

# Guía Práctica del GPS

## Introducción

La topografía con GPS puede ser sumamente productiva, pero también se conoce para causar ratos de depresión y desilusión. La meta de estas líneas es guiar a los topógrafos en el uso práctico del GPS en topografía, así como perfilar los posibles problemas y proporcionar las pautas de cómo evitarlos. Nosotros intentaremos mantener nuestra explicación tan ligera como sea posible. Haremos nuestro mejor esfuerzo para omitir las ecuaciones largas cargadas con letras griegas, ni profundizaremos en discusiones técnicas de la física y mecánica del GPS. Una bibliografía de libros en GPS acompaña esta guía para aquellos que requieran más información.

## El Sistema GPS

Para empezar, revisemos algunos principios del GPS que usted debe conocer para usarlo productivamente. El GPS se concibió como un sistema de navegación. Sabiendo las posiciones de los satélites y midiendo la distancia entre su antena y cuatro o más satélites, un solo receptor de GPS puede calcular su posición tridimensional, velocidad, y dirección de viaje. Los errores inherentes en el sistema, diluyen la exactitud horizontal de la posición computada a un nivel de 20 a 100 metros. Es decir, su posición real estará en alguna parte dentro de un círculo que tiene un radio que mide de 20 a 100 metros. La exactitud vertical no es tan buena, y se reconoce que es de 2 a 2.5 veces peor que la exactitud horizontal. Además del error normal, el gobierno americano está introduciendo los errores artificiales en el sistema bajo un programa que es obscuramente titulado Disponibilidad Selectiva o SA. Con SA activa, 100 metros de exactitud es lo mejor que usted puede esperar en este momento para un receptor de GPS autónomo. Afortunadamente, hay maneras de reducir grandemente el error normal y los errores impuestos por SA.

El rango de navegación descritos antes se logra usando dos partes de la transmisión del GPS:

El mensaje de navegación que contiene un almanaque de una semana de las posiciones de los satélites y el código de Adquisición Tosco (el código C/A) que se usa para calcular la distancia entre un receptor de GPS y los satélites. Piense en los código como una medición con cronómetro. El código C/A nos permite medir el tiempo que toma la señal para llegar del satélite a nuestro receptor. Nosotros sabemos que la velocidad de la señal es cercana a la velocidad de la luz. Sabiendo el tiempo que le toma a la señal para llegar a nuestro receptor, nosotros podemos calcular la distancia que ésta ha viajado desde el satélite. Con esta información, y sabiendo las posiciones de los satélites, el receptor puede calcular su propia posición. En otros términos, el receptor está realizando una resección esencialmente, de monumentos conocidos que son los satélites.

El receptor recreativo portátil o el receptor tipo GIS normalmente usan mediciones de código para calcular su posición. Los receptores recreativos normalmente operan autónomamente, y nosotros podemos esperar sólo 100 metros exactitud en este modo. Este nivel de exactitud es suficientemente bueno para la navegación y permitirá ciertamente que su cuadrilla topográfica llegue al sitio de trabajo sin perder tiempo. Las aplicaciones GIS normalmente requieren la exactitud al nivel de un metro o mejor. Este tipo de exactitud puede lograrse a través del uso de correcciones diferenciales que pueden aplicarse a los cálculos del receptor en tiempo real o después del hecho (post-proceso). El precio a pagar para una mayor exactitud es la necesidad de más equipo. Las técnicas de corrección diferencial requieren el uso de un receptor GPS extra. El receptor extra, normalmente llamado estación base, se pone en una referencia establecida conocida y las coordenadas se programan en el receptor de la estación base. Simplemente se comparan las coordenadas programadas con las coordenadas derivadas de la transmisión de GPS, la estación base calcula las correcciones para cada satélite que se está rastreando para empatar la posición

[www.abreco.com.mx](http://www.abreco.com.mx)

Ventas, Soporte y Mantenimiento a  
toda la República Mexicana  
tel. (55) 2614 9555 ó 2614 4720  
soporte@abreco.com.mx

del satélite a la posición programada. Estas correcciones pueden ser usadas por cualquier receptor que está rastreando los mismos satélites que la estación base. Dado que los errores cambian con el tiempo, cada corrección se etiqueta con un número de secuencia. Las correcciones en tiempo real son aplicadas usando un eslabón de comunicaciones entre la estación base y los receptores en el campo, permitiéndonos usar las posiciones corregidas conforme avanzamos. Debido a que las correcciones se etiquetan en el tiempo, estas también pueden aplicarse después del hecho usando un programa de post-proceso que elimina el problema y gasto de un eslabón de comunicaciones. Sin embargo; incluso al usar a los receptores de código de navegación más buenos con las correcciones diferenciales, la precisión más fina que nosotros podemos esperar es el metro. Para conseguir la exactitud topográfica con GPS, nosotros debemos usar una herramienta diferente. Debemos cambiar del cronómetro a la cinta métrica.

Nuestra cinta de medición es la señal subyacente en que el código C/A y el mensaje de navegación se modulan. Esta señal subyacente se llama portadora. De igual manera que su distanciómetro, algunos receptores de GPS pueden medir una distancia determinando el número de longitudes de onda de una cierta frecuencia que existen entre dos puntos. La frecuencia básica usada por la mayoría de los receptores GPS es llamada frecuencia L1; se transmite a 1575.42 MHz. Esto significa que hay aproximadamente 1500 millones de ciclos, o longitudes de onda, cada segundo. La longitud de onda, o la distancia representada por un ciclo de esta frecuencia, es aproximadamente de 19 centímetros. Esta longitud de onda de 19 centímetros es la unidad básica de nuestra cinta métrica.

Usando una analogía en topografía, el receptor es el cadenero que lee la porción de la cinta para la medida fraccionaria. Es decir, el receptor determina la porción fraccionaria de una sola longitud de onda, y esta medida es la porción milimétrica de nuestra medida total. Pero a diferencia de su distanciómetro convencional, con un reloj y una señal reflejada, el receptor de GPS no tiene ninguna manera de contar cuántas longitudes de onda enteras hay de esta medida fraccionaria. No puede decir lo que el cadenero de atrás está sosteniendo. Por esta razón, se usan varias técnicas del proceso para determinar el número de ciclos enteros asociado con la medida fraccionaria. Después de que se hace la medida fraccionaria inicial, el receptor guarda huella del cambio en el rango (el cambio en el número de ciclos) entre medida y medida. Esta información, junto con las posiciones cambiantes de los satélites, permite al programa de procesamiento determinar el número entero de ciclos asociado con la medida fraccionaria original. Habiendo hecho esto, el programa obtiene las diferencias hechas a todos los satélites visibles entre dos receptores, y resuelve el vector entre ellos. Es este paso el que proporciona la exactitud topográfica del GPS. El proceso en efecto quita todos los errores comunes en los satélites y en las mediciones del receptor. Nuestra medición entre los puntos del estudio es bastante precisa aunque es indirecta.

¿Que significa todo esto? Significa que usted necesita tener un número suficiente de mediciones de un número suficiente de satélites para lograr la exactitud al centímetro con GPS. Si usted no obtiene las mediciones suficientes entonces no lo logrará. ¿Cuál es un número suficiente? Varía. Pero no se preocupe. Nosotros no lo dejaremos completamente frustrado. Las pautas en las páginas siguientes ayudarán a que usted determine cuánto tiempo se necesita para hacer un número suficiente de mediciones, y cuántos satélites son necesarios para cada una de las técnicas de medición con GPS. Una regla es que ..con GPS, usted no puede tener demasiado o demasiados.

## **Comparando Topografía Convencional y con GPS**

Como la intención es que esto sirva como una guía para el nuevo topógrafo en GPS, la primera cosa que nosotros haremos es explicar un poco sobre en que consiste exactamente una medida de GPS, y también compararemos los métodos de estudios convencionales y estudios con GPS. GPS simplemente es un dispositivo como el distanciómetro que no necesita línea directa de vista entre los puntos del estudio. En cambio, un receptor de GPS necesita tener una línea directa de vista a un número suficiente de satélites. Con el GPS nosotros queremos buscar hacia arriba, no hacia afuera. Tenga presente que el GPS no es la

solución para cada trabajo topográfico. Como cualquier otra herramienta, tiene ventajas y desventajas. Simplemente es una de las muchas herramientas que deben estar en la “mochila” del topógrafo.

La medición GPS es un vector tridimensional de marca a marca. Contiene distancia, dirección y diferencia en la altura entre nuestros puntos del estudio. Generalmente el software reportará el vector como la diferencia entre las coordenadas X,Y,Z de un sistema coordenado centrado y fijo en el centro de la tierra. Un vector GPS puede definirse también usando un sistema local de coordenadas E,N,Elev o una distancia geodésica, el Acimut, y la Altura. El receptor hace sus mediciones desde el centro eléctrico de su antena, y nosotros usamos las alturas de la antena para corregir la medida a el punto abajo del instrumento (nuestra marca). ¿Qué nos dice esto? Nos dice que la altura de la antena es una parte muy importante de nuestra medida. En la topografía convencional nosotros separamos a menudo las partes de las dimensiones en horizontal (el ángulo y la distancia) y vertical (la elevación). Sin embargo una medida GPS es totalmente tridimensional, y nosotros no podemos separar las partes. El componente vertical afecta a el horizontal y viceversa, es por esto que es crítico usar una baliza con altura fija para realizar todo el trabajo de GPS. Los trípodes convencionales están bien para el trabajo en modo estático, pero el operador debe ser sumamente cuidadoso al tomar la medida y registrar la altura de la antena correctamente en cada punto. Una baliza de altura fija necesita ser verificada periódicamente por el desgaste o si hay un cambio en la antena en uso. Usar una baliza de altura fija ayudará a eliminar la posibilidad de errores de altura de antena en nuestras mediciones.

Las mediciones topográficas convencionales involucran un ángulo relativo y una distancia. Es esta dirección relativa, o dependencia en un punto de atrás lo que causa a nuestros vectores convencionales a estar fuertemente atados entre los puntos de inicio y fin en una poligonal. Los errores de cierre en una poligonal convencional son típicamente eliminados, distribuyendo el error del cierre angular igualmente y prorrateando los errores restantes en las longitudes de la poligonal. Este método asume que los errores ocurren sistemáticamente y uniformemente a lo largo de la poligonal que en la realidad raramente es el caso. Pero sin ninguna información adicional que nuestro error de cierre, nosotros no podemos asumir nada más. Si usted ha intentado ajustar una serie de poligonales dependientes usando la regla del compás alguna vez, usted habrá visto que los errores de cierre empiezan a aumentar significativamente después de tan solo dos poligonales. Esto ocurre porque los errores se han prorrateado en lugar de repartirse en dónde ellos realmente ocurrieron.

Por otro lado, los vectores GPS son independientes de cualquier requisito del punto de atrás, y usted puede ponerlos en cualquier formato que usted quiera. Idealmente, usted debe reunir sus vectores de GPS en redes interconectadas que le permitirán hacer mediciones múltiples a cada uno de sus puntos. Estas mediciones múltiples le permitirán identificar y tratar con cualquier vector que contiene un error significativo. Si no hay ningún error significativo, los errores residuales (los errores cometidos al azar) se ajustarán usando el método de ajuste por mínimos cuadrados que le proporcionará las posiciones ajustadas más exactas posibles. Si usted une sus vectores de GPS como una poligonal convencional entre dos puntos, sus estaciones simplemente se ajustarán como una poligonal convencional, y usted perderá la fuerza y exactitud del método de ajuste por mínimos cuadrados. Las sesiones tradicionales de múltiples receptores en modo estático nos han proporcionado los ladrillos para crear las redes fuertes. Con el advenimiento del modo cinemático o dinámico en tiempo real (RTK Real Time Kinematic) y un acercamiento más radial al GPS, hemos dejado de ver algunas de las ventajas de la fuerte estructura de red usada en sesiones estáticas con múltiples receptores. Nosotros necesitamos tener el cuidado para usar técnicas que rendirán posiciones más exactas y seguras posible con estos métodos GPS. Para abreviar, como topógrafos de GPS, nosotros queremos pensar en una red, no en una poligonal. Queremos usar el poder de un buen diseño de red y el método de ajuste por mínimos cuadrados para proporcionar la exactitud y confianza que necesitamos. Y cuando no es posible tener una estructura de red buena, como con los estudios radiales dinámicos o estáticos, queremos proporcionar bastante redundancia para darnos confianza en la exactitud de nuestros puntos.

La topografía con GPS es por naturaleza radial, es decir, estamos haciendo radiaciones relativas a una

estación base. En las aplicaciones dinámicas post-procesadas, podemos utilizar múltiples estaciones base en el proceso de proporcionar redundancia y confianza, pero la mayoría de las aplicaciones en tiempo real usan sólo una estación base. Nunca deben usarse los estudios radiales para establecer estaciones base. Estas pueden, sin embargo; pueden ser muy útiles para las tareas de la topografía general como planimetría, control fotográfico, el estacado de lotes, etc. Recuerde que una posición de GPS dinámica no es como una radiación topográfica. Usted no tiene ningún chequeo sólido a menos que usted visite el punto dos veces. Por consiguiente, es una buena práctica visitar sus puntos radiales dos veces, y aun mejor mover al receptor base a una estación de control diferente antes de la segunda visita.

## **El Demonio de la Altura Dual**

Tradicionalmente la parte de mayores tropiezos en el uso del GPS ha sido sus limitaciones estableciendo la elevación. El problema básico es que es imposible medir directamente las diferencias de elevación directamente con GPS. Con GPS, nosotros podemos medir directamente solamente la diferencia de altura elipsoidal. Para medir la diferencia de elevación directamente, nosotros necesitamos usar el nivel topográfico convencional. Esto es, que es posible obtener muy buenas elevaciones GPS derivadas con la ayuda de un buen modelo del geoide. Este sistema de alturas dual ha sido uno de los conceptos más duros para los nuevos usuarios de entender, y nosotros intentaremos explicarlo tan simplemente como sea posible.

Se define la elevación como la altura de un punto sobre una superficie de gravedad. Históricamente nosotros hemos usado el concepto de nivel medio del mar para describir el punto cero, o referencia, para la elevación. Hoy, nosotros estamos usando una superficie definida por los valores de gravedad, debido a la dificultad de determinar el nivel medio del mar de costa a costa. Esta superficie de gravedad es irregular porque varía, dependiendo de la fuerza de gravedad en una área determinada. La superficie de una patata es un buen modelo para describir una superficie de la gravedad alrededor del mundo. Bajo la influencia de la gravedad, el agua busca su nivel más bajo (el nivel medio del mar). Es decir, el agua fluye en declive de un nivel más bajo de gravedad a una gravedad más alta. La única manera de medir la diferencia de altura con precisión sobre esta superficie ondulante de gravedad es usar un nivel topográfico y efectuar una nivelación diferencial.

La altura elipsoidal es la altura de un punto sobre un elipsoide de referencia. Las posiciones GPS son referidas al elipsoide WGS84. El centro de este elipsoide de referencia coincide con el centro de masa de la tierra que también es el punto de origen X,Y,Z del sistema de coordenadas cartesiano. Nosotros podemos determinar la altura elipsoidal de un punto fácilmente determinando su distancia del centro de la tierra y substrayendo el radio del elipsoide de ésta. Podemos con mucha precisión determinar la diferencia de altura elipsoidal entre puntos usando GPS, pero debido a los errores del posicionamiento absolutos inherentes en el sistema, necesitamos referenciar estas diferencias a puntos de altura elipsoidal conocida de igual manera en que referimos nuestro nivel topográfico a un banco de nivel.

El problema fundamental es que estos dos sistemas de altura están completamente separados. Nosotros no podemos medir las alturas directamente en un sistema con las herramientas del otro sistema. Nosotros podemos, sin embargo; modelar las ondulaciones de la superficie geoidal y extrapolar la separación entre esta superficie y la superficie del elipsoide WGS84. Estas diferencias pueden usarse para derivar las elevaciones de nuestras alturas elipsoidales. Actualmente en los Estados Unidos tienen un muy buen modelo de la superficie ondulante del geoide que es referida a nuestra superficie elipsoidal WGS 84 sobre un decímetro de exactitud absoluta. Si nosotros usamos este modelo y atamos nuestras mediciones GPS a los puntos de elevación conocida, nosotros podemos obtener muy buenas elevaciones relativas GPS derivadas para nuestros puntos topográficos en muchas áreas del país. Hay lugares dónde el modelo no es suficientemente exacto (por ejemplo, en las zonas montañosas) para medir las elevaciones con la precisión topográfica, pero en muchos lugares es bastante posible lograr mediciones de elevación relativos con un centímetro de exactitud.

Uno de nuestras tareas como topógrafos es encontrar referencias buenas de bancos de nivel al que nosotros podamos referir nuestro modelo, y encontrar y usar un número suficiente de ellos para alinear las dos superficies con precisión. Si nosotros tenemos sólo una referencia de banco de nivel, o si nuestras referencias están distribuidas en una línea, nosotros no podremos alinear el geoide propiamente con el elipsoide, y podríamos tener errores inaceptables en nuestras elevaciones GPS derivadas. Estos errores aumentarán cuanto más nos alejemos de nuestras elevaciones de control. Nosotros debemos tener un mínimo de tres referencias de control bien espaciadas si nosotros queremos usar GPS para derivar las elevaciones, aunque el número mínimo recomendado es cuatro. Teniendo cuatro referencias nos permite un poco de redundancia y nos proporciona alguna indicación de la exactitud de nuestras referencias de control.

## **Definición de los términos Estático y Dinámico para la Topografía con GPS**

Aclaremos el aire un poco y definamos las técnicas topográficas de las que nosotros vamos a hablar más adelante. La jerga del GPS ha sido inflada por los fabricantes que intentan individualizar las técnicas similares usando nombres diferentes para ellos. Vamos a simplificar esto y usaremos sólo dos nombres: Estático y Dinámico. Incluido en la lista de nombres usados para las diferentes técnicas topográficas GPS son la estática, corta estática, rápida estática, la seudo-cinemática, la seudo-estática, ocupación repetida, la cinemática, stop and go cinemática, y por último pero no menor, la cinemática en tiempo real o dinámica en tiempo real.

Un estudio estático involucra a dos o más receptores que están colectando datos en diferentes puntos durante una cantidad suficiente de tiempo común para resolver el vector(s) entre ellos a nivel centímetro o milímetro. Los receptores se encienden al principio de la sesión de la medida y se apagan al final de la sesión. Cada receptor tiene un archivo separado para cada ocupación, y ningún dato es colectado mientras se mueven entre los sitios del estudio. El modo estático, rápido estático, y el estático corto todos se refieren a la técnica estática clásica descrita. Sólo el tiempo de ocupación varía. Aquí nosotros tenemos de introducirnos a los principios del GPS. Los satélites transmiten los datos en dos frecuencias que se conocen como L1 y L2. Recuerde que nosotros dijimos que la velocidad de la señal GPS es cerca, pero no igual a, la velocidad de la luz. Esto es porque la velocidad y el trayecto de la señal son afectados por la atmósfera de la tierra. La ionosfera es especialmente problemática porque su composición puede cambiar rápidamente, qué a su vez afecta la cantidad de error que contribuye a las mediciones de rango. Sin embargo, el efecto de la ionosfera es diferente para las diferentes frecuencias. Poniendo en correlación el efecto de la ionosfera en la frecuencia L1 y la frecuencia L2, nosotros podemos eliminar los errores de la ionosfera matemáticamente en sólo unos minutos. Éste es una de las ventajas de usar un receptor de frecuencia dual; es decir, un receptor que puede rastrear L1 y L2. Los receptores de una sola frecuencia también pueden resolver los errores provocados por la ionosfera en tiempo real, pero les toma más tiempo, en algunos casos mucho más tiempo para hacerlo. La capacidad de frecuencia dual es el requisito básico para lograr tiempos de ocupación corta, pero con el número de satélites ahora disponible, y con los receptores mejorados y mejores algoritmos de proceso, los tiempos de ocupación han sido también reducidos para la mayoría de los receptores de una frecuencia usados en topografía

La seudo-cinemática, seudo-estática y ocupación repetida, todos se refieren a la misma técnica de una sola frecuencia. Esta técnica es un esfuerzo por obtener la eficacia de frecuencia dual y ocupaciones estáticas cortas repitiendo observaciones cortas del mismo punto. Las observaciones están separadas por algún intervalo de tiempo (normalmente el tiempo de una sesión estática normal) esto permite un cambio suficiente en la geometría del satélite para fijar las mediciones a un nivel al centímetro. Es como una observación estática larga, pero la parte de en medio se ignora. En cambio, durante la parte media, usted está ocupando otros sitios. Con métodos "seudo" o métodos de ocupación repetida, el receptor normalmente esta encendido mientras se mueve entre los sitios del estudio. El programa ignora los datos colectados mientras se está en movimiento y usa sólo los datos recogidos por los receptores mientras está ocupando los puntos topográficos. Éstas "seudo" técnicas son sólo variaciones de la técnica estática. Es

decir, sólo los datos recogidos mientras se está ocupando las estaciones del estudio se usan en el proceso. Las técnicas mencionadas al principio de este párrafo son variaciones de la técnica estática.

Las técnicas dinámicas requieren el uso de datos en movimiento o en trayectoria. El término cinemático se ha usado para describir la topografía de GPS dinámica tradicionalmente. El término cinemático se refiere a ambos el modo cinemático "verdadero" donde sólo la trayectoria es de interés, y al modo stop and go cinemático donde sólo algunos puntos a lo largo de la trayectoria son de interés. El modo cinemático en tiempo real (RTK) simplemente relega el procesamiento de los datos al momento de la colección de los datos, proporcionando información relacionada a la calidad de las mediciones en campo mientras usted está tomando las medidas. Esto elimina la necesidad del post-proceso, permitiendo hacer estacado mientras se está en movimiento. Una palabra de cautela: el modo cinemático en tiempo real agrega una nueva dimensión de problemas relacionados al arte de la radiocomunicación de la topografía dinámica con GPS. Agregue al viejo adagio, usted no consigue nada gratuitamente.

Las técnicas dinámicas de GPS permiten observaciones muy cortas en los puntos de estudio, pero estos requieren alguna forma de inicialización para lograr la precisión al centímetro rápidamente. Una vez inicializado, debe mantener contacto con un número suficiente de satélites para mantener la exactitud al centímetro mientras se está en movimiento y cuando se encuentra sobre los puntos del estudio. Si durante el levantamiento se pierde contacto con demasiados satélites al mismo tiempo, usted tendrá que reinicializar el levantamiento. Cómo usted reinicialice el estudio dependerá del tipo de receptor que usted esté usando. Un receptor de frecuencia dual se reinicializará simplemente colectando datos limpios suficientes, mientras que un receptor de una frecuencia tendrá que ser reinicializada ocupando un punto del estudio conocido, o con alguna otra técnica que usa una línea base conocida. Todos estos atributos aplican igualmente a levantamientos en tiempo real como para levantamientos con post-proceso. Los requisitos requeridos hacen que la topografía dinámica sea conveniente sólo en las áreas de terreno abierto. Es mejor para superficies como los desiertos, praderas y cuerpos de agua. En las áreas con árboles y edificios altos, su uso está sumamente limitado.

En resumen, todos los términos confusos para las técnicas citadas anteriormente pueden ser clasificadas en dos categorías: estáticas o dinámicas. Con los métodos estáticos sólo los datos capturados en tiempo común a nuestros puntos de interés se usan para resolver los vectores entre dichos puntos. Con los métodos dinámicos, los datos colectados mientras el receptor está en movimiento son de igual importancia. Después de inicializar para lograr la exactitud al centímetro, los datos de la trayectoria nos permiten mantener esta exactitud mientras nos movemos de punto a punto. De esta manera, sólo períodos muy cortos se requieren para obtener los puntos de interés. Con los receptores de frecuencia dual nosotros podemos usar los datos móviles para simplemente resolver la exactitud al centímetro, permitiendo la inicialización "en el momento" (OTF On The Fly) y eliminando la necesidad de inicializar en un vector previamente conocido. Las técnicas "en el momento" (OTF) han hecho del modo cinemático en tiempo real una herramienta de productividad topográfica viable en terrenos razonablemente abiertos, así como permite el uso realista de posicionamiento dinámico al centímetro en aviones y barcos. El GPS dinámico sólo es conveniente para el uso en áreas abiertas, incluso al usar a los receptores de frecuencia dual con la capacidad de OTF. Si hay muchas obstrucciones entre el receptor y los satélites en el área que usted desea inspeccionar, usted deberá usar la estación total en lugar del GPS dinámico. Usar la herramienta correcta para un ambiente o tarea en particular es la clave. Entre más herramientas usted tenga y más flexible sea usted seleccionando la adecuada, más eficaz será logrando sus tareas topográficas. Ninguna sola herramienta es correcta para todos los usos.

# Topografía con GPS estática

GPS estático es la técnica original usada en posicionamiento topográfico con GPS. Es fiable y precisa. Históricamente se han usado receptores múltiples para construir redes fuertes de puntos que facilitan el uso de técnicas de ajuste por mínimos cuadrados para proporcionar posiciones sumamente exactas. Ésta es la fuerza del GPS estático. La desventaja es que toma mucho más tiempo para posicionar un punto que si nosotros usamos los métodos dinámicos. La velocidad y eficacia contra la exactitud y confianza. Nosotros deseamos usar los métodos GPS estáticos cuando estemos estableciendo nuevos puntos de control.

## Control

La primera cosa que nosotros debemos hacer al prepararnos para un estudio GPS estático es averiguar dónde está el punto de control, quién lo estableció, y cómo fue establecido. Recomendamos que usted use sólo puntos de control de buena calidad establecidos con métodos GPS para sus necesidades horizontales, y bancos de nivel de primer orden para su control vertical. Conozca su fuente. El mejor lugar para encontrar puntos de control es el banco de datos del INEGI

Los datos de puntos de control en una región están disponibles por una modesta cuota. Cuando usted haya seleccionado el punto de control que le gustaría usar, usted necesitará verificar que es capaz de ser usado para las ocupaciones de GPS. Un banco de nivel cerca de una pared de un edificio no servirá, y una estación de triangulación puesto bajo un roble grande también será un problema. En estos casos, si usted no tiene otras opciones disponibles, usted tendrá que poner estaciones excéntricas que puedan ocuparse por su sistema GPS.

¿Tenemos suficientes puntos de control? El mínimo número de puntos de control para hacer un ajuste tridimensional son dos puntos de control horizontales y tres puntos de control verticales. Recomendamos un mínimo de tres horizontales y cuatro verticales. Esto proporciona un poco de redundancia y nos permite calcular algunas estadísticas que darán una mejor indicación de la exactitud del punto de control. Si su proyecto es grande, usted puede muy bien tener más del número mínimo de puntos de control disponibles. Úselos. Más es mejor; pero usted no querría terminar con una red que tiene más puntos de control que estaciones nuevas.

¿Nuestro punto de control esta bien posicionado? Debe quedar fuera de, o cerca de los bordes de nuestro proyecto. Debe estar bien distribuido geoméricamente. Nosotros no queremos todos los puntos de control a un solo lado del proyecto. No queremos todos nuestros puntos de control vertical en misma línea. Nuestros resultados pueden distorsionarse con puntos de control pobremente distribuidos. La topografía con GPS no es mágica, pero si nosotros realizamos bien nuestras observaciones y controlamos nuestros ajustes propiamente, podremos lograr una exactitud que es imposible de obtener usando los métodos de la topografía convencionales más rigurosos incluso.

Hemos determinado los puntos de control que vamos a usar. Ahora necesitamos conectar nuestros nuevos puntos a los puntos de control en una forma coherente. Aquí es donde la habilidad entra en juego. Empiece en un punto de control. Conecte líneas a, y entre, todos los puntos que se ocuparán por los receptores en una sesión. Si usted sólo tiene dos receptores, esa será una línea entre dos puntos. Si usted tiene cuatro receptores, esto equivaldrá a seis líneas entre cuatro puntos o una sesión. Ahora, dejando un receptor por lo menos como el punto pivote, mueva (brinque) los otros receptores a los nuevos puntos, y repita el dibujo de las líneas. Continúe los saltos de esta forma hasta que usted haya conectado todos sus nuevos puntos y su punto de control en una red fuerte. Hay dos principios para recordar al hacer esto:

1. Conecte los puntos
2. Mida las líneas cortas

Normalmente siguiendo el primer principio provee el cumplimiento del segundo. En otros términos, no mida líneas largas que pasan por puntos intermedios. Siempre intente conectar los puntos adyacentes. Más acerca del diseño de la red aparece después en este documento.

Como usted puede ver, usando cuatro receptores nos proporcionarán rápidamente una red muy fuerte que tiene mucha redundancia para nuestro ajuste por mínimos cuadrados. El uso de sólo dos receptores para lograr la misma cantidad de redundancia probablemente sería de un costo prohibitivo desde un punto de vista en tiempo. Si usted está usando sólo dos receptores usted necesitará proporcionar algún número rentable de lazos cruzados para proporcionar exactitud mejorada y confianza en sus posiciones del proyecto. Por favor resístase a usar el GPS a simplemente levantar de punto de control a punto de control.

## Observaciones

De acuerdo, nosotros tenemos el plan de cómo nuestros puntos van a ser conectados. ¿Ahora que? Nosotros necesitamos establecer un horario para observar nuestras estaciones. Necesitamos verificar que podemos ocupar las nuevas posiciones con nuestros receptores GPS, y necesitamos establecer cuánto tiempo necesitamos ocuparlos para asegurar mediciones exitosas. Los tiempos de ocupación requeridos para conseguir buenos resultados variarán basados en el tipo de receptores que nosotros tengamos, la longitud de las líneas base que estemos midiendo, la cantidad de obstrucciones a la visibilidad de los satélites a los sitios, y de otros tipos de interferencias con nuestra señal GPS. La interferencia puede presentarse en la forma de multipath (reflejo de señal), perturbaciones ionosféricas (tormentas solares), o transmisores de microonda cercanos. Eche una mirada alrededor de su sitio. ¿Parece malo para usted? En ese caso extienda su sesión. Recuerde que todos los receptores que participan en la sesión tendrán que también extender sus observaciones. ¿Ambos sitios de una línea base parecen malos? Si es así, extienda la sesión aun más. El tiempo de ocupación recomendada para receptores de frecuencia sencilla y dual se asume con condiciones medioambientales limpias. Esto plantea otro punto importante: buena comunicaciones entre los operadores permiten a las cuadrillas topográficas ser flexibles en el horario de observación.

Una vez usted ha determinado la duración de cada sesión, usted necesitará hacer un horario para los operadores. Este programa incluirá las estaciones a ser ocupadas y la hora de inicio y parada de los tiempos de las sesiones. El horario se hará usando el plan de la red como una guía, teniendo presente el tiempo de viaje entre los puntos del estudio. Nosotros queremos ocupar nuestros puntos en una sucesión que proporcione una buena estructura. Factores que afecten la facilidad de viajar entre los puntos necesitarán ser tomados en cuenta, como hora del día y tipo de terreno. He estado en estudios dónde tomé varias horas para ir entre dos puntos separados una milla. Los factores del terreno pueden influir en la estructura de la red causando la reconfiguración de su red básica. Otro factor importante es la visibilidad a los satélites. Usted deberá usar el programa de visibilidad de los satélites (o planeador) para buscar los periodos óptimos de tiempo para hacer sus observaciones. Puede desear acortar o alargar las sesiones basado en el número de satélites disponibles. Hoy en día con el número de satélites disponibles, la visibilidad de los satélites se ha vuelto menos importante en la planificación de sesiones en áreas dónde el terreno es bastante abierto. Sin embargo; todavía es importante en áreas dónde hay numerosas obstrucciones a la señal de los satélites.

La parte dura se ha hecho. Los operadores tienen sus horarios y ellos se marchan. Todos están preparados para la primera sesión. Ellos encuentran sus marcas correctas. Ellos ponen sus antenas sobre de las marcas y cuidadosamente miden las alturas de la antena (si están usando un trípode normal, deben registrar dos alturas tomada de lados diferentes de la antena por lo menos). Los receptores se encienden, los nombres del sitio son registrados, y los comentarios son anotados. Después de que el tiempo de la sesión

especificada ha expirado, los receptores se apagan y los receptores se mueven a sus nuevos puntos. Estos pasos se repiten hasta que todas las sesiones planeadas se han grabado y todos los puntos se han posicionado. Es maravilloso cuando pasa así de fácil, pero la realidad es que nuestra sesión planeada cambiará debido a cosas como caminos dañados y vehículos averiados, así como alturas de la antena incorrectas, o interferencia de señal, etc. Si las cuadrillas tienen comunicación, ellos normalmente pueden hacer los ajustes a lo inesperado. Si no, los cambios tendrán que ser hechos al final del día para la aplicación el día siguiente. Incluso los planes bien hechos casi siempre cambiarán.

## **El trabajo en casa**

Las cosas pequeñas a veces tienen consecuencias grandes. Un buen trabajo en casa (trabajo de gabinete) es muy importante en un estudio de GPS exitoso. Las cosas como el mantenimiento de la batería y la disponibilidad suficiente de memoria del receptor pueden tener efectos profundos en la productividad. No es divertido volver del trabajo de un día para encontrar que nada había sido grabado porque la memoria del receptor estaba llena. Igualmente, no es divertido llevar un equipo empacado y hallar que las baterías no se encuentran suficientemente cargadas para completar sus sesiones o no tiene reemplazo para sus baterías alcalinas.

Otro pequeño factor que puede causar problemas es el intervalo de grabación del receptor. Si usted está esperando post-procesar la ocupación corta de datos estáticos, y el intervalo de grabación esta puesta a 20 segundos en lugar de 5, usted estará grabando menos datos de los que usted estaba considerando, y su ocupación no podrá tener el éxito. De igual manera, si usted desea usar el GPS en modo dinámico y ocupar el punto por 5 o 10 segundos, usted tendrá resultados muy pobres si su intervalo de grabación esta puesto a 20 o 30 segundos. Asegúrese de que su intervalo de grabación es correcto para la técnica que usted está usando, y que los intervalos de grabación de todos los receptores en la sesión son idénticos.

Uno de los errores más comunes que los nuevos usuarios de GPS cometen es usar un nombre ligeramente diferente en una ocupación repetida de un punto. Un ejemplo sería llamar un punto C012 en una ocupación y 012C en otro. La computadora no puede decidir que éste realmente es el mismo punto, y por consiguiente dos puntos separados existirán. Otro problema de la denominación sería usar el mismo nombre para dos puntos diferentes. Esto causará que el ajuste "explote". Cuando los errores residuales y estadísticas en un ajuste son considerables, dos puntos con el mismo nombre normalmente es la causa. Debemos usar uno y sólo un nombre para cada punto en nuestro estudio. Debe haber un método lógico y consistente para nombrar los puntos, y todos los operadores deben ser conscientes de ello. No es raro tener un punto que no puede ocuparse, y una estación excéntrica tendrá que ser puesta o un punto no programado tendrá que ser ocupado. Algo saldrá más de vez en vez, pero queremos intentar mantenerlo al mínimo. Tenga un "check-list" para las cuadrillas. Una lista de actividades para la mañana y una lista para la tarde podrían ser apropiadas. Todos nosotros necesitamos los recordatorios a veces.

## **Topografía con GPS dinámica**

Las técnicas topográficas dinámicas se están volviéndose populares rápidamente. Todos están hablando sobre topografía con RTK en estos días. Se han simplificado la inicialización y re-inicialización con el advenimiento de receptores de frecuencia dual y sistema dual (GPS/GLONASS). Las antenas, las técnicas de reducción de multipath, y los algoritmos de procesamiento se han mejorado para proporcionar mejor desempeño bajo los árboles. Pero "mejor desempeño" no significa exactitud al centímetro.

Bajo el dosel de árboles tupidos, lo mejor que nosotros podemos esperar en este momento, incluso con los receptores más sofisticados, es la aproximación al metro. Mientras que el GPS dinámico puede ser muy eficaz y exacto para algunos trabajos topográficos, nosotros necesitamos ser conscientes de sus limitaciones así como sus ventajas. Tan fiable como es en las áreas abiertas, hay muchos lugares dónde no

funcionará bien. Tomemos una mirada al proceso, así como lo bueno y lo malo, de la topografía de GPS dinámica.

## **El Proceso Dinámico**

En el GPS estático, nosotros resolvemos la ambigüedad de la fase (la lectura del cadenero del punto de atrás) y obtenemos la exactitud al centímetro colectando muchos datos. Para hacer un estudio dinámico nosotros necesitamos ocupar los puntos por un periodo de tiempo muy cortos obteniendo la exactitud al mismo centímetro. Para hacer esto nosotros debemos inicializar nuestro levantamiento dinámico. Esto significa que nosotros debemos resolver nuestra posición al centímetro antes de que nosotros empecemos a visitar cualquier nuevo punto del estudio. La mejor manera de hacer esto es poner al receptor base y al receptor móvil en dos puntos conocidos, como una línea base conocida. La línea base conocida debe tener una medida de GPS directa entre sus puntos extremos. El programa usará esta información conocida para resolver y arreglar las ambigüedades de la fase en simplemente unos pocos segundos de colección de datos. Una vez que nosotros hemos ocupado la línea base conocida y la exactitud al centímetro es obtenida, el receptor móvil puede moverse a los puntos de interés. Con tal de que el receptor móvil mantenga la señal a cuatro o más satélites, el receptor obtendrá la exactitud al centímetro. Esto significa que durante nuestra trayectoria, los datos colectados mientras se está en movimiento, también están al centímetro el nivel de exactitud, y nosotros podemos usar el GPS dinámico para hacer perfiles y secciones exactos. Si el receptor no mantiene la señal en por lo menos cuatro satélites, usted tendrá que reinicializar el trabajo. Si usted pierde la señal demasiadas veces, el GPS dinámico se vuelve rápidamente tan improductivo y frustrante como unas llantas en el fango. En terreno abierto puede ser como navegar a favor del viento.

Ponga un receptor en el punto base conocido. Ponga al otro receptor (la unidad móvil) en otro punto relacionado al punto base conocido. Esto es en el otro extremo de la barra inicializadora. Para asegurar la integridad de la inicialización, usted debe usar un trípode en ambos extremos de la barra. Un intervalo de grabación bueno para estudios dinámicos donde nosotros sólo estamos interesados en los puntos topográficos y no la propia trayectoria, es un intervalo de dos a cinco segundos. Encienda los receptores e ingrese las identificaciones apropiadas de los sitios (IDs) y el tiempo de observación. Una observación de cinco minutos se recomienda al usar la barra inicializadora. Al final del tiempo de observación, cuatro signos de interrogación (????) reemplazan la identificación del sitio. Estos signos de interrogación le dicen al programa que, desde este momento, los datos son una trayectoria en movimiento. Después de que los signos de interrogación se han cambiado, el operador quita la antena del receptor móvil del trípode (cuidadosamente, para mantener la señal con todos los satélites), la pone en la baliza cinemática, y se mueve al próximo punto. De nuevo, tenga mucho cuidado de mantener la antena vertical y evitar, tanto como sea posible, cualquier obstrucción arriba hacia los satélites. En el nuevo sitio, el operador ingresa la identificación correcta del sitio para el punto y espera a colectar algunas épocas de datos en él. Después del periodo de tiempo prescrito, el programa vuelve a poner los signos de interrogación (????) en el campo de la identificación del sitio (ID), y el operador se mueve al próximo punto en estudio. Este procedimiento se repite hasta que se hayan visitado todos los nuevos puntos del estudio. Si el estudio se extiende por más de 30 minutos, se recomienda que el operador ocupe nuevamente el punto de la inicialización, u otro punto relativo conocido al punto base. Esto también debe hacerse al final del trabajo. Esto nos da la habilidad de verificar nuestras re-inicializaciones y nos proporciona puntos de la inicialización múltiples para procesar. Múltiples receptores móviles pueden usarse en la misma sesión.

Debido a la naturaleza radial del GPS dinámico, se recomienda que se hagan repetidas observaciones con bastante tiempo entre ellas para permitir un cambio en la constelación de los satélites. Es incluso mejor si estas observaciones repetidas se realizan usando un punto diferente para la estación base.

## **Ventajas Dinámicas**

Una de las ventajas del GPS dinámico es que nos proporciona una herramienta para rápidamente posicionar puntos en la tierra. Si nosotros también usamos el equipo en tiempo real, nosotros tenemos la habilidad de rápidamente replantear o estacar puntos de coordenadas prediseñados. El uso de tiempo real tiene otros dos beneficios.

Nosotros podemos decir exactamente cuanto tiempo necesitamos en un punto, y podemos estar seguros de que tenemos una posición buena cuando regresemos a la oficina. Tenga presente que el beneficio de saber exactamente cuando también tenemos suficiente tiempo aplica a los métodos estáticos. En las áreas con muchas obstrucciones, si usted está usando equipo en tiempo real, usted debe pensar como si usted usara tiempo real estático, en lugar de apegarse a intentar usar métodos de tiempo real dinámicos. Quédense en el punto el tiempo suficiente, pero no más. Otra ventaja del GPS dinámico es que nos permite determinar con mucha precisión la posición de aviones y barcos en movimiento. Nosotros podemos usar el GPS dinámico para eliminar la mayoría, si no todo, el control terrestre en proyectos de fotogrametría aérea. El GPS dinámico también puede ser usado para elaborar estudios de hidrología con alta precisión. Con la combinación con una ecosonda, el GPS dinámico nos proporcionará las elevaciones del fondo directas sin tener que preocuparse por el nivel de la marea.

La ventaja primaria del GPS dinámico en la tierra es la velocidad. Los métodos estáticos son más exactos. En el aire y en el agua, la ventaja primaria es la exactitud. El GPS dinámico es la manera más exacta de posicionar un vehículo en movimiento. Ahora, con los receptores de frecuencia dual y las técnicas de inicialización "en el momento" (OTF) en tiempo real y en post-proceso, el GPS dinámico es muy viable en el sentido de su producción. Uno no puede hacer observaciones estáticas con blancos en movimiento, por lo que el GPS dinámico de una sola frecuencia es de poco uso en vehículos en movimiento como barcos y aviones dónde es imposible reinicializar sin una línea base estacionaria conocida.

## **Desventajas no tan Dinámicas**

La desventaja principal de GPS dinámico es que requiere de una buena visibilidad de los satélites. No funciona bien en los bosques, centros urbanos y barrancas. Nosotros necesitamos tener los datos bastante limpios en todo momento de un mínimo absoluto de cuatro satélites para obtener la exactitud al centímetro que requieren los estudios con GPS dinámico. Cada vez que nosotros nos quedamos debajo del número mínimo de satélites, el levantamiento debe ser reinicializado. Con un receptor de una frecuencia significa que tenemos que ocupar un punto (simplemente podría ser el último punto inspeccionado) que es conocido con respecto a la estación base. Si somos suficientemente afortunados para tener los receptores de frecuencia dual, sólo necesitamos movernos a dónde nosotros tengamos buena visibilidad de los satélites y esperar hasta que el receptor adquiera la exactitud al centímetro. Este modo de inicialización "en el momento" (OTF) es el beneficio primario de usar los receptores de frecuencia dual en los estudios de GPS dinámicos. Otra desventaja de GPS dinámico para el topógrafo es que es una técnica radial. A menos que nosotros volvamos a visitar los puntos o nosotros preparemos estaciones base adicionales y post-procesemos los datos, nosotros tendremos una sola radiación del punto posicionado sin ninguna redundancia. A la fecha, no hay ningún sistema en tiempo real que use múltiples estaciones base. La mayoría del tiempo todo trabaja bien y conseguimos resultados excelentes. Pero las mediciones GPS simplemente son otro tipo de medida, y a veces como cualquier otra medida, son inexactos. ¿Así que, que es lo que el topógrafo prudente debe hacer? Verifique su trabajo. Esto es verdadero tanto para GPS como es para la topografía convencional. Como dijimos antes, el GPS es similar a un distanciómetro. No es mágico. En muchos casos el GPS dinámico proporciona una solución mejor que usando una estación total convencional, hay también sin embargo muchos casos dónde la estación total podría ser más conveniente. No se olvide de las otras herramientas de su "mochila".

## Redes y Ajustes por Mínimos Cuadrados

La topografía con GPS nos proporciona los vectores precisos, pero no los vectores perfectos. Podemos mejorar la exactitud y confianza en nuestras mediciones usando los procedimientos de ajuste. Históricamente los topógrafos se han acostumbrado a los métodos topográficos para ir del punto A al punto B (o del punto A regresando a A), y ha usado alguna clase de ajuste proporcional, como son el método del Compás, del Tránsito, o Crandall, para ajustar el error de cierre. Estos métodos son bastante buenos para poligonales simples y pequeñas, pero en los estudios grandes con polígonos interconectados este método se queda corto, y nosotros podemos terminar con cierres muy pobres usando los métodos proporcionales. Para juegos de polígonos interconectados, el uso del método de ajuste por mínimos cuadrados es necesario. El método estático tradicional de hacer mediciones GPS que usan receptores múltiples nos proporciona lo que esencialmente es una serie de poligonales interconectadas, o sesiones. Debido a esto, el método de ajuste por mínimos cuadrados ha sido siempre la técnica de ajuste preferida.

El método de ajuste por mínimos cuadrados ajusta la posición de un punto para que las diferencias entre mediciones hechas a él sean tan pequeñas como sea posible. Si una medida en particular no encaja con las otras, su movimiento será mayor y su valor residual será más alto; indicando más error. Si este error es demasiado puede marcarse como un pico estadístico, y nosotros podremos decidir eliminar la medida de nuestro estudio. La habilidad de eliminar los vectores de baja precisión de nuestro ajuste depende del nivel de redundancia que nosotros hayamos construido en nuestra red. Entre más redundancia tengamos en nuestras mediciones de la red, mayor será la flexibilidad que nosotros tendremos quitando los vectores de baja precisión de nuestra red sin tener que regresar al campo para repetir observaciones. Entre mayor sea la redundancia que nosotros tengamos en nuestras mediciones de la red, más exactos serán nuestros puntos, y más alto será nuestra confianza en esas posiciones. Al planear un estudio para un ajuste por mínimos cuadrados, tenga presente la importancia de conectar los puntos y medir las líneas cortas. Hay un tercer principio para considerar: Más es normalmente bueno. En algún punto en cualquier proyecto es ineficaz y antieconómico hacer mediciones adicionales. Esto variará de proyecto a proyecto dependiendo de los requisitos de exactitud y el uso final de los puntos inspeccionados. Si usted sigue los dos principios básicos no debe necesitar agregar más mediciones.

## Diseñando una Red

Esta sección proporciona algunas pautas para diseñar una red topográfica fuerte. Empezaremos con una discusión general de la fuerza de los componentes de la red, después discutiremos dos métodos diferentes para diseñar la red, seguidos por algunos ejemplos de problemas que pueden experimentarse.

## Fuerza Geométrica de una Figura

La fuerza geométrica de una figura puede imaginarse mejor como una estructura de andamio y su fuerza estructural relativa. Las figuras más fuertes son el triángulo equilátero o el cuadrilátero asegurado doble (Figura 1). Celosías compuestas de estas figuras serían análogas a una red.

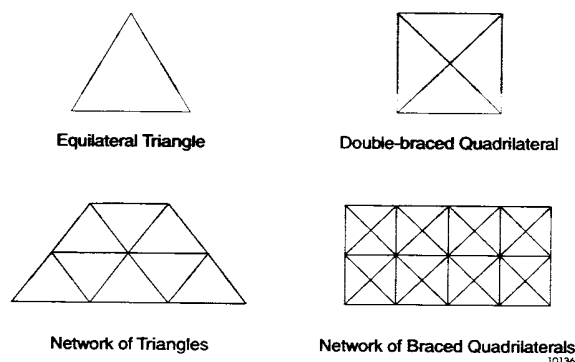


Figure 1

En una red de control topográfica, como con una estructura de andamio, entre más agudos los ángulos sean, más débil será la estructura. Mientras esto era más crucial para la triangulación que en la trilateración o en las mediciones con GPS, los principios todavía son válidos. Entre mayor sea la rigidez que una red tiene, más seguro usted puede estar que las posiciones ajustadas son precisas.

No sólo es importante la fuerza de las figuras geométricas individuales, sino también la manera en que estas se interconectan y relacionan entre sí en la red es vital. Considere el ejemplo en la Figura 2:

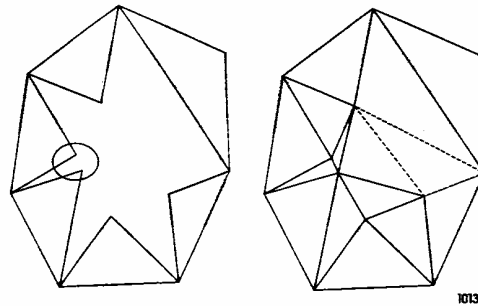


Figure 2

En la Figura 2, la red de la izquierda está compuesta de figuras geoméricamente fuertes, pero su interconexión está pobremente estructurada, sobre todo en el área circulada donde no se conectan dos estaciones que están muy juntas. ¿Usted estaría de pie en un andamio construido esta manera? Usted no querría confiar en las posiciones computadas en una red estructurada así. La estructura de arriba puede mejorarse significativamente agregando algunas líneas como se muestra en el lado derecho. Las líneas punteadas probablemente no se requerirían, aunque ello proporcione una fuerza adicional.

Como usted puede ver, las líneas adicionales fortalecieron la red considerablemente. En topografía catastral, muchos estados han promulgado legislación de las normas mínimas que requieren que todas las líneas de límites sean medidas directamente, lo contrario al realizar un estudio radial. Un estudio radial es dependiente de una sola observación que puede o no contener un error significativo. Y aunque una poligonal a lo largo de un límite tendría el potencial similar para el error; el descubrimiento de semejante error sería más simple. Con las redes, la redundancia adicional proporciona no sólo la integridad (la fuerza), también permite un análisis estadístico de dónde los errores han ocurrido a través del uso del ajuste por mínimos cuadrados.

No piense en esta redundancia como trabajo extra. No lo es. Se necesita la redundancia para descubrir y eliminar los errores. En la medición de un ángulo, una sola observación puede ser groseramente errónea, por lo que las técnicas de "envolvimiento" de los ángulos (con un tránsito) y "lecturas repetidas" (con el teodolito) se desarrollaron. Lo mismo es verdad en la medición de distancias. Normalmente se repiten mediciones encadenadas, y la exactitud de la medición de un distanciómetro puede aumentarse midiendo una línea desde ambos extremos. No importa cuán preciso el equipo pueda ser, la verdadera exactitud de las mediciones es desconocida sin la redundancia suficiente.

## Efectos de las Estaciones de Control en la Geometría de la Red

La localización de las estaciones conocidas ("fijas" o "de control") afectarán la calidad de la red, normalmente de una manera positiva. Si usted tiene una red suficientemente fuerte antes de que los puntos conocidos se agreguen al ajuste, usted puede descubrir "malos" puntos de control (con coordenadas erróneas). También, en situaciones donde las mediciones redundantes son sumamente caras

(como en estaciones a que sólo se pueden llegar por helicóptero, por ejemplo), la localización apropiada de las estaciones conocidas puede reforzar una red débil. Como un ejemplo, considere la Figura 3:

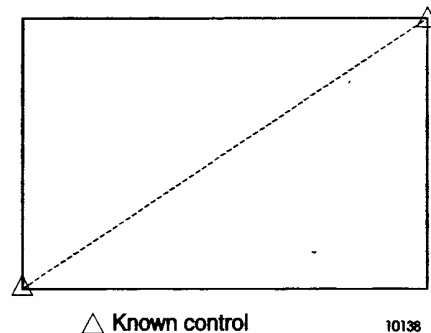


Figure 3

La Figura 3 no es una red, ni dos estaciones conocidas serían suficientes para realizar un ajuste completo, pero usted puede ver que la figura está rígida por el arreglo de las dos posiciones conocidas. Sin por lo menos dos puntos fijos, ésta no es una estructura rígida.

[No es un buen procedimiento basarse en puntos de control conocidos para apuntalar una red diseñada deficientemente. Por otro lado, un control pobre puede distorsionar mediciones correctas. De nuevo, el mejor procedimiento es diseñar una estructura de la red que está rígida por sí sola, conteniendo tantas estaciones conocidas como sea posible. El control suficiente permite que estaciones conocidas de poca precisión sean rechazadas.]

## El Método de Circuito

El diseño de una red GPS deriva a una premisa básica – piense en una red, no en un polígono. Nosotros queremos usar la fuerza inherente de redundancia que un ajuste por mínimos cuadrados proporciona. Las páginas siguientes mencionan los pasos usados para diseñar una red con el método "nada trivial" de circuito. El método de circuito empieza como un método poligonal, pero incluyendo los otros vectores observados a lo largo del circuito de las líneas base, el resultado será una red amablemente redundante. Si nosotros usamos este método correctamente, llegaremos a un juego de observaciones más eficaz para nuestra red. Para ser aceptable a la NGS (National Geodetic Subcommittee) para la inclusión en la red nacional, necesitamos agregar sesiones hasta contabilizar el triple de ocupación del 10 por ciento de las estaciones, ocupación doble de los puntos de control (100 por ciento de vertical y 25 por ciento de horizontal), y ocupación doble del 5 por ciento de las líneas base. Ha habido alguna discusión acerca de si las líneas base triviales deben ser incluidas en una red. Note que "trivial" (y "no trivial") se han puesto entre comillas. Con el proceso independiente de las líneas base, ninguna de las líneas es trivial. Puesto en correlación, sí, pero no triviales. Si las líneas base se han procesado por software que usa todos los datos al mismo tiempo en una sesión, entonces algunas de las líneas serán de hecho triviales: ellos producirán errores de cierre cero. En un caso típico como este, las estadísticas se informarían sólo para las líneas "no triviales". Las líneas triviales simplemente serán el inverso matemáticos entre los puntos extremos de las líneas "no triviales", y estas líneas probablemente no se usarán en la red.

Factores que ayudan a contribuir a la no "trivialidad" de vectores de sesiones independientemente procesadas son:

La visibilidad de diferentes satélites entre estaciones

Los efectos de orientación direccional en los resultados de la línea de base.

Para una red más fuerte, nosotros usaremos todas las líneas base independientemente procesadas que podamos. Queremos evitar una red que se parezca a la Figura 11.

## Los pasos

(Antes de empezar, usted podría desear probar diseñando una red usando su método actual con los puntos en la Figura 4)

1. Establezca los circuitos del almacén.  
Usando los puntos proporcionados en la Figura 5, conecte las estaciones de la red con poligonales cerradas. Cada circuito no deberá exceder 10 líneas base. Se muestran los ejemplos en la Figuras 6 y la Figura 8.
2. Esquematice las sesiones (Conecte los Puntos).  
Determine el número de receptores a ser usados y agregue las líneas de sesión "triviales", sombreando las áreas enmarcadas por las sesiones. Cada sesión debe incluir el número apropiado de vectores de regreso. La fórmula para vectores "no triviales" es  $N-1$  donde  $N$  es el número de receptores usados. Con 4 receptores, como en nuestro ejemplo, cada sesión debe contener 3 vectores "no triviales" como se muestra en la Figura 7 y la Figura 9.

**Para estudios básicos usted simplemente puede empezar con el paso dos y conectar los puntos en grupos sesiones conforme va saltando de sesión en sesión entre sus puntos de control. Entre cada sesión, un o dos receptores permanecerán en el punto mientras los otros se mueven a los nuevos puntos para la próxima sesión. Ésta probablemente es la manera más rápida de diseñar su red, pero puede llevar a una o dos sesiones extras. Recuerde tomar en cuenta el terreno y los tiempos de traslado cuando agrupe sus sesiones y planee sus movimientos .**

3. (NGS optativo)  
Asegúrese seguir el criterio para observaciones repetidas. Esto realmente no es un tercer paso, dado que normalmente se hace durante el segundo paso. Como usted puede ver de la Figura 12 y la Figura 13, la planificación juiciosa puede ahorrar tiempo.

El criterio para la aceptación NGS involucra mucho más que un buen plan de la red. Si usted está planeando en realizar un estudio conforme a el "Bluebook", por favor refiérase a las Normas de Exactitud Geodésicas Geométricas y Especificaciones para el Uso de Técnicas Relativas al Posicionamiento GPS, Versión 5.0 del 11 de mayo de 1988 (por lo menos dos reimpressiones han ocurrido) publicadas por el Federal Geodetic Control Subcommittee.

Una red bien diseñada proporcionará la confianza de que las posiciones ajustadas serán las posiciones más buenas posibles. También, las redes bien diseñadas ayudan a que nosotros estimemos los costos del trabajo con mayor con precisión y fácilmente. Si nosotros sabemos el número de "líneas base no triviales", es decir el número de líneas base en nuestro circuito, nosotros sabremos exactamente cuántas sesiones se requieren. Refiriéndose a la Figura 8, nosotros vemos que hay 30 líneas base. Con la planificación cuidadosa, nosotros podemos completar el proyecto con 10 sesiones usando 4 receptores (con  $N-1$ , o 3 líneas base "no triviales" por sesión).

Estos ejemplos no cubren el efecto que estaciones conocidas adicionales tendrían en la red.

## Diseño de Una Red Usando 4 Receptores

Use su método actual en la Figura 4.

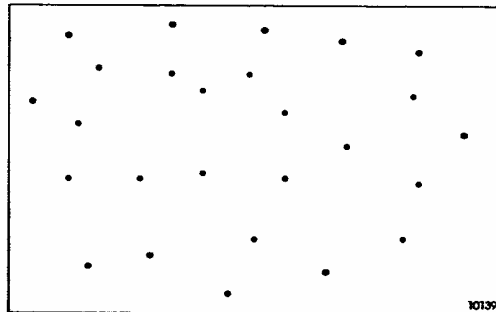


Figure 4

En la Figura 5, empiece con circuitos de líneas base "non triviales". Cada circuito debe contener no más de 10 líneas base y no tener más de 100 kilómetros de longitud. Cada circuito debe contener las líneas base de más de una sesión. Cada sesión también debe contener  $N-1$  circuitos de líneas base donde  $N$  es el número de receptores que participan en las sesiones. Por ejemplo, si se usan 4 receptores, cada sesión debe contener 3 líneas base "no triviales". Empiece diseñando los circuitos primero y después rellene las sesiones de los vectores "triviales".

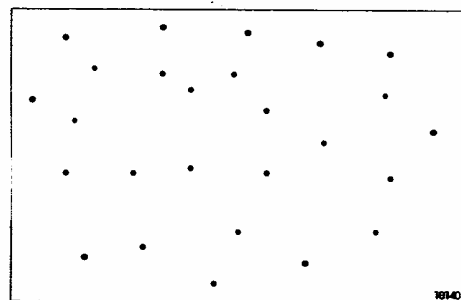


Figure 5

Una posible solución del circuito se muestra en la Figura 3.

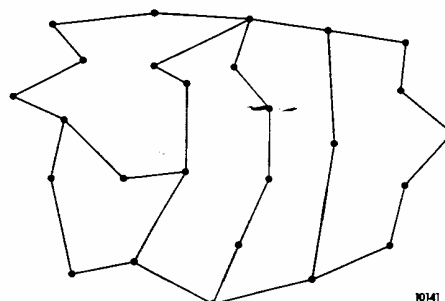


Figure 6

En la Figura 7 nosotros vemos un plan para 11 sesiones basadas en los 5 circuitos creados en la Figura 6. Las áreas ineficaces de este plan se circulan, y son el resultado de usar sólo un circuito de línea base en una sesión y teniendo una línea base observada en dos sesiones diferentes.

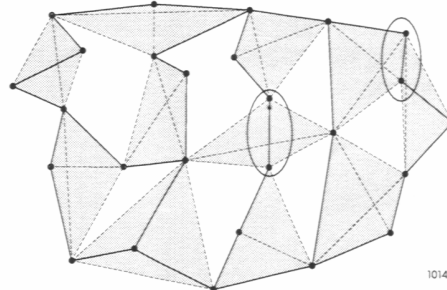


Figure 7

Intente evitar los circuitos paralelos mientras este planeando su armazón. Los tramos paralelos largos con pocos lazos cruzados constituyen una estructura más débil y pueden comprometer la calidad de su ajuste por mínimos cuadrados. La estructura del circuito que se muestra debajo en la Figura 8 es mejor que el mostrado en la Figura 6.

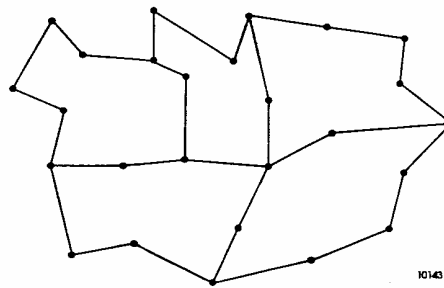


Figure 8

Basado en esta nueva estructura del circuito, las sesiones se han puesto más eficazmente en la Figura 9. Las mismas estaciones han sido observadas usando 10 sesiones en lugar de las 11 mostradas en la Figura 7.

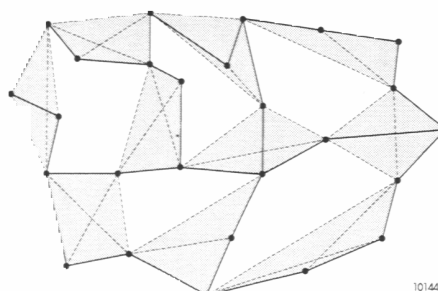


Figure 9

Note que cada sesión en la Figura 9 tiene tres líneas base "no triviales" usadas en el armazón, y que cada sesión se conecta a por lo menos otras 2 sesiones. Otra cosa interesante para notar es que - los agujeros - las áreas blancas - en la Figura 9 todas tienen cuatro lados o más mientras que la Figura 7 contiene varios que sólo son de tres lados.

Compare la Figura 8 a la Figura 10. ¿Cuál le parece más fuerte a usted? Al usar el ajuste por mínimos cuadrados, la redundancia es fuerza.

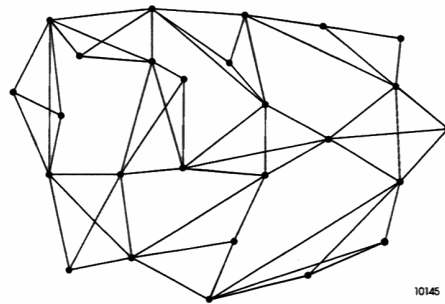


Figure 10

En la Figura 8 sólo las líneas base "no triviales" han sido incluidas, mientras que todas las líneas base han sido incluidos en la Figura 10. Usando las llamadas líneas base "triviales" agregan redundancia y fuerza a la solución, y si solo eso se hace, usando todos los vectores observados permite la omisión de las líneas base pobres sin ningún efecto.

## Un Red Pobre

¿Usted puede identificar algunos de los problemas con la siguiente red de vectores?

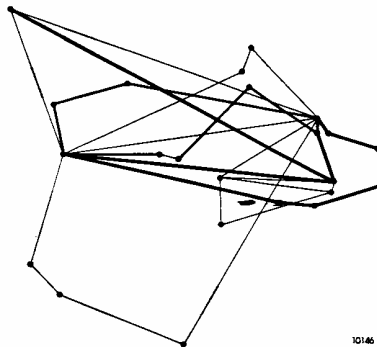


Figure 11

Hay tres problemas bastante obvios con la red en la Figura 11.

Los circuitos tienen pobre interconexión.

La mayoría de las distancias cortas no ha sido medidas.

Hay largas conexiones que sobrepasan estaciones más cercanas

La Figure 11 ilustra algunos de los problemas que pueden ser el resultado de "pensamiento en poligonales"; es decir, pensando dentro del contexto de una poligonal convencional en lugar de pensando en la integridad de la red.

## Las Especificaciones de NGS

Diseñar una red que se encuentre dentro de las especificaciones NGS produce más sesiones. Reuniendo el requisito de ocupación triple para el 10 por ciento de las estaciones, nosotros debemos también, automáticamente, reunir el requisito del 5% de doble ocupación de las líneas base. En el ejemplo mostrado en la Figura 12, hay un total de 13 sesiones, tres más que las necesarias para una buena red. Éste no es un trabajo eficaz. La red se puso empezando con tres estaciones a ser ocupadas tres veces, y agregando las sesiones para observar todas las líneas base. También se hizo sin la preocupación de donde fue localizado el control. Nosotros terminamos con estaciones extra de ocupación triple, líneas extra de ocupación doble, sesiones extras, etc, para abreviar, tiempo extra.

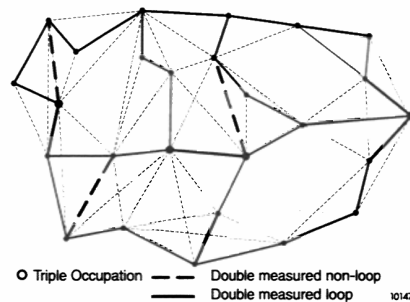


Figure 12

La Figura 13 muestra una mejor solución que reúne los requisitos NGS.

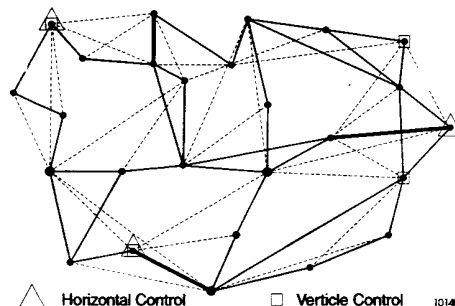


Figure 13

La red en la Figura 13 se ha diseñado más eficazmente, y la localización del punto de control ha sido considerada. Debajo están los criterios usados, listado en el orden descendente de preocupación,:

1. Ocupación triple de estación 10% (necesitamos 3 estaciones, tenemos 3)
2. Ocupación doble de las estaciones nuevas 30% (necesitamos 8 estaciones, tenemos 9)  
El control vertical 100% (necesitamos 4 estaciones, tenemos 4)  
El control horizontal 25% (necesitamos 1 estación, tenemos 3)
3. Líneas base repetidas 5% de las líneas base del circuito (necesitamos 2 líneas base, tenemos 3; incluyendo cualquier par acimutal)

## Planeación práctica de la red y planificación de la sesión

El método precedente para el diseño de circuitos producirá redes fuertes convenientes para el "Bluebook" (requerido para la aceptación NGS), pero probablemente contiene más de lo que es necesario para las necesidades de la topografía más comunes, como control fotogramétrico o control catastral. Los cierres raramente requieren estudios sometidos para la aceptación NGS, y son un poco un vestigio anacrónico de los métodos de la topografía convencionales. Aun así, los cierres de circuitos pueden ser una herramienta de análisis de red útil.

Si usted adhiere a las pautas presentadas en la sección titulada *Diseñando una Red* puede diseñar bien una red estable que satisfaga las necesidades del medio agrimensor. Considere la geometría de la red al planear las sesiones (los periodo de observación). Use mapas de planeación en el diseño de una la red mientras planee sus observaciones, poniendo atención a la fuerza de la figura geométrica para cada sesión. Un simple cambio de horario puede tener un efecto drástico en la fuerza de su ganancia neta. También considere el tiempo de viaje entre las estaciones para todos los observadores que se mueven entre las sesiones. Esto plantea un punto importante que nosotros mencionaremos de nuevo: las buenas comunicaciones son necesarias para el GPS eficaz, y un itinerario debe proporcionarse para presentar a las cuadrillas un apoyo en caso de un paro en las comunicaciones.

## Un Recordatorio Final

**CONECTE LOS PUNTOS. MIDA LAS LÍNEAS CORTAS**

Si usted aplica estos dos principios, sus redes siempre deben proporcionarle las posiciones exactas en las que usted pueda confiar.

## Bibliografía

Referencias recomendadas en GPS y Topografía de GPS :

King, R.W., E.G. Masters, C. Rizos, A. Stolz, and J. Collins. 1985. *Surveying with GPS* Kensington: School of Surveying, University of New South Wales.

Leick, Alfred. 1995. *GPS Satellite Surveying* New York: John Wiley & Sons.

Parkinson, Bradford W., James J. Spilker Jr.; et al. 1996. *Global Positioning System: Theory and Applications*. 2 vols. Washington DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc

Wells, David; et al. 1986. *Guide to GPS Positioning* New Brunswick: Canadian GPS Associates.

**www.abreco.com.mx**

Ventas, Soporte y Mantenimiento a  
toda la República Mexicana  
tel. (55) 2614 9555 ó 2614 4720  
soporte@abreco.com.mx

---