

## METODOLOGIA DE TRABAJO CON LOS SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

*Pere Pujol Caussa<sup>1</sup>*  
*Montserrat Pujadas Tort<sup>1</sup>*

### RESUMEN

Desde hace algunos años los Sistemas de Posicionamiento Global (SPG) se están imponiendo como una herramienta interesante e, incluso, imprescindible para el posicionamiento y la navegación —marítima, aérea y terrestre— y con importantes aplicaciones en los campos de la cartografía, la teledetección, los Sistemas de Información Geográfica, la Topografía, etc.

En este artículo realizamos una introducción a los SPG, haciendo un repaso de los componentes, de la forma de calcular la distancia, de la precisión y de la metodología de trabajo con ellos.

### ABSTRACT

For some years now, Global Positioning Systems (GPS) have become interesting and indispensable tools for determining geographical positioning for air, land and

1. Sección de Geografía. Universitat de Girona. Plaza Ferrater Mora, 1. 17071 Girona, España. Fax: 34-72-418230. E-MAIL: PUJOL@SKYWALKER.UDG.ES y PUJADAS@SKYWALKER.UDG.ES

marine navigation, as well as having important applications in the area on Cartography, Remote Sensing, Geographical Information Systems, Surveying, etc.

In this article, we present an introduction to GPS and summarize the necessary components, ways to calculate distance and precision, and methodologies for working with them.

## 1. INTRODUCCION (Nociones básicas)

Los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) son sistemas de navegación global implementados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, y que permiten: el posicionamiento de cualquier punto —cálculo de la longitud, latitud y altitud— sobre la superficie de la Tierra, el mar o el aire; la navegación marítima, aérea o terrestre, y obtener el tiempo con precisión de reloj atómico utilizando los satélites NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging).

### 1.1. Componentes

El SPG está constituido por tres componentes esenciales: el espacial, el de control y el usuario. El espacial está formado por la constelación de satélites NAVSTAR, que empezaron a ser lanzados al espacio en 1978, consta de 24 satélites distribuidos en 6 planos orbitales inclinados  $55^\circ$  respecto del ecuador —4 satélites por órbita—, a una altitud de 20.180 km y con un período de 12 horas, es decir, que cada satélite da dos vueltas completas cada día. Todos los satélites llevan de 2 a 4 relojes atómicos y transmiten constantemente señales de radio utilizando su propio código.

El componente de control está formado por 5 estaciones terrestres de seguimiento —la central y cuatro secundarias—, que están distribuidas cerca del ecuador y a semejantes distancias entre ellas. Su finalidad es la de controlar el funcionamiento del sistema y, además, recoger la información necesaria para establecer con una gran precisión las órbitas de los satélites. Esta información será procesada en la estación central (Colorado Springs, Estados Unidos), con el objetivo de calcular las efemérides —predicciones de la posición de los satélites de la constelación de SPG en un momento determinado— y el estado de los relojes de los satélites, y enviada y almacenada en los satélites para su radiodifusión, al menos una vez al día. El tercer componente es el usuario y está constituido por los equipos receptores del SPG, que constan esencialmente de la antena y el receptor.

### 1.2. Cálculo de la distancia

Existen tres métodos para calcular la distancia con los SPG: el Doppler, el de pseudodistancias y el de medida de la fase. En este trabajo sólo se explicará el segundo por estar muy extendida su utilización y por ser el que usan los equipos aquí descritos.

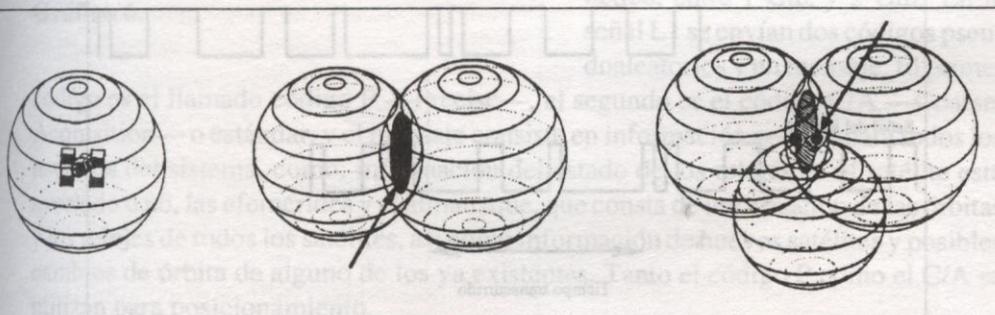
El cálculo de la distancia con los SPG utilizando el método de pseudodistancias se fundamenta en que, para definir las coordenadas de un punto, el aparato receptor del SPG necesita calcular la distancia de él a varios satélites de la constelación del SPG, haciendo que éstos hagan de puntos de referencia precisa.

El cálculo del posicionamiento con un SPG se realiza situando el receptor en la intersección de unas esferas imaginarias con centro en el satélite y radio la distancia entre uno y otro. Si, por ejemplo, la distancia entre el receptor y el satélite A es de 21.000 km, esto significa que aquél puede estar localizado en cualquier punto de la superficie de una esfera imaginaria de 21.000 km de radio con el satélite en el centro (gráfico 1). Si el receptor calcula la distancia a otro satélite, el B, que está a 21.500 km, la posible localización del SPG quedará reducida a un círculo producto de la intersección entre las dos esferas imaginarias (gráfico 2). Con una tercera medición a un satélite C, a la misma distancia, la posible localización del receptor se reducirá a dos puntos, ya que la esfera imaginaria formada alrededor del tercer satélite corta al círculo formado por la intersección del satélite A y el B sólo en dos puntos (gráfico 3). Con la utilización de un cuarto satélite se determinará cuál de estos dos puntos es el correcto.

Los SPG calculan la distancia a un satélite midiendo primero el tiempo que tarda en llegar hasta él la señal radioeléctrica emitida por el satélite y aplicando después la conocida fórmula:  $\text{velocidad} = \text{distancia}/\text{tiempo}$ .

La velocidad será la de la luz —300.000 km/s—, ya que las ondas de radio se trasladan a esa velocidad. Así pues, falta saber el tiempo transcurrido entre la emisión de la señal y su recepción. Para conocer este tiempo hará falta saber a qué hora ha sido emitida la señal y calcular la diferencia con la hora de recepción.

Para resolver esto tanto los satélites como los aparatos receptores del SPG han sido programados y sincronizados, con el propósito de que generen idénticos conjuntos de códigos digitales complejos, llamados «pseudoaleatorios» y que se repiten cada milisegundo. El aparato receptor compara retrospectivamente el código recibido y el



Gráficos 1, 2 y 3.

que él ha generado —y tiene almacenado— y calcula el tiempo que hace que él mismo ha generado exactamente el mismo código (ver gráfico 4). La complejidad de este código facilita la comparación y elimina la ambigüedad. Esta diferencia será el tiempo que ha tardado la señal electromagnética en recorrer la distancia entre el satélite y el receptor del SPG.

Esto implica que los dos, el satélite y el receptor, están perfectamente sincronizados y que generan a la misma hora el mismo código. Por lo tanto, los relojes utilizados deben ser de gran precisión, ya que la señal de radio recorre en 0.07 segundos la distancia de 21.000 km, a la que están situados los satélites de la constelación del SPG. Para poner otro ejemplo, un error de medida en el tiempo de una centésima de segundo puede comportar un error de 3.000 km en el cálculo de la distancia.

En cuanto a los satélites no hay problema, porque cada uno lleva de dos a cuatro relojes atómicos para asegurar que permanentemente habrá uno funcionando. Pero los relojes que llevan incorporados los aparatos receptores no son de tanta precisión por razones de costo y de peso, y es aquí donde podrían aparecer problemas. Para solucionarlos se realiza una medida extra, a un cuarto satélite, que resolverá los problemas que pueden surgir por un sincronismo imperfecto.

Por ello habrán de tenerse en cuenta los posibles retrasos. Seguidamente veremos un ejemplo en 2 dimensiones, utilizando 3 satélites y donde la distancia a los satélites se representa en segundos. Tal como se observa en el gráfico 5, cada satélite describe a su alrededor una circunferencia donde puede estar situado el receptor. El satélite A está ubicado a 4 segundos del receptor del SPG, el B está a 5 s y el C a 6 s. Así pues, sólo habrá un punto de intersección entre las tres distancias, el punto P. Es en este punto donde se encontraría el receptor si estuvieran sincronizados los relojes. Pero supongamos que el reloj del receptor va 1 segundo retrasado (gráfico 6), y que éste indica que el satélite A está colocado a 5 s, el B a 6 y el C a 7 s —líneas

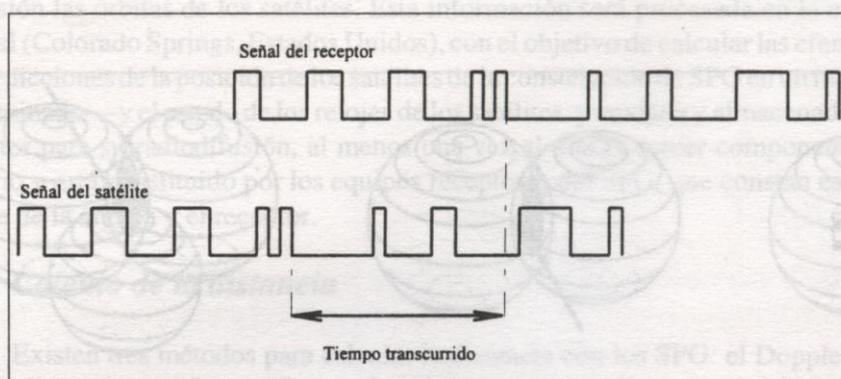


Gráfico 4. Cálculo del tiempo.

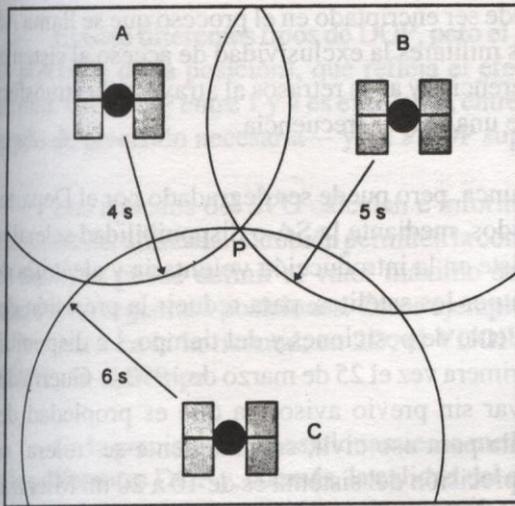


Gráfico 5.

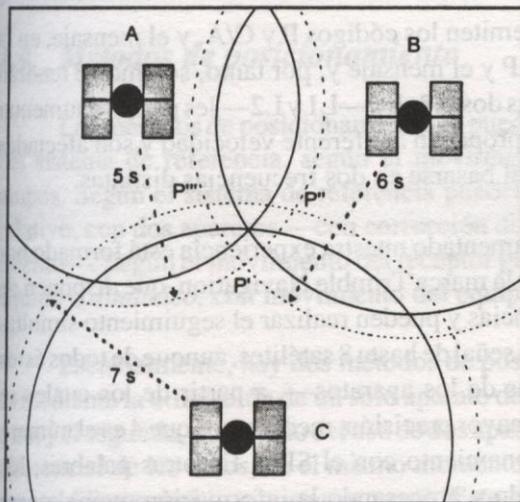


Gráfico 6.

Los receptores están programados para que cuando pase esto calculen, sumando —por si va avanzado— o restando —por si va retrasado— la misma cantidad de tiempo a todas las distancias, hasta encontrar el punto donde coinciden todas ellas. En el caso explicado en el gráfico 6, restando 1 segundo de cada medida se obtendrá la desviación del reloj.

discontinuas—. Como se puede observar, no hay ningún punto donde se corten las circunferencias de los tiempos retrasados, y es así como se obtienen 3 puntos de intersección: P', P'' y P'''.

En tres dimensiones sucederá lo mismo, pero en vez de representar la distancia de los satélites al receptor mediante circunferencias, se haría con esferas, tal como se ha observado en los gráficos 1, 2 y 3, y harían falta 4 satélites.

En tres dimensiones sucederá lo mismo, pero en vez de representar la distancia de los satélites al receptor mediante circunferencias, se haría con esferas, tal como se ha observado en los gráficos 1, 2 y 3, y harían falta 4 satélites.

### 1.3. La precisión

Cada satélite del SPG emite dos señales de radio —L1 y L2— a dos frecuencias diferentes dentro de la banda L del espectro electromagnético, entre 1 Ghz y 2 Ghz. En la señal L1 se envían dos códigos pseudoaleatorios y un mensaje. El primer código es el llamado código P —Precise—, el segundo es el código C/A —Coarse/ Acquisition— o estándar, y el mensaje consiste en información general para todos los usuarios del sistema, como: información del estado de los relojes, si el satélite está averiado o no, las efemérides y el almanaque, que consta de información de las órbitas y los relojes de todos los satélites, así como información de nuevos satélites y posibles cambios de órbita de alguno de los ya existentes. Tanto el código P como el C/A se utilizan para posicionamiento.

El código P, de uso militar, puede ser encriptado en el proceso que se llama AS —Anti-Spoofing— por asegurar a los militares la exclusividad de acceso al sistema. Este es menos susceptible a las interferencias y a los retrasos al atravesar la atmósfera que el código C/A, debido a que tiene una mayor frecuencia.

El código C/A no se encripta nunca, pero puede ser degradado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, mediante la SA o disponibilidad selectiva —Selective Availability—, que consiste en la introducción voluntaria y aleatoria de errores en la información transmitida por los satélites, para reducir la precisión del sistema, al producirse errores en el cálculo de posiciones y del tiempo. La disponibilidad selectiva, que fue activada por primera vez el 25 de marzo de 1990 —Guerra del Golfo—, se puede activar y desactivar sin previo aviso, ya que es propiedad del mencionado organismo y no se alquila para uso civil, sencillamente se ‘tolera’ su utilización. Con la SA desactivada la precisión del sistema es de 10 a 20 m. Mientras que con la SA activada la precisión horizontal absoluta es de 100 m el 95% del tiempo, y, entre 100 y 300 m el 99,9% del resto del tiempo (Núñez et al., 1992, p. 81). El error generado por la SA puede ser prácticamente eliminado mediante la corrección diferencial.

Mientras que en la señal L1 se emiten los códigos P y C/A, y el mensaje, en la señal L2 sólo se transmiten el código P y el mensaje y, por tanto, solamente tendrán acceso los militares. La existencia de las dos señales —L1 y L2— les permite aumentar la precisión al compararlas, ya que se propagan a diferente velocidad y son afectadas por la atmósfera de diferente manera al basarse en dos frecuencias distintas.

El equipo en el que hemos fundamentado nuestra experiencia está formado por dos aparatos PathFinder Basic Plus, de la marca Trimble Navigation, que disponen de 6 canales de recepción de radiofrecuencias y pueden realizar el seguimiento simultáneo de 8 satélites. Es decir, que aíslan la señal de hasta 8 satélites, aunque de todos éstos se seleccionan 6 —número de canales de los aparatos—, a partir de los cuales se escogerán los 4 que proporcionen una mayor precisión, recordemos que 4 es el número de satélites necesarios para el posicionamiento con el SPG. En otras palabras, los aparatos están constantemente captando y procesando la información recibida para seleccionar la constelación de 4 satélites que proporcione la mejor geometría. Las constelaciones son cada una de las combinaciones que se pueden hacer con los satélites visibles, en un lugar y a una hora determinados y están formadas por un número preciso de satélites, en este caso 4.

Para escoger la mejor geometría se utiliza la ‘dilución de la precisión’ (DOP, Dilution of Precision) que es un cálculo matemático en el que se tiene en cuenta la posición relativa de cada satélite respecto de los otros dentro de una misma constelación, para predecir la precisión de las posiciones obtenidas a partir de una constelación determinada, indicando la calidad de la geometría de ésta.

Existen diferentes tipos de DOP, pero el más utilizado es el PDOP (dilución de la precisión de la posición), que refleja el efecto del DOP en la latitud, longitud y altitud. Un PDOP entre 1 y 4 es excelente, entre 4 y 9 es aceptable —dependiendo del grado de precisión necesaria— y un PDOP superior a 9 es malo.

Los aparatos del SPG calculan e informan permanentemente del PDOP de la constelación utilizada. También permiten la configuración de una 'máscara de PDOP', es decir, se puede definir el valor máximo de PDOP aceptado, a partir del cual el aparato no registrará posiciones. Otros ejemplos de DOP son: el HDOP, dilución de la precisión en la horizontal, en 2D; el VDOP, en la vertical, sólo en la altitud; y el TDOP, en el tiempo.

En la precisión del posicionamiento mediante el SPG intervienen la SA, el AS, y los diferentes DOP y, además, la calidad del equipo de que se dispone, el método de posicionamiento, la precisión en la georreferenciación de la estación de referencia —si es que se va a utilizar—, las interferencias ionosféricas y atmosféricas, y la baja intensidad de la señal captada por los receptores de los diferentes satélites en un lugar y un momento determinados.

#### **1.4. Métodos de posicionamiento**

Los métodos de posicionamiento se pueden clasificar en tres categorías: a partir del sistema de referencia, según el movimiento del receptor y combinaciones de ambos. Según el sistema de referencia pueden ser: *absoluto*, con un solo aparato o relativo, con dos aparatos —con corrección diferencial en tiempo real o posprocesamiento—. Según el movimiento del receptor pueden ser: *estático*, sin movimiento del equipo o *dinámico*, con movimiento del equipo.

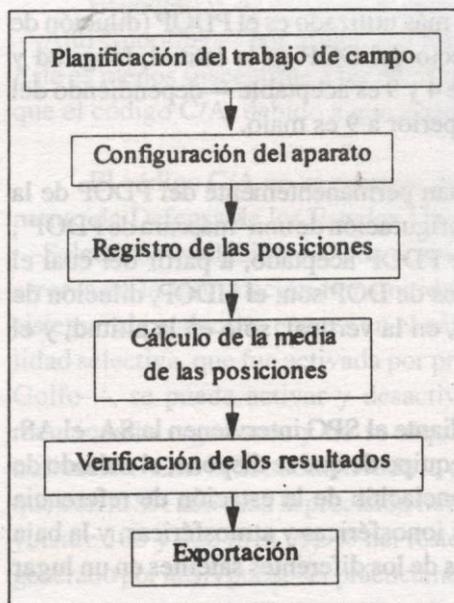
Esencialmente, hay dos métodos de posicionamiento con los SPG: el primero es mediante la utilización de un solo aparato del SPG, que puede estar en movimiento o no, y el segundo, por medio del uso de dos aparatos del SPG y realizando la corrección diferencial de los datos, en el mismo momento de recibir la señal de los satélites —o sea, en tiempo real— o posteriormente. Esto se explicará más detalladamente en los siguientes capítulos.

En el gráfico 7 se puede observar la metodología de trabajo con el uso de un único aparato, esté en movimiento o no.

## **2. PLANIFICACION DEL TRABAJO DE CAMPO**

Ya se ha comentado que para obtener posiciones<sup>2</sup> en tres dimensiones es necesario que el aparato capte al menos cuatro satélites, y para conseguir una buena

2. A partir de este momento y para el resto del artículo se diferenciará entre posición y punto. Una posición vendrá definida por un conjunto de tres coordenadas —latitud, longitud y altitud—



**Gráfico 7. Metodología de trabajo con un solo SPG.**

precisión éstos han de formar una buena geometría o, lo que es lo mismo, que el PDOP sea inferior o igual a 4. Es por esto, que la planificación del trabajo de campo es importante, y puede ayudar a reducir gastos y esfuerzos innecesarios, ya que no siempre se cumplirán estas condiciones.

Así pues, antes de ir a realizar el trabajo de campo se averiguarán las condiciones que se encontrarán en el lugar y momento de efectuarlo. Junto con el equipo SPG se entrega un programa informático llamado PROPLAN que calcula, después de suministrarle la información necesaria, cuántos y qué satélites estarán disponibles un día, hora y lugar determinados, los diferentes valores de PDOP que darán las distintas constelaciones, el inicio y el final de éstas.

### 3. LOS EQUIPOS PORTATILES

Los aparatos portátiles disponen de una antena interior —aunque para facilitar el trabajo de campo a algunos se les puede conectar una antena exterior—, un receptor de radiofrecuencias con diferentes canales para poder realizar el seguimiento de varios satélites al mismo tiempo, un procesador interno con su soporte lógico —software y firmware—, una unidad magnética de registro, la pantalla de comunicaciones, el teclado de control, las conexiones —para la antena exterior, la computadora y la fuente de alimentación—.

La forma de trabajo implica primero configurar el aparato, después registrar las posiciones y, finalmente, transferirlas a una computadora y procesarlas con el programa informático adecuado.

Para configurar el aparato hay que proporcionarle una serie de informaciones: el desfase horario entre el Tiempo Universal y la hora local del lugar donde se esté trabajando; el tipo de coordenadas que se quiere utilizar; el Datum; la altitud referida al nivel medio del mar o al elipsoide; las unidades con que se medirán las distancias,

captadas por un aparato del SPG. En cambio, un punto vendrá definido por las coordenadas —latitud, longitud y altitud— que se obtengan después de realizar la media aritmética de un determinado número de posiciones con o sin corrección diferencial. Punto y posición coincidirán cuando el punto esté definido por una sola posición.

la altitud y la velocidad; si el trabajo de campo se realizará por tierra, mar o aire; si el aparato estará en un lugar fijo o se moverá —por ejemplo instalado sobre el techo de un carro—; el valor máximo aceptado de PDOP; si se quiere trabajar en 2D o 3D, en el primer caso se necesitará una constelación de tres satélites, mientras que en el segundo serán cuatro; la mínima intensidad de la señal de los diferentes satélites —si la señal de uno de los satélites usados es recibida con una débil intensidad la georreferenciación será menos precisa—; y la frecuencia de registro de posiciones.

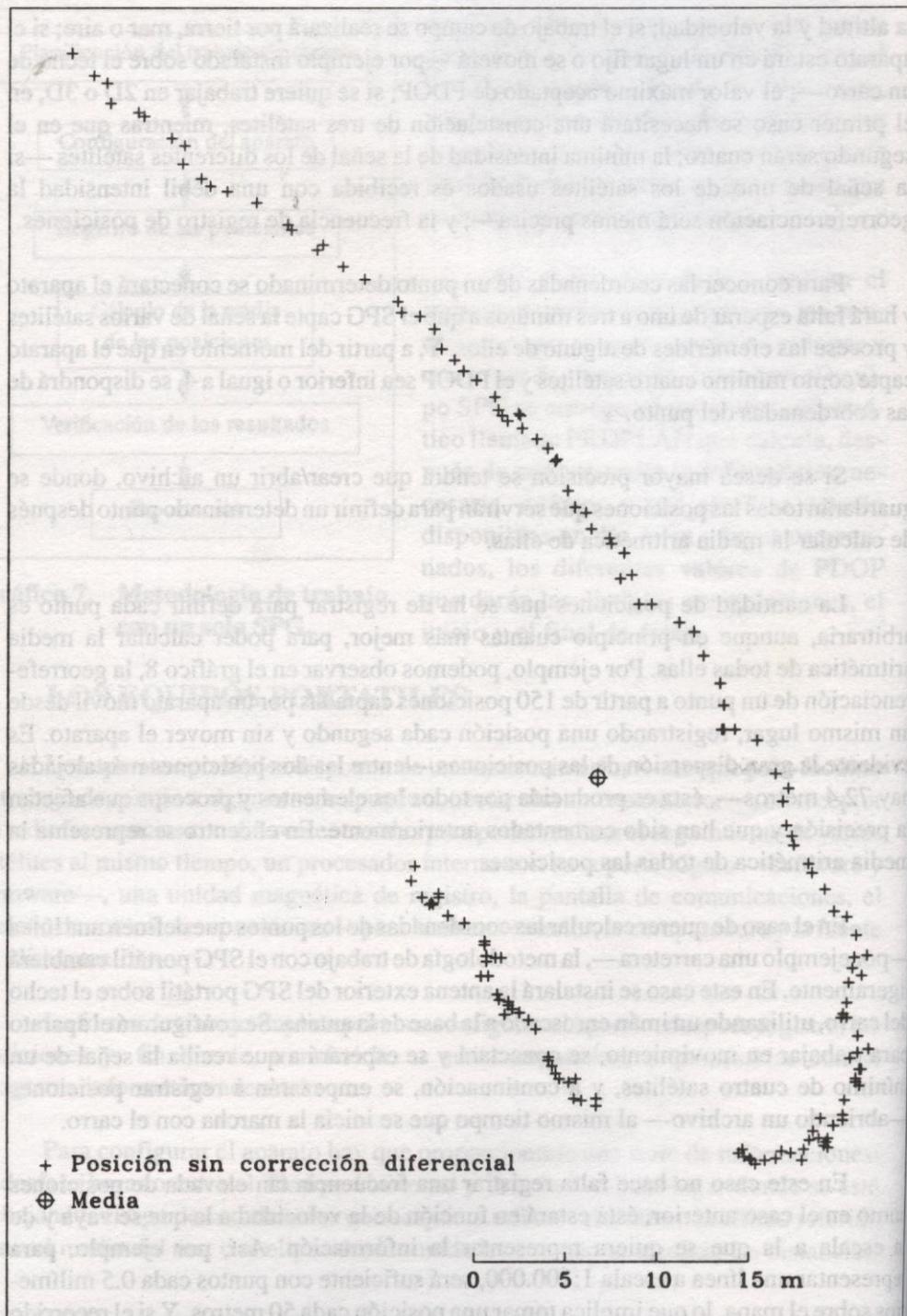
Para conocer las coordenadas de un punto determinado se conectará el aparato y hará falta esperar de uno a tres minutos a que el SPG capte la señal de varios satélites y procese las efemérides de alguno de ellos. Y, a partir del momento en que el aparato capte como mínimo cuatro satélites y el PDOP sea inferior o igual a 4, se dispondrá de las coordenadas del punto.

Si se desea mayor precisión se tendrá que crear/abrir un archivo, donde se guardarán todas las posiciones que servirán para definir un determinado punto después de calcular la media aritmética de ellas.

La cantidad de posiciones que se ha de registrar para definir cada punto es arbitraria, aunque en principio cuantas más mejor, para poder calcular la media aritmética de todas ellas. Por ejemplo, podemos observar en el gráfico 8, la georreferenciación de un punto a partir de 150 posiciones captadas por un aparato móvil desde un mismo lugar, registrando una posición cada segundo y sin mover el aparato. Es evidente la gran dispersión de las posiciones —entre las dos posiciones más alejadas hay 72.4 metros—, ésta es producida por todos los elementos y procesos que afectan la precisión y que han sido comentados anteriormente. En el centro se representa la media aritmética de todas las posiciones.

En el caso de querer calcular las coordenadas de los puntos que definen una línea —por ejemplo una carretera—, la metodología de trabajo con el SPG portátil cambiará ligeramente. En este caso se instalará la antena exterior del SPG portátil sobre el techo del carro, utilizando un imán enroscado a la base de la antena. Se configurará el aparato para trabajar en movimiento, se conectará y se esperará a que reciba la señal de un mínimo de cuatro satélites, y a continuación, se empezarán a registrar posiciones —abriendo un archivo— al mismo tiempo que se inicia la marcha con el carro.

En este caso no hace falta registrar una frecuencia tan elevada de posiciones como en el caso anterior, ésta estará en función de la velocidad a la que se vaya y de la escala a la que se quiera representar la información. Así, por ejemplo, para representar una línea a escala 1:100.000, será suficiente con puntos cada 0.5 milímetros sobre el mapa, lo que implica tomar una posición cada 50 metros. Y si el recorrido se hace por una trocha a la velocidad de 30 km/h (8.3 m/s) hará falta tomar una posición cada 6 segundos.



**Gráfico 8.**

En el caso de que se quiera definir un área o polígono —por ejemplo, un uso determinado del suelo— se podrá realizar de dos maneras: la primera, haciendo el recorrido por el perímetro del polígono con el aparato del SPG tomando datos —método dinámico—. Y la segunda, desplazándose hasta los vértices que definirán el polígono y captando un número preciso de posiciones para definir cada vértice.

La mayoría de aparatos del SPG portátiles disponen de la capacidad de ayudar a la navegación terrestre, aérea o marítima. Introduciendo las coordenadas de un punto de inicio y las de un punto de destino el SPG nos guiará en el trayecto. Observemos el gráfico 9, supongamos que estamos en el punto C, que se ha partido del punto A y se quiere ir al punto B —que está a 12.6 km del primero—. En este punto el aparato indicará la distancia que se ha recorrido desde la salida —5.9 km—, la distancia que falta para llegar al punto de destino —6.3 km— y la velocidad a la que nos desplazamos. También indicará el azimut —ángulo que forma toda recta con el norte geográfico— o el rumbo que se lleva (B) —ángulo que forma toda recta con el norte magnético—, y el que se tendría que seguir para corregir la dirección (A). Finalmente señalará la desviación (D) o distancia y dirección a la que se está en el punto C respecto de la línea imaginaria que une los puntos de origen y destino. Así pues, el rumbo (B) seguido hasta el momento era de  $92^\circ$ ; debe ser corregido por uno de  $55^\circ$  (A); y se está a 2.1 km (D) a la derecha de la línea recta entre A y B.

#### 4. LAS ESTACIONES DE REFERENCIA

La función de las estaciones de referencia es la de posibilitar la corrección diferencial de los datos. Los aparatos del SPG que se utilizan como estaciones de referencia —o bases comunitarias— son equipos especiales que sólo funcionan conectados permanentemente a una antena exterior y a una computadora —a la que se envían todos los datos que van recibiendo de los satélites— y bajo el control de un programa informático que controla el aparato y gestiona la información captada por

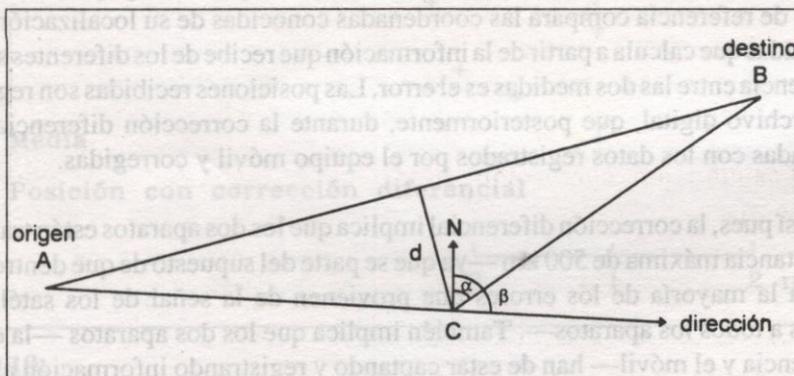


Gráfico 9. Ejemplo de navegación con SPG.

éste. En algunos casos se puede emplear un aparato del SPG móvil como estación de referencia, pero éste tiene poca capacidad de memoria.

Es muy importante la georreferenciación precisa de la estación de referencia, es decir, que se conozcan con toda exactitud sus coordenadas —latitud, longitud y altitud—. De hecho no se necesita conocer la localización del aparato que utilizamos como estación de referencia sino las coordenadas de la localización de su antena. Para esta tarea se puede usar la misma estación de referencia del SPG, dejando que la estación recoja un gran número de posiciones y calculando luego la media de todas ellas.

La información que se habrá de proporcionar a la estación de referencia para su configuración será prácticamente la misma que para configurar un equipo portátil.

Cada hora en punto el programa que gestiona la estación crea/abre un archivo, donde va guardando todas las posiciones que el SPG captará durante los 60 minutos siguientes.

## 5. CORRECCION DIFERENCIAL DE LAS POSICIONES

La corrección diferencial es una técnica que permite aumentar la precisión de las posiciones captadas con un aparato móvil, mediante la comparación de la información captada por éste y la captada por una estación de referencia. Pero, una sola estación puede suministrar información para realizar la corrección diferencial a tantos aparatos del SPG móviles como se quiera, siempre que éstos estén trabajando a una distancia máxima de 500 km de la estación de referencia. Esto es posible, gracias a que se pueden hacer copias de los archivos generados por la base y procesarlos aisladamente con los archivos que hayan generado cada uno de los SPG móviles.

Ya se ha comentado que existen una serie de elementos y procesos que introducen un cierto error en la información captada por los equipos del SPG. La estación de referencia compara las coordenadas conocidas de su localización con las coordenadas que calcula a partir de la información que recibe de los diferentes satélites. La diferencia entre las dos medidas es el error. Las posiciones recibidas son registradas en un archivo digital, que posteriormente, durante la corrección diferencial, serán comparadas con los datos registrados por el equipo móvil y corregidas.

Así pues, la corrección diferencial implica que los dos aparatos están trabajando a una distancia máxima de 500 km —ya que se parte del supuesto de que dentro de esta distancia la mayoría de los errores que provienen de la señal de los satélites son comunes a todos los aparatos—. También implica que los dos aparatos —la estación de referencia y el móvil— han de estar captando y registrando información al mismo tiempo.

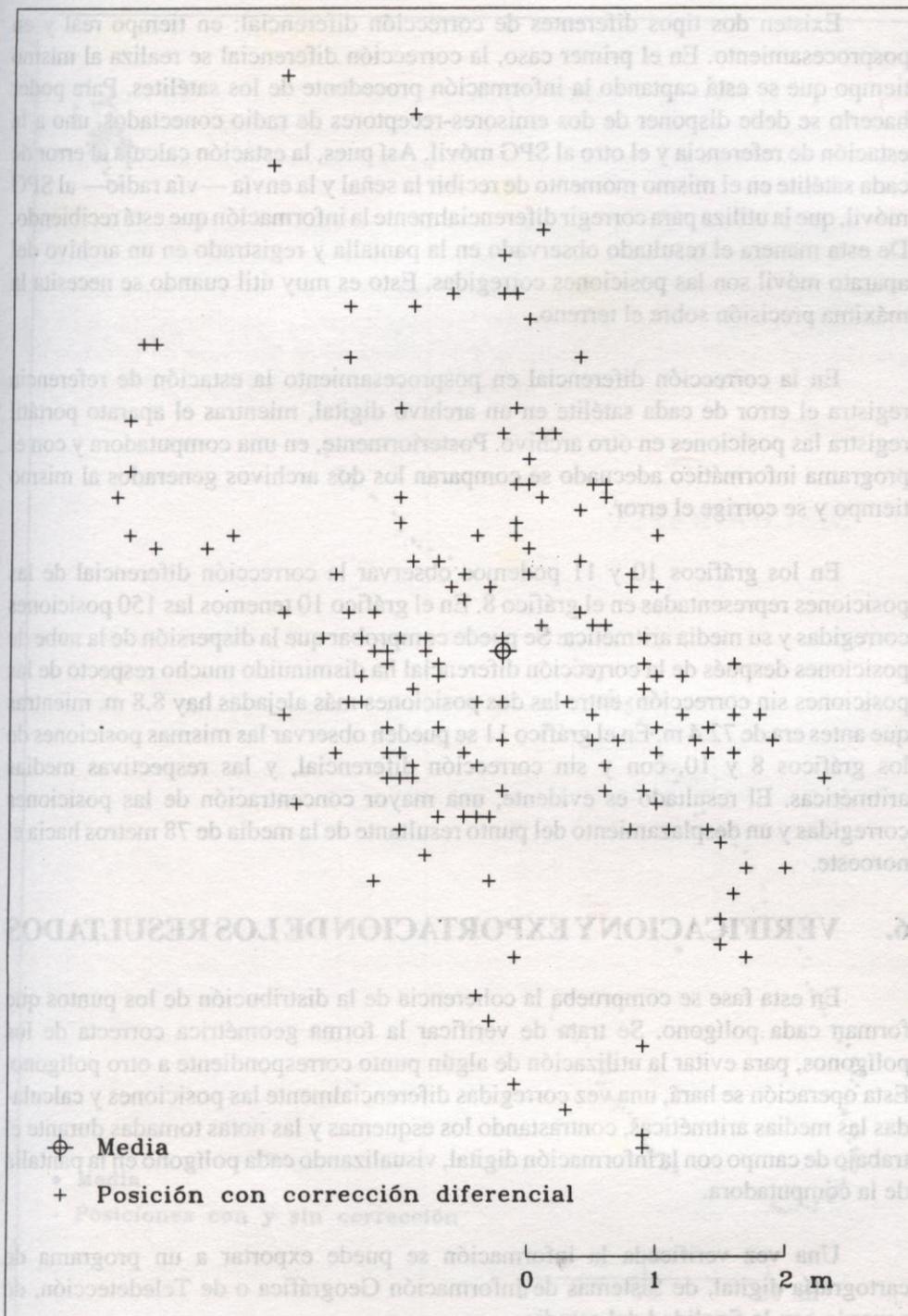


Gráfico 10.

Existen dos tipos diferentes de corrección diferencial: en tiempo real y en posprocesamiento. En el primer caso, la corrección diferencial se realiza al mismo tiempo que se está captando la información procedente de los satélites. Para poder hacerlo se debe disponer de dos emisores-receptores de radio conectados, uno a la estación de referencia y el otro al SPG móvil. Así pues, la estación calcula el error de cada satélite en el mismo momento de recibir la señal y la envía —vía radio— al SPG móvil, que la utiliza para corregir diferencialmente la información que está recibiendo. De esta manera el resultado observado en la pantalla y registrado en un archivo del aparato móvil son las posiciones corregidas. Esto es muy útil cuando se necesita la máxima precisión sobre el terreno.

En la corrección diferencial en posprocesamiento la estación de referencia registra el error de cada satélite en un archivo digital, mientras el aparato portátil registra las posiciones en otro archivo. Posteriormente, en una computadora y con el programa informático adecuado se comparan los dos archivos generados al mismo tiempo y se corrige el error.

En los gráficos 10 y 11 podemos observar la corrección diferencial de las posiciones representadas en el gráfico 8. En el gráfico 10 tenemos las 150 posiciones corregidas y su media aritmética. Se puede comprobar que la dispersión de la nube de posiciones después de la corrección diferencial ha disminuido mucho respecto de las posiciones sin corrección: entre las dos posiciones más alejadas hay 8.8 m, mientras que antes era de 72.4 m. En el gráfico 11 se pueden observar las mismas posiciones de los gráficos 8 y 10, con y sin corrección diferencial, y las respectivas medias aritméticas. El resultado es evidente, una mayor concentración de las posiciones corregidas y un desplazamiento del punto resultante de la media de 78 metros hacia el noroeste.

## **6. VERIFICACION Y EXPORTACION DE LOS RESULTADOS**

En esta fase se comprueba la coherencia de la distribución de los puntos que forman cada polígono. Se trata de verificar la forma geométrica correcta de los polígonos, para evitar la utilización de algún punto correspondiente a otro polígono. Esta operación se hará, una vez corregidas diferencialmente las posiciones y calculadas las medias aritméticas, contrastando los esquemas y las notas tomadas durante el trabajo de campo con la información digital, visualizando cada polígono en la pantalla de la computadora.

Una vez verificada la información se puede exportar a un programa de cartografía digital, de Sistemas de Información Geográfica o de Teledetección, de acuerdo con la finalidad del estudio.



## 7. CONCLUSIONES

Los SPG son de gran utilidad para la actualización de cartografía topográfica y temática, y para la actualización de bases de datos geográficos, al permitir de una forma relativamente económica, rápida y precisa la adquisición de información geográfica.

La información digital, captada y procesada por un SPG, se puede exportar a un programa de cartografía digital para elaborar directamente un mapa; puede exportarse a un programa de tratamiento de imágenes de satélite para sobreponerla a una imagen corregida geoméricamente, y posibilitar la identificación y discriminación de usos y cubiertas del suelo; o puede exportarse a un programa de Sistemas de Información Geográfica como una capa más de información para su actualización dentro de una base de datos.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- HURN, JEFF. 1992. GPS. A guide for the next utility. Sunnyvale: Trimble Navigation.
- KENNEDY, MICHAEL. 1995. The Global Positioning System and GIS. Ann Arbor (Michigan): Ann Arbor Press.
- NUÑEZ, ALFONSO; VALBUENA, JOSE LUIS y VELASCO, JESUS. 1992. GPS. La nueva era de la topografía. Madrid: Ed. de las Ciencias Sociales.
- SLUITER, P.G. 1993. The World of DGPS. En GIM, julio, pp. 57-61.

## 6. VERIFICACION Y EXPORTACION DE LOS RESULTADOS

En esta fase se comprueba la coherencia de la distribución de los puntos que forman cada polígono. Se trata de verificar la forma geométrica correcta de los polígonos, para evitar la utilización de algún punto correspondiente a otro polígono. Esta operación se hará, una vez corregidas diferencialmente las mediciones y calculadas las medias aritméticas, contrastando los esquemas y los datos obtenidos durante el trabajo de campo con la información digital, visualizándose los polígonos en pantalla de la computadora.

Una vez verificados los datos se exportan a un programa de cartografía digital para elaborar directamente un mapa; puede exportarse a un programa de tratamiento de imágenes de satélite para sobreponerla a una imagen corregida geoméricamente, y posibilitar la identificación y discriminación de usos y cubiertas del suelo; o puede exportarse a un programa de Sistemas de Información Geográfica como una capa más de información para su actualización dentro de una base de datos.

Gráfico II.