

LAS REDES GPS

Raúl Márquez

Facultad de Ingeniería- UNSJ

La Red GPS es un medio muy confiable que dispone hoy el Ingeniero Agrimensor, para concretar las tareas de georeferenciación. Así pues, en las zonas de exploración minera y petrolera, por ejemplo, es conveniente contar con una red GPS primaria para vincular los levantamientos topogeodésicos correspondientes, tales como apoyo terrestre para restituciones fotogramétricas, poligonales de enlace, intersecciones, replanteos, levantamientos de huellas y caminos, redes secundarias de triangulación, etc.

Si la red GPS se complementa con una red altimétrica de nivelación geométrica, vinculada a algún punto nodal existente en la zona, se tendrá entonces una buena estimación de la ondulación del geoide en cada punto, y mejor aún si la nivelación se acompaña con mediciones de gravedad para determinar las correcciones ortométricas a los desniveles. Algún algoritmo de interpolación superficial nos permitirá generar un modelo de ondulaciones (modelo local del geoide) en la zona de trabajo. La combinación del modelo de ondulaciones con observaciones GPS apoyadas en algunos de los puntos de la red, posibilita la determinación de la cota ortométrica en cualquier punto del área de trabajo con un error cuyo orden de magnitud esta alrededor de los 3 cm si se dispone de una red con buen diseño geométrico y de un algoritmo de interpolación superficial adecuado.

A veces, en el área de trabajo existen puntos cuyas coordenadas geodésicas pertenecen a los sistemas Campo Inchauspe (CAI'69) o Chos-Malal, por ejemplo. La red GPS permite transmitir coordenadas geodésicas en el sistema global WGS'84 a los puntos en cuestión, y determinar así parámetros locales para la transformación del datum.

¿Cómo se logra determinar el grado de fiabilidad de una red GPS?

Se parte de algún estándar geodésico preestablecido que fija las elipses de error al 95% de confianza, para categorizar la red. Se vuelcan los puntos en una carta de la zona de trabajo y se los vincula con vectores para definir así el diseño geométrico, formando preferentemente triángulos, de forma tal que a cada punto de la red concurren al menos tres líneas. Se selecciona luego el tipo de receptores a utilizar en la medición, mediante el error estándar de las líneas base. Esta información permite determinar la matriz normal N , cuya pseudoinversa N^+ y la varianza a priori $s_0^2 = 1$, proporcionan las elipses de diseño deseadas jugando con el numero de vectores, la posición relativa de los puntos, el tipo de receptores a utilizar y los tiempos de medición en cada sesión GPS. La red se diseña libre de constreñimientos externos para evitar la influencia de los puntos fijos sobre las elipses de error, de manera tal que éstas reflejen fielmente el error de posicionamiento en cada punto. Quedan pues tres elementos del datum sin fijar; es decir, los tres desplazamientos respecto de los ejes coordenados X, Y, Z. La orientación de la red y la escala, quedan fijas intrínsecamente por la naturaleza misma de la medición GPS. La incertidumbre en la definición del datum se manifiesta en la matriz normal que resulta defectuosa de rango, presentando tres de sus autovalores iguales a cero. Esto justifica el uso de la pseudoinversa.

Las matrices cofactor proporcionan , a su vez, los parámetros de fiabilidad interna; es decir, los números de redundancia r_i , los mínimos errores detectables \tilde{N}_0i , y los

factores de homogeneidad interna m_{Ini} , para un nivel de significación α , una potencia de test β y un factor de desplazamiento d_0 , preestablecidos.

La fiabilidad externa se define por medio de los parámetros de homogeneidad externa m_{Exi} , y los vectores de fiabilidad externa que permiten determinar la influencia de un posible error no detectado de las observaciones, sobre las coordenadas de los puntos de la red.

Así pues, el diseño geométrico proporciona la red óptima; es decir, aquella que con un mínimo de observaciones logra alcanzar las precisiones deseadas minimizando costos y esfuerzos.

Realizada la medición de la red según diseño, se procede al ajuste o compensación de la misma basado en el Principio de los Mínimos Cuadrados y en el método de Variación de Coordenadas. Conviene ejecutar el ajuste en dos etapas:

- i) Ajuste Libre
- ii) Ajuste Vinculado

El primer ajuste se ejecuta libre de constreñimientos externos (puntos fijos). Los errores de observación se modelan con la expresión estándar de las líneas base:

$$sLB = a \text{ (mm)} + b \text{ ppm} * LB(\text{mm})$$

(donde, normalmente, $a = 5\text{mm}$ y $b = 1\text{ppm}$ para receptores geodésicos doble frecuencia y sesiones GPS de una hora o más).

El test estadístico chi-cuadrado para la varianza a-posteriori detecta deficiencias en el modelo linealizado de las ecuaciones de observación o bien errores groseros en las observaciones; y el test de Baarda, por ejemplo, identifica errores no tolerables en las observaciones, las que deben ser removidas o remedidas. En ocasiones es necesario modificar ligeramente las componentes a y b del error estándar de la línea base a los efectos de superar el test chi-cuadrado para la varianza, lográndose así un valor del error estándar más ajustado a la realidad de la medición.

Tanto las elipses de error, horizontales y verticales, al 95% de confianza como los parámetros de fiabilidad obtenidos en el ajuste libre, se comparan con aquellos del diseño geométrico. Si de dicha comparación el ajuste libre resultó exitoso, la red medida es coherente con la diseñada y se procede a la ejecución del ajuste vinculado a fin de proveer a los puntos de la red de las correspondientes coordenadas geodésicas WGS'84 ajustadas.

El ajuste vinculado requiere del conocimiento previo de los errores estándar en las coordenadas de los puntos fijos. De esta manera puede asignarse el correspondiente peso a los constreñimientos externos para lograr el ajuste correcto. Si el ajuste vinculado no resultara correcto, debemos concentrar la búsqueda de errores en los puntos fijos, puesto que las observaciones son confiables dado que el ajuste libre de constreñimientos externos se ha ejecutado exitosamente.

Conclusiones: La ejecución de algunas redes GPS en Departamentos de la provincia de San Juan, mediante convenios realizados con la Dirección de Geodesia y Catastro, más

servicios profesionales prestados a empresas mineras, permitió extraer algunas conclusiones interesantes respecto del diseño y ajuste de redes GPS:

- i) El diseño previo de una red GPS permite obtener en gabinete la red óptima; se dice aquella que con la mínima cantidad de observaciones logre encuadrarse en el tipo deseado según los estándares geodésicos adoptados, minimizando costos. Para ello es necesario contar con software que determine las elipses de proyecto libres de la influencia de constreñimientos externos, y también los parámetros de fiabilidad interna y externa.
- ii) El ajuste libre de constreñimientos externos es necesario, pues permite detectar y remover aquellas observaciones fuera de tolerancia y, además, las elipses de incertidumbre no están sujetas a la influencia de los puntos fijos, reflejando fielmente el error de posicionamiento en los puntos de la red.
- iii) El ajuste vinculado o ligado a puntos fijos, debe realizarse una vez logrado en forma satisfactoria el ajuste libre. Si el ajuste vinculado no resultara correcto, la falla está en los constreñimientos externos y debe concentrarse la atención en los puntos fijos solamente.
- iv) Si se desean alturas sobre el nivel medio del mar con precisión submétrica, la Nivelación Satelital puede ser una buena alternativa. Este método convierte alturas elipsoidales en alturas sobre el nivel medio del mar, aprovechando los resultados del procesamiento numérico de una sesión diferencial GPS estático y las coordenadas geodésicas de la red ajustada. Para que las cotas tengan precisión centimétrica, es necesario recurrir a los modelos locales del geoide.
- v) Para ejecutar las tareas de diseño y ajuste de redes, tanto GPS como redes topográficas, MATLAB permite al usuario desarrollar aplicaciones específicas. En nuestro caso hemos desarrollado las siguientes aplicaciones MATLAB:

DR_GPSL1: diseña una red GPS libre de constreñimientos externos.

AR_GPSL2: ajusta una red GPS libre de constreñimientos externos.

AR_GPSV: ajusta una red vinculada a puntos fijos.

REGRAF: modela localmente el geoide mediante funciones de interpolación superficial polinómicas de grado ajustable, con precisión centimétrica.

NIV_GPS: convierte alturas elipsoidales en alturas sobre el nivel medio del mar, con precisión decimétrica (nivelación trigonométrica clásica).

Otras aplicaciones para diseño y ajuste de redes microgeodésicas planas y altimétricas de precisión.

ingramarquez@hotmail.com