

REPÚBLICA ARGENTINA
Comité Nacional de la Unión Geodésica
y Geofísica Internacional (CNUGGI)
Subcomité de Geodesia

ESTÁNDARES GEODÉSICOS (GPS)

1a. Edición 1996

PRÓLOGO

El Director del Instituto Geográfico Militar y Presidente del Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional edita a través del Instituto Geográfico Militar el presente trabajo.

El Subcomité de Geodesia del mencionado Comité (C.N.U.G.G.I.) constituyó el Grupo de Trabajo de los Estándares Geodésicos (GTEG) - integrado inicialmente con el Ing. Ezequiel Pallejá, el Ing. Jorge Pardo, el Agrim. Rubén Rodríguez y el Ing. Juan C. Usandivaras - con el objeto de redactar un manual de normas y tolerancias para las distintas categorías de medición, tal como fue definido por el VIII Congreso Nacional de Cartografía (Santa Fe, 1991) y es indudable, que si bien no estuvo expresamente dicho, debe entenderse - hoy - que se trata principalmente de estándares para el posicionamiento GPS.

La función principal del grupo - como se estableció - fue la redacción de dichas normas, para las que contó con la contribución de los expertos en las distintas áreas del quehacer geodésico-cartográfico.

El avance del trabajo fue expuesto ante el Subcomité de Geodesia y presentado al Consejo Federal del Catastro, que se interesó particularmente del proyecto y a la 18a. Reunión Científica de Geofísica y Geodesia (La Plata, 1994) durante cuyo transcurso tuvo lugar una reunión de consulta con los expertos.

La presente constituye la primera edición de la obra. Es previsible que, a través de futuras observaciones que surjan del análisis y experiencias, versiones posteriores perfeccionadas puedan ser elaboradas reflejando además los permanentes avances tecnológicos.

De esta forma se materializa la labor de todos aquellos que participaron en su confección, sacrificando tiempo y esfuerzo en algo útil para los técnicos y profesionales que hacen uso de la tecnología satelital.

Que sirva esta publicación para dirigir las actividades científico-técnicas hacia el empleo de un solo criterio nacional.

Buenos Aires, abril de 1996

HORACIO ESTEBAN ÁVILA
CORONEL

Director del Instituto Geográfico Militar
Presidente del Comité Nacional de la
Unión Geodésica y Geofísica Internacional

CONTENIDO

• Introducción	1-2
• Diseño de la red	3-4
• Selección de sitios y amojonamiento	5-8
• Receptores	9-10
• Observaciones de campo	11-12
• Procesamiento y compensación	13-18
• Clasificación de los levantamientos	19-26
• Sistemas de referencia	27-30
• Glosario	31-38
• Bibliografía	39-40
• Anexos	41-44

La redacción final estuvo a cargo de Ezequiel Pallejá, Rubén Rodríguez y Juan C. Usandivaras, con el aporte de los siguientes consultores: Federico Mayer, Ángel Cerrato y Oscar Parachú.

INTRODUCCIÓN

Este manual de estándares geodésicos procura servir de ayuda y orientación en la adopción de tecnologías avanzadas y revolucionarias como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para la ejecución de tareas profesionales dentro del campo de la geodesia y ciencias afines.

Para poder utilizar correcta y eficientemente el GPS es necesario un conocimiento adecuado de esta tecnología, que es recomendable poseer antes de leer este manual, que no pretende ser un libro de texto sobre el tema sino que sólo procura encontrar pautas comunes que permitan una mayor racionalidad en el aprovechamiento integral del sistema. De cualquier manera, el lector encontrará un glosario de los términos más comunes referidos a los diversos aspectos técnicos del GPS, que podrá ser utilizado para unificar interpretaciones sobre los temas tratados.

Es indudable que la gama de aplicaciones del GPS es muy amplia, y que con este sistema pueden alcanzarse objetivos sumamente ambiciosos en materia de precisión, rapidez y economía. Sin embargo, está claro que si no se utiliza la modalidad apropiada, el instrumental adecuado y el procesamiento correspondiente a cada objetivo, los resultados podrían ser parcial o totalmente incorrectos. Este riesgo ha sido una de las principales motivaciones de escribir esta guía, con la esperanza de ayudar a quienes necesitan recurrir al GPS para resolver muy diversos problemas prácticos.

Otro aspecto a tener en cuenta es el relacionamiento de los resultados GPS con los sistemas de referencia y las proyecciones cartográficas utilizadas en el mundo y en nuestro medio.

Encasillar conocimientos en forma rígida es riesgoso en materia de alta tecnología. El avance y desarrollo hacen rápidamente obsoletos los más avanzados instrumentos y métodos. Es por ello que no se ha entrado en detalles momentáneos o minuciosos, sino que se recurrió a generalizaciones suficientemente flexibles como para aceptar las innovaciones que inevitablemente sobrevendrán en el futuro mediato e inmediato.

Dentro de estas limitaciones, el criterio empleado fue elaborar una tabla de clasificación de trabajos geodésicos atendiendo a las características de precisión y extensión geográfica de los proyectos, y relacionar esta clasificación con cada uno de los factores que entran en juego para su concreción: instrumental, método, procesamiento, amojonamiento, y demás elementos intervinientes.

DISEÑO DE LA RED

Estructura de la red

La ubicación y la disposición relativa de las estaciones de una red GPS, básica o de densificación, es independiente de su forma y de la condición de intervisibilidad, que fueron los factores dominantes en la triangulación y en la poligonación.

La red POSGAR (fig. 1), ahora disponible, es el marco nacional de referencia al que deberían vincularse todas las nuevas redes que se implanten (ver capítulo 8, "Sistemas de Referencia"). Un mínimo de tres puntos comunes, convenientemente seleccionados en cuanto a su ubicación, deben ser incluidos en todo nuevo proyecto. En general es conveniente ocupar un número de puntos comunes mayor que el mínimo señalado, a fin de asegurar la correcta vinculación y consistencia de la red.

Esas estaciones de referencia, o de orden superior, tienen la mejor disposición cuando se encuentran situadas en la periferia de la zona del proyecto.

En el caso de existir *estaciones activas*, permanentes o transitorias, deben ser usadas como puntos de contralor.

Dada la densidad de la red POSGAR se puede estimar que las nuevas redes, quedarían limitadas - o seccionadas - a un área máxima de 40000 km² y la cantidad de puntos sometida a las necesidades del proyecto. Para la mayoría de las aplicaciones una primera red de densificación podría estar constituida de modo tal que los vectores que conectan los puntos - formando una malla de triángulos - tengan una longitud comprendida entre 30 y 50 km.

La ocupación simultánea de un mínimo de tres estaciones es la práctica más recomendada conectando cada estación de la red a las adyacentes (mínimo tres) para asegurar la precisión de la red y disponer de un número suficiente de observaciones redundantes. Otra condición, congruente con esta y tendiente al mismo fin, es la ocupación repetida de cada estación en sesiones independientes y la medición de bases comunes entre sesiones consecutivas.

Es recomendable, asimismo, que si dos estaciones se encuentran separadas entre si por una distancia menor que el 20% de la longitud media de los vectores que integran la red, sean conectadas directamente.

La elaboración de un programa detallado de las observaciones es una práctica ventajosa para resolver el problema.

En la fig. 2 se incluye como ejemplo una red compuesta por 23 estaciones, cuatro de las cuales pertenecen a una red de orden superior, previéndose una medición con tres receptores.

Puede notarse que el ejemplo elegido incluye vinculaciones a puntos de nivelación, con una previsión similar a la de referencias de orden superior, lo que resulta fundamental si se quiere utilizar la capacidad de posicionamiento vertical del GPS buscando una relación entre las alturas ortométricas y geodésicas.

Marcas de acimut

En el caso de proyectos que requieran la instalación de marcas acimutales, que si bien no son necesarias para el levantamiento por métodos satelitarios aún persiste su exigencia, su ubicación debería mantener la intervisibilidad (a la altura de un trípode de teodolito) con el punto principal y ubicarse a una distancia del orden de 500 a 1000 metros.

Densificación

Para la determinación de puntos que constituyan una mayor densificación, como en el caso de esquineros de manzanas en áreas urbanas, vértices de macizos o fracciones en áreas suburbanas, vértices de polígonos de mensuras (particularmente rurales), levantamiento de itinerarios, puntos de apoyo para la aerofotogrametría, etc. las condiciones establecidas para la red no son necesarias. Sólo se trata de efectuar una determinación relativa a los puntos de referencia pertenecientes a las redes previamente definidas.

Las observaciones, en los casos precedentes pueden llevarse a cabo en la forma radial o poligonal, que proporcionan los métodos de levantamiento rápido GPS (semiestático y otros). También pueden combinarse con mediciones de distancias, ángulos y desniveles mediante estaciones totales u otros medios topográficos o de geodesia tradicional.

SELECCIÓN DE LOS SITIOS Y AMOJONAMIENTO

Reconocimiento

Una vez diseñado el proyecto se inicia el reconocimiento de la red. La primera etapa es la verificación de la existencia y de las condiciones de los puntos de la red de orden superior a emplear en el proyecto.

Además es útil localizar y determinar las condiciones de estabilidad de los puntos altimétricos próximos pertenecientes a las redes nacionales para, en caso de ser necesario, contar con alturas ortométricas. La vinculación puede efectuarse mediante mediciones GPS o bien a través de una nivelación geométrica o trigonométrica.

En cuanto a las nuevas estaciones deben reunir las siguientes condiciones:

- cielo despejado sobre los 10° desde el horizonte (en algunos proyectos esta condición puede llevarse a 15°),
- evitar la existencia de superficies reflectantes a menos de 50 metros de la estación (como espejos de agua, techos planos metálicos o cubiertos de materiales reflectantes, etc.). A menores distancias pueden afectar paredes u otras construcciones de mampostería, líneas de transmisión de energía o antenas de equipos de comunicación, posicionamiento, vigilancia, etc.
- fácil acceso con vehículos automotores y lugar apropiado para su estacionamiento sin provocar perturbaciones,
- el terreno debe tener una estabilidad razonable para garantizar la permanencia de la marca que se implante. Deben evitarse los terrenos erosionables o sometidos a procesos de deslizamientos, inundaciones o subsidencias. Asimismo debe procurarse que el agua de lluvia o de cualquier otra procedencia fluya rápidamente y el punto se mantenga seco con lo que además se protege la marca contra los efectos de la oxidación. Dentro de lo posible, deben hacerse provisiones para que el diseño de la marca a implantar sea el más adecuado a las características de la zona.

Es conveniente, asimismo, que en caso de localizarse marcas de otros proyectos o redes cuya ubicación reúna las características establecidas sean utilizadas a fin de evitar la proliferación de marcas que confunden a los usuarios.

Es necesario, también, hacer un croquis descriptivo del sitio elegido - además de dar sus coordenadas aproximadas - y el mejor camino para su acceso. La información mínima requerida es la siguientes: denominación del

proyecto, institución, operador, fecha, denominación del punto, nomenclatura, coordenadas aproximadas, tipo de marcación, ubicación de la marca acimutal si fuera el caso, forma de acceso desde una localidad o vías de comunicación principales, persona de contacto, tipo de suelo, otras marcas geodésicas existentes, energía eléctrica (distancia a la que se encuentra disponible), diagrama de horizonte con las obstrucciones existentes, lugares de aprovisionamiento de combustibles y víveres, estado de los caminos y duración del recorrido, necesidad de vehículos especiales, etc.

Amojonamiento

Las estaciones GPS proporcionan las tres coordenadas (latitud, longitud y altura elipsoidal) por lo cual su monumentación debe ser acorde con esa característica.

Fundamentalmente se usan tres tipos de marcas.

La primera, y la más segura, es la instalación de un tornillo, perno o bulón en la roca madre, fijado con cemento plástico (epoxi) o sustancia similar.

La monumentación sugerida es muy estable, está prácticamente protegida de la destrucción accidental o intencional y surge de su adopción por parte de los proyectos geodinámicos, particularmente CAP.

La segunda es también colocar la marca (tornillo, perno o bulón) o bien amurar una chapa sobre construcciones existentes, como edificios o construcciones de fácil acceso y que aseguren una persistencia en el tiempo.

La ausencia de rocas o de edificios de las características mencionadas conduce al tercer tipo de monumentación: pilares de hormigón armado en cuyo coronamiento debe colocarse el bulón o la chapa identificatoria. En determinados terrenos es conveniente agregar cementos en el suelo que circunda al pilar (suelo cemento); en otros, resulta ventajoso efectuar esta consolidación con hormigón masivo (o ciclópeo) con abundantes piedras del lugar. En zonas medanosas conviene colocar tubos (caños) que abarquen desde una profundidad sin posibilidades de erosión hasta alturas superiores a la eventual acumulación. En terrenos blandos, sin posibilidad de llegar hasta una capa consolidada, conviene cavar dos pequeñas zanjas en cruz, hincar estaciones metálicas en los extremos e intersección y unirlos mediante vigas de hormigón colocadas en las zanjas, las que deben ser cubiertas por suelo, salvo el estacón central de la intersección que debe constituir el alma del pilar emergente.

En todos los casos la marca debe tener alguna identificación como número o código y, si fuera posible, nombre de la entidad donde se puede obtener la información acerca de la misma y el año de su implantación.

Es recomendable la colocación de tres marcas testigos (a distancias comprendidas entre 50 y 100 metros) para poder reubicar el punto en el caso de destrucción. La posición de las marcas auxiliares se determina por medición con receptores GPS (una sola frecuencia y treinta minutos de observación son suficientes, o aún menos con equipos que permitan la modalidad "estático rápido"), o bien midiendo los ángulos, distancias y desniveles entre todas las marcas y un acimut de orientación. En el caso de edificios o áreas con muchos detalles es posible efectuar la medición a objetos cercanos existentes o a líneas definidas por los mismos.

Es asimismo, importante, contar con el consentimiento del propietario del terreno o edificio, o del funcionario responsable cuando se trate de lugares públicos, del sitio donde se coloque la marca. Además es recomendable proporcionar a los mismos alguna información escrita sobre la marca y los datos de la entidad responsable del proyecto.

Dentro de lo posible, el centro de la marca debe ser apto para asegurar la centración de la antena mediante plomada o acople que permita la utilización de elementos de autocentración.

RECEPTORES

El sistema GPS está constituido por tres "segmentos": el espacial, el de control y el del usuario. Los distintos tipos de receptores disponibles en el mercado para uso civil constituyen la parte esencial de este último.

Los receptores GPS cubren las más diversas posibilidades de aplicación de este sistema. Ordenándolos de menor a mayor prestación, se los puede clasificar en:

R1 Navegadores simples: representan la categoría más económica. Son receptores de código C/A, usualmente de tamaño pequeño. Presentan en su pantalla coordenadas geográficas en el sistema WGS84. Algunos traen también la posibilidad de presentar coordenadas en los sistemas locales, incluso el Inchauspe. Debe tenerse en cuenta que, debido a que estos equipos no son aptos para el uso de las técnicas diferenciales, la precisión que alcanzan no supera los ± 25 a 30 m con buen DOP y está en el orden de ± 100 m cuando es aplicada la S/A.

R2 Receptores C/A con posibilidad de posicionamiento diferencial: estos equipos agregan a las características anteriores la de almacenar en memoria los datos observados de manera de facilitar el procesamiento ulterior de los mismos con alguno de los algoritmos del modo diferencial. De esta manera pueden alcanzarse precisiones relativas de ± 1 a 5 m.

R3 Receptores C/A, similares a los anteriores, con manejo de ciertas características adicionales entre las que suele considerarse el uso, con ciertas limitaciones, de una fase de la portadora. Se diferencian de los equipos geodésicos (R4 en adelante) en que sus osciladores tienen menor estabilidad y en que la capacidad de resolver ambigüedades es menos potente. Los mejores llegan a precisiones submétricas en distancias de hasta 5 ó 10 km.

R4 Receptores geodésicos de medición de fase L1: trabajan con la onda portadora L1 de la señal GPS, acumulando información que, una vez procesada, permite obtener precisiones relativas centimétricas para distancias de hasta 25 ó 30 km y submétricas para distancias de hasta 50 km. Permiten el cálculo de vectores con su evaluación estadística, aptos para el ajuste de redes.

R5 Receptores geodésicos de doble frecuencia: agregan a las características anteriores la medición de fase de la portadora L2, lo que les otorga la posibilidad de disminuir la incidencia de ciertos errores sistemáticos, particularmente los debidos a la propagación de la señal en la ionosfera, lo que permite alcanzar las más altas precisiones posibles con GPS (ver clasificación de levantamientos). Los mejores permiten obtener precisiones subcentimétricas en distancias de hasta 10 km, centimétricas hasta 200 km y

submétricas hasta 500 km. Con tratamientos especiales se pueden mejorar las precisiones en muy largas distancias (hasta 1500 km).

R6 Receptores geodésicos de doble frecuencia y doble código: de reciente aparición (1994/1995), estos receptores conjugan las características de todos los anteriores, lo que les da versatilidad para su uso, particularmente en tiempo real, dado que resuelven con gran rapidez las ambigüedades.

R7 Receptores diferenciales precisos (PDGPS) en cuya unidad móvil operan 3 o más equipos de la categoría R6 y permiten obtener en tiempo real precisiones submétricas y aún centimétricas en la posición del vehículo, agregando sus variaciones de orientación. Su uso es especialmente apto para las más altas exigencias de la fotogrametría, sondeo multifaz (MULTI-BEAM), etc.

Tiempo real: cualquiera de los receptores que permiten el procesamiento diferencial (todos excepto el R1) podrían trabajar en tiempo real, a condición que se incorporen a los mismos los correspondientes equipamientos de transmisión - recepción de señales por radio, y el software adecuado para efectuar las respectivas correcciones y presentarlas inmediatamente al operador. En el caso de los receptores de fase (R4 a R7) el problema que presenta la modalidad en tiempo real es que, a los efectos de preservar el cálculo de ambigüedades, no debe interrumpirse la recepción de la señal GPS proveniente de la constelación satelital elegida durante todo el tiempo de uso. Cuando la constelación cambia, o cuando la señal se interrumpe por cualquier interferencia, se debe proceder a la reinicialización del receptor. En este punto, los diversos equipamientos compiten sobre la rapidez y facilidad con que es posible efectuar dicha reinicialización, cosa que se facilita con los equipos descriptos en las categorías R6 y R7.

OBSERVACIONES DE CAMPO

Para la medición se sugieren las siguientes pautas:

1. Utilización de receptores GPS, de marca reconocida con una o dos frecuencias, según el caso y código P si fuera necesario
2. La observación se llevará a cabo simultáneamente en el número de estaciones y por el lapso definido por cada proyecto. Será necesario acordar las horas inicial y final de la observación, el intervalo de registro, el mínimo de satélites a utilizar y el PDOP máximo admitido.
3. Para la preparación de las observaciones se empleará alguno de los programas comerciales de planeamiento de la misión.
4. El instrumento debe ser colocado en la estación con tiempo suficiente para hacer su configuración antes de la hora de iniciación de la observaciones.
5. La configuración incluye la identificación de la estación, el intervalo de registro, el ángulo de elevación mínimo y la verificación de memoria disponible para la observación.
6. Es importante disminuir la incidencia de las reflexiones parásitas (multipath).
7. Registro de la altura (indicando si se ha medido la componente vertical o inclinada) de la antena respecto de la marca, el diámetro de la antena y cualquier "off-set" que indique el manual del receptor así como la excentricidad (rumbo y distancia) si existiera desplazamiento entre la estación y el punto materializado. Es muy recomendable instalar la antena concéntrica con la marca para evitar propagación de errores o confusiones posteriores. Asimismo hay que considerar la orientación acimutal de la antena cuando hay que respetarla.
8. Registro de los datos meteorológicos (temperatura termómetros bulbo seco y bulbo húmedo o humedad relativa y presión atmosférica) cada hora de observación. Si hubiere una estación meteorológica próxima, sus datos podrían ser de interés posterior.
9. En cada estación y en cada sesión se registrará toda la información respecto de las mismas en una planilla.
10. Registro de los problemas presentados durante la observación.

11. Es aconsejable efectuar diariamente una doble descarga de los datos y su grabación en discos separados, así como un cálculo preliminar, con efemérides radiodifundidas, de cada vector para detectar cualquier falla.

12. Después de una jornada de medición, o de un conjunto de mediciones que conforman una unidad componente de una red, es conveniente llevar a cabo los siguientes controles:

- verificación de la duración efectiva de las sesiones, del PDOP y de la cantidad de satélites disponibles durante la medición,

- verificación de los resultados de la solución "doble diferencia flotante", y eventualmente "doble diferencia fija" en la resolución de ambigüedades,

- revisión de los valores estadísticos de la precisión de cada vector,

- cálculo del valor ppm (partes por millón) a partir de los sigmas y de la longitud del vector,

- análisis de los residuos de cálculo,

- cierre de figuras (triángulos y polígonos) mediante la suma de las componentes cartesianas del vector,

- compensación libre (sin condicionamiento de puntos de orden superior) por sectores (unos 20 puntos) para detectar posibles vectores deficientes.

13. Concluida la medición de una red, antes de regresar, es conveniente verificar la coherencia entre los puntos de orden superior mediante suma de componentes ortogonales en varios itinerarios o, si es posible, mediante ajustes preliminares con todos o algunos condicionamientos, comparando los resultados. Si alguna estación de referencia fundamental presentara diferencias anómalas, se investigarán posibles perturbaciones en su marcación, uso o estado, como así también cualquier posibilidad de confusión. Si la incongruencia no se aclara, se estudiará y eventualmente se medirá una vinculación alternativa.

PROCESAMIENTO Y COMPENSACIÓN

PROCESAMIENTO

Generalidades

Cualquiera sea el tipo de receptor y el método de análisis de datos es importante recordar que las coordenadas calculadas corresponden al centro eléctrico de la antena del receptor, razón por la cual es fundamental medir con precisión la distancia entre esta antena y la marca que materializa al punto trigonométrico.

El grado de tratamiento que debe darse a las observaciones GPS depende de la precisión buscada y del tipo de receptor empleado.

Todos los receptores realizan algún tratamiento directo de las mediciones y pueden brindar coordenadas.

Cuando la precisión deseada es menor que 100 m es suficiente tomar el valor de las posiciones aisladas registradas por el receptor y no es necesario ningún tratamiento previo de la información. La precisión no mejora significativamente por el hecho de observar datos superabundantes debido a las características de la disponibilidad selectiva.

Precisiones mejores necesitan siempre del uso de más de un receptor.

Cuando uno de esos receptores es una estación activa los valores calculados por el receptor remoto pueden aceptarse sin más trámite si la precisión deseada está entre 1 y 5 metros. El margen de precisión depende de la compatibilidad entre la estación activa y la remota. El usuario puede verificarlo permaneciendo cierto tiempo en un punto y observando la variación de las coordenadas entregadas por su receptor. Como el objetivo de este tipo de configuración es obtener coordenadas en el tiempo mínimo posible se aconseja el uso de 3σ como estimador de error.

Salvo el caso citado en el que se emplee una estación activa, en toda otra situación en la que se desee una precisión mejor que 100 metros es necesario un cálculo en gabinete en el que se analicen las observaciones simultáneas de por lo menos dos receptores. A efectos de que el tratamiento sea efectuado con buena aproximación dentro del sistema WGS84, en el territorio argentino es conveniente que al menos uno de estos receptores haya operado en un punto de coordenadas conocidas en el sistema POSGAR (94 ó 4 posterior), ya que, por ejemplo, un error de 10 metros en la posición absoluta de la estación base produce un error en el cálculo de los vectores de una parte por millón.

Los cierres de una sesión en la que observaron mas de tres receptores son sólo un indicador de la calidad de las mediciones y no deben tomarse como estimadores de la precisión del levantamiento. En campañas de precisión es necesario remedir vectores y obtener un número superabundante de ellos.

Cálculo de observaciones provenientes de diferentes marcas de receptores

Los datos de un receptor tienen una expresión binaria que se ajusta a las normas que el productor considera mejores para su producto. En general los datos de una marca de receptores no pueden ser leídos por los programas de cálculo de otra. Esto ha llevado al establecimiento de normas comunes para todas las marcas y tipos de observaciones conocidas como Formato de intercambio de datos independiente de los receptores RINEX. Al adquirirse un equipo es importante, entonces, saber si su software contiene un programa que transforme los datos correspondientes al formato de la firma en formato RINEX. Esto permitirá que los datos que observa este receptor puedan ser compatibilizados con otros equipos o transferidos a otros usuarios o ser calculados con programas científicos que se basan en el formato RINEX.

Por lo contrario si lo que se desea es hacer uso de datos de otra marca de receptores se deberá contar con un programa que permita transformar los datos en formato RINEX en el formato del programa que se dispone.

Datos para el cálculo de las observaciones GPS

La información básica para el cálculo puede dividirse en :

Observaciones GPS propiamente dichas: comprenden mediciones de pseudo distancias, fases, Doppler, en una frecuencia o en dos frecuencias, con longitud de onda completa o semi longitud de onda, según el tipo de receptor en uso. Estos datos no son almacenados por todos los receptores.

Posiciones satelitales: conocidas como efemérides y almanaques brindan, con mayor precisión las primeras, los elementos que permiten el cálculo de la posición del satélite en el instante de la emisión de la señal. Esta información es almacenada por la mayoría de los receptores. También puede ser obtenida de algunos centro científicos internacionales como el IGS (International GPS Geodynamics Service) en la forma de efemérides precisas.

Datos de la estación: Comprenden información meteorológica, temperatura, presión atmosférica y humedad relativa y la posición de la antena GPS con respecto a la marca que materializa el punto (altura de la antena, excentricidad). Estos datos deben ser recolectados por el operador y conservados en una hoja de campo o eventualmente introducidos en el receptor.

Coordenadas: los receptores mas sencillos sólo almacenan las coordenadas de los puntos medidos o las coordenadas obtenidas según algún patrón de medición en el tiempo. En los que admiten corrección diferencial (DGPS) en tiempo real, ese almacenamiento ya está afectado al aceptar como fijas las coordenadas de la estación base.

Gestión de los datos

En general los receptores GPS producen archivos de dimensiones importantes cuya designación, para el buen funcionamiento de los programas de cálculo, debe responder a ciertas normas. Una atención particular debe brindarse a esta codificación para evitar que algún archivo pueda ser destruido y para mantener una clara correspondencia entre el nombre de los puntos que se desea georreferenciar y el nombre del archivo en el que están contenidos los datos que lo permiten.

Los receptores GPS poseen en general una memoria interna que les permite conservar temporariamente una cierta cantidad de información. Como cualquiera sea el tamaño de esta memoria, ella siempre es limitada, es fundamental establecer claramente cada cuanto tiempo, o cada cuantas mediciones debe bajarse esos datos a una computadora. Los programas de bajada de datos deben formar parte del software que acompaña a los equipos.

Características del análisis de las observaciones según el tipo de receptor utilizado

Receptores que registran sólo coordenadas: deberá verificarse que la constelación de satélites observados por las dos estaciones sea la misma. En general estos equipos permiten que el operador introduzca el número de los satélites que desea observar, como la constelación varía en el tiempo es importante que antes de iniciar una jornada de trabajo se establezca qué satélites se observaran a que hora. En este caso se puede obtener precisiones del orden de 5 metros (modalidad "pseudo diferencial").

Receptores que registran sólo observaciones de pseudo distancias: los programas comerciales de los fabricantes de equipos permiten precisiones entre 1 y 5 metros. Tanto en este caso como en el anterior no son aconsejables los receptores que sólo permiten captar 4 satélites ya que únicamente en gabinete se descubre que la constelación realmente medida

por ambos receptores haya sido diferente y en este caso es imposible realizar una estimación de la precisión del resultado y en algunos casos obtenerlo.

Receptores que registran pseudo distancias y fases: Cada tipo de receptor posee un conjunto de programas que permiten la reducción de las observaciones. Debe distinguirse entre programas que permiten el cálculo de los vectores individuales, programas que permiten el cálculo simultáneo de todos los vectores de una sesión y calculan la matriz de varianza covarianza de

la sesión y programas que permiten además el cálculo multisesión. Las dos últimas categorías sólo son cumplidas simultáneamente por programas científicos. Estos últimos permiten además introducir diversas incógnitas complementarias, como el efecto ionosférico o troposférico cenital, retardos instrumentales, manejar eficazmente el peso relativo de sesiones, etc. También admiten una depuración del cálculo de ambigüedades.

Los receptores que sólo registran la fase de L1 operan satisfactoriamente en distancias inferiores a 30 km . En estas condiciones la solución óptima se encuentra cuando el programa es capaz de calcular como número entero todas las ambigüedades involucradas.

El programa y forma de análisis será distinto según se utilicen métodos de medición estáticos u otros. En el caso en que se empleen métodos cinemáticos o similares es fundamental que en los registros se individualice a los puntos de los que se desea obtener coordenadas o esté sincronizado con otro sensor involucrado en el levantamiento (hidrográfico, geofísico, etc.). El resto de los puntos son parte de una trayectoria en la que no es posible hacer una correspondencia biunívoca entre puntos del terreno y coordenadas. Una garantía adicional en la definición de los puntos puede obtenerse si se conserva una planilla en la que conste la hora e intervalo de medición de cada punto.

Receptores que registran las fases de L1 y L2: admiten diferentes estrategias de cálculo. Las dos fases pueden combinarse de distinta forma tanto para facilitar la determinación de ambigüedades como para tener en cuenta el efecto ionosférico. Una diferencia importante entre los programas de cálculo es la posibilidad, o no, de aplicar estas alternativas en forma sucesiva aprovechando las ventajas de una dada combinación para determinar las ambigüedades que luego pueden utilizarse para calcular una solución libre de ionosfera, o determinar las ambigüedades como números enteros.

En el caso en que los programas sólo permitan la adopción sucesiva de estas combinaciones y cuando las distancias sean superiores a los 30 km es aconsejable emplear la combinación libre de ionosfera.

El uso de estas variantes requiere un operador entrenado que tenga no solo un buen conocimiento del programa sino también de la teoría que lo soporta.

Receptores que registran, además de ambas fases, las mediciones de pseudo distancias con los códigos P. Estos receptores poseen ventajas tanto para el cálculo en el método estático como en los métodos cinemáticos o similares. En el primer caso permiten resolver las ambigüedades con intervalos de medición mucho mas cortos. Todas las variantes de combinaciones de fases son posibles. En el caso de mediciones estáticas es posible obtener una precisión de una parte en 10 millones midiendo durante varias horas. Estos receptores permiten resolver vectores de mil kilómetros o mayores.

Algunos programas permiten, con la ayuda de las mediciones de pseudo distancias con los códigos P, determinar instantáneamente las ambigüedades con lo que la pérdida de la señal de algunos satélites deja de ser un problema crítico.

COMPENSACIÓN

La compensación de las observaciones GPS se ha planteado en diferentes programas con parametrizaciones mas o menos complejas. Estas van desde el simple promedio de coordenadas o componentes vectoriales hasta determinación de parámetros ligados a la ionosfera y/o la troposfera y algunas constantes instrumentales. Algunos programas científicos incluyen el mejoramiento orbital.

Desde el punto de vista práctico los receptores mas simples poseen programas que permiten solo un promedio de las coordenadas instantáneas. Una etapa mas rica en información es aquella en el que las componentes vectoriales son calculadas a partir del conjunto de las observaciones de una línea en la que se incluye además la matriz de varianza covarianza de las componentes del vector.

Los programas mas complejos tratan simultáneamente todos los vectores de una sesión y calculan la matriz de varianza covarianza entre todas las componentes vectoriales y en general entre estas y las ambigüedades determinadas.

La compensación definitiva multisesión, multiestación se efectúa teniendo en cuenta estas matrices.

El uso del programa de compensación adecuado permite obtener el óptimo resultado de las observaciones efectuadas.

En algunas redes, especialmente en áreas urbanas donde deben relacionarse puntos elevados (sobre los edificios) con otros sin el horizonte despejado es importante que el programa de compensación incluya la posibilidad de introducir mediciones tradicionales (distancias, ángulos y desniveles).

CLASIFICACIÓN DE LOS LEVANTAMIENTOS

Los levantamientos geodésicos, efectuados con la tecnología tradicional, con GPS o con una combinación de ambas, pueden clasificarse de diversas maneras, según los criterios que en cada caso se fijen.

La geodesia, en su definición más tradicional, tiene por objetivo práctico la ubicación, medición y materialización de puntos de referencia sobre la superficie terrestre, que sirven de apoyo y contralor para trabajos topográficos, fotogramétricos, cartográficos, geofísicos, etc.

Sin embargo, a la luz de los adelantos tecnológicos actuales y sobre todo ante el advenimiento del GPS, algunos trabajos geodésicos exceden el papel de proveedores de puntos de referencia, llegando a proporcionar levantamientos parciales o completos de la realidad topográfica. Por ejemplo, la modalidad cinemática de GPS permite obtener planos de representación de líneas topográficas con gran rapidez, al mismo tiempo que las ubica con respecto a un sistema de referencia general.

Por lo tanto, los objetivos finales de las tareas geodésicas deben tenerse en cuenta para cualquier tipo de clasificación, considerando que iguales objetivos pueden ser satisfechos por diversos métodos.

Otro factor de fundamental importancia es la precisión y la exactitud, tanto de los trabajos de campo (observaciones) como de los resultados finales obtenidos. Este es un criterio de clasificación bastante difundido y aceptado, pero que requiere una cuidadosa explicación de cada uno de los elementos que contribuyen a definir la precisión. En ese sentido, el conocimiento del significado de los parámetros de precisión como las varianzas, covarianzas, errores estándar, elipses de error, confiabilidad, etc., es requisito básico para comprender los criterios de clasificación relacionados con estos conceptos.

La extensión física abarcada por los trabajos geodésicos es también un criterio válido de clasificación. Desde los trabajos microgeodésicos, cuya extensión no supera algunos centenares de metros, hasta los grandes proyectos nacionales o continentales, el área efectivamente relevada define las metodologías, el instrumental, la forma de procesamiento de la información y en general todos los aspectos prácticos de los levantamientos.

En resumen, los criterios que se adoptarán para la clasificación de los trabajos geodésicos serán: 1) Precisión; 2) Extensión; 3) Finalidad. Para la cumplimentación de las exigencias asociadas a estos criterios, se indicará en cada caso qué instrumental, qué métodos y qué precauciones especiales deberán respetarse como mínimo.

Criterio de precisión

Trabajos planimétricos

La elipse del 95% de confiabilidad (ver glosario) es el elemento geométrico más apropiado para medir el grado de precisión en el posicionamiento de puntos geodésicos.

El área encerrada por esta elipse, cuyos parámetros se obtienen a partir del proceso de cálculo y compensación, representa un porcentaje de probabilidad de ubicación del punto de un 95%.

El criterio a seguir será el siguiente: Para que un levantamiento de puntos geodésicos esté dentro de una tolerancia determinada, es necesario que todas las elipses del 95% cumplan con la condición de que su semieje mayor sea menor que el radio de tolerancia fijado. (ver figuras 3 y 4)

El tamaño y forma de la elipse del 95% depende, en los levantamientos tradicionales, de la geometría de la red de puntos, del tipo de observaciones y del grado de precisión de las mismas. En los levantamientos GPS, de la constelación satelital observada, factores de dilución (DOP), metodología de trabajo diferencial y otros muchos elementos.

Trabajos planialtimétricos

El GPS es un sistema tridimensional, capaz de ubicar puntos en sus tres dimensiones espaciales. Sin embargo, cuando se obtienen los resultados en coordenadas geodésicas, (Latitud, longitud, altitud elipsoidal), esta última debe ser transformada a cota ortométrica, lo que implica la aplicación de un modelo de geoide. Esta corrección puede implicar un error apreciable, especialmente en zonas extensas y accidentadas, sobre todo si además hay variaciones de densidad.

En los trabajos planialtimétricos, a los efectos de determinar radios de tolerancia, hay que reemplazar la elipse de error por el elipsoide de error correspondiente (ver glosario). El semieje mayor del elipsoide deberá ser en este caso menor que el radio de tolerancia. En lo que hace a la cota altimétrica, habrá que adicionar al valor estadístico del semieje correspondiente (que surge de la aplicación de los programas de ajuste redes), la indeterminación esperada de la respectiva corrección por separación geoide-elipsoide antes de establecer la comparación con el radio de tolerancia.

Siguiendo estos criterios se han clasificado los trabajos geodésicos según las siguientes categorías de precisión:

Categoría "A": precisión subcentimétrica. El radio de tolerancia es inferior a 1 cm. En las determinaciones planimétricas, el error estándar (1 sigma) deberá ser de 4 mm o menos.

Categoría "B": precisión centimétrica. Los radios de tolerancia se ubican entre 1 y 10 cm. En las determinaciones planimétricas, el error estándar deberá oscilar entre 0.4 y 4 cm.

Categoría "C": precisión submétrica. Radio de tolerancia entre 10 cm y 1 m. Error estándar en las determinaciones planimétricas entre 4 cm y 40 cm.

Categoría "D": precisión métrica. Radio de tolerancia entre 1 y 10 m. Error estándar en las determinaciones planimétricas entre 40 cm y 4 m.

Categoría "E": precisión de decenas de metros. Radio de tolerancia entre 10 y 100 m. Error estándar en las determinaciones planimétricas entre 4 y 40 m.

Criterio de extensión

Según la extensión de los trabajos, y según la distancia media que separa a dos puntos vecinos, se clasificarán los trabajos geodésicos según las siguientes categorías:

Categoría "0": Extensión muy grande. Los puntos se encuentran separados entre 100 y 1000 km. La zona abarcada es de miles de kilómetros.

Categoría "1": Gran extensión. Los puntos se encuentran separados entre 10 y 100 km. La zona abarcada por lo trabajos es usualmente de centenares de kilómetros.

Categoría "2": Extensión media. Puntos separados entre 1 y 10 km. Zonas abarcadas de varias decenas de km.

Categoría "3": Extensión reducida. Puntos separados entre 100 m y 1 km. Zonas de pocos kilómetros de extensión total.

Descripción de las categorías

A1:

Son redes cuyos vértices están separados por más de 10 km y donde se requiere precisión subcentimétrica. Son trabajos muy especiales, lindantes con lo posible en el estado actual del arte, de muy difícil realización, relacionados principalmente con la geodinámica.

Se debe trabajar necesariamente con equipos geodésicos en diferencial de fase L1 y L2, sesiones prolongadas, preferentemente con tres o más receptores en multisesión, para ajustar la red en forma rigurosa. (Receptores R5 o R6)

A2:

Son redes cuyos vértices están separados por más de 1 km, típicamente 2 a 5 km, y donde se requiere precisión subcentimétrica. Son trabajos muy especiales, lindantes con lo posible en el estado actual del arte, de muy difícil realización, relacionados con la industria y la geodinámica.

Se debe trabajar con equipos geodésicos en diferencial de fase (R5 o R6 y en algunos casos e R4), sesiones prolongadas, preferentemente con tres o más receptores en multisesión, para ajustar a red en forma rigurosa.

Por debajo de los 2 km es recomendable incluir controles de mediciones tradicionales (ángulos, distancias, desniveles).

A3:

Son redes de puntos cercanos, separados por distancias menores a 1 km, típicamente 200 a 500 m. Se requiere máxima precisión, del orden de pocos milímetros. Se trabaja con errores relativos inferiores a 1 ppm. Son redes ultra precisas que sirven especialmente para trabajos de microgeodesia, relacionados con el monitoreo de deformaciones de obras civiles o del suelo.

Se debe trabajar con equipos geodésicos en diferencial de fase (R5, R6 y en algunos casos R4), sesiones prolongadas (2 a 4 horas), preferentemente con tres o más receptores en multisesión, para ajustar la red en forma rigurosa.

En este tipo de trabajos se prestará especial atención a la centración del instrumental, así como a la marcación.

No siempre es posible alcanzar los requerimientos de esta especificación con GPS. Los problemas más comunes están relacionados con los reflejos espurios de la señal satelital y las constantes de los receptores.

Por esas razones es prácticamente imprescindible combinar la red con mediciones tradicionales de ángulos, distancias y desniveles, observando las máximas precauciones y condiciones de calibración.

B1:

Son redes cuyos vértices están separados por más de 10 km, típicamente 20 a 50 km, y donde se requiere precisión de unos pocos centímetros.

Esta categoría requiere grandes precauciones puesto que la precisión está en el límite de lo obtenible con instrumental y software actualmente vigente. En todo caso, no se recomienda incluir vectores de más de 40 km.

A partir de los 30 km (es recomendable en todos los casos) se trabajará con equipos geodésicos de doble frecuencia (R5, R6), preferentemente 3 ó más en multisesión de 1 ó 2 horas de duración, para luego ajustar la red en forma rigurosa.

B2:

Son redes cuyos vértices están separados por más de 1 km, típicamente 2 a 5 km, y donde se requiere precisión de unos pocos centímetros.

Se trabajará con equipos geodésicos (R4, R5 y R6), preferentemente 3 ó más de doble frecuencia, en modalidad diferencial de fase, sesiones prolongadas, para ajustar la red en forma rigurosa.

B3:

Son redes de puntos cercanos, separados por distancias menores a 1 km, típicamente 200 a 500 m. Se requiere alta precisión, del orden de pocos centímetros. Estas redes se utilizan como marco de referencia para catastros urbanos y suburbanos, y algunos trabajos de microgeodesia. También en la construcción de grandes obras de ingeniería, puentes, túneles, etc. Los trabajos topográficos de apoyo a la exploración sísmica conocidos como "3D" se ajustan a esta especificación.

Se requieren equipos geodésicos de simple o doble frecuencia (R4, R5 y R6) trabajando en modalidad diferencial de fase. Los métodos estático, pseudo dinámico y estático rápido pueden utilizarse. También algunos equipos que agregan a estas características el tiempo real.

C1:

Son redes cuyos vértices están separados por más de 10 km, típicamente 20 a 50 km, y donde se requiere precisión de unos decímetros (p. ej. 50 a 80 cm)

Los puntos tienen aplicación como marco de referencia para posterior densificación.

Se debe trabajar con equipos geodésicos en modalidad diferencial de fase (R4, R5 y R6), preferentemente de doble frecuencia a partir de los 30 km de separación. También algunos equipos que agregan a estas características el tiempo real.

C2:

Son redes cuyos vértices están separados por más de 1 km, típicamente 2 a 5 km, y donde se requiere precisión de unos decímetros (p. ej. 50 a 80 cm)

Los puntos tienen aplicación en relevamientos topográficos expeditivos, apoyo para relevamientos GIS, relevamiento de servicios públicos, etc. También en exploración sísmica y catastro de zonas rurales.

Se puede trabajar con equipos geodésicos en modalidad diferencial de fase (R4, R5 y R6), con sesiones de poca duración (media hora o menos con los que cuentan con la modalidad "estático rápido"), o apelar a equipos de diferencial de código con aditamentos que permitan mejorar el metro de precisión (R3).

C3:

Son redes de puntos cercanos, separados por distancias menores a 1 km, típicamente 200 a 500 m. Se requiere trabajar con precisión submétrica, de unos pocos decímetros. Los puntos tienen aplicación en relevamientos topográficos expeditivos, apoyo para relevamientos GIS, relevamiento de servicios públicos, etc. También en exploración sísmica y catastro de zonas rurales.

Se puede trabajar con equipos geodésicos en modalidad diferencial de fase (R4, R5, R6), con sesiones de poca duración, o apelar a equipos de diferencial de código con aditamentos que permitan mejorar el metro de precisión (R3). También algunos equipos que agregan a estas características el tiempo real.

D0:

Puntos en alta mar, situados a más de 100 km de la costa, determinados con errores de pocos metros, se adaptan a esta categoría.

Se debe trabajar con equipos geodésicos en diferencial de fase y doble frecuencia. Cuando se puede estacionar en estructuras estables debe operarse preferentemente con tres o más receptores en multisesión, para ajustar la red en forma rigurosa.

D1:

Los puntos están separados en más de 10 kilómetros, y la precisión típica requerida es de 1 a 5 m. Se adecuan a trabajos de apoyo fotogramétrico e imágenes satelitarias, ubicación de plataformas en el mar, relevamientos hidrográficos, etc.

Se cubren estos requerimientos con equipos de código C/A (R2, R3) trabajando en forma diferencial, si la separación no excede de 50 km. Más allá se deben usar equipos geodésicos con fase y doble frecuencia (R5, R6 y R7).

D2:

Los puntos están separados en más de un kilómetro, y la precisión típica requerida es de 1 a 5 m. De esta manera se pueden controlar relevamientos expeditivos de servicios públicos, y, de acuerdo a la escala, proporcionar puntos de apoyo fotogramétricos o catastrales rurales.

Se cubren estos requerimientos con equipos de código C/A trabajando en forma diferencial (R2, R3).

D3:

Los puntos están separados en unos centenares de metros, y la precisión típica requerida es de 1 a 5 m. De esta manera se pueden efectuar relevamientos expeditivos de servicios públicos, y, de acuerdo a la escala, proporcionar puntos de apoyo fotogramétricos o catastrales rurales.

Se cubren estos requerimientos con equipos de código C/A trabajando en forma diferencial. Algunos trabajan además en tiempo real (R2, R3).

E2 - E1 - E0:

Esta categoría se adapta a la navegación en mar abierto, y es también útil en el reconocimiento.

Se satisface con equipos de código C/A del tipo R1, aunque se está en el límite cuando hay una fuerte aplicación de S/A (Disponibilidad selectiva), en cuyo caso se recomienda usar al menos un receptor adicional de referencia.

SISTEMAS DE REFERENCIA ARGENTINOS

Evolución

Si bien en nuestro país hubo sistemas aislados tales como CASTELLI, IGLESIA FLORES, CHOS MALAL, QUIÑI HUAO, AGUARAY, PAMPA DEL CASTILLO, etc., a partir de la aplicación de la Ley de la Carta (década 1940), se estableció el Sistema Geodésico INCHAUSPE como oficial en todo el territorio nacional. Este sistema, perfeccionado en 1969, fue el fundamento de los trabajos geodésicos y cartográficos argentinos hasta la actualidad.

La evolución de las tecnologías de posicionamiento satelitario, particularmente el Sistema de Posicionamiento Global GPS, llevó a concebir el proyecto POSGAR (POSiciones Geodésicas ARGentinas) con el objeto de reemplazar el sistema Inchauspe, que es un sistema que, como todos los sistemas locales no geocéntricos, no se adapta a los nuevos conceptos de posicionamiento.

A principios de 1993 se midió con este propósito una red GPS con muchos puntos comunes con la triangulación fundamental anterior (especialmente en cruces de cadenas).

Durante 1994 se efectuó un cálculo preliminar, cuyos resultados conforman lo que se denomina POSGAR 94. Es de prever que en el futuro (quizá 1997) se perfeccione utilizando puntos CAP, SAGA, SIRGAS, IGS (ver glosario) y dé lugar a una nueva versión.

A los fines prácticos, los puntos POSGAR constituyen la mejor versión nacional de puntos materializados y expresados en el sistema WGS 84.

Relaciones entre los sistemas POSGAR 94 e INCHAUSPE 69

Las recomendaciones que a continuación se enumeran se han redactado con el objeto de aclarar conceptos en una época de transición en la que coexisten ambos sistemas.

1 POSGAR 94 es un sistema preliminar calculado en base a WGS 84 (sistema y elipsoide), mientras que INCHAUSPE 69 tiene como elipsoide de referencia el Internacional de 1924.

2 Los orígenes de POSGAR e INCHAUSPE son diferentes, por lo que las coordenadas de un mismo punto en un sistema y otro pueden tener diferencias de hasta unos 100 metros o más, cuyo valor depende de la ubicación del punto.

3 Existirán coordenadas planas Gauss-Krüger Inchauspe 69 y coordenadas planas Gauss-Krüger WGS 84, calculadas a partir de los sistemas Inchauspe y POSGAR, respectivamente. En ellas, además de la diferencia de la ubicación y orientación de los sistemas, se reflejarán las variaciones de parámetros elipsóidicos.

4 La precisión de POSGAR 94 es del orden de 1 ppm y Campo Inchauspe 69 es del orden de 5 ppm (entre 3 y 10 ppm).

5 Las discrepancias que se manifiestan entre las coordenadas geodésicas (latitud/longitud) homónimas de un mismo punto al referirlo a uno y otro sistema, si se las tradujera a metros, serían también distintas de las que separan a las respectivas coordenadas planas (X/Y) calculadas en cada uno de ellos a partir de las primeras.

6 Los programas de cálculo de observaciones GPS proporcionan coordenadas geocéntricas ortogonales X Y Z, que no deben confundirse con las coordenadas X Y Gauss-Krüger y H (altitud ortométrica), denominada habitualmente Z. Asimismo, debe distinguirse entre las diferencias de altitudes elipsoidales y las diferencias de altitudes ortométricas.

7 Es conveniente usar preferentemente (en el futuro será inevitable) como puntos de vínculo y orden superior los pertenecientes a la red POSGAR, o los derivados de esta red, utilizando los parámetros elipsóidicos de WGS84.

8 En el caso de utilizar puntos o valores en ambos sistemas, debe indicarse si fueron calculados independientemente o como producto de alguna transformación.

9 Para las transformaciones entre POSGAR 94 e INCHAUSPE 69, es conveniente requerir o determinar las constantes zonales de transformación. Como alternativa y en forma aproximada pueden usarse los valores publicados por DMA (DX -148, DY 136, DZ 90), pero se deberá tener en cuenta que pueden dar lugar a diferencias del orden de 5 metros, o más en la periferia de la red.

10 Transformar las coordenadas geográficas de los puntos Inchauspe 69 mediante las fórmulas de Molodensky, utilizando los valores mencionados en el punto anterior.

11 Calcular coordenadas planas Gauss-Krüger WGS 84 - a partir de geográficas en el mismo sistema - con los parámetros del elipsoide WGS 84:

a	6378137
1/f	298.257223563

los cuales conducen a:

$$Q = 10001965.7293 \text{ (arco de meridiano del ecuador al polo)}$$

y a los coeficientes (según Bomford) para el cálculo del arco de meridiano

$$AM = a [A_0 * LAT \text{ (rad)} - A_2 * \text{sen } 2LAT + A_4 * \text{sen } 4LAT - A_6 * \text{sen } 6LAT + A_8 * \text{sen } 8LAT]$$

Siendo	A_0	.998 324 298 432
	A_2	.002 514 607 112
	A_4	.000 002 639 111
	A_6	.000 000 003 447
	A_8	.000 000 000 005

12 Considerar que en el futuro, cuando el sistema se estabilice, estarán disponibles parámetros regionales para la transformación directa de coordenadas planas de un sistema al otro. De todas maneras, es conveniente prever vinculaciones entre puntos como garantía para asegurar la coherencia local entre sistemas.

GLOSARIO

Ambigüedad (ambiguity)

Incertidumbre por un número arbitrario de ciclos.

Ajuste de redes (Network adjustment)

Procedimiento por el cual se someten las observaciones y/o los parámetros de una red geodésica a una compensación de errores. Los actuales programas de ajuste permiten combinar observaciones de distinto tipo: GPS, VLBI, mediciones tradicionales, etc.

Altitud ortométrica (H), (orthometric height)

La distancia entre el geoide y un punto, medida a lo largo de la línea de la plomada, llamada también altura sobre el nivel del mar o cota.

A/S (Antispoofing)

Encriptación de los códigos para evitar señales falsas.

Campo Inchauspe 1969

Es el datum geodésico usado por la Argentina, con origen en el punto del mismo nombre, cuyas coordenadas geodésicas, coincidentes con las astronómicas, son LAT 35 58 16.56 S, LON 62 10 12.03 W, N=0 y que utiliza como referencia el Elipsoide Internacional de 1924 cuyos parámetros son $a=6378388$ $1/f=297$.

CAP (Central Andes Project)

Proyecto Andes Centrales.

Catálogo fundamental (Fundamental Catalogue o Katalog FK)

Materialización del sistema inercial mediante la posición y los movimientos propios de un conjunto de estrellas observables por métodos ópticos. En la actualidad se encuentra vigente el FK5 cuya fecha de referencia es J2000.

Chi cuadrado (Chi square)

Uno de los “tests” de hipótesis estadística más usados para comprobar la validez o confiabilidad de los procesos de compensación, que asigna un valor que califica el comportamiento de los resultados y su proceso.

Código C/A

Código estándar transmitido por los satélites en la frecuencia L1.

Código P

Código de precisión transmitido en las frecuencias L1 y L2.

Coordenadas cartesianas ortogonales (rectangular Cartesian coordinates)

Coordenadas definidas en base a una terna ordenada de ejes ortogonales.

Coordenadas geodésicas, o elipsóidicas (geodetic or ellipsoidal coordinates)

Latitud geodésica: el ángulo que forma la normal al elipsoide con el plano del ecuador.

Longitud geodésica: el ángulo entre el meridiano geodésico local y el meridiano inicial, elegido.

Altitud geodésica, o elipsóidica (h): la distancia del punto considerado al elipsoide.

Datum

Dato, o conjunto de datos que sirven de base para el cálculo de otros elementos.

Datum geodésico (geodetic datum)

Constantes específicas de un sistema de coordenadas usadas para el control geodésico. Puede ser horizontal o vertical.

DMA (Defense Mapping Agency)

Agencia Cartográfica de Defensa.

Dilución de precisión (DOP) (Dilution of precision)

Coefficientes que caracterizan la influencia de la geometría de la constelación GPS observada en una estación. Estos coeficientes varían con el tiempo, al variar la posición de los satélites observados o al cambiar algunos de ellos. Valores DOP elevados significan grandes errores en la posición calculada a partir de las pseudodistancias. El coeficiente PDOP está relacionado con la posición tridimensional, el HDOP con la horizontal y el VDOP con la vertical. El TDOP se relaciona con la determinación del tiempo, y el GDOP combina el PDOP con el TDOP.

Diseño geométrico (Geometric Design)

Determinación de parámetros geométricos que definen una red.

Distorsiones (Distorsions)

En las redes geodésicas, errores significativos en coordenadas y/o en acimut, de carácter generalmente regional. En general, apartamiento de la realidad de un modelo matemático predeterminado.

Elipse/elipsoide estándar de error (Standard error ellipse /ellipsoid)

Sus parámetros representan aspectos de la precisión de la ubicación de un punto sobre la superficie de referencia, luego de un ajuste por mínimos cuadrados. Su semieje mayor (en módulo y orientación) es el error estándar máximo. Su semieje menor es el mínimo. Su superficie representa un determinado porcentaje de probabilidad de ubicación del punto (cerca del 37%). Si se multiplican los semiejes por el factor 2.5 la superficie de la elipse resultante abarca el 95% de probabilidad, y pasa a llamarse elipse del 95% de confiabilidad.

El elipsoide de error es inherente a la compensación de puntos en tres dimensiones.

Elipsoide de referencia (reference ellipsoid)

Un elipsoide de revolución usado como superficie de referencia para los cálculos geodésicos.

Errores groseros (Blunders)

Errores mayores a un umbral predeterminado, por ejemplo los que caen fuera de la elipse de confiabilidad del 95% (ver). La detección y corrección de errores groseros es una especialidad dentro del cálculo de compensación.

Error de puesta en estación (Set up error)

Error que afecta a la posición del punto estación, independientemente de las observaciones que desde allí se efectúan.

Errores de cierre (Loop misclosures)

Diferencias entre las posiciones calculadas y las conocidas. De típico uso en poligonales, nivelaciones, observaciones gravimétricas, etc. En las observaciones GPS, se producen errores de cierre de coordenadas luego de medirse una serie de vectores sucesivos.

Error estándar de 1 (2, 3) sigma (1 (2, 3) sigma standard error)

El error estándar es un parámetro que mide la precisión. Se obtiene a partir de la varianza y de las covarianzas, y representa un determinado porcentaje de probabilidad de ocurrencia (Un 67% para el caso de observaciones de una sola incógnita. En el caso de determinaciones simultáneas de más de una incógnita, es necesario considerar las respectivas elipses o elipsoides de error [ver]).

Cuando se mencionan precisiones de 2 sigma o 3 sigma se trata de definir márgenes de probabilidad más generosos (en casos de observaciones directas, el porcentaje de probabilidad es del 95% y del 99% respectivamente.)

Error relativo en la posición (Relative positional error)

Es la relación entre el error y la magnitud relacionada con el mismo. Usualmente se expresa como $1/x$ o en partes por millón (ver)

Exactitud (Accuracy)

Grado de aproximación de una magnitud a un valor libre de errores sistemáticos.

Framework/frame

Materialización de un sistema de coordenadas formando un marco de apoyo y referencia (ITRFXX, SAD 69, Campo Inchauspe 1969, POSGAR 94).

Geoide (geoid)

Superficie equipotencial del campo gravífico terrestre que mejor se ajusta, en el sentido de mínimos cuadrados, a la superficie media del mar.

IGS (International GPS Geodynamic Service)

ITRFxx (International Terrestrial Reference Frame)

Marco de referencia terrestre internacional, al que se le agrega el año (xx) en que fue determinado, en el que la posición de los ejes coincide con las definiciones del IERS (Servicio Internacional de la Rotación de la Tierra) y tiene en cuenta la tectónica global. Se lo denomina sistema "instantáneo" porque las

coordenadas de los puntos cambian con el tiempo por movimientos propios de los mismos y por perfeccionamiento de los parámetros que definen al sistema.

Nivelación geométrica o diferencial (differential leveling)

Determinación de la diferencia de elevación entre dos puntos mediante reglas graduadas y niveles de burbuja o compensadores.

Nivelación trigonométrica o geodésica (trigonometric levelling)

Nivelación efectuada mediante la medición de ángulos verticales y la distancia que los separa.

Nivel de confianza del 95% (95% confidence level)

Medida de la tolerancia en la precisión de los ajustes. Cuando el error standard (2 sigma) que se obtuvo en observaciones directas es inferior a una tolerancia especificada, el ajuste cumple con el nivel de confianza del 95%. Para el caso de ajustes bidimensionales, el mayor de los semiejes de la elipse de error multiplicado por 2.5 debe ser inferior a la tolerancia, para satisfacer el mismo nivel de confianza.

Observables (Observables)

En las ecuaciones del cálculo de compensación, los parámetros susceptibles de ser observados (medidos).

Ondulación del geoide/altura del geoide/separación geoide-elipsoide (N), (undulation of the geoid)

La elevación o depresión del geoide respecto de un elipsoide de referencia. Se relaciona con h y H , a través de la expresión aproximada $h = N + H$.

Parámetros de transformación (transformation parameters)

Conjunto de cantidades que permiten convertir coordenadas dadas de un sistema a otro: se utilizan básicamente tres traslaciones, a las que pueden agregarse tres rotaciones y un factor de escala.

Partes por millón, ppm (Parts per million)

Expresión del error relativo. En el caso de distancias, una parte por millón es un error igual a la millonésima parte de la misma.

Precisión (Precision)

El concepto de precisión es opuesto al de dispersión de las observaciones, y se relaciona con la magnitud de los errores aleatorios o accidentales

Precisión (interna) / Exactitud (externa) (Internal / External accuracy)

La precisión (interna) es inherente a la dispersión estadística de las observaciones o de los parámetros. La exactitud (externa) es una medida de la separación entre los valores más probables obtenidos respecto a valores determinados o fijados fuera del proceso de ajuste, obtenidos por métodos más confiables (por ejemplo puntos geodésicos de redes nacionales).

POSGAR 94

Conjunto de puntos materializados en el terreno que constituyen el marco de referencia argentino en base al sistema WGS 84.

Red básica/Control básico, horizontal o vertical (horizontal or vertical control)

Posiciones de puntos de control usados como base para los levantamientos de detalle.

Redundancia (Redundancy)

Es la diferencia entre el número de observaciones y el número de incógnitas. Para que exista un adecuado proceso de compensación, la redundancia debe ser mayor que cero.

Residuos normalizados (Normalized residuals)

En el proceso de compensación, los valores que resultan de dividir los desvíos por los errores estándar estimados de cada observación.

RINEX (Receiver Independent Exchange format)

Formato de intercambio de datos.

SAGA (South American Geodynamics Activities)

SIRGAS

Sistema de Referencia Geocéntrico para la América del Sur.

S/A (Selective Availability)

Disponibilidad selectiva. Procedimiento para negar la precisión total del sistema.

SAD 69

Es un datum calculado en 1969 con las redes horizontales disponibles en la época (1969) en América del Sur, que utiliza como elipsoide asociado el Sistema Geodésico de Referencia de 1967 cuyos parámetros son $a=6378160$ y $1/f=298.25$ y origen en Chuá (Brasil) cuyas coordenadas geodésicas son LAT 19 45 41.6527 S, LON 48 6 4.0639 W, N=0

SIRGAS

Proyecto sudamericano para definir un sistema geocéntrico válido para el continente.

Sistema de coordenadas topocéntrico (topocentric system)

Sistema de coordenadas local centrado en un punto de la superficie terrestre, su eje Z en la dirección de la normal a la superficie de referencia en ese punto y el eje X en la dirección Norte. Según la normal sea la de la superficie equipotencial del campo gravífico terrestre o la del elipsoide, el sistema será físico o geométrico.

Sistema de referencia (Reference system)

La geodesia necesita definir además de un sistema de coordenadas, un conjunto de constantes y parámetros homogéneos, algunos fundamentales y otros derivados. Ellos incluyen una unidad métrica, actualmente definida por la velocidad de la luz en el vacío, una escala de tiempo, el producto de la constante de atracción universal por la masa de la Tierra, GM, incluyendo o no la masa de la atmósfera, un elipsoide de referencia dado por dos constantes geométricas, semieje mayor y excentricidad, una velocidad de rotación de la Tierra, un conjunto de coeficientes del desarrollo en armónicas esféricas del potencial terrestre, una fórmula de gravedad normal, las constantes de precesión y nutación que permiten pasar de un sistema fijo con respecto a la Tierra a un sistema inercial, etc.

Sistema geocéntrico de coordenadas (ECEF, Earth-Centered-Earth-Fixed coordinates)

Terna cartesiana derecha concéntrica con el centro de masa de la Tierra, el eje X es la intersección del Ecuador con el meridiano de convencional origen de las longitudes, el eje Y también sobre el Ecuador y con su rama positiva a 90°E y el eje Z perpendicular a los otros dos y coincidente con el Origen Internacional Convencional, positivo hacia el Polo Norte. Con respecto a esta terna se miden las coordenadas X, Y, Z de los puntos.

Sistema inercial (inertial system)

Sistema en los que es válida la mecánica newtoniana, es un sistema tal que no está sujeto a ningún tipo de aceleración, en especial aceleraciones angulares.

Transformación Helmert (Helmert transformation)

Procedimiento de ajuste por mínimos cuadrados que se basa en la compensación de grandes redes geodésicas a partir del ajuste parcial de bloques y su posterior integración. Se suele aplicar para una transformación ajustada de coordenadas entre dos sistemas.

Varianza- Covarianza (Variance-covariance statistics)

Parámetros estadísticos que reflejan la relación entre los errores de las observaciones y las incógnitas (varianzas) y entre estas últimas (covarianzas). La matriz de varianza-covarianza se obtiene como resultado de la compensación de observaciones paramétricas. Los elementos de su diagonal principal son las varianzas de las incógnitas, y el resto lo constituyen las respectivas covarianzas. A partir de esta matriz pueden obtenerse, en el caso de la compensación de puntos geodésicos, los elementos de la elipse o del elipsoide de error (ver)

VLBI (Very Long Baseline Interferometry)

WGS 84

Es una realización práctica del sistema terrestre con los datos disponibles en 1984. Fue adoptado por el sistema GPS.

BIBLIOGRAFÍA

- Bevis, Michael. GPS Networks: The Practical Side. EOS, American Geophysical Union, February 1991.
- Bomford, Guy. Geodesy, 4th Edition. Clarendon Press, Oxford, 1980.
- Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional. Informes Nacionales a la Asociación Internacional de Geodesia. Buenos Aires, 1975, 1979 y 1995.
- DMA Technical Report 8350.2 (1987). Department of Defense World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems.
- Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS, Diretoria de Geociências da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Dezembro 1992.
- Geodetic Glossary. National Geodetic Survey, Rockville, MD, 1986.
- Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specification for Using GPS Relative Positioning Techniques. Federal Geodetic Control Committee. Version 5.0, May 1988.
- Guidelines and Specifications for GPS Surveys, Geodetic Survey Division, Energy, Mines and Resources, Canada. Release 2.1, December 1992.
- Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, Collins. Global Positioning System, Theory and Practice. Springer Verlag, New York, 1992 y 1993.
- Langley, Richard B. A GPS Glossary. GPS World, October 1995.
- Manual de Normas y Especificaciones para Levantamientos Geodésicos de Alta Precisión en Áreas Pequeñas.
Comité de Geodesia
Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1987
- Seeber, Günter. Satellite Geodesy. Walter de Gruyter, Berlin - New York, 1993
- Soler, Tomás/Hothem, Larry. Coordinate Systems Used by Geodesy: Basic Definitions and Concepts. Journal of Surveying Engineering, 1988.
- Torge, Wolfgang. Geodesy, 2nd Edition. Walter de Gruyter, Berlin - New York, 1991.

ANEXOS

POSGAR: Redes GPS unificadas

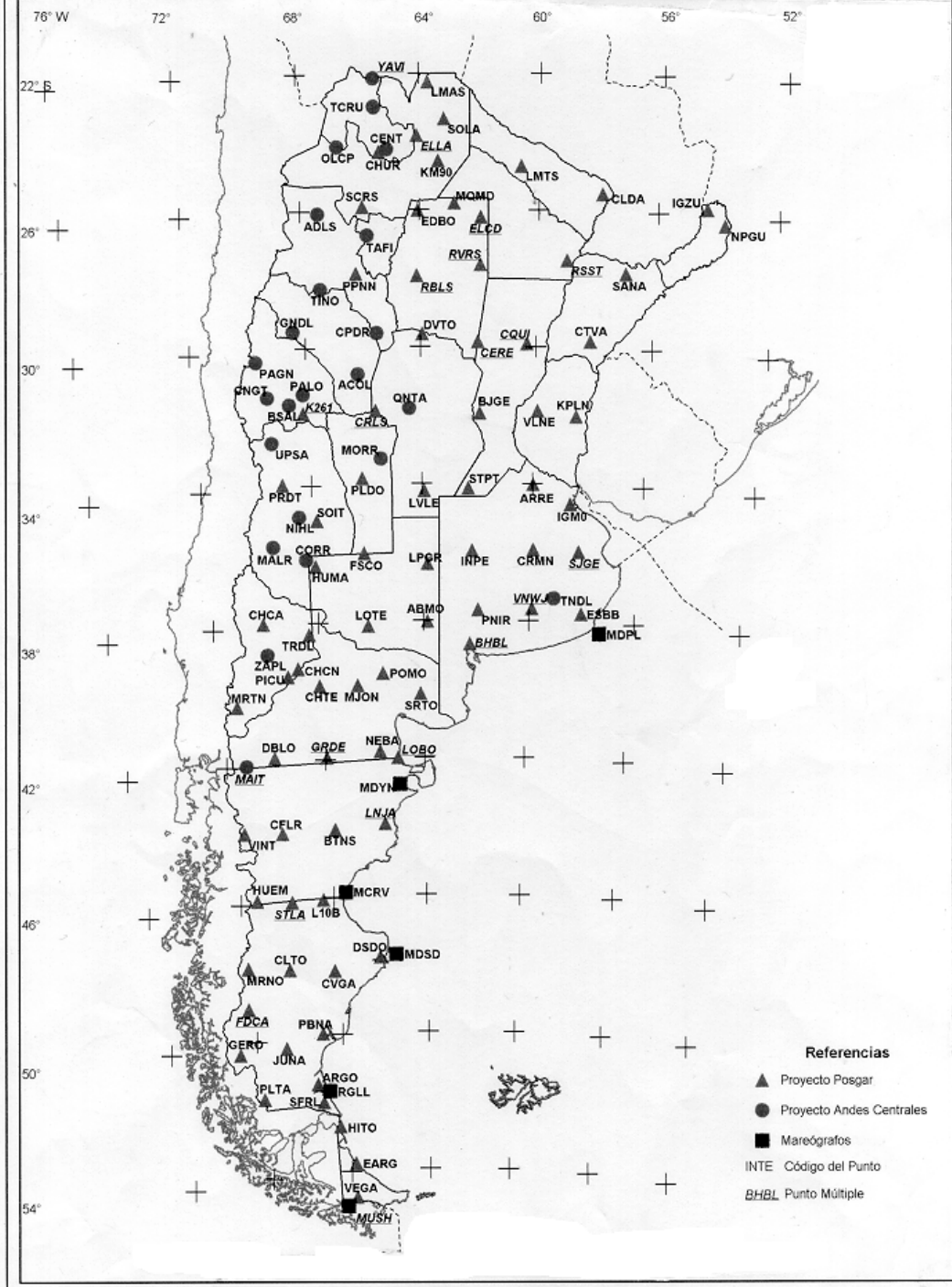
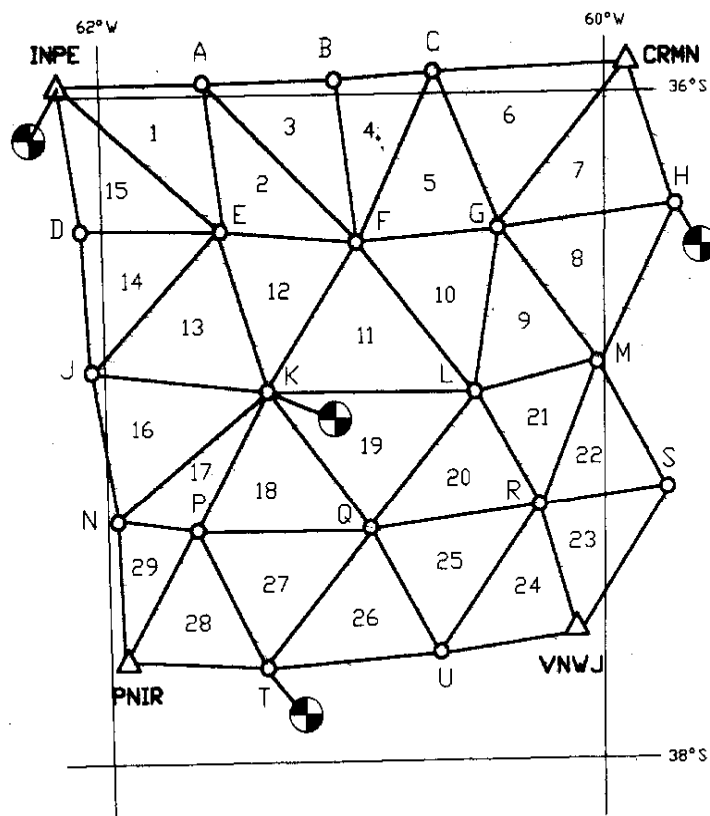


FIG.1

RED GPS



- △ POSGAR
- PUNTOS NUEVOS
- △—○
○—○ VECTORES
- ⊕ PUNTOS DE NIVELACION

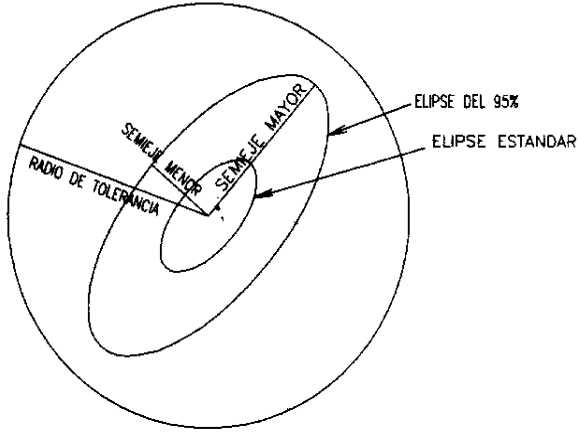
FIG. 2a

PROGRAMA DE OBSERVACIÓN RED GPS

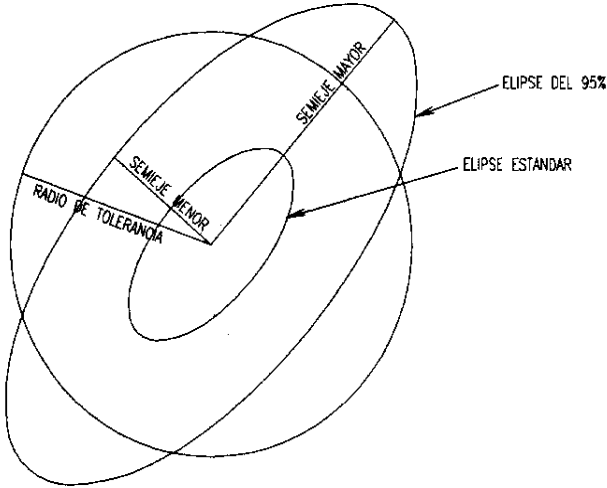
Sesión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Puntos																													
INPE	X														X														
CRMN						X	X																						
PNIR																												X	X
VNWJ																							X	X					
A	X	X	X																										
B			X	X																									
C				X	X	X																							
D														X	X														
E	X	X										X	X	X	X														
F		X	X	X	X					X	X	X																	
G				X	X	X	X	X	X																				
H						X	X																						
J													X	X	X*														
K										X	X	X			X*	X	X												
L								X	X	X							X	X	X	X									
M							X	X												X	X								
N															X	X													X
P																X	X	X									X	X	X
Q																		X	X					X	X	X			
R																			X	X	X	X	X	X					
S																				X	X								
T																										X	X	X	
U																							X	X	X				

Fig. 2b

CRITERIO DE PRECISION



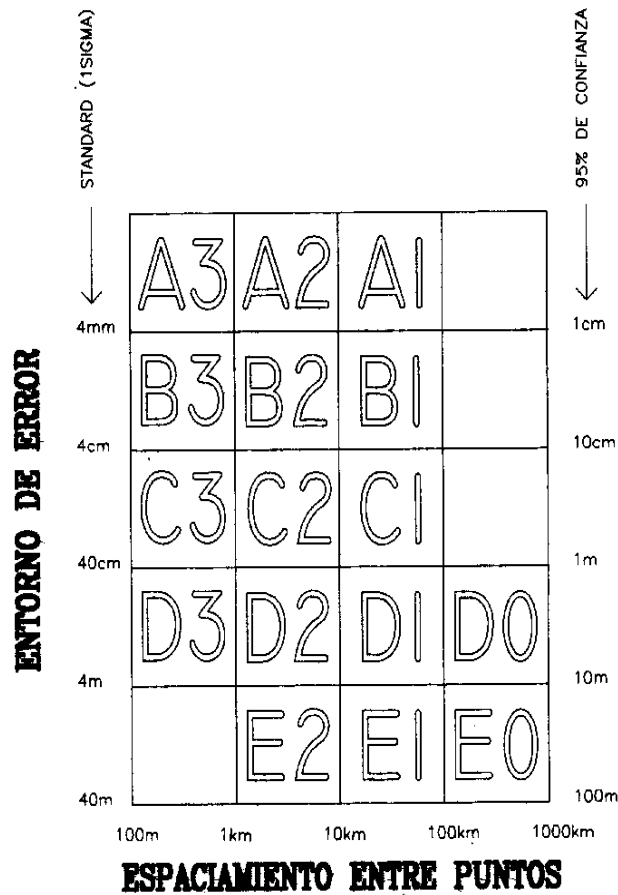
CASO DE TOLERANCIA CUMPLIDA



CASO DE TOLERANCIA NO SATISFECHA

FIG. 3

CLASIFICACION DE TRABAJOS GPS



PRECISION:
 A: SUB CENTIMETRICA
 B: CENTIMETRICA
 C: SUB METRICA
 D: METRICA
 E: DECENAS DE METROS

ESPACIAMIENTO:
 0: CENTENARES DE KM
 1: DECENAS DE KM
 2: KILOMETROS
 3: CENTENARES DE M

FIG. 4