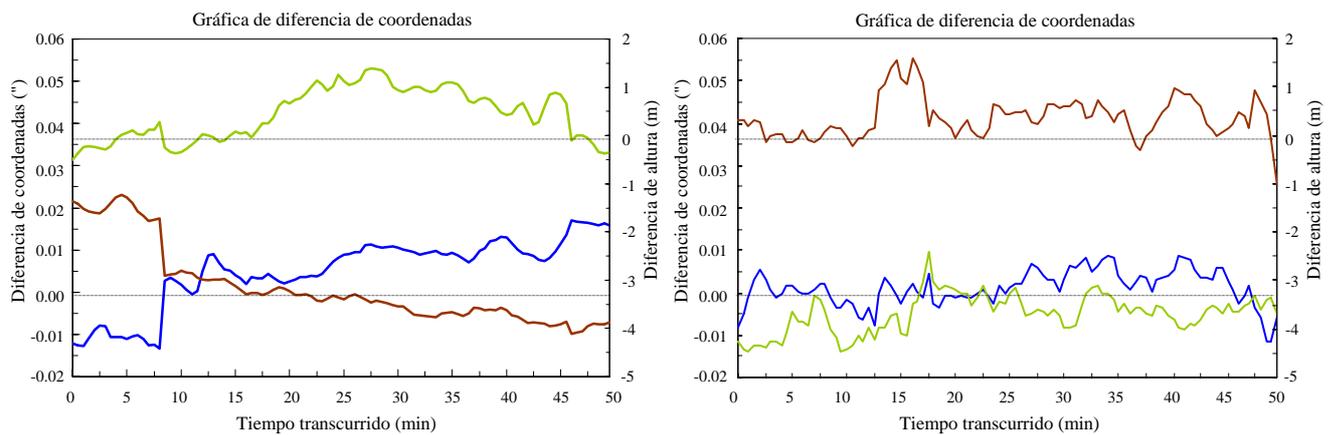


Figura 13: Posicionamiento absoluto (izquierda) y diferencial de código (derecha) con el receptor Trimble 5700

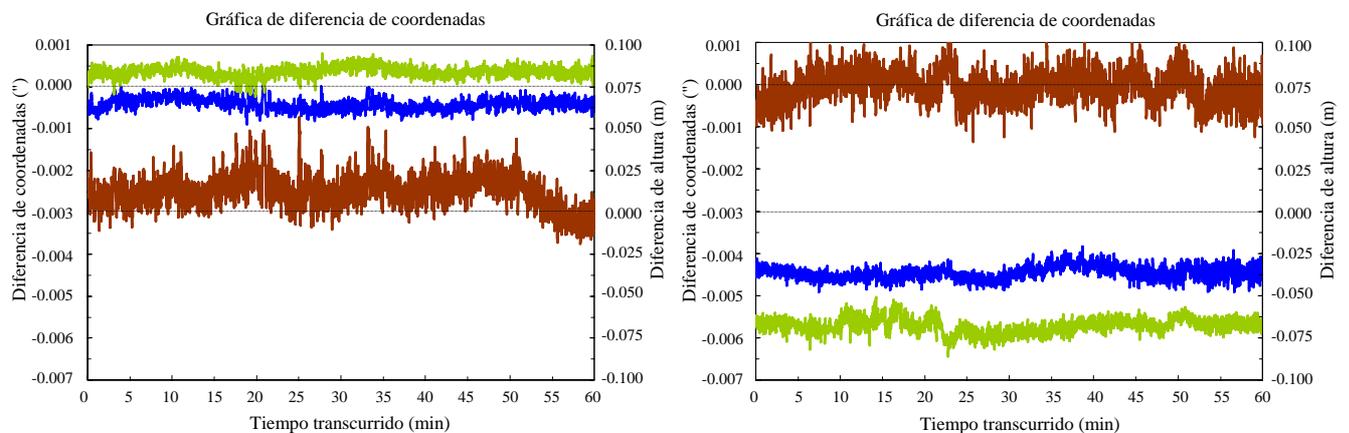


Figura 14: Posicionamiento RTK (izquierda) y diferencial en tiempo real (derecha) con el receptor Trimble 5700

Los resultados obtenidos con el receptor Trimble 5700 (Figura 13 y Figura 14) son mucho más representativos y aportan conclusiones mucho más coherentes. En primer lugar ya se puede observar como el transcurso del

tiempo propicia una estabilización de la posición y, por tanto, un incremento de la certeza en su determinación; aunque, no obstante, siguen apareciendo picos y la solución puede divergir del resultado esperado.

El posicionamiento Diferencial de código (gráfica derecha de la Figura 13) consigue una mejora sustancial en el posicionamiento y se puede observar como las soluciones se acercan mucho más al resultado esperado; así, las tres gráficas se mueven respecto al posicionamiento absoluto de forma que dejan el valor cero de diferencia con las coordenadas conocidas en el centro de las mismas, incrementando notablemente la precisión y eliminando los picos más importantes.

El posicionamiento RTK mejora la solución todavía más y no sólo acerca las coordenadas obtenidas a las esperadas sino que elimina prácticamente los errores aleatorios bruscos y, de esta forma, la incertidumbre; en la gráfica izquierda de la Figura 14, la precisión planimétrica del posicionamiento está por encima del milímetro en la mayoría de los casos y el error cometido en altimetría no supera los 5 mm. La gráfica referente al posicionamiento diferencial en tiempo real vuelve a manifestar el *offset* que se produce en la solución debido a la falta de un vector que ligue la solución a una estación de referencia.

5.3. Resumen de los sistemas

Este último apartado pretende ser un reflejo de los parámetros más importantes de la solución final, la desviación típica de los valores de las coordenadas y las diferencias con los valores conocidos.

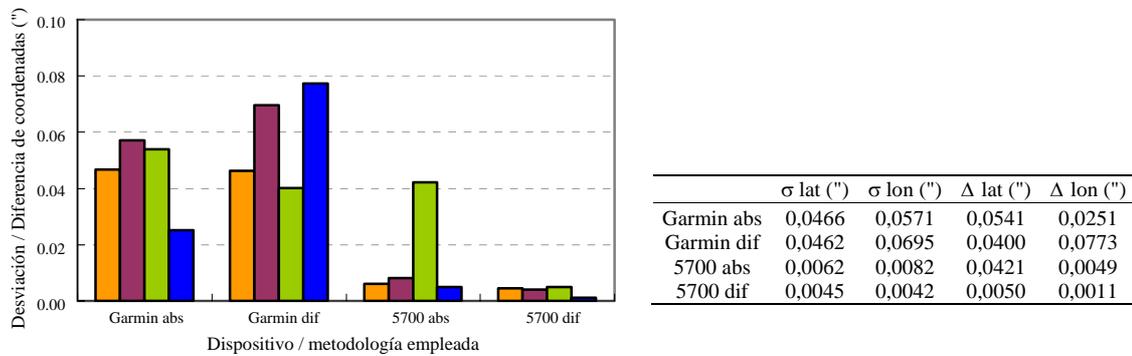


Figura 15: Desviación y diferencia de coordenadas (posicionamiento absoluto y diferencial de código)

siendo

- desviación típica de la latitud,
- desviación típica de la longitud,
- diferencia de latitud, y
- diferencia de longitud

En esta última gráfica se puede observar el incremento de precisión que supone el receptor 5700 de Trimble frente al navegador Garmin GPS III Plus al aplicar correcciones vía IP validando el sistema empleado; además se observa la eliminación de incertidumbre y el aumento de confianza en dicha solución. Lógicamente, se reafirman todas las conclusiones que se habían comentado en cuanto a precisión de la posición obtenida con el receptor geodésico Trimble 5700 frente al Garmin GPS III Plus y en cuanto al uso de correcciones diferenciales.

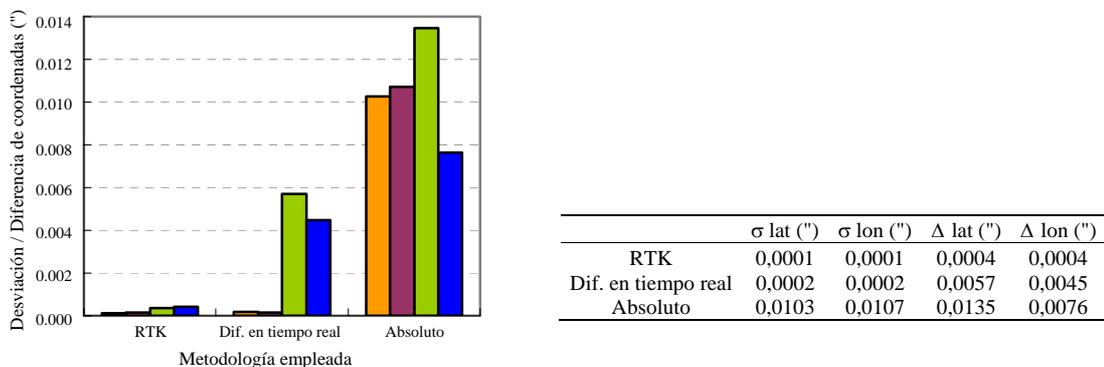


Figura 16: Desviación y diferencia de coordenadas planimétricas (posicionamiento de fase y absoluto)

Las conclusiones que aporta la Figura 16, de modo similar a la Figura 15, reafirman la bondad y el incremento de precisión esperable con el empleo de un receptor geodésico al que se le aplican correcciones diferenciales en tiempo real vía IP; así, tanto la desviación de las coordenadas como la diferencia del resultado obtenido con el esperado puede llegar a mejorar mas de 100 veces. Destacar tal y como comentamos anteriormente, la discrepancia entre el posicionamiento RTK y Diferencial en cuanto a la mejora obtenida del primero frente al segundo con respecto a la posición conocida. A continuación, y en base a

■ desviación típica de la altura, y
 ■ diferencia de altura,

se presenta la comparativa de desviación y diferencia de coordenadas altimétricas:

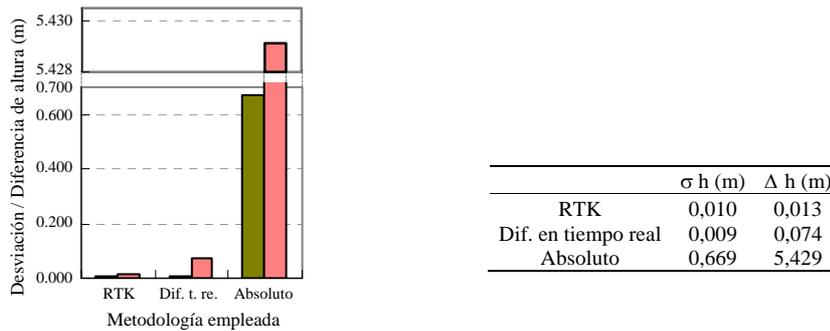


Figura 17: Desviación y diferencia de coordenadas altimétricas (posicionamiento de fase y absoluto)

El incremento de precisión, en lo que la altimetría se refiere, es superior a la mejoría obtenida en planimetría, validando el sistema de transmisión de correcciones a través de IP en su componente altimétrica.

6. Conclusiones

Tal y como se comentaba al inicio del artículo, el planteamiento del objetivo principal, es decir, testear el sistema de posicionamiento diferencial vía protocolo IP, ha sido resuelto a partir de los diferentes pruebas y análisis vistos anteriormente. De esta forma, se ha realizado la contrastación de las observaciones en dos diferentes Redes de Control (Red de 4º Orden de la Comunidad Valenciana y Red de Control Propia de Precisión), con dos métodos de posicionamiento distintos (Absoluto y Diferencial), con dos Dispositivos de posicionamiento (Receptor Geodésico y Navegador), con los dos observables de posicionamiento diferencial (Código y Fase) con dos sistemas de aplicación de posicionamiento diferencial de Fase de Trimble (RTK y Diferencial), con dos sistemas de Gestión la Información (PDA y Controlador de Trimble) y además, en su componente planimétrica y altimétrica. Los resultados de estos análisis reflejados en los apartados anteriores, proporcionan la certeza y validez de este sistema para los ámbitos analizados. Así, los estudios realizados aportan información sobre la coherencia de las nuevas metodologías y dispositivos de posicionamiento/comunicación en lo que al aumento de precisión e integridad se refiere.

Respecto a los objetivos secundarios planteados, es patente el primero de ellos a la vista de las gráficas de la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 donde queda claro el beneficio que se puede obtener de la combinación de dispositivos que se apuntaba al principio. Al mismo tiempo, las gráficas precedentes muestran la estabilidad de una solución basada en correcciones diferenciales frente a una solución de posicionamiento absoluto. Por otro lado, en cuanto al sistema de comunicación empleado se ha determinado su validez con GPRS y estamos en condiciones de realizarlo con UMTS. En cuanto a como afectan las latencias a la precisión hacemos referencia al estudio realizado por [4] Gonzalez-Matesanz et al. (2004) donde se lleva a cabo un estudio riguroso sobre el mismo.

Por último, es muy importante destacar la posibilidad que este sistema ofrece en el ámbito de aplicaciones que requieran una georreferenciación precisa en tiempo real combinada con un Sistema de Información Geográfica y/o un Sistema de Comunicación. La integración de estos sistemas en un dispositivo de gestión como una PDA proporciona una herramienta de versatilidad hasta ahora difícil de conseguir dando viabilidad a aplicaciones tales como: el control de deformaciones, la obra civil (replanteos y levantamientos), el estudio de catástrofes naturales, aplicaciones de medio ambiente (control de sedimentos de ríos, control de vertederos, deforestación...), optimización de tareas agrícolas (para evitar intoxicaciones provocadas por insecticidas...), optimización de rutas (transporte público, comercio...), cálculo de consumos, interacción ciudadana con las administraciones locales, gestión de mercancías, gestión portuaria (automatización de grúas...),....

7. Desarrollos futuros

El desarrollo futuro deja abiertas distintas puertas y temáticas que no se han podido abordar en el presente estudio. Cabe mencionar la comprobación de los sistemas planteados con puntos de nivelación y cartografías existentes. De igual forma, se pretende hacer el estudio con UMTS y aplicado a cartografía sobre Internet. No obstante la validez definitiva del sistema será realizar diversas de las aplicaciones antes mencionadas y ver su efectividad comparándola con los métodos utilizados actualmente.

Agradecimientos

Al Instituto Geográfico Nacional, en las personas de Adolfo Dalda, Javier Gonzalez-Matesanz y Jose Antonio Sánchez Sobrino. Al Institut Cartogràfic de Catalunya, en Julià Talaya López y Ernest Bosch. Al Instituto Cartográfico Valenciano, y en concreto a Raquel Capilla, por la información proporcionada sobre las estaciones permanentes y por posibilitar el uso de sistemas en pruebas. A Ángel Galán Carretero por la ayuda proporcionada en lo que a dispositivos de comunicación móvil se refiere. A Ana Ciudad Vila por los contactos suministrados y el soporte en el ámbito de Movilforum.

Referencias

- [1]. Chueca, M., Herráez, J. y Berné, J.L. (1996) *Redes topográficas y locales. Microgeodesia*. Ed. Paraninfo S.A. Valencia.
- [2]. Gao, Y. y Liu, Z. "Differential GPS Positioning over Internet". *Journal of Geospatial Engineering*, Vol.3, No. 1, pp. 1-7 Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, 2500 University Drive N.W. Calgary, Alberta, Canada.
- [3]. Gebhard, H., Weber, G., y Dettmering, D. (2004) "Ntrip, Version 1.0 (Example implementation)". Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG), Frankfurt, Alemania.
- [4]. González-Matesanz, F.J., Weber, G., Celada, J., Dalda, A., y Quiros, R. (2004) "El Proyecto EUREF-IP. Resultados con GPRS". 4ª *Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Fogueira da Foz, Portugal.
- [5]. Hada, H., Sunahara, H., Uehara, K., Murai, J., Petrovski, I., Torimoto, H. y Kawaguchi, S. "New Differential and RTK Corrections Service for Mobile Users, Based on the Internet". Japón.
- [6]. Héroux, P. y Kouba, J. (2001) "GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products". *Physics and Chemistry of the Earth*, pp. 573-578. Geodetic Survey Division, Natural Resources, Canada.
- [7]. Hofmann-Wellenhof, B. (2003) *Navigation: principles of positioning and guidance*. Nueva York, EEUU.
- [8]. Hugentobler, U., Dach, R. y Fridez, P. (2004) *Bernese GPS software. Version 5.0. DRAFT*. Printing Office of the University of Bern. Bern, Suiza.
- [9]. Kechine, M.O., Tiberius, C.C.J.M., y Van der Marel, H. (2003) "Experimental verification of Internet based Global Differential GPS". *ION GPS/GNSS 2003*. Portland, EEUU.
- [10]. Muellerschoen, R.J., Bertiger, W.I., Lough, M., Stowers, D., y Dong, D. "An Internet-Based Global Differential GPS System, Initial Results". Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, EEUU.
- [11]. Parareda, C., Bosch, E., Térmens, A., Ortiz, M. À. y Talaya, J. (2003) "CATNET: Servicios de posicionamiento de alta precisión y su integración en las nuevas tecnologías de la información". 5ª *Setmana Geomàtica de Barcelona*, Barcelona.
- [12]. Quintanilla, I. y Berné, J.L. (2003) *Satélites de posicionamiento y navegación. GPS Diferencial*. Universitat Politècnica de Valencia. Valencia.
- [13]. Quintanilla, I., Berné, J.L., Gómez, D. y Grau, J. (2004) "Implantación, cálculo y análisis de una red GPS de precisión vinculada a diferentes redes geodésicas." Valencia.
- [14]. Torge, W. (2001) *Geodesy*. Walter de Gruyter, 3ª edición, Amsterdam, Holanda.
- [15]. Weber, G., Dettmering, D. y Gebhard, H. "Networked Transport of RTCM via Internet Protocol". Alemania.
- [16]. Zhang, K. y Roberts, C. (2003) "Networked-based RTK positioning system". *Geoinformatics and Surveying Conference 2003, The Institute of Surveyor, Malaysia*. Department of Geospatial Science, RMIT University, GPO Box 2476V, Melbourne, Australia.
- [17]. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. <http://igs.ifag.de/> [Fecha de acceso: 10-XII-04]
- [18]. EUREF Permanent Network. <http://www.epncb.oma.be/> [Fecha de acceso: 10-XII-04]
- [19]. Institut Cartogràfic de Catalunya. <http://www.icc.es/> [Fecha de acceso : 10-XII-04]
- [20]. Institut Cartogràfic Valencià. <http://www.gva.es/icv/> [Fecha de acceso: 10-XII-04]
- [21]. Instituto Geográfico Nacional. <http://www.mfom.es/ign/> [Fecha de acceso: 10-XII-04]
- [22]. International GPS Service. http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html [Fecha de acceso: 10-XII-04]
- [23]. National Geospatial-Intelligence Agency. <http://earth-info.nga.mil/GandG/datums/dtp/> [Fecha de acceso: 10-XII-04]
- [24]. United States Naval Observatory <http://tycho.usno.navy.mil/ftp-gps/gpsnanu.2004> [Fecha de acceso: 10-XII-04]