

# Desarrollo de una metodología de control de la cartografía catastral urbana mediante GPS

**Francisco Manzano Agugliaro**

*Dr. Ingeniero Agrónomo  
Profesor Titular de Universidad del Dpto. de Ingeniería Rural.  
Universidad de Almería*

**Miguel Ángel Montero Rodríguez**

*Ingeniero Técnico Agrícola en Mecanización y Construcciones Rurales.  
Universidad de Almería*

**PALABRAS CLAVE:** *Catastro - Cartografía Catastral - Control Cartográfico - GPS - Sistemas de Referencia.*

El catastro es una de las mayores fuentes de información sobre el territorio de las que se dispone, la información catastral a disposición del ciudadano es de tipo alfanumérico o de tipo gráfico. La información alfanumérica generalmente se emplea para obtener estadísticas y censos, mientras que la información gráfica se emplea para extraer información espacial.

La cartografía catastral se define en el Real Decreto 585/1989 de 26 de Mayo como, la documentación gráfica que describe, entre otras características que se consideran relevantes, la forma, dimensiones y situación de las parcelas o fincas que integran el territorio nacional, cualquiera que sea su uso o actividad a que estén destinadas, constituyendo en su conjunto el soporte gráfico del Catastro.

El estado utiliza esta información para una serie de actividades como manejo de tierras y propiedades públicas, planificación

urbana y rural, reformas agrarias, desarrollo de infraestructuras, (tele-) comunicaciones, política fiscal, etc. Además el sector privado requiere información espacial para desarrollar sus actividades, como provisión de servicios de agua, energía, comunicaciones transporte, construcción, producción cartográfica, servicios de consultoría e ingeniería, etc. (Georgiadou, 1996).

El catastro desde el punto de vista de su gestión, se estructura en Catastro de Rústica y Catastro de Urbana, en ambos una componente importante es la cartografía, y a modo de indicación las escalas más frecuentes son en Rústica la 1/2.000 y la 1/5.000, mientras que en urbana son la 1/500, la 1/1.000, y la 1/2.000.

Para que la cartografía catastral pueda servir de base a otras aplicaciones, es imprescindible que cumpla con unos estándares cartográficos de precisión, ya que de otro modo sólo serviría para el fin catastral, esto es la recaudación de impuestos asociados a la propiedad de bienes inmuebles.

Por otro lado tenemos que, la realización de un estudio de precisión cartográfico

precisa de una fuente de mayor exactitud que el objeto cartográfico que pretendemos analizar, esto sin duda, implica la utilización de una tecnología combinada con unos procedimientos que aseguren estos requerimientos técnicos.

Para abordar esta cuestión caben plantearse dos posibilidades, comparar la cartografía catastral con otra cartografía de mayor precisión, pero esto no es fácil de encontrar, o bien realizar un levantamiento de precisión de aquellos elementos que pretendamos analizar dentro de la cartografía, elementos puntuales, lineales, o superficiales.

El problema que se plantea ahora es el modo de realización de un levantamiento preciso, ya que si lo realizamos por Topografía Clásica sería demasiado costoso, pues tendría que realizarse al menos con la precisión de la red catastral local, el “Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares de Aplicación General y de Prescripciones Técnicas para la Contratación de los Trabajos de Cartografía Catastral Urbana” (Subdirección General de Catastros Inmobiliarios, 2003) especifica, apartado 14 del anexo 3, las “condiciones a que han de ajustarse los trabajos de actualización de cartografía catastral urbana por trabajos topográficos”, definiendo que las precisiones en coordenadas de los métodos topográficos serán de  $\pm 0,10$  cm. en planimetría y  $\pm 0,10$  en altimetría. Si a estas precisiones añadimos que la distribución de puntos a levantar, deberá seguir unas normas de homogeneidad dentro de la cartografía a controlar, que lógicamente será función del test cartográfico elegido, y que esto sin duda implicaría varias poligonales encuadradas o cerradas dentro del núcleo urbano cuya cartografía se pretende estudiar, hacen que a priori tengamos que descartar la Topografía Clásica para el control cartográfico por motivos económicos.

La tecnología que permite solucionar a priori tanto los aspectos técnicos, como los económicos, es sin duda el posicionamiento por satélite, hoy el día el GPS (Sistema

de Posicionamiento Global) y en un futuro cercano posiblemente el sistema Galileo (1) (ESA 2003); puesto que las precisiones nominales teóricas permiten alcanzar estas precisiones. Además la no necesidad de inter visibilidad entre puntos a levantar, teniendo en cuenta que los puntos están “esparcidos” por una amplia superficie con poca o nula visibilidad entre ellos, la convierten a priori en una tecnología que merece la pena ser estudiada para abordar esta cuestión.

## El posicionamiento con GPS y la georreferenciación

El posicionamiento por satélite es una técnica que trata de determinar la posición de un punto mediante observaciones a satélites, ver figura 1, para ello basta con disponer de un receptor capaz de captar la señal transmitida por los satélites y tener “a la vista” un mínimo de tres satélites si se quiere determinar la posición planimétrica y de cuatro si se quiere obtener posición tridimensional.

En la figura 4 puede apreciarse este principio, puesto que si conocemos la posición del satélite  $S$ , y medimos la distancia del receptor al satélite  $R$ , podremos determinar la posición del receptor respecto del origen  $R$ .

Existen distintas técnicas de posicionamiento en función de la forma de determinar la distancia satélite receptor, pero todas implican el conocimiento de la posición del satélite. Efectivamente los parámetros orbitales de cada satélite GPS, efemérides, son perfectamente conocidos pues describen órbitas elípticas planas, siendo la Tierra una de sus focos y por tanto se cumplen las leyes de Kepler.

(1) El sistema Galileo es el futuro sistema de navegación europeo, y está previsto que esté completo en el año 2008.

Figura 1  
Concepto de posicionamiento con GPS

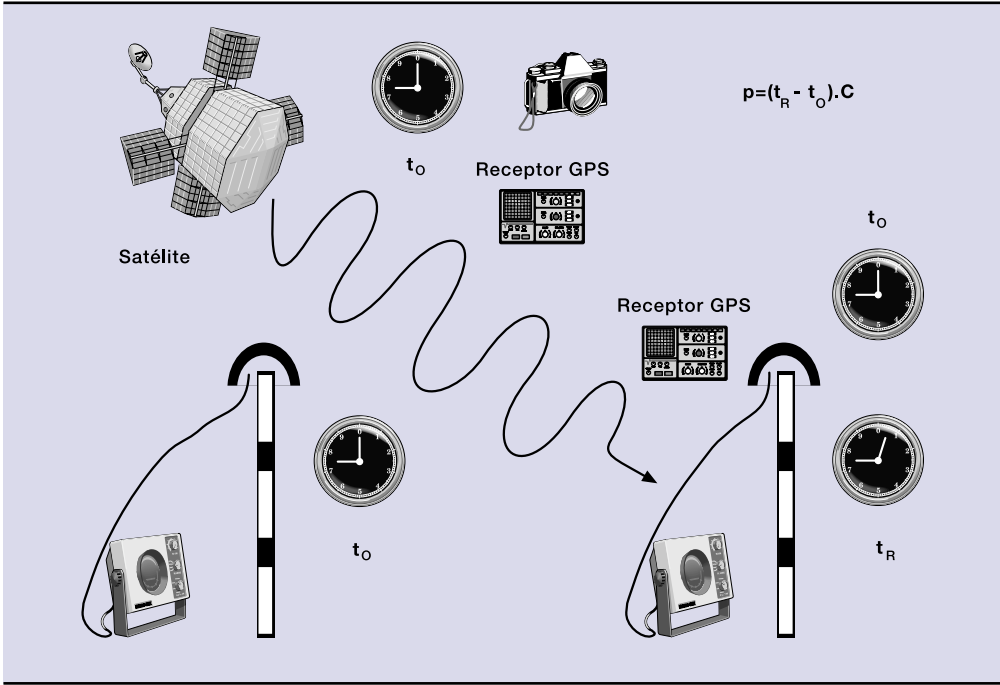


Las dos técnicas básicas para obtener la distancia satélite receptor son la medida del código también conocida como medida de la pseudodistancia y la medida de la fase de la onda portadora, la idea básica que podemos emplear para explicar ambos procedimientos de medición es que: la *pseudodistancia* ( ) se basa en calcular el tiempo de viaje de la onda desde que sale del satélite GPS hasta que llega al receptor esto es lo que se llama medida del código, como la velocidad de viaje de la señal es conocida, la velocidad de la luz  $c$ , entonces  $D = c \cdot (t_R - t_0)$ , ver figura 2; mientras que la medida de la fase de la portadora se basa en “contar” el número de veces que se repite la longitud de onda desde que sale del satélite hasta que llega al receptor, siendo la distancia en cuestión  $D$  igual al número de veces que se repite

la onda  $(N \cdot \lambda)$  más una fracción de esta  $(\lambda \cdot \text{fracción})$ ,  $D = (N + \text{fracción}) \cdot \lambda$ , ver figura 3.

De los dos sistemas de medida el más preciso es el de medida de la fase, pero ambos están influidos por una serie de errores propios de la medición como son por ejemplo el paso de la señal por la atmósfera o una incorrecta posición del satélite dentro de su órbita teórica, por ello la medición se puede hacer más precisa si se utiliza la técnica relativa, en la cual partimos de la hipótesis que dos receptores cercanos se ven influidos de los mismos errores, con lo cual, si uno está fijo y en posición conocida, esto nos permite calcular la desviación entre la posición conocida y la posición calculada; esta desviación se supone la misma en el otro receptor cercano y puede emplearse para mejorar la posición de este receptor cercano, “eliminando” así los errores

Figura 2  
Principio básico de la medida del código



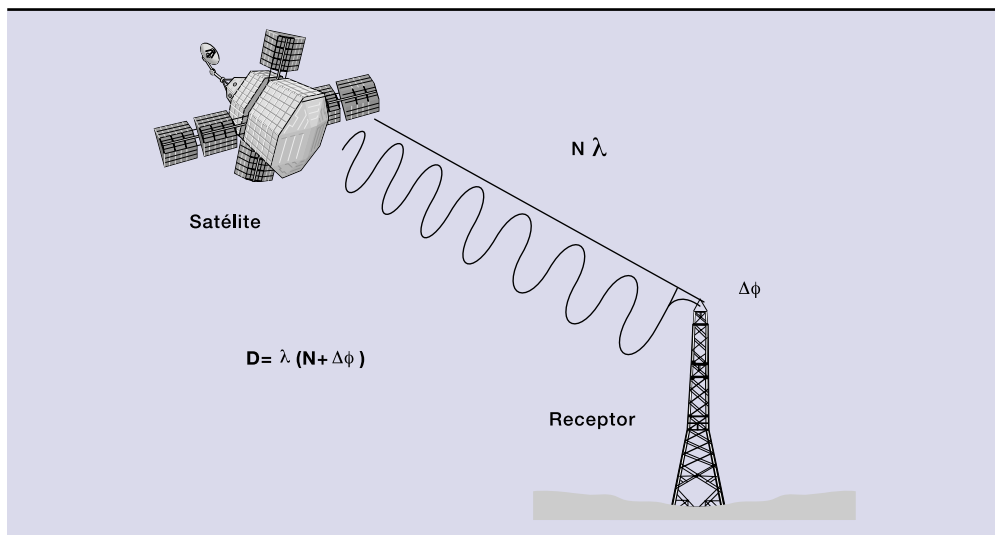
comentados anteriormente. Al receptor que permanece fijo y en posición conocida se le denomina estación base de referencia y al receptor cercano que utiliza las correcciones de esta se le denomina equipo móvil, pues es el que realmente realiza la medición.

Una vez obtenida la posición, cabe plantearse en que sistema la estamos definiendo, pero antes introduciremos algunas ideas generales acerca de la definición de la posición espacial, términos muy empleados en las ciencias de Geodesia, Cartografía y Topografía.

Un sistema de referencia terrestre, es una definición matemática en la cual se define un elipsoide como superficie de aproximación a la forma de la tierra, lógicamente existen muchos tipos de elipsoides según la zona de la Tierra que se desee representar, e incluso, un mismo elipsoide

según el punto de tangencia con la Tierra que se le defina puede dar lugar a distintas formas de aproximación del elipsoide a la figura de la Tierra. A este último concepto se suele llamar dátum (sistema de referencia más punto de tangencia), el dátum puede dar lugar a la materialización en el terreno de puntos con coordenadas conocidas en ese sistema de referencia, es lo que se suele denominar marco de referencia o sistema geodésico, estos puntos de coordenadas conocidas son los denominados vértices geodésicos, y el conjunto de ellos distribuidos a lo largo de un país o región es lo que se conoce como red geodésica. Hay que indicar que un mismo punto puede pertenecer a varias redes geodésicas a la vez, pero tendrá distintas coordenadas según el sistema geodésico o marco de referencia al que nos estemos refiriendo. Las coordena-

Figura 3  
Principio básico de la medida de la fase



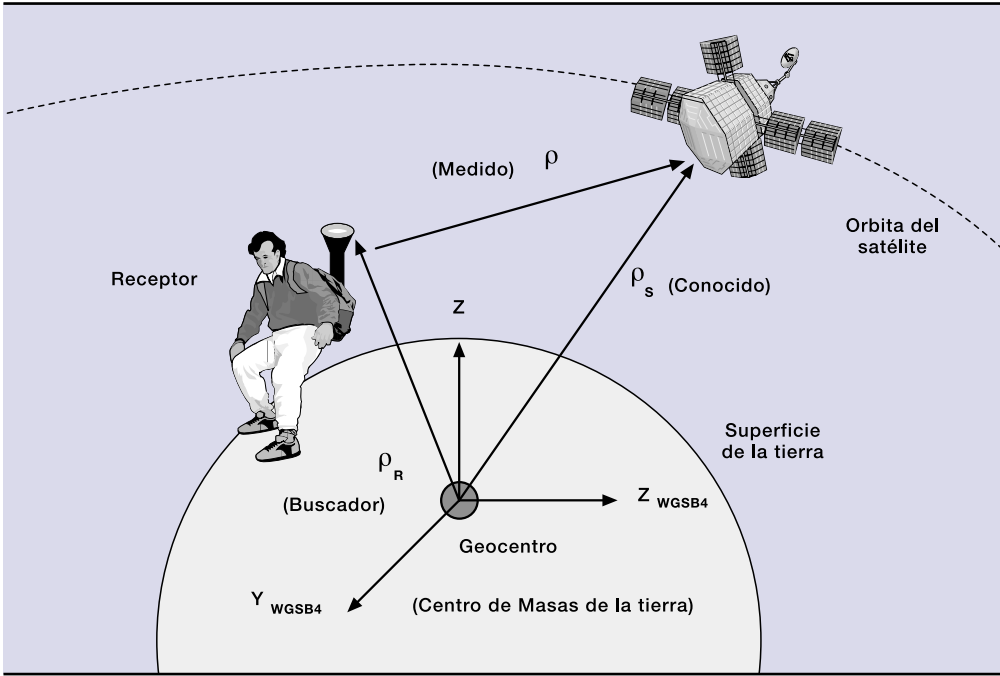
das definidas hasta ahora están referidas a elipsoides de referencia que tienen su punto de tangencia en un punto en concreto de la Tierra y aunque están totalmente definidas, no dejan de ser coordenadas de tipo elipsoidicas, es decir la posición de un punto vendrá dada por dos ángulos, la latitud ( ) y la longitud ( ) y por su altura sobre el elipsoide (h) utilizado como referencia. Para poder representar estos puntos en un plano o soporte de visualización plano, se utiliza un sistema de representación cartográfico que transforma de forma biunívoca las coordenadas elipsoidales tridimensionales ( , , h) a coordenadas planas (X, Y), que generalmente son las coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator). En la transformación cartográfica lo que se hace es proyectar la figura de aproximación de la Tierra, en este caso un elipsoide, que no es desarrollable a una figura que si lo es, puede ser a un plano, a un cono o a un cilindro, en la proyección UTM se considera el elipsoide tangente interiormente a un cilindro cuyo eje es per-

pendicular al eje de rotación de la Tierra, de ahílo de transversa.

En Catastro vienen regulados estos aspectos donde las “Normas Generales de La Cartografía Catastral Rústica” vienen definidas por ejemplo en el Anexo II de “Prescripciones Técnicas para la Informatización de la Cartografía Catastral Rústica” del “Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares de Aplicación General y de Prescripciones Técnicas para la Contratación de los Trabajos de Actualización y Digitalización del Catastro de Rústica”; donde destacaremos:

- Sistema de Referencia. European Datum 1950 (ED 50) basado en el elipsoide internacional (Hayford 1924) para la península y el ITRS93 basado en el Elipsoide WGS84 en las Islas Canarias.
- Sistema Geodésico, en la península se utilizará el denominado RE 50 (Red de Europa Occidental, 1950) a través de la Red Geodésica Nacional, y en las Islas Canarias se utilizará el marco geodésico de Referencia REGCAN95.

Figura 4  
Principio de posicionamiento con GPS y sistema de referencia WGS84



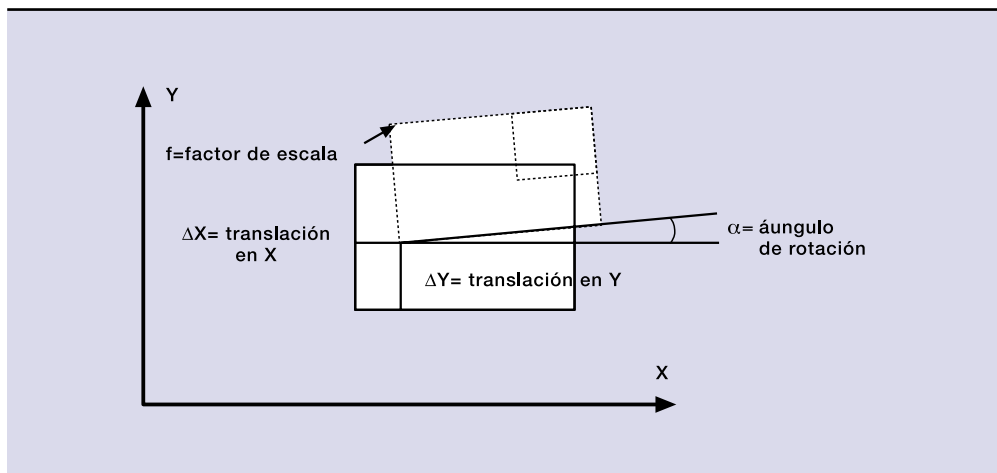
– Sistema Cartográfico de Representación, se empleará la Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) como sistema cartográfico de representación de la cartografía catastral rústica en todo el territorio nacional que es el adoptado para las series cartográficas oficiales del Estado a partir del Decreto 2303/1970, de 16 de julio.

Como puede apreciarse en la figura 4, la posición del receptor GPS sobre la superficie de la Tierra, se obtiene respecto al sistema de referencia que utilizan los satélites que están orbitando alrededor de la Tierra, a este sistema de referencia se le denomina WGS84 (World Geodetic System 1984), y es un sistema de referencia cartesiano tridimensional con origen en el centro de masas de la Tierra, el Geocentro, y basado en un elipsoide que tiene el mismo nombre

WGS84, aquí no hay punto de tangencia entre el elipsoide y la Tierra, sino que como se ha mencionado en centro del elipsoide es el Geocentro.

El problema que se plantea ahora es que no se puede utilizar las coordenadas obtenidas con el GPS, elipsoidales tridimensionales  $(\lambda, \phi, h)_{WGS84}$  y aplicarle la transformación cartográfica para obtener coordenadas  $(X, Y)_{UTM}$ , puesto que la cartografía española utiliza otro elipsoide, el ED50, luego hay que realizar primero un cambio de elipsoide, es decir pasar de  $(\lambda, \phi, h)_{WGS84}$  a  $(\lambda, \phi, h)_{ED50}$ , este cambio está basado en una transformación tridimensional en la que intervienen siete parámetros: 3 translaciones que suponen el desplazamiento entre los orígenes de ambos elipsoides, 3 rotaciones en cada uno de los ejes, y un factor de escala. Aunque estos

Figura 5  
Desplazamiento bidimensional sufrido por un elemento cartográfico



valores están tabulados, su utilización debe ser cautelosa pues son calculados para grandes áreas como países enteros y en base a pocos puntos, básicamente aquellos de las redes geodésicas que son comunes a ambos sistemas de referencia. Por tanto esta transformación tridimensional puede dar lugar como resultado final y una vez aplicada la transformación cartográfica a desplazamientos de los puntos levantados con GPS respecto de las cartografías oficiales.

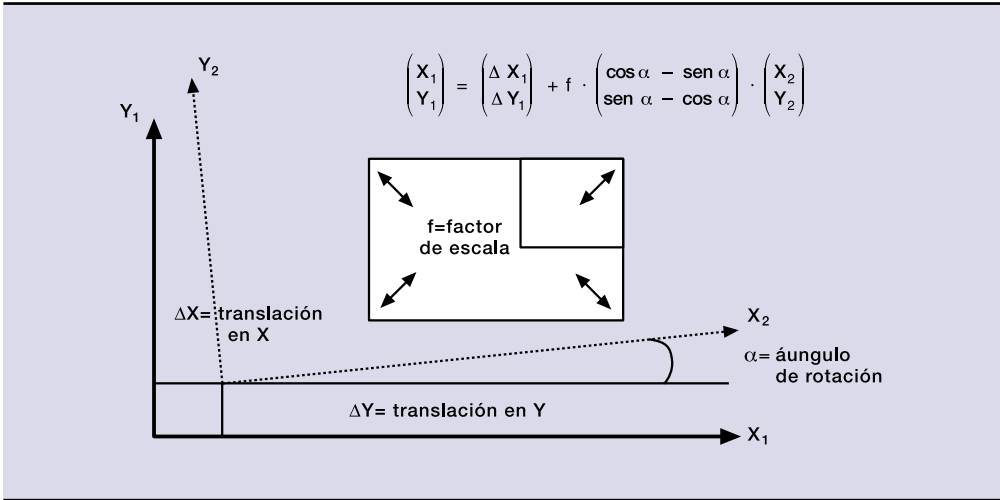
En realidad siempre existen desplazamientos entre las coordenadas cartográficas planas obtenidas con el GPS respecto de las coordenadas cartográficas oficiales teóricas, incluso habiendo realizado una transformación tridimensional de cambio de elipsoide. Estos desplazamientos pueden entenderse de dos formas: la primera es pensar que el sistema de referencia está fijo, como así ocurre, pues tiene la misma definición matemática y el resultado es que objeto cartográfico aparece en un sitio distinto a donde debería estar, aparece desplazado, ver figura 5; y la segunda forma de entender el problema, que es la que se uti-

liza para resolver el problema, donde el objeto cartográfico está en un sitio fijo y lo que está desplazado es el sistema de coordenadas del GPS ( $X_2, Y_2$ ) respecto del oficial ( $X_1, Y_1$ ), y por tanto son distintas las coordenadas según sea del primer o del segundo sistema de coordenadas, ver figura 6. Con este segundo planteamiento se pueden calcular los parámetros de transformación bidimensional entre ambos sistemas de coordenadas en función de una serie de puntos de coordenadas conocidas en ambos sistemas. La transformación bidimensional es conocida como Helmert 2 D, e involucra el cálculo de las translaciones en X e Y, el ángulo de rotación y el factor de escala  $f$ , siendo la ecuación planteada la que aparece en la figura 6.

En suma este último aspecto es que se denomina problema de georreferenciación, el GPS nos da la posición de los objetos cartografiados pero puede que estos no estén exactamente "en su sitio", sin que esto tenga que suponer necesariamente deformación alguna del objeto, por ejemplo si el factor de escala fuese la unidad no habría variación de tamaño.

Figura 6

Cálculo de parámetros del desplazamiento bidimensional sufrido por un elemento cartográfico



## Objetivos

En este trabajo nos planteamos como objetivo general, desarrollar una metodología de control catastral mediante GPS, y para ello nos planteamos los siguientes objetivos específicos.

- Elegir un test cartográfico adecuado para el estudio de la cartografía catastral de urbana.
- Elección del método de posicionamiento con GPS idóneo que nos permita realizar el test de control cartográfico seleccionado anteriormente y comprobar si cumple con las precisiones exigibles a la Red Local Catastral (R.L.C.).
- Estudiar los criterios de selección de puntos de control, en los aspectos de ubicación y número de los mismos para la correcta realización de un estudio de control de la cartografía catastral.
- Estudiar si la georreferenciación de los puntos levantados con GPS, presenta garantías suficientes para emplearse

directamente en el test de control cartográfico o por el contrario se necesita realizar algún tipo de ajuste bidimensional en las coordenadas obtenidas.

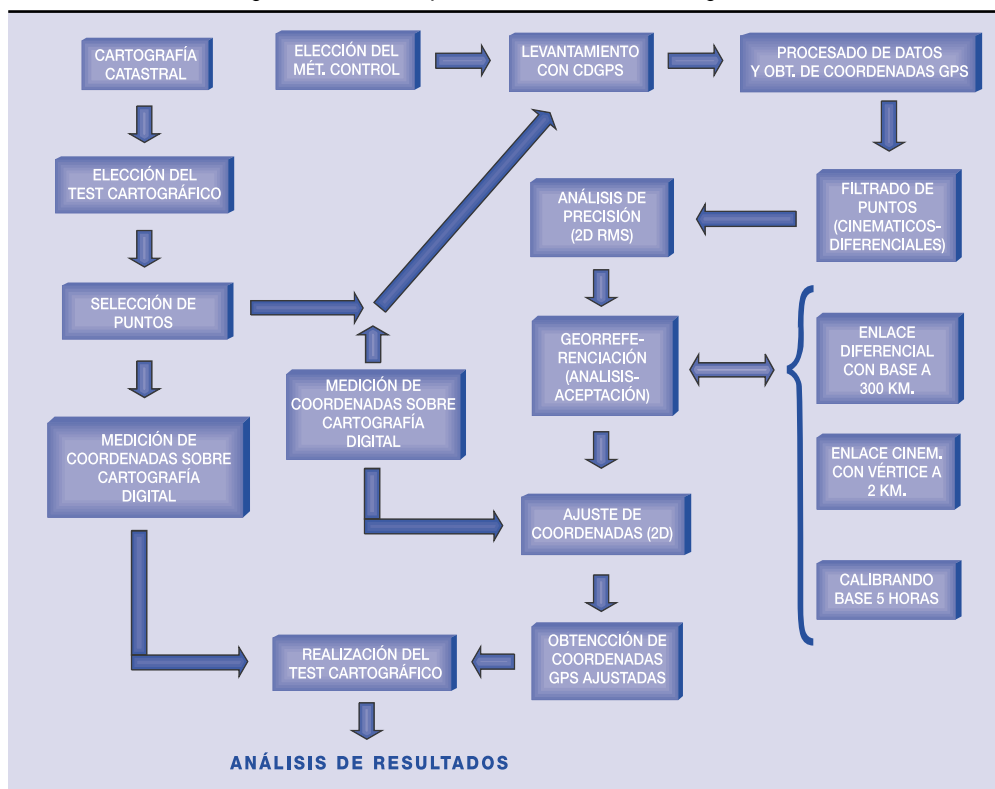
- Realizar el test cartográfico a las zonas elegidas para analizar la viabilidad de la metodología propuesta en este trabajo.

## Material y métodos

La metodología desarrollada para este trabajo sigue el esquema de la figura 7, donde una vez seleccionado el test cartográfico a emplear, deben seleccionarse los puntos sobre los cuales se tendrá que hacer el levantamiento topográfico con GPS, para posteriormente proceder a compararlos con las coordenadas de esos mismos puntos obtenidas de la cartografía catastral de urbana, la cual se dispone en formato digital. Una vez seleccionados los puntos, debemos incluir para el levantamiento los puntos de la Red Local Catastral (R.L.C.) o de la Red Secundaria Catastral (R.S.C.).



Figura 7  
Metodología desarrollada para el control de la cartografía catastral



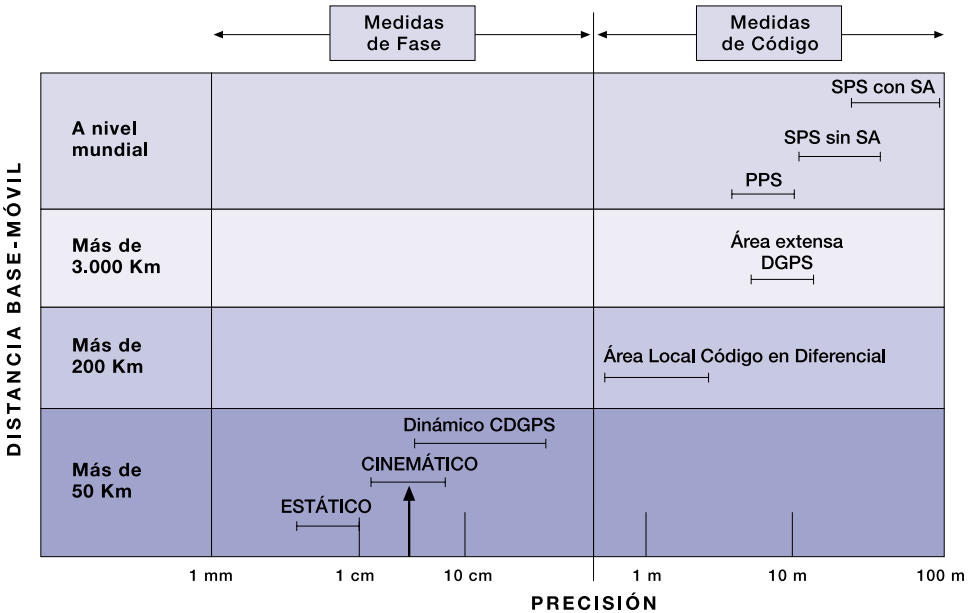
Hay que aclarar que el Pliego de Cartografía Catastral Urbana, en su anexo 4 define que “En el ámbito geográfico de los núcleos urbanos para los que se vaya a realizar la cartografía ..., se establecerá, o en su caso, se ampliará, revisará o repondrá, una Red Local Catastral, formada por una Red Básica Catastral y a partir de ella, en el interior de los núcleos, una Red Secundaria, cuyas características se detallan en el presente capítulo.

Esta Red Local Catastral se materializará mediante la constitución de una Red Básica Catastral, por los métodos de triangulación, poligonación de precisión en malla o sistemas de posicionamiento

por satélite (GPS), directamente enlazada con los vértices de la Red Geodésica Nacional construidos y con coordenadas calculadas, en la zona entorno a los núcleos, y el establecimiento de una Red Secundaria Catastral, por poligonación clásica.”

Los puntos de dichas redes están marcados en el terreno por clavos de latón y por tanto la fiabilidad de localización precisa en campo es sin duda muy alta. Los motivos de inclusión de estos puntos de las redes catastrales son dobles: primero para servirnos de puntos de control sobre los cuales comparar la georreferenciación, y segundo porque en el caso de que la geo-

Figura 8  
 Precisiones alcanzables con el GPS en modo relativo en función del observable



referenciación directa no sea lo suficientemente buena, podamos realizar una transformación bidimensional o ajuste de Helmert 2D basándolos en estos puntos.

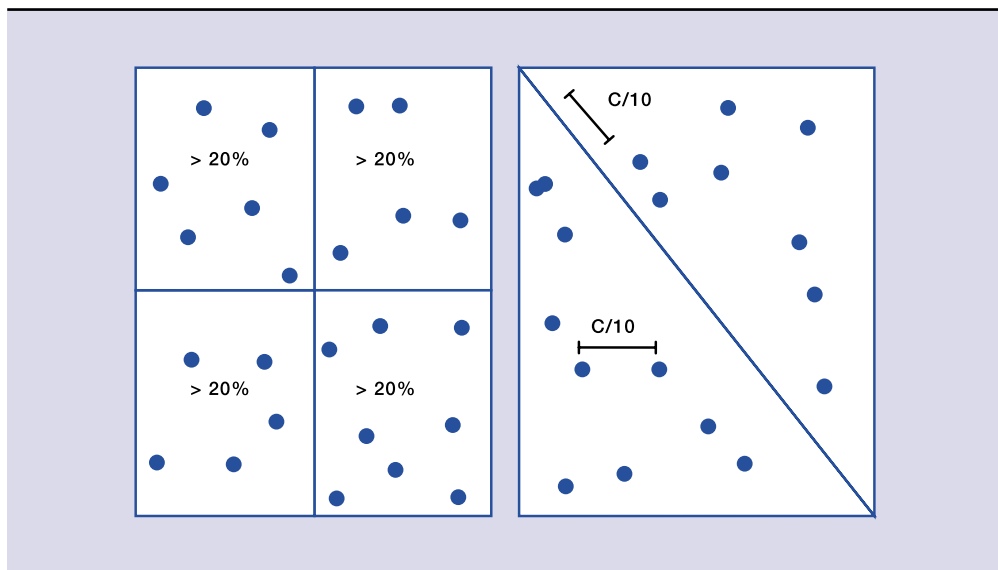
**Elección del test cartográfico y del método de control**

A la hora de estudiar la calidad de una determinada cartografía, podríamos emplear diferentes técnicas, mediante estudios basados en puntos o estudios basados en geometría lineal, para más detalle en este sentido puede verse el trabajo de Atkinson 2001. En este trabajo hemos optado por estudiar aquellos test que se basan en el control de la calidad posicional en cartografía, mediante estudios basados en puntos, habiéndose seleccionado el test EMAS (Engineering Map Accuracy Standard), el

cual nos proporciona la exactitud de los mapas topográficos a gran escala. Este estándar ha sido desarrollado por la ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) junto con la American Society of Civil Engineers y el American Congress on Surveying and Mapping (Veregin, H. & Giordano, A., 1994).

Se ha escogido este test, el EMAS/ASPRS Standar, debido a que principalmente nos permite la comparación de la cartografía del catastro con una fuente de mayor exactitud. Además en el test EMAS/ASPRS Estándar se obtienen estadísticos para analizar si existen desplazamientos constantes (errores sistemáticos) y la variabilidad de la muestra (errores casuales), por otro lado se emplean de forma independiente las componentes X, Y y Z de una muestra de, al menos, 20 puntos per-

Figura 9  
Distribución homogénea de la muestra



fectamente definidos. En nuestro estudio analizaremos solamente la componente planimétrica de la cartografía (X, Y).

En nuestro caso la fuente de mayor exactitud será el empleo de un levantamiento preciso con GPS relativo. El método de posicionamiento con GPS elegido ha sido, el modo relativo y con medida de la fase de la portadora L1, lo cual nos proporcionará a priori una precisión suficiente para la comparación que pretendemos realizar, precisión centimétrica cuando el alejamiento entre el equipo móvil que realiza el levantamiento de los puntos y la estación base fija o de referencia distan menos de 10 km. (Manzano Agugliaro F. 2000), en la figura 8 puede verse un resumen de las precisiones alcanzables con el GPS en modo relativo en función de los observables, medida de fase o medida del código, y en función de la distancia entre la base de referencia y el equipo móvil.

### La selección de puntos de control

Según se indicaba en el apartado anterior, la muestra de puntos debe estar formada en todos los casos por al menos 20 puntos perfectamente definidos. A la hora de realizar su elección, los puntos no deberán entrañar ninguna posible confusión en cuanto a su localización tanto sobre el mapa como sobre la fuente de mayor exactitud. Asimismo, deberán estar homogéneamente distribuidos. Los puntos se deberán distribuir de forma que en cada uno de los cuadrantes del mapa se sitúen al menos un 20% de los mismos. De la misma forma, la separación entre los puntos no será inferior a una décima parte de la diagonal del mapa a controlar (fig. 9). Dado el método de levantamiento elegido nos planteamos tomar un cierto número de datos superior, dado que tendremos que eliminar los errores groseros, ya que habrá puntos que no alcancen precisión suficiente.

## Material

El material empleado en este trabajo se puede clasificar en tres apartados:

- Cartografía Catastral: se ha empleado Cartografía catastral de urbana en formato digital.
- Equipos GPS: GPS Topsat de 12 canales y monofrecuencia (Manzano Agugliaro F 1998), ver figura 12.
- Software: el de procesado de los datos GPS (Topsat), el de transformación de coordenadas de WGS84 hasta UTM<sub>ED50</sub> (Geotec), el de Ajuste de coordenadas (TGO Trimble Geomatic Survey), el de visualización de la cartografía (Autocad Map v.14), Análisis de resultados y realización del test (Excel).

## Diseño del experimento y toma de datos

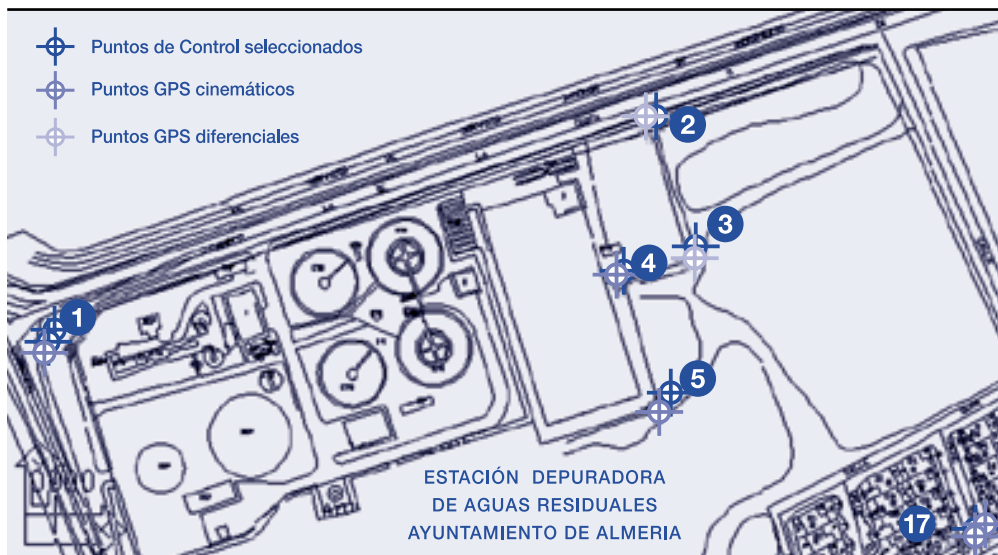
Para la realización de la parte experimental, se planteó levantar 4 zonas independientes, con objeto de que la metodología propuesta no sea sensible, en la medida de lo posible, a la bondad de la cartografía catastral empleada en el estudio. Las zonas elegidas fueron del T.M. de Almería, perteneciendo todas ellas al diseminado de urbana, donde existe cartografía catastral de urbana en formato digital, existiese la red catastral local, y además que distasen menos de 10 km de la base de referencia GPS fija, situada en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Almería, en nuestro caso la distancia máxima fue de 6 km. entre base y móvil, asegurándose así la

Figura 10

Alejamiento de las zonas de estudio respecto a la Estación Base GPS de Referencia



Figura 11  
Ejemplo de puntos seleccionados en la cartografía catastral para ser levantados con GPS



precisión centimétrica teórica de los levantamientos con GPS. Las zonas objeto de estudio fueron: Costacabana, El Alquíán, La Cañada y Venta Gaspar, y distribuyéndose tal como puede verse en la figura 10.

En cada una de las zonas se procedió a la selección de los puntos de la cartografía de acuerdo a los criterios anteriormente descritos según el test cartográfico elegido. Por otro lado estos deben ser perfectamente identificables tanto en la cartografía como fáciles de encontrar en la fase posterior de trabajo de campo, por ello, los puntos seleccionados han sido principalmente esquinas de aceras, esquinas de vallas de jardines, etc. Una vez seleccionados se procedió a la medición de las coordenadas (X, Y), sobre el soporte digitalizado.

### Toma de datos en campo

Se levantaron los puntos seleccionados para el control cartográfico y los que pertenecen a la red catastral, en modo redun-

dante tomándose 10 medidas por punto, para posteriormente en el postproceso hacer una media aritmética de las medidas y obtener las coordenadas de dicho punto con mayor exactitud.

Hay que mencionar que los puntos seleccionados en esquinas de aceras fueron los más difíciles de identificar en campo, máxime cuando en la realidad las esquinas de las aceras están redondeadas, y por tanto en la medida de lo posible deberían seleccionarse otras referencias para tomar en campo.

En la figura 11 se puede observar el levantamiento de un punto perteneciente a la red catastral, en la zona de Costacabana. En la figura 12 se muestra un detalle de la representación de los puntos seleccionados en la cartografía catastral y sus homólogos levantados con GPS y posteriormente georreferenciados a UTM.

Una vez levantadas con GPS las 4 zonas objeto de estudio, se distribuyeron los puntos levantados en las distintas zonas según se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1  
Número de puntos levantados con GPS

Zona	Puntos de la cartografía	Puntos de la red catastral (clavos)
La Cañada	114	8
Venta Gaspar	33	1
El Alquíán	96	4
Costacabana	98	2

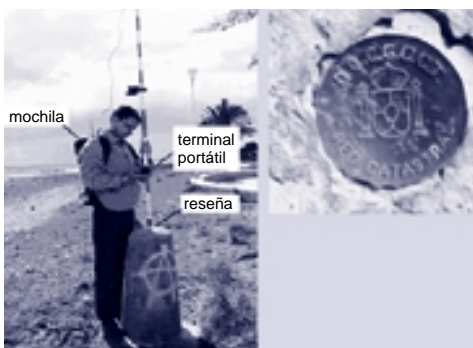
## Análisis de resultados

### Filtrado de puntos y análisis de la precisión

Del total de puntos levantados, sólo aquellos que tienen precisión suficiente podrán formar parte del análisis y por tanto el primer paso es, descartar los puntos que no obtuvieron precisión centimétrica tras el procesado. El procesado diferencial con GPS realiza en primer lugar (software Tpsat) el procesado del código CA obteniendo la solución de código lo cual supone una precisión métrica o submétrica, a estos puntos se los suele llamar diferenciales. El segundo paso una vez obtenidos los puntos diferenciales, es la aplicación del algoritmo que emplea la medida de la fase, obteniendo así los puntos en precisión centimétrica y se les denomina cinemáticos por el algoritmo de procesado que permite que el receptor GPS este en movimiento sin perder precisión. Según lo comentado sólo los puntos cinemáticos formarán parte del análisis.

Tras el filtrado de los puntos se observó que, la zona de Costacabana tuvo un mayor tanto por ciento de puntos en cinemático, debido a la proximidad a la base, y por la no presencia de obstáculos tales como (edificios altos, vegetación ...). Y que la zona de Venta Gaspar no podía formar parte del estudio debido a la escasez de puntos cinemáticos, no cubriéndose el mínimo para la aplicación del test cartográfico. Respecto al

Figura 12  
Levantamiento con GPS de un punto de control catastral en la zona de Costacabana y detalle del clavo de la Red Local Catastral en ese punto



total de puntos de las tres zonas restantes, haciendo la media, se obtuvo un 48% de puntos en diferencial (precisión métrica o submétrica) y un 52% de puntos en cinemático (precisión centimétrica).

El análisis de la precisión implica el estudio de la dispersión de las 10 mediciones redundantes por punto, para ello se empleó como estadístico el RMS (Error medio cuadrático), y más concretamente del 2drms, debido a que posee el mayor tanto por ciento de probabilidad, entre el 95-98% de que estén todos los puntos, y se ajusta a dos dimensiones. Se observa que los 2drms medios obtenidos fueron de: 8 cm en La Cañada; 5,4 cm en Costacabana y de 9,9 cm en El Alquíán, y por tanto se cubre en todos los casos el requerimiento del pliego de condiciones, donde se decía que la precisión debía ser de  $\pm 0,10$  cm en planimetría.

### Análisis de exactitud o georreferenciación y ajuste de las coordenadas

Tras analizar la precisión se procedió al análisis de la exactitud, entendida como georreferenciación o acercamiento de los puntos (o media de los puntos redundantes)

al valor supuesto como real o exacto; en nuestro caso esto sólo puede hacerse respecto de los puntos de control catastral o clavos. Al aplicar el método de posicionamiento relativo, las coordenadas finales obtenidas son realmente un incremento de coordenadas desde la base de referencia al GPS móvil que está determinando los puntos, de este modo cuanto más exactas sean las coordenadas de la base, mayor exactitud tendremos en las coordenadas de los puntos determinados con el equipo móvil. En este trabajo se probaron tres métodos para obtener coordenadas absolutas de la base de referencia GPS:

- Calibrar la base en modo absoluto durante un largo periodo de tiempo 5 horas.
- Calcular la posición de la base con el método relativo y por medida de código (aplicar el modo diferencial) desde otra base situada a 200 km. y que dispone de coordenadas precisas.
- Calcular la posición de la base con el método relativo y por medida de la fase (aplicar el modo cinemático) desde un vértice geodésico perteneciente a la red REGENTE del cual se disponían de coordenadas precisas y estaba alejado de la base de nuestro trabajo de 2 a 3 km.

Una vez georreferenciada la base de nuestro trabajo, se procedió a la georreferenciación de los puntos tomados con el equipo móvil, para proceder a comprobarlos con los puntos de la cartografía catastral, en ningún caso se estimó que había calidad suficiente en la georreferenciación, para proceder a la comparación directa de los demás puntos de la cartografía catastral mediante el test cartográfico seleccionado. No obstante el tercer método es con el que se obtuvo mayor precisión y el que se empleó para una primera estimación de desplazamientos y errores entre ambas poblaciones de puntos, obteniéndose una diferencia planimétrica promedio de: 2,27 m para la zona de la Cañada, 1,81 m para la

zona de Costacabana, y de 1,47 m para la zona de El Alquíán.

Para proceder a una georreferenciación óptima e intentar utilizar los datos directamente en el test cartográfico habría que calcular previamente los parámetros de transformación de la zona cerrando un triángulo apoyado sobre vértices geodésicos de la red, e incluso se puede realizar un posicionamiento estático de media duración (15 minutos) y utilizando al menos dos bases de referencia situadas en estos vértices, todo ello igual que se calculan los puntos de apoyo fotogramétrico por GPS (Manzano Agugliaro F 1999).

Los desplazamientos generalizados de los puntos levantados con GPS respecto de los puntos de la cartografía catastral, planteó realizar un ajuste 2 D o bidimensional, utilizando como puntos buenos los clavos de catastro siendo estos los que definen el sistema de referencia de destino, y los puntos levantados con GPS los puntos del sistema de referencia origen.

En el cuadro 2 se muestran los valores obtenidos de las distintas transformaciones, donde se observa la gran variabilidad de los parámetros de transformación dependiendo de la zona, tanto en las traslaciones, como en las rotaciones, pero el factor de escala si es bastante homogéneo, ya que es menor de 1 milímetro por kilómetro, y por tanto el factor de escala va a influir muy poco, luego se observa que el levantamiento con GPS no presenta deformación respecto de la red local catastral. Pero sin embargo, si se observa, de la disparidad de parámetros, tanto traslaciones como rotaciones, que ninguna georreferenciación directa puede servir a la vez para estas tres cartografías, incluso estando dentro de un entorno de trabajo pequeño (menor de 6 km., véase figura 3) necesitándose calcular independientemente para cada zona.

Realizados estos ajustes se observa una mejoría de las diferencias planimétricas promedio entre los puntos levantados con GPS y los puntos de la cartografía, obteniéndose ahora unas diferencias planimé-

**Cuadro 2**  
**Parámetros de transformación de las distintas zonas de trabajo**

Zona	Traslación Norte ( Y )	Traslación Este ( X )	Ángulo de rotación ( )	Factor de escala (f)
La Cañada	0,596 m	1,616 m	0°01'00"	0,99936377
Costacabana	0,605 m	1,287 m	359°56'57"	0,99990149
Alquíán	0,800 m	0,142 m	0°00'39"	1,00039604

tricas de: 1,24 m para la zona de la Cañada, 0,94 m para la zona de Costacabana, y de 1,23 m para la zona de El Alquíán. Las cuales han mejorado en 0,72 m de media respecto de los puntos sin ajustar.

**Realización del test cartográfico**

El procedimiento para realizar el test cartografico EMAS/ASPRS Estándar fue el siguiente:

1.º Seleccionada la muestra de n puntos, para n ≥ 20, se calculaba el error para cada punto en su componente X:

$$e_{xi} = xt_i - xm_i$$

Ec. 1: Error en la componente x del punto i

Donde:  $xt_i$  es la coordenada del punto i sobre el terreno o sobre la fuente de mayor precisión;  $xm_i$  es la coordenada del punto i sobre el mapa.

2.º Se Calcula el error medio en X para los n puntos que componen la muestra:

$$\bar{e}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{xi}$$

Ec. 2: Error medio en la componente X

3.º Se Calcula la desviación en la componente X:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (e_{xi} - \bar{e}_x)^2}$$

Ec. 3: Desviación media del error en X

4.º Calcular el test de cumplimiento / rechazo del estándar empleando los límites de error aceptables para los errores sistemáticos (desplazamientos constantes sobre el mapa). Para ello se emplea el estadístico de la Ec. 4:

$$t_x = \frac{\bar{e}_x \sqrt{n}}{S_x}$$

Ec. 4: Estadístico para la detección de sistematismos en X

Si se verifica que  $t_x \leq t_{n-1, \alpha}$ , el mapa cumple con el test, siendo:  $n - 1$ : los grados de libertad;  $\alpha$ : el nivel de significación y  $t$  la medida teórica de la  $t$  de Student.

5.º Se calcula el test de cumplimiento / rechazo del estándar empleando los límites de error aceptables para los errores casuales (aleatorios). Así, se determina el grado de variabilidad de los errores. Para ello se emplea el estadístico de la Ec. 5:

$$\chi^2_x = \frac{S_x^2 (n - 1)}{\sigma_x^2}$$

Ec. 5: Estadístico para la detección de errores casuales en X

Si se verifica que  $\chi^2_x \leq \chi^2_{n-1, \alpha}$ , el mapa cumple con el estándar de calidad posicional en X, donde:  $\sigma_x$  es el limite de error aceptable (varianza máxima) en la componente X<sup>2</sup>;  $n - 1$ : los grados de libertad;  $\alpha$ : el nivel de significación y  $\chi^2$ : la medida teórica de la distribución Chi-Cuadrado.



6.º Se Calcula de modo análogo en las demás componentes a analizar, en nuestro caso la componente Y, tanto para errores sistemáticos y accidentales.

La cartografía cumplirá con el EMAS si todas las componentes han pasado los dos test correspondientes, en nuestro caso sólo analizaremos las componentes X e Y por tratarse de un estudio planimétrico.

Como los errores medios, con las coordenadas ajustadas eran de 0,72 m, se escogió la escala 1:5.000, ya que a priori el límite de la percepción visual son 0,2 mm por el denominador de la escala, en este caso  $0,72 \text{ m} < 1 \text{ m}$ . Se procedió a la realización del test cartográfico EMAS/ASPRS estándar, para la escala 1:5.000, cumpliéndose en los siguientes términos: la componente X con una probabilidad del 95% para grado de libertad 1 y la componente Y con una probabilidad de 92% para grado de libertad 1.

## Conclusiones

- El test cartográfico empleado, el test EMAS/ASPRS Standard, ha demostrado ser eficaz para su empleo en el análisis de la Cartografía Catastral con GPS como fuente de mayor exactitud.
- El método de posicionamiento con GPS que más se ajusta a las necesidades de este trabajo, y por tanto a la aplicación del GPS en el control cartográfico catastral, es el en modo relativo con medida de fase, CDGPS, habiéndose conseguido precisiones mejores a los 10 cm en planimetría, que es lo que se le exige a la Red Catastral Local (R.C.L.).
- En la selección de los puntos de control se deben tomar el doble de los puntos estrictamente necesarios para realizar el test cartográfico, pues en el levantamiento con GPS, solo la mitad de estos han podido ser procesados con garantías de precisión centimétrica, y por tanto, poder ser incluidos en el análisis. Ya que de los 327 puntos que han intervenido

tan sólo el 52% han sido tomados en modo cinemático, se debe evitar seleccionar como puntos a levantar las esquinas de aceras, ya que en campo las esquinas están redondeadas y por tanto no siempre es posible su localización. También es conveniente incluir los puntos de la red catastral local que existan en la zona.

- La georreferenciación directa no puede emplearse para estudiar una zona, aunque el entorno de trabajo sea pequeño (6 km en nuestro trabajo), ya que los parámetros de transformación deben calcularse para cada cartografía a analizar.
- Los puntos obtenidos del levantamiento con GPS con precisión centimétrica deben considerarse como coordenadas relativas, y al ser ajustados mediante una transformación de Helmert 2D con los puntos de la red catastral local de cada cartografía dan un ajuste mejor a un milímetro por kilómetro (1 ppm) en el factor de escala.
- Analizadas las coordenadas de los puntos de la cartografía catastral con sus homólogos procedentes del levantamiento con GPS y ajustados posteriormente, se obtiene que el error promedio de los puntos de control ha sido de 0,83 m., y por tanto se puede deducir, que la cartografía catastral analizada cumple con los criterios de elaboración para una escala 1/5.000.
- Aplicado el Test EMAS/ASPRS Standard a las componentes X e Y de todos los puntos estudiados, y para una escala 1:5.000 se observa que esta probabilidad planimétrica (X, Y) es superior al 90%.

## Bibliografía

ATKINSON GORDO, ALAN D. J.; GARCÍA BALBOA, J. L.; ARIZA LÓPEZ, F. J. (2001): "Los Diferentes Test Para El Control De Calidad Posicional En Cartografía". *XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*. Badajoz.

BERNÉ VALERO, J. L.; FEMENIA RIBERA, C. (2000): "Catastro de Rústica", Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia.

ESA-EUROPEAN SPACE AGENCY (2003): *Galileo. The European Programme for Global Navigation Seviches*. [http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/doc](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/doc)

GEORGIADOU, Y.; MEIJERE, J.; ENEMARK, S.; WILLIAMSON, I. (1996): "Geomática oportunidades y desafíos". Seminario, Taller. Trellew-Chubut Argentina.

MANZANO AGUGLIARO, F.; COLOMER DE LA OLIVA, I.; GARCÍA BUENDÍA, T.; MANZANO AGUGLIARO, G.; GARCÍA BUENDÍA, A. (1999): "Aplicaciones Fotogramétricas y Cartográficas en la Ingeniería Rural". Servicio de Publicaciones Universidad de Almería.

MANZANO AGUGLIARO, F.; MEROÑO DE LARRIVA, J. E.; LÓPEZ HERNÁNDEZ, M.;

ORTIZ, V.; PÉREZ CORTÉS, M. (1998): "Farming Pays: Andalucía's Agricultural Application of GPS". *GPS World*, Vol. n.º 9, Pag. 30-34, Oregon (USA).

MANZANO AGUGLIARO, F.; MANZANO AGUGLIARO, G. (2000): "Topografía por Satélite: GPS". Servicio de Publicaciones Universidad de Almería.

REAL DECRETO 585/1989, de 26 de mayo, por el que se desarrolla la Ley 7/1986, de 24 de enero, en materia de cartografía catastral.

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE CATASTROS INMOBILIARIOS (2003): "Pliego de cláusulas administrativas particulares de aplicación general y de prescripciones técnicas para la contratación de los trabajos de cartografía catastral urbana".

VEREGIN, H.; GIORDANO, A. (1994): "Il controllo di qualità nei sistemi informativi territoriali". Venecia (Italia): El Cardo. ■