



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**  
Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

## **APLICACIONES DE G.P.S. A CARTOGRAFÍA Y PROYECTOS DE CARRETERAS.**

### **Conferencia presentada en las Jornadas Técnicas “APLICACIÓN DE G.P.S. Y S.Y.G. A PROYECTOS Y OBRAS DE CARRETERAS”.**

El enfoque que he pretendido darle a esta charla, lo he fundamentado en no solo considerar las cualidades del GPS, que están por encima de ninguna duda, sino en considerar los problemas reales que encuentra el I.T. en Topografía cuando realiza diferentes trabajos, que dificultades de observación y cálculo aparecen y como intentamos resolverlas.

Vosotros habéis entrado en el mundo de la topografía y la cartografía cuando los avances tecnológicos han comenzado a permitir grandes cambios en la concepción clásica que ha habido siempre en la cartografía.

En apenas 20 años hemos pasado de realizar trabajos mediante triangulaciones y trisecciones inversas, a emplear distanciómetros electrónicos con totalitos de segundo, al empleo de la estación total y por último al empleo del GPS.

La técnica ha cambiado, los procesos pueden llegar a ser diferentes, los rendimientos son distintos, pero lo que no ha cambiado en estos 20 años ha sido la topografía, han sido los métodos, ha sido la misión técnica del topógrafo.

Los avances técnicos han traído consigo un acercamiento de la topografía a mucha gente que antes no se relacionaba con ella debido a falta de formación (aunque habrá que convenir que intrusismo en nuestra profesión ha habido siempre y seguirá habiendo, en gran medida gracias a los propios topógrafos, pero ese es otro tema).

Pero los avances técnicos no han podido evitar los métodos.

Si convenimos que la topografía es una geometría comprobada, habrá que convenir que la calidad de unos resultados estará en la cantidad de observaciones redundantes.

Por tanto, una radiación hecha con mira, distanciómetro o GPS, no dejará de ser una radiación.

Este es el primer aspecto que quiero destacar.

La aplicación del GPS a cualquier trabajo topográfico, no se puede limitar a “darle al botón y esperar los resultados”. Como cualquier sistema de trabajo necesitará de redundancia de observaciones. Necesitará comprobaciones, cierres de figuras, ajustes, compensaciones,... De nosotros debe esperarse un trabajo técnico y profesional.



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

Nosotros, los topógrafos debemos ser los primeros en promocionar el empleo de nuevas tecnologías, pero debemos ser los primeros en adoptar rigor en los trabajos que realicemos.

La primera idea debe ser ésta: el GPS es un gran instrumento topográfico, como no hemos conocido otro en muchos años, pero el GPS no es una panacea que nos resuelva los problemas topográficos sin salir de casa. Los problemas los debemos resolver los topógrafos. A nosotros nos corresponde hacer entender a nuestros interlocutores (que muchas veces tienen un conocimiento bajo de la topografía, aunque de topografía ya se sabe que todo el mundo entiende) que hay que emplear métodos para desarrollar los trabajos topográficos. No solo hay que darle al botón, no vale todo.

En este momento, el empleo del GPS en cartografía, sigue supeditado ligeramente a la herencia de la topografía clásica con la única diferencia de estar empleando un instrumento topográfico diferente.

Así se realizan gran cantidad de trabajos en los que:

- Es necesario tener intervisibilidad entre vértices (redes básicas, desclasificaciones...).
- Se limita la longitud de los lados a las mismas longitudes que se limitan en las observaciones clásicas, cuando la precisión del equipo GPS es superior al instrumento clásico.

Por otro lado ya se establece la posibilidad de realizar observaciones directas a puntos radiados (apoyo) sin necesidad de visión directa entre bases y estación; y se comienza a considerar la opción RTK como válida a partir del ajuste de unos mínimos garantizados.

En nuestra empresa estamos aplicando la técnica GPS a diversos tipos de trabajos topográficos que se relacionan directamente con los procesos posteriores de la cartografía:

- Observaciones de redes.
- Apoyo fotogramétrico.
- Determinación de coordenadas de puntos singulares.
- Control de redes....

#### **OBSERVACIÓN DE REDES.**

En la cartografía también hay modas. Modas que aportan innovaciones y modas que suponen solo cambios en los botones.



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

Desde la llegada de la electrónica y de los instrumentos electrónicos, se abolió en trabajos profesionales el empleo de algunos métodos: triangulaciones, trisección inversa, intersección directa...

Este momento coincide con la densificación de la red geodésica. Desde ese momento los topógrafos decimos ¡Viva la poligonal! Craso error.

A finales de los 80, con la llegada de la cartografía digitalizada, nos empezamos a dar cuenta de que la poligonal no es el mejor procedimiento de cálculo de la posición absoluta de los puntos debido a las diferentes soluciones que ofrece, y comenzamos a considerar la opción de redes.

¿Qué quiere decir observar redes? Inicialmente lo entendimos como hacer la misma poligonal y compensarla por mínimos cuadrados. Con esta solución “morimos de éxito”. Claro que los resultados eran de igual precisión. No se mejoraba nada ya que compensábamos sobre una línea.

Se introdujo la opción de visar puntos no estacionales (veletas, pararrayos, V,G...) desde diversos puntos de la poligonal efectuada e introducirlos en el cálculo, compensando igualmente por mínimos cuadrados. El avance fue notable. No solo creábamos un tejido de observaciones mucho mayor sino que podíamos obtener precisiones y residuos de cada una de las observaciones, depurando las que se fueran en tolerancia.

De pronto irrumpe el GPS, primero con poca fuerza, poco tiempo de observación y elevado precio. Poco a poco el topógrafo lo ha ido demandando y se ha ido introduciendo, sigue siendo una solución cara en precio y dependiente de una constelación de satélites de uso militar, pero cuando trabajo en condiciones es imprescindible hoy día.

El GPS si ha supuesto una “revolución” en la concepción clásica que teníamos de la topografía. Inicialmente con los monofrecuencia y actualmente con los equipos de doble frecuencia.

El único problema que planteaba el GPS era adaptarlo al tipo de trabajo que se fuera a realizar:

Nos encontramos con un sistema que nos ofrece:

- Gran calidad en la observación.
- Gran precisión en sus resultados (seguramente peores de lo que cuentan las casas fabricantes)
- Gran versatilidad en la elección de la posición de los vértices de la red.



A las ventajas hay que añadir los inconvenientes:

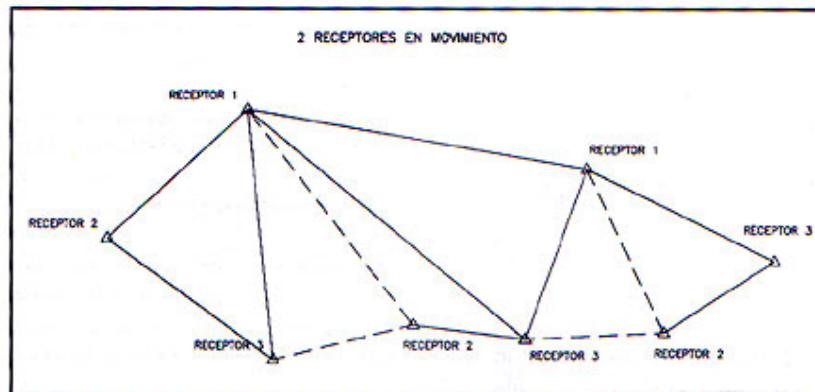
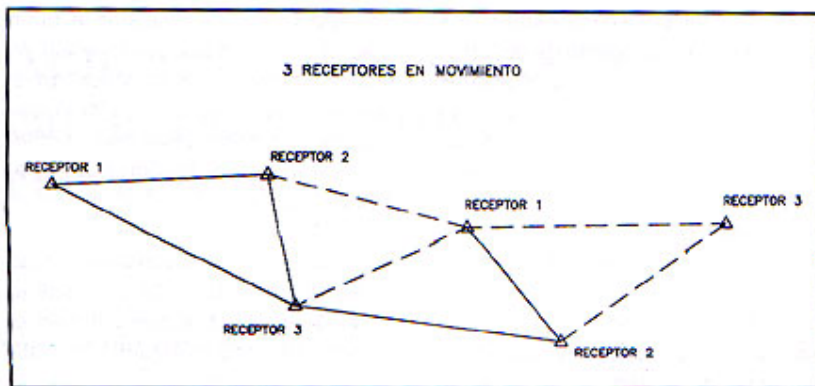
- Importantes cambios en el horizonte en lo que a constelación de satélites se refiere.
- Diferentes precisiones de los mismos lados en momentos distintos.

La evolución en los procesos de observación de los lados de la red con equipos GPS, ha ido sufriendo modificaciones.

Hoy día se observa (o nosotros así lo hacemos) una red con un mínimo de 3 equipos receptores.

Todas las baselíneas que se realicen están inmersas de forma instantánea en un polígono cerrado, del cual conoceremos sus cierres geométricos. Por lo tanto todas las observaciones se realizan de forma triangulada y este triángulo se observa de forma simultánea.

De esta forma, la precisión a priori que va a tener cada observación no estará afectada de cambios en el horizonte de los satélites. Por lo tanto, será necesario desplazar en el terreno tres equipos topográficos. (Ver figuras 1 y 2).





**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

Los problemas de observación de las redes se plantean no tanto desde el punto de vista de la ejecución en el terreno, sino desde el punto de vista de cálculo y compensación.

Nuestra observación de red se habrá enlazado a la Red Geodésica Nacional, y aquí sí que empiezan de verdad nuestros problemas.

En su libro GPS, la nueva era de la topografía, de Alfonso Núñez, José Luis Valbuena y Jesús Velasco, estos tres profesores nos dicen que:

La red española de Tercer Orden tiene una longitud media de lado entre 6 y 10 km., dependiendo en gran manera de la orografía de la zona en cuestión, es decir, unos 6 a 12 puntos por hoja del Mapa Nacional a escala: 1:50.000. Esta densidad era suficiente para la elaboración por el I.G.N., con métodos topográficos clásicos, del referido mapa.

El diseño de la Red Nacional corresponde al de una red de triangulación para observarse con métodos clásicos, teniendo sus puntos un mínimo de seis visuales despejadas, salvo en las zonas de costas, por razones obvias; está encajada en la Red de Primer Orden, puesto que la de Segundo Orden no ofrece cobertura en la nueva Red Geodésica Española.

La observación de esta red se hace con triangulación clásica; medida de ángulos horizontales en la parte planimétrica con teodolito 1 segundo centesimal de apreciación y medida de ángulos cenitales para la altimetría. El ajuste de las distintas redes de carácter provincial (unidad básica) ha puesto en evidencia errores de medios cuadráticos de peso unidad del orden de unos  $\approx 6$  segundos centesimales para una dirección angular.

Para analizar la precisión de esta red, el concepto de intervalo de confianza es adecuado. Para una confianza del 95%, el error medio anterior nos produciría intervalos de confianza de una amplitud de 0,30 m., en donde se mueven las coordenadas ajustadas de la red, es decir errores locales de  $\pm 0.15$  a  $\pm 0.20$  m., en la determinación de las coordenadas planimétricas (X e Y). Evidentemente estas garantías dependen en gran manera de la configuración de la red, siendo estos márgenes de error mayores en las zonas costeras, en las que se tiene una redundancia observacional mucho menor.

La precisión se puede también definir con otro criterio: basta preguntarse ¿cuál debe ser el error mínimo en una observación para que ésta sea detectada como errónea por cualquier test de detección de errores groseros? Para cada observación se tendrá un valor de error, que dependerá de la precisión del conjunto de observaciones y de la configuración local de la red, pero en término medio se puede establecer este valor entre 30 y 40 segundos centesimales, que pasados a radianes y multiplicados por la longitud media del lado de la red (unos 8 km.) nos lleva a errores de mismo orden anterior y permite establecer la auténtica precisión en planimetría de la Red Geodésica



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

Nacional. En términos relativos la precisión local es de unas 30 a 50 partes por millón (ppm).

La red de Tercer Orden se controla en planimetría mediante la de Primer Orden, introduciendo los puntos de ésta como fijos en el ajuste, es decir invariantes sus coordenadas, que definen la escala y la orientación de la Red de Tercer Orden y controlan la transmisión y acumulación de errores propios de toda triangulación.

En cuanto a la altimetría, la observación se realiza mediante la medida de ángulos cenitales recíprocos, pero no simultáneos. La garantía geodésica de estas maneras de las condiciones meteorológicas y de la orografía de la zona. Hacer una estimación de su precisión local no es un problema sencillo. La experiencia en cálculo y ajuste y, sobre todo, de trabajos de alta precisión ligados a la Red de Tercer Orden permite establecer una precisión local media de  $\pm 0.20$  a  $\pm 0.30$  m.

Hecho este inciso sobre la Red Geodésica, y retomando lo expresado sobre las observaciones GPS.

Podremos hacernos diferentes consideraciones:

- Nuestras observaciones, si todo ha ido desarrollándose de forma correcta, van a ser mucho más precisas que los lados geodésicos.
- Nuestra red estará inmersa en uno, dos o varios triángulos geodésicos, en función de su dimensión. ¿A cuál o cuales vértices de esta red debo enlazarme, y como lo trataré en el cálculo?
- ¿Y si nuestra red va a ser parte de un todo mayor, por ejemplo la RVTRCA, y va a tener continuidad en actuaciones posteriores?

Seguramente habrá otras dudas que surjan. La solución a éstas nosotros no la hemos encontrado en ningún libro. Cada triángulo geodésico es diferente, y las precisiones de sus vértices no son extrapolables.

¿Cómo vamos a compensar en un triángulo geodésico, una red sobre 3 lados geodésicos que generalmente la va a deformar? ¿Y si nuestra red se sitúa a caballo de 2 triángulos geodésicos?

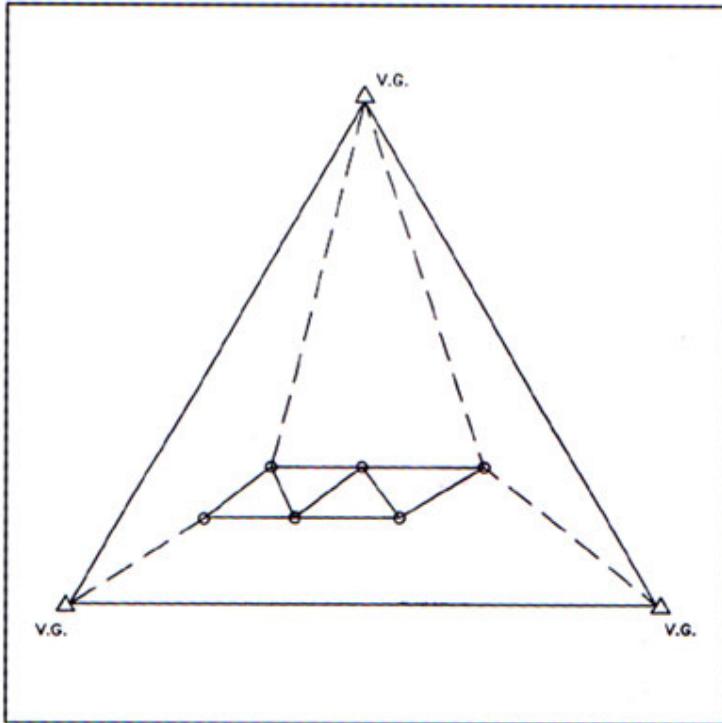
Como podéis observar la respuesta es evidente: hay que deformar nuestra red.

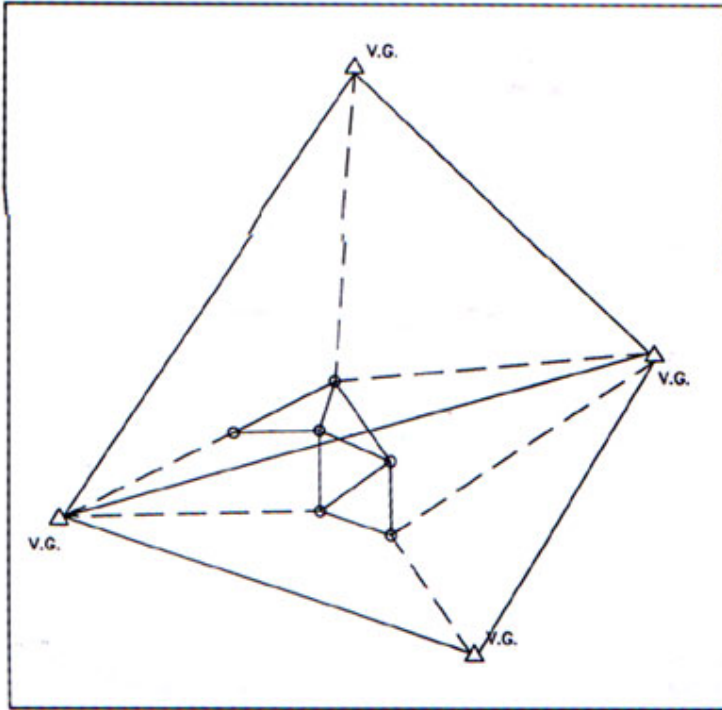
En la deformación de los lados de nuestra red será necesario considerar los condicionantes del trabajo, anteriores y posteriores. Nosotros consideramos que lo razonable desde el punto de vista topográfico y de cálculo es enlazar con todo el triángulo geodésico. Este enlace nos va a permitir obtener residuos y desechar observaciones.



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**  
Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

¿Pero que va a ocurrir? Ocurrirá que cuando nuestra red esté cerrada sobre el triángulo geodésico la deformación se repartirá en toda la red de forma homogénea. Cuando nos aproximemos a uno de los lados, éste “tirará” en el ajuste y será necesario... el otro vértice opuesto. **(Ver opciones 1 y 2).**





Cuando nuestra red esté situada en dos triángulos geodésicos los problemas aumentarán ya que tendremos que considerar entonces 4 variables de vértices geodésicos, y por lo tanto 12 incógnitas de ajuste.

Desde nuestra experiencia algo imposible.

En tanta la calidad de las observaciones GPS, y la calidad de los cierres de polígonos que observamos que hay que equilibrar los ajustes con las observaciones, y no producir deformaciones alegremente.

Ante esta situación debemos considerar nuestra formación y nuestra experiencia (que en el tema del GPS está todavía por consolidar, ya que todos los días surgen nuevas cosas) deben solucionar de la forma mejor posible en cada caso los diversos problemas.

Considero que igual que comentábamos al comienzo de esta conferencia que es preciso reivindicar al I.T. en topografía, también es necesario no prestar demasiada atención a algunos "Gurus" matemáticos que se olvidan de la realidad geográfica que vivimos.

Ante éstos problemas ¿Cuál es la solución?

Evidentemente solo una. Generar una nueva red local de lado menor que densifique la existente de tercer orden.





**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

El proyecto que acomete la Dirección General de Carreteras de la Junta de Andalucía, es importante en cuanto a su concepción y en cuanto a ser el primer organismo que se ha dado cuenta de las necesidades cartográficas existentes de su necesidad de normalizar y ordenar. Pero esta red es una red muy localizada, ceñida al ámbito de los diversos proyectos de carreteras que se instruyan. En mi opinión la solución global pasa por una red densa, que controle el territorio y que reajuste la propia red geodésica de tercer orden. Esta red de cuarto orden debe de estar legitimada por un organismo competente. En Andalucía debía de ser el I.C.A.

Así mismo sería necesario considerar los parámetros de cálculo, la red Nacional en que se fundamentaría (que parece razonable que fuera la de primer orden).

Por último en lo tocante a estas reflexiones sobre el tema de redes, debíamos considerar los problemas altimétricos.

Desde que se ha comenzado a trabajar con GPS se ha comentado que la determinación de cota ha sido poco precisa. Nuestra experiencia nos ha dicho que esto no es así. La observación de desniveles que genera el GPS es tan precisa como lo pueda ser una observación recíproca y simultánea. Las indeterminaciones son más importantes debido a la inexistencia de un Geoide calculado para Andalucía (como lo tienen otras comunidades, por ejemplo Cataluña), trabajo que se debería acometer de inmediato por parte de los organismos competentes (lease I.C.A.).

Esta tarde habrá una charla por parte de profesorado de la Universidad de Jaén que a buen seguro nos ilustrará esperemos nos ilustre ampliamente sobre el tema altimétrico y su aplicación a la nivelación de precisión, que considero muy importante.

En cualquier caso, los trabajos topográficos de redes que se están aplicando a la cartografía, llevan implícito un trabajo bastante intenso de nivelación geométrica, de tal forma que la determinación de la cota de los vértices se realiza bien geoméricamente o mediante transmisión por observaciones recíprocas y simultáneas, con lo cual las indeterminaciones altimétricas que pudiera ofrecer el GOS no afecta al cálculo y compensación de la red ya que entran como cotas fijas en la compensación por mínimos cuadrados.

Pensad, aunque os parezca absurdo, que la mayoría de los errores altimétricos groseros, no lo genera el GPS sino el mismo operador al introducir alturas de antena.

#### **PUNTOS DE APOYO.**

Hoy en día la observación de puntos de apoyo se ha generalizado mucho, sobre todo desde la aparición y comercialización de los equipos de doble frecuencia.

La observación del punto de apoyo no requiere unos condicionantes de precisión muy importantes, y generalmente esta está por encima de la que requiere el vuelo



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

fotogramétrico sobre el que se trabaja. Claro está no podremos hablar de precisión si antes no tenemos una red de calidad.

Generalmente las observaciones se realizan con 2 receptores en estático, pero nosotros desde hace algunos meses estamos probando a realizar apoyos fotogramétrico con RTK. Los resultados que estamos obteniendo son satisfactorios en cuanto a precisión y tiempo de observación. No lo son tanto en cuanto a tiempo de inicialización (es decir conexión con el equipo “master” (fijo) ni a geometría de satélites (ya que se necesita un mínimo de cinco satélites y en esto últimos meses hay grandes dificultades en lo que a la constelación de satélites se refiere) ni a la comunicación de los radioenlaces entre los dos equipos (ya que le afecta los obstáculos entre equipos e incluso el excesivo viento que mueve las antenas, dificulta la conexión))

La observación de los puntos de apoyo ha mejorado, creo que como medida interesante, la determinación de puntos en zonas de difícil acceso, bien por arbolado y cualquier otra dificultad, que desde mi punto de vista permite apoyar todos los pares fotogramétricos de un trabajo, evitando los procesos de aerotriangulación fundamentalmente en vuelos bajos (1/5000 ó 1/3500) no son recomendables.

A pesar de la mejora en cuanto a tiempos de observación, en los terrenos que los topógrafos llamamos muy “buenos”, el trabajo por procedimientos clásicos da un mayor rendimiento (aunque surgen de nuevo inconvenientes y es que no hay aparatistas de calidad que sean capaces de realizar profesionalmente el trabajo.)

Las limitaciones de distancia en la radiación, se refiere generalmente a la longitud del lado medio de la red básica que se construya y a la precisión requerida en la cartografía final, cuando es evidente que se podrían ampliar debido a la precisión en la observación que nos proporciona el GPS.

### **ACTUALIZACIONES CARTOGRÁFICAS.**

Es otro de los apartados en los que se está empleando el GPS en su relación con el mundo de la cartografía.

Se está empleando fundamentalmente en actualizaciones de cartografía a escalas pequeñas, 1/25.000, 1/50.000 o superiores.

Se han hecho diversas pruebas, pero fundamentalmente se han orientado los trabajos a:

- Introducción de obras lineales sobre cartografía ya existente (ferrocarriles, autovías, autopista)

- Inventarios.



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

El procedimiento que se emplea suele ser cinemático, aunque el empleo de coordenadas en tiempo real se está empleando cada vez con más profusión debido a la mejora en el método y la precisión que arroja y la rapidez del mismo.

De todos modos, las actualizaciones de cartografía, cuando no obedecen a actualizaciones puntuales, se generan a partir de vuelos fotogramétricos, lo que denominamos “puesta al día”, a la escala necesaria en cada cartografía. Sus costes son muy inferiores con respecto al sistema GPS.

Hoy en día las actualizaciones de superficies grandes se suelen encargar a equipos digitales que admiten superposición de imágenes y cartografía.

### **CONTROL GEOMÉTRICO.**

Desde nuestro punto de vista, el control geométrico tanto de cartografía como de obra, es una de las aplicaciones más directas del sistemas GPS.

¿Porqué?

Las razones son varias:

- Rapidez.
- No ser necesaria visión directa.
- Precisión.

El trabajo del equipo topográfico que controle un trabaja cualquiera, no es precisamente un trabajo sencillo.

El controlador debe estudiar no solo los condicionantes topográficos que el considera para realizar un trabajo, sino que debe pensar cuales han sido las circunstancias en las que se ha desarrollado el mismo.

Empleando el argot futbolístico “es más fácil destruir que crear” El controlador no debe repetir el trabajo del equipo que redacta el proyecto sino que debe verificarlo.

Esta verificación, la cual realizará con el procedimiento que estime oportuno, deberá ser directa, exenta de ambigüedades, y apoyada en el más estricto empleo de los métodos. No se puede, por ejemplo, como a nosotros nos ha ocurrido, controlar un trabajo de apoyo fotogramétrico, efectuando radiaciones simples desde un único geodésico a 17 o 18 km. de distancia, y plasmar en un documento las diferencias que resulten, y juzgar su tolerancia o no.

Es más fácil comprobar que realizar. El que comprueba debe conocer todas las variables, las suyas y las de aquel a quien comprueba.



**KOLLNER LABRAÑA & CIA. LTDA**

Servicio Técnico SOKKIA  
Laboratorio de Calibración  
Arriendo y Venta

Hay que tener gran seguridad en el momento de decidir si un trabajo es aceptable o no. La topografía no es “si o no”. La topografía es “puede”-

En cualquier caso, el GPS y sus diversos sistemas de trabajo ofrece posibilidades muy rápidas que deben de ser tenidas en cuenta por quien gestiona los trabajos, ya que le va a permitir conocer el estado de la información que maneja.

El chequeo de redes en estático, o la determinación de puntos aislados sobre cartografía que aseguren las tolerancias exigidas, se pueden realizar hoy con máximas garantías, de forma rápida con un coste reducido gracias al GPS.

Para nosotros los profesionales de topografía, cualquier tipo de control que realice seriamente la Administración es beneficios, porque si se hace seriamente servirá para que se diferencia claramente entre técnicos preparados y otros que no lo están, y aprenden a observar las diferencias entre un trabajo técnico y otro pseudotécnico.

Como veréis estamos en el principio.

#### **CONCLUSIONES.**

De lo que hemos hablado me gustaría que nos quedáramos, a modo de resumen con algunas ideas:

- Hay que reivindicar al técnico en topografía por encima de cualquier otro profesional o pseudoprofesional que se dedique a lo mismo.
- Hay que hacerlo seriamente ante la Administración.
- Hay que hacer entender que la topografía es Astronomía, geodesia y geometría. No otra cosa. No darle a un botón.
- El GPS no es una panacea. Es un procedimiento complicado que exige preparación. A mayor técnica mayor preparación.
- Hay que ser consciente de la realidad geográfica actual.
- El GPS hoy en día es el procedimiento indispensable para la realización de topografía y cartografía de calidad. Solo hay que controlarlo.