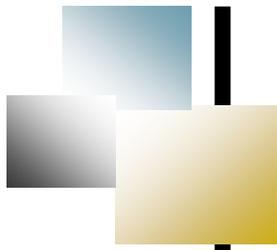


Manual Técnico ECO

Redes Geodésicas.



1. Introducción.....	2
2. Preparación y planificación.....	3
2.1. Elección del sitio.....	3
2.2. Monumentación.....	4
2.3. Documentación.....	4
2.4. Selección de la técnica de observación.....	6
2.5. Selección del tipo de receptor.....	7
2.6. Reconocimiento y validación.....	9
2.7. Diseño de la red.....	10
2.8. Otros preparativos.....	13
3. Observaciones de campo.....	14
4. Procesamiento e informe final de resultados.....	18



1. Introducción.

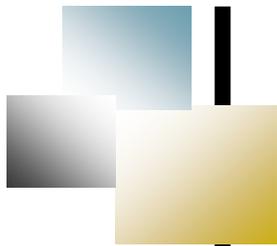
El objetivo de este tema es poner en práctica los conocimientos adquiridos a la hora de ejecutar un proyecto GPS. Se darán recomendaciones generales, que no tienen por qué ser las mejores. Por supuesto, estas recomendaciones no podrán aplicarse directamente sino que dependerá del estado en que se encuentre la infraestructura geodésica del país.

En primer lugar, se expondrán de modo general los aspectos generales de cualquier red GPS y seguidamente se detallarán las operaciones llevadas a cabo en tres redes geodésicas de distinta jerarquía.

Obviamente nos centraremos en lo sucesivo en posicionamiento relativo, ya que el absoluto carece de interés para fines geodésicos.

A pesar de la gran cantidad de variantes en cuanto a metodología de observación se refiere, los procedimientos pueden ser agrupados en cuatro fases: planeación y preparación, observación de campo, proceso y documentación. La validación y el reconocimiento forman parte de la planeación y de la preparación:





2. Preparación y planificación.

Anteriormente a 1994, cuando la constelación NAVSTAR no estaba completa, en la planificación de cualquier observación GPS, era imprescindible realizar un diagrama de visibilidad de satélites en base al almanaque (planeo de misiones). Hoy día, las constelaciones existentes hacen que no nos planteemos ventanas de observación en base a la visibilidad de satélites.

El reconocimiento del terreno previo es esencial para tener éxito en las observaciones. Los lugares de observación deberán tener una visibilidad libre de obstáculos y ser accesibles para vehículos. Como regla general, se requiere tener el horizonte lo más despejado posible en todas las direcciones.

2.1. Elección del sitio.

El GPS permite criterios de selección distintos de los clásicos, de tal forma que no tienen por qué estar instalados los vértices en elevaciones topográficas o torres con visibilidad mutua, sino allí donde se los necesita: en lugares de fácil acceso con un horizonte que se halle obstruido lo mínimo posible. No son apropiados lugares en la cercanía de edificios altos, redes de alta tensión, torres de telefonía, radio o cualquier elemento que pueda causar interferencia en frecuencias de radio, muros cercanos u otras superficies reflectoras que puedan causar problemas con el efecto multipath.

Por otra parte, la transformación de cartografía de un sistema clásico al de GPS hace que los puntos sobre los que normalmente se formen las nuevas redes GPS sean los antiguos, de tal manera que tengamos doble juego de coordenadas.

Si se trata de una estación de referencia, las exigencias serán mucho mayores: alimentación eléctrica, comunicación vía internet o telefónica, etc.



2.2. Monumentación.

La monumentación de las estaciones se rige comúnmente a las reglas generales de las autoridades responsables de la cartografía. Considerando el potencial de precisión del GPS, se deberán establecer los monumentos sobre una base estable, en lo posible sobre roca o bloques de hormigón (concreto) con cimientos suficientemente profundos.

La marca de la estación deberá tener una definición de al menos 1 mm, como cruz en un remache metálico anticorrosivo, con referencia vertical apropiada.

El sistema de centrado de la antena debe ser estable, con garantía en la repetibilidad de centrado de 1 mm, con un sistema de centrado forzado. El sistema más barato, común y sencillo, a la vez que eficaz y universal, es el de rosca 5/8" sobre una base metálica horizontal, todo ello empotrado en el monumento.

Se deben evitar señales efímeras, aunque baratas, tales como clavos en el suelo, los cuales se pierden debido a obras, crecimiento de la vegetación, mala referenciación espacial, etc.

2.3. Documentación.

Normalmente pueden ser diferentes operadores los que realicen esta primera fase de reconocimiento y elección y la siguiente de observación, con lo que es fundamental realizar un documento claro con referenciación de la señal en cuanto a:

- Nombre de la estación.
- Código de identificación GPS (4 caracteres).
- Coordenadas aproximadas.
- Situación: topónimo, descripción.
- Situación en municipio, provincia...
- Accesibilidad (coche, estado de la carretera, descripción literal, distancias...)



- Croquis o plano de acceso, con indicación de distancias. Dimensiones del monumento, sistema de estacionamiento, centrado forzado, características.
- Referenciación a detalles externos estables, en caso de clavo en suelo u otra señal de categoría inferior.
- Estado del horizonte del lugar y de elementos que puedan causar radio interferencias.

Conviene asimismo reflejar en una cartografía básica de escala apropiada la situación de los puntos, con vistas a que conformen una geometría adecuada en cuanto a distribución, líneas base homogéneas en distancia, configuración de la red, estrategia de sesiones o fases de observación...



2.4. Selección de la técnica de observación.

Como se ve, hay muchos aspectos que influyen en la elección de una técnica de observación. Normalmente son los requerimientos de precisión, la distancia entre puntos y los costes, conceptos todos ellos relacionados. En la tabla siguiente puede verse una recomendación típica que muestra estos aspectos:

Características de los métodos de trabajo con GPS				
Método	No. Mínimo de Satélites.	Tiempo de observación.	Precisión típica	Otras Características
Estático	4	De minutos a horas	5mm + 1ppm	Limite 15 Km con 1 frecuencia. Sin limite con dos frecuencias.
Estático Rápido	4	5-20 minutos	1cm + 1ppm	
Cinemático	4	2 épocas	2cm + 2ppm	Limite 15 Km. Reinicialización si hay pérdida de señal
Cinemático RTK	4	2 épocas	2cm + 2ppm	Limite 10 km. Enlace por radio Reinicialización si hay pérdida de señal.
Diferencial DGPS	2D: 3 3D: 4	1 Pos / Seg.	Asistido de fase < 1m Sin fase 1-4m	Recepción de correcciones diferenciales o postproceso.
Autónomo	1D: 2 2D: 3 3D: 4	1 Pos / Seg.	Con SA 100m Sin SA de 4-10m	Solo necesita un receptor.

Un factor limitante es el receptor: un receptor de una única frecuencia nos limitará la distancia a la que se puede trabajar (y a veces, el método: no se podría hacer estático rápido).

Seguramente la disponibilidad de utilizar semi cinemático, estático rápido o estático convencional para un proyecto que requiere precisión de decímetros dependerá del entorno y del espaciamiento entre puntos. Las medidas semi cinemáticas son las más restrictivas, ya que requieren entornos libres de obstáculos cuando nos movemos de un punto a otro. Sin embargo, serán ideales en el caso de que tengamos que situar un gran número de puntos.

El estático rápido está limitado a líneas base cortas, con un nivel centimétrico de precisión y gran rapidez.



Es evidente que para redes geodésicas hemos de ir siempre a la observación estática clásica, con grandes logros en precisión, pero menor producción.

Un levantamiento topográfico con una gran cantidad de puntos o un trabajo con grandes exigencias de producción se realizarán con RTK.

2.5. Selección del tipo de receptor.

El siguiente paso será el tipo de receptor, el cual estará íntimamente ligado al método de observación que hayamos elegido. En cualquier caso, un receptor de doble frecuencia con medida de fase será el ideal para cualquier tipo de trabajo, es decir, lo mejor vale para todo, las grandes marcas de receptores GPS incorporan módulos, firmware y accesorios para convertir un receptor de doble frecuencia en apto para trabajar en estático, RTK, cinemático, estático rápido...

La elección del receptor puede ser un proceso complejo debido a la amplia variedad de receptores GPS disponibles en el mercado. En la siguiente tabla se ven los aspectos que se pueden considerar a la hora de realizar la elección. Naturalmente, la finalidad acotará notablemente el rango de variedad.

En concreto, los aspectos que más se han de cuidar son:

- Observables y frecuencia (simple/doble).
- Software disponible (descarga, postproceso, ajuste, edición, comunicación, programación...).
- Número de canales, tipo de antena.
- Costo.
- Apoyo técnico.
- Posibilidad de diferentes metodologías de trabajo.



Consideraciones técnicas.

Tipo de medición.

Una o dos Frecuencias.

Numero de canales.

Tipo de antena.

Precisión del Código.

Características físicas.

Peso.

Tamaño.

Resistencia.

Temperatura de operación.

Requerimientos de carga.

Software Incluido.

Planeo de misiones.

Capacidad de obtención de datos.

Opciones de postproceso

Obtención de datos.

Almacena Datos ?.

Almacena datos crudos o coordenadas ?.

Intervalo de grabación.

Método de almacenamiento.

Capacidad de almacenamiento.

Método de obtención de datos.

Tipo de datos que son obtenidos.

Consideraciones para el proveedor.

Garantía.

Precio.

Soporte Técnico.

Operación del Receptor.

Facilidad de uso.

Aplicaciones.

Monitoreo.

Introducción de datos.

Algunas páginas web de las principales compañías de receptores para geodesia y topografía:

- www.ashtech.com (Ashtech, Magellan, ThalesNavigation).
- www.topcon.com
- www.sokkia.com



2.6. Reconocimiento y validación.

El reconocimiento consiste en verificar los puntos de proyecto de campo antes de empezar las observaciones GPS. Hay que tener en cuenta que en el caso de observaciones GPS estáticas de redes geodésicas puede haber muchos operadores implicados en la observación, de tal forma que un imprevisto o aspecto no contemplado por culpa de una falta de reconocimiento previo puede abortar una operación.

A continuación se pueden ver los aspectos que hay que verificar antes de validar:

1. Chequeo validez para GPS.
 - 1.1. Libre de obstáculos.
 - 1.2. Libre de radiointerferencias.
 - 1.3. Estacionable con GPS.
2. Verificar punto.
 - 2.1. Localización del punto.
 - 2.2. Monumentación estable y en buenas condiciones.
 - 2.3. Mecanismo de estacionamiento: centrado forzado, basada, trípode...
3. Identificación de requerimientos logísticos.
 - 3.1. Vehículo de acceso
 - 3.2. Tiempo y modo de acceso
 - 3.3. Equipo especial o procedimientos (en caso de lluvia, nieve...)
 - 3.4. Otros si fueran necesarios (alimentación eléctrica, estacionamiento, comunicación...)



4. Toma de decisiones

- 4.1. Elegir estación alternativa si fuese necesario
- 4.2. Establecer estación excéntrica si fuese necesario
- 4.3. Actualizar descripción y datos del punto según los datos básicos

2.7. Diseño de la red.

Las consideraciones principales en el diseño de la red son la configuración geométrica y la redundancia. El tipo de observación condicionará mucho el diseño, dependiendo de la precisión y la técnica GPS de observación.

Conviene diseñar esta red previamente en una cartografía de forma general. Siempre que sea posible, conviene cerrar figuras y tener varios puntos de control en GPS estático. Normas generales pueden ser:

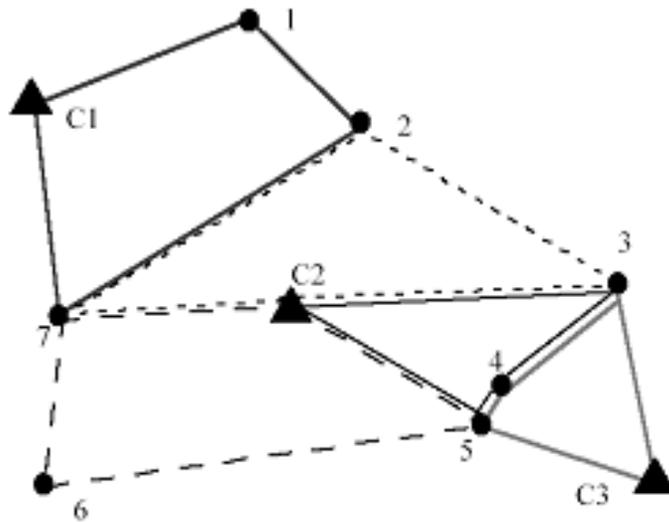
- 1) Cada estación debe estar directamente conectada con al menos otras dos de la red.
- 2) Estaciones adyacentes deben estar directamente conectadas.
- 3) Cada sesión debe tener líneas base comunes (al menos una) con otra u otras.
- 4) Las distancias en una red han de ser homogéneas.
- 5) Cada estación debe ser ocupada por lo menos dos veces bajo condiciones diferentes de configuración satelital.

Para proyectos de tamaño medio el uso de 4 a 10 receptores significa un buen compromiso considerando la logística, la producción y la fiabilidad. El decidirse por una buena estrategia de observación considerando limitaciones prácticas y logísticas, se rige muchas veces por la experiencia, teniendo como valiosa ayuda los criterios formales de optimización.

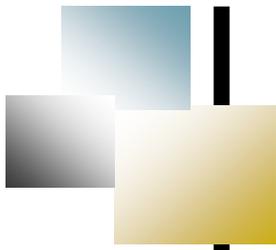


Un ejemplo podría ser el de la figura siguiente, con 4 receptores (A, B, C y D) para cada sesión, con puntos C1, C2 y C3 de coordenadas conocidas y puntos a observar, de 1 a 7. Dependiendo de la redundancia que se quiera las sesiones 5 y 7 pueden omitirse. Desde luego podría haberse diseñado la observación de muchas formas, pero aquí se puede ver la redundancia y la conexión entre sesiones.

Sesión	Receptores			
	A	B	C	D
1	C1	1	2	7
2	C2	3	2	7
3	C2	5	6	7
4	C2	5	3	4
5	C3	5	3	4
6	C1	C2	C3	6
7	C1	C2	C3	1



En el caso de observaciones cinemáticas o estático rápidas, los diseños se suelen hacer en forma radial: punto central de coordenadas conocidas con observaciones en forma radial al resto de los puntos, sin redundancia y sin comprobación de resultados más que por el análisis estadístico del cálculo. Se puede evitar esto disponiendo de dos receptores fijos en lugar de uno.



Manual Técnico ECO

Redes Geodésicas.



Definiendo:

- r número de receptores operando simultáneamente
- n número de estaciones
- m número de estaciones con más de una observación en dos sesiones diferentes

Será:

- s número de sesiones.
- $r(r-1)/2$ el número líneas base posibles en una sesión.
- $(r-1)$ el número de líneas base independientes en una sesión.

El número de sesiones que se requiere para una red específica será:

$$S = \frac{n - m}{r - m}$$

Siendo s el número entero mayor más cercano. Si volvemos a ocupar dos o más estaciones en cada sesión, quedan determinadas algunas líneas base dos veces. Entonces, en la red total:

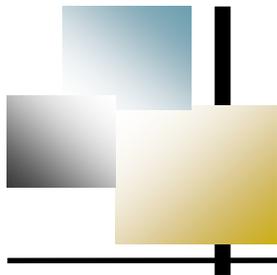
- $s(r-1)$ es el número de líneas base independientes en la red.
- $(s-1)(m-1)$ es el número de líneas base independientes determinadas dos veces.



2.8. Otros preparativos.

Lo más importante ya está descrito en la fase de preparación: selección del método de observación, tipo de receptor, los procesos de reconocimiento y validación y el diseño de la red. Otros aspectos de la preparación pueden ser:

- Determinar la ventana de observación (en el caso de máxima precisión y/o líneas base de gran longitud, observación nocturna).
- Decidir el número óptimo de receptores GPS y el personal para el proyecto.
- Planear el diseño de la red teniendo en cuenta los requerimientos de control, configuración de la red, tiempo de viaje entre estaciones y condicionantes logísticos.
- Establecer una numeración o nomenclatura única y clara para identificar todas las estaciones en el campo con sus respectivas fichas de campo y todos los atributos relacionados.
- Medios de transporte entre estaciones.
- Capacitación del personal para receptores GPS, métodos de observación y procesamiento de datos (descarga, postproceso, depuración, cálculo y compensación...).
- Organización de alojamientos para observadores.
- Organización de todo el equipo auxiliar y material de reserva para todas las operaciones de campo.



3. Observaciones de campo.

Una vez hechos todos los preparativos adecuadamente, la observación de campo es una tarea más sencilla. Las tareas en el campo son tradicionalmente divididas en: coordinador, observador y calculista. Dependiendo de la magnitud de la operación, estas tres partes pueden recaer en una misma persona o en varias. En el siguiente cuadro se pueden ver las responsabilidades de unos y otros.

Responsabilidad	
Coordinador.	<ul style="list-style-type: none">Programar las observaciones según el plan.Verificar problemas con satélites u otros.Verificar resultados diarios y modificar el plan si es necesario.Manejar y resolver dificultades logísticas.
Observador.	<ul style="list-style-type: none">Verificar que se tiene todo el equipo.Cargar baterías.Verificar tiempo de viaje a los sitios con amplitud suficienteEstacionar correctamente, nivelar y centrar antena en la marcaMedir altura de antena.Inicializar receptorVerificar grabación de datosLlenar formato de la sesiónDescargar datos y enviarlos junto con el formato al calculista al final del día
Calculista	<ul style="list-style-type: none">Verificar que tiene todos los datos.Hacer copias de respaldo de los datos.Organizar todos los datos con sus formatos.Análisis de calidad previo.Procesar los datos Ajuste de las sesiones conjuntas (si procede)Verificar resultados y enviar al coordinador.

Dentro de las responsabilidades del observador, la más importante es el correcto estacionamiento y la toma de la altura de antena. Aunque esto parezca obvio, muchos problemas provienen de un dato erróneo de altura de antena en dos aspectos: por un lado, a qué referencia está hecha la medida (centro de fase, plano de tierra, parte más baja de la antena...) y por otro lado, si está medida en vertical o inclinada, aspecto este que todos los



programas tienen en cuenta. Normalmente todos los fabricantes indican las distancias claramente en las antenas, estando calibradas las distancias desde la parte de abajo o el plano de tierra al centro de fase en ambas frecuencias.

Por ello es necesario rellenar un formato de campo de toda la sesión, indicando esto como aspecto más importante, dejando claro con croquis y anotaciones dónde está medida la altura de antena y cómo. También indicar si ha habido cortes en la observación por fallos en el suministro de energía eléctrica, para concatenación de archivos, identificación de problemas en el cálculo de ambigüedades...

En ese formato se debería anotar:

1. Nombre e identificador de la estación, código, nombre largo, municipio, coordenadas aproximadas.
2. Observador.
3. Tipo de antena y receptor y número de serie.
4. Altura de antena y explicación de cómo y dónde se ha medido.
5. Sesión (identificador día juliano + código sesión), con fecha.
6. Intervalo de toma de datos.
7. Máscara de elevación.
8. Tiempo de toma de datos con interrupciones anotadas.
9. Denominación de archivos en el receptor, tamaño y fecha.
10. Satélites seguidos.
11. Problemas experimentados y observaciones

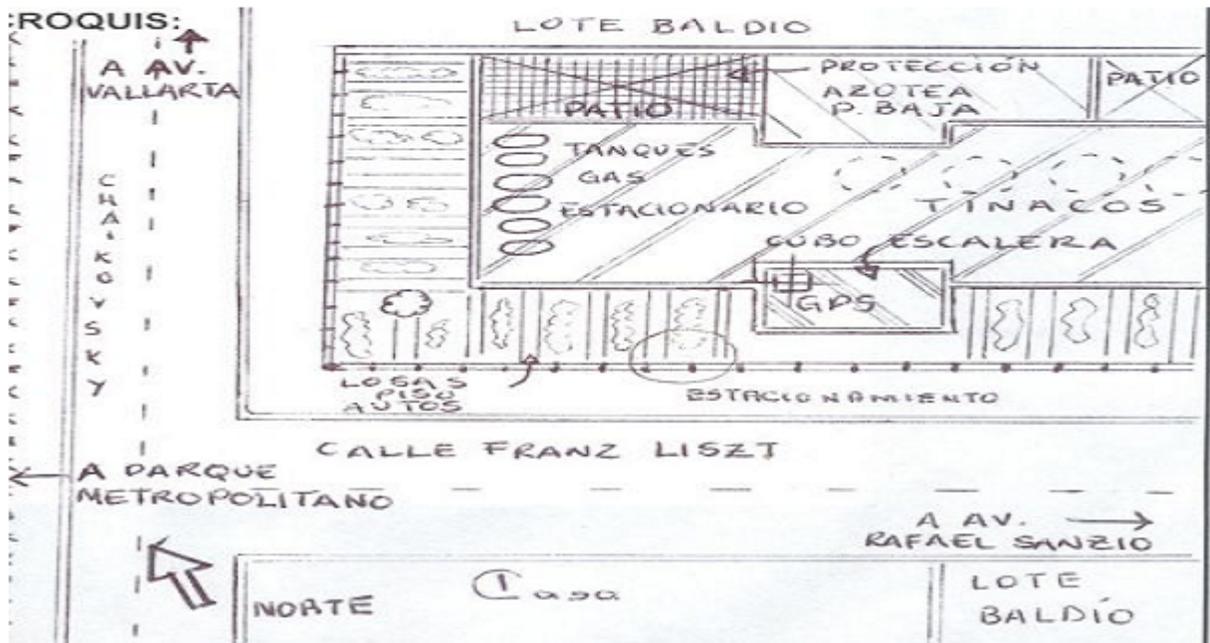
Manual Técnico ECO

Redes Geodésicas.



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

Estado: JALISCO	Municipio: ZAPOPAN	Localidad: ZAPOPAN	
Estación Geodésica	Vér. de posic. horizontal	Latitud ITRF92.EPOCA 1988.0: 20°40'19.30427"	Fecha de establecimiento: 26-12-1997
Denominación: ZPP023	Longitud ITRF92.EPOCA 1988.0: 103°26'08.73499"	Línea: ZAPOPAN	
Proyecto: SITEJ	Altura Geodésica: 1848.204 m	Sistema de referencia: ITRF92	
Dependencia: ITEJ	Carta Esc. 1:50 000	Indet	Fecha de verificación: 26-01-1998
Orden: SEGUNDO CLASE II	Condición de la marca: BUENA		



Manual Técnico ECO

Redes Geodésicas.



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Servicio de Programas Geodésicos
Sección de Geodesia Especial

PROYECTO	
REGENTE	
CAMPANA	
REGENTE99-00	
Fase	Bloque
1	8

ESTACIÓN					
CÓDIGO GPS:	6811	NOMBRE:	Casar	Número ROI:	08166
HOJA MTN:	Castañar de Ibor	MUNICIPIO:	Villar del Pedroso	PROVINCIA:	Cáceres
LONGITUD:	-5° 17' 18.5889"	LATITUD:	39° 39' 26.3576"	n:	780.9 (CF)

EQUIPO					
OPERADOR:	Jose Antonio Sanchez Sobrino			FECHA:	05-Jul-00 a 18-Jul-00
CAMPANA:	Observación, en el año 2000, red GPS resto de zona sureste/Frontera Po			CLAVE:	R992*
RECEPTOR:	4000 SSE Nº 5	N/S:	3335-A-03909	ANTENA:	Compact L1/L2 W GP N/S 0080048852
BARÓMETRO:	Thornel n.º 35		PSICROMETRO:	TECHNETOR n.º 5	
ORDENADOR:	C022	VER S.O.:	Novus	PROG. DESCARGA:	GPSAD VER 2.35

PROGRAMACIÓN				OBSERVACIÓN							
SESIÓN:	1081	FECHA:	06-Jul-00	HORA(UTC):	16:00	SESIÓN:	1071	FECHA:	06-Jul-00	HORA:	16:00
INICIO OBSERVACIÓN:		06-Jul-00	16:00	INICIO OBSERVACIÓN:		06-Jul-00	16:00				
FINAL OBSERVACIÓN:		06-Jul-00	19:00	FINAL OBSERVACIÓN:		06-Jul-00	19:59				
MÁSCARA:	15°	INTERVALO:	15 seg	MIN. SV:	1	MÁSCARA:	15°	INTERVALO:	15 s	MIN. SV:	1

ALTURA DE ANTENA	
h_{ant}	0.044
a	0.0625
h_1	0.044
h_2	1.160

$h_1 = 0.0625$

$h_2 = 1.160$

$a = 0.0625$

$h_{ant} = 0.044$

(CF) Centrado Forzado BP : Base de Pilar CS : Clavo Suelo
 CP : Cabeza de Pilar CN : Clavo Nivelado

ARCHIVOS					
NOMBRE	FECHA	TAMAÑO	NOMBRE	FECHA	TAMAÑO
68111881.DAT	6/7/00	45523	68111881.ION	6/7/00	115
68111881.0PH	6/7/00	16955	68111881.WGS	6/7/00	1571



4. Procesamiento e informe final de resultados.

Afortunadamente la mayoría de los programas comerciales disponibles en el mercado tienen un procesamiento prácticamente automatizado, los cuales siguen un protocolo común: carga de archivos con las opciones de alturas de antena, tipo de receptor..., modo de procesamiento, puntos fijos y coordenadas (aproximadas y fijas), ajuste y análisis final.

El último paso del ajuste puede ser hecho con el mismo programa o con otro diferente específico para esta finalidad.

En procesamiento estático de redes de precisión ya se ha comentado que es imprescindible la introducción de efemérides precisas.

Durante el procesamiento de líneas base, se puede llegar a diferentes tipos de soluciones, siendo la más precisa y fiable aquella en la que se logran fijar ambigüedades en la portadora de fase. La solución final serán las diferencias de coordenadas entre cada estación y la información asociada de la precisión alcanzada, por métodos estadísticos.

La finalidad del ajuste es combinar varias sesiones juntas en una solución. Este ajuste de red combina todas las diferencias de coordenadas de todas las sesiones con sus respectivos pesos (matriz varianzas-covarianzas) de una manera óptima. El ajuste inicial debe ser hecho con restricciones mínimas (por ejemplo, un único punto fijo tridimensionalmente) con la finalidad de poder examinar los errores en la red sin la influencia de un control existente o predefinido.

El análisis de los resultados de una observación estática puede realizarse de manera previa a esto comparando la redundancia entre líneas base, el tipo de solución alcanzada, los parámetros estadísticos en la resolución de la línea base, y sobre todo, a través de los tests estadísticos en el proceso de ajuste.

Manual Técnico ECO

Redes Geodésicas.



Por último, una vez validadas las soluciones, debe realizarse un informe final del proyecto, con documentación de las estaciones ocupadas, la metodología usada y los resultados obtenidos.

En cuanto a la consideración de puntos fijos, las redes de estaciones de referencia pueden ayudar bastante o la consideración de redes fundamentales nacionales. Los puntos fijos pueden ser usados como puntos fijos reales, con varianza cero o como puntos fiduciarios, con una matriz de dispersión predefinida. El datum de la red dependerá de los puntos de control y no tanto de las observaciones GPS.