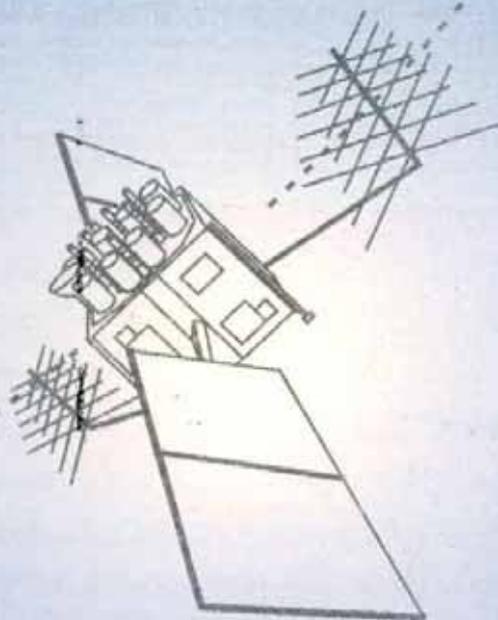


EL ABC DEL GPS

Agrim. Susana Ferrario de Urriza



EDICION DEL CONSEJO PROFESIONAL DE
AGRIMENSURA DE LA PCIA. DE BUENOS AIRES

El ABC del GPS

Agrimensora SUSANA FERRARIO DE URRIZA

Profesora Asociada del Departamento de Ingeniería
de la Universidad Nacional del Sur

INV 660



1ra. edición: junio de 2000.

Impreso en la República Argentina

I.S.B.N: 987-98217-0-4

Todos los derechos reservados. No está permitida la reproducción, almacenaje y transmisión parcial o total de este libro por ningún medio o procedimiento, sin previo consentimiento escrito de la autora.

*Dedicado a mi esposo Néstor y a mis
dos hijos, Guillermina y José Manuel.*

PREFACIO

El GPS ha sido incorporado a las herramientas técnicas de la vida diaria en un gran número de actividades en los cinco continentes. Su potencialidad es enorme y hoy en el mercado es posible encontrar receptores que requieren inversiones moderadas, circunstancia que, de suyo, contribuye a que mayor cantidad de personas tengan acceso a dichos aparatos.

Sin embargo conviene tener en cuenta que si alguien no familiarizado con esta técnica tiene previsto adquirir o utilizar un equipo GPS para aplicaciones topográficas y geodésicas es muy importante, previa y ordenadamente, destinar cierto tiempo para, primero, informarse sobre los fundamentos y características del sistema; segundo, efectuar una seria revisión de los temas: coordenadas de uso geodésico y sistemas de representación plana más usados; tercero, aprender la parte operativa y, por último, entrenarse y probar todos los procedimientos, porque el rédito inmenso en costos, tiempo y exactitud que es capaz de brindar este sistema está directamente ligado con la claridad de conceptos y el uso adecuado del mismo.

Cabe esta aclaración porque la facilidad del manejo de los receptores GPS induce a pensar que con sólo oprimir botones el problema del posicionamiento de un punto es una cuestión resuelta. Quizá así sea en aplicaciones no profesionales ni científicas para las cuales el tema exactitud es totalmente irrelevante, pero, si se trata de obtener coordenadas con los mínimos errores posibles, el problema supera holgadamente la destreza del operador y exige, además, adecuado conocimiento del sistema GPS y de sus fundamentos matemáticos, esmerado diseño y programación de las observaciones, conveniente selección del equipo, técnica y software a usar en cada oportunidad,

capacidad de manejo de datos numéricos y gráficos, y, sine qua non, criterio firme para la interpretación, análisis y evaluación de los resultados obtenidos.

El hecho de haber dedicado algunos años a esta temática me permite hoy acercar este libro a mis alumnos y colegas, así como a toda otra persona interesada en el tema, a fin de facilitarles la introducción al uso de esta tecnología y el acceso a trabajos y obras más profundas como las citadas en la bibliografía, por cierto escasas en idioma español. En él se sintetiza, sin pretensiones de un producto completo, una parte importante de los conocimientos previos mencionados y algunas pautas que conviene tener en cuenta cuando se desarrolla un trabajo de posicionamiento GPS.

Los títulos son desarrollados a lo largo de seis capítulos complementados con cincuenta y seis figuras, al final de los cuales se incluyen dos anexos consistentes en: A, un glosario de términos y acrónimos de uso más frecuente relacionados con la materia, en español e inglés para la consulta rápida, y B, una lista de lugares WEB que permite por esa vía ampliar los temas tratados cuando no se tiene acceso a bibliografía.

Agrim. Susana Ferrario de Urriza
junio de 2000

INDICE

	Pág.
PREFACIO	5
1- INTRODUCCIÓN	11
2- SISTEMAS DE REFERENCIA	15
2.1- Sistemas de Coordenadas Cartesianas	15
2.1.1- Definición	15
2.1.2- Transformación de un sistema a otro	16
2.2- Sistemas de Referencia Geodésicos	19
2.2.1- Sistemas de Referencia Terrestres	20
2.2.1.1- Superficies de Referencia. Datum	20
2.2.1.2- Coordenadas geográficas elipsóidicas	23
2.2.1.3- Relación entre sistemas elipsoidal y cartesiano	24
2.2.1.4- Cambio de datum	26
2.2.2- Sistemas de Referencia Globales	28
2.2.3- Sistemas Regionales y Locales	29
2.2.4- Sistema de Referencia Inercial Convencional	30
3- EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	33
3.1- Principio del posicionamiento GPS	34
3.2- Componentes del sistema GPS	37
3.2.1- El Segmento Espacial	38
3.2.1.1- El Tiempo GPS	44
3.2.1.2- La Señal GPS	45
3.2.2- Segmento de Control	49
3.2.3- Segmento del Usuario	50
4- ADQUISICIÓN DE DATOS GPS	55
4.1- Tipos de posicionamiento	55
4.1.1- Posicionamiento autónomo y relativo	55
4.1.2- Posicionamiento estático y cinemático	57
4.1.3- Tiempo real diferenciado y post-proceso	58
4.2- Fuentes de error en las medidas GPS	59
4.2.1- Errores sistemáticos	60
4.2.1.1- Dependientes del satélite	60
4.2.1.2- Dependientes de la estación	65
4.2.1.3- Dependientes de la propagación	66
4.2.2- Errores accidentales	69
4.3- DOP-Configuración geométrica de los satélites visibles	72

4.4- Exactitud y precisión	75
5- OBSERVABLES GPS	81
5.1- Tipos de datos	81
5.1.1- Pseudodistancias por código	83
5.1.2- Fases y diferencias de fase de la portadora	84
5.1.3- Ventajas y desventajas de las medidas de código y de fase	86
5.1.4- Combinaciones lineales de observaciones	86
5.1.4.1- Diferencia simple entre receptores	87
5.1.4.2- Diferencia doble receptor-satélite	88
5.1.4.3- Diferencia triple receptor-satélite-tiempo	90
5.2- Métodos de posicionamiento	91
5.2.1- Método semicinemático o Stop and Go	92
5.2.2- Método Estático Rápido o Pseudocinemático	93
5.2.3- Método cinemático continuo o cinemático puro	94
5.2.4- Inicialización	94
5.2.4.1- Sobre línea base conocida	95
5.2.4.2- Por barrido o intercambio de antenas	96
5.2.4.3- Por medición estática	97
5.2.4.4- Cinemático OTF	97
5.2.5- RTK	98
6- ASPECTO PRÁCTICO DE LAS MEDIDAS GPS	99
6.1- Planeamiento y preparación	99
6.1.1- Selección previa de los sitios a ocupar	101
6.1.2- Diseño del proyecto	102
6.1.3- Reconocimiento	105
6.1.3.1- Características de los sitios	105
6.1.3.2- Verificación de marcas y puntos de control	108
6.1.3.3- Identificación de requerimientos logísticos	108
6.1.4- Instrumental y personal	109
6.1.5- Validación	110
6.1.6- Programa de observaciones	112
6.2- Operaciones de campo	116
6.3- Procesamiento de datos	118
6.4- Informe final	124
BIBLIOGRAFÍA Y CONSULTAS	127
ANEXO A: GLOSARIO Y ACRÓNIMOS	129
ANEXO B: LISTA DE LUGARES WEB	161
ÍNDICE ALFABÉTICO	167

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
2.1 Sistema de Coordenadas cartesianas	15
2.2 Relación entre sistemas cartesianos de ejes paralelos	16
2.3 Rotación en torno al eje z	17
2.4 Posicionamiento de un punto respecto a un satélite	19
2.5 El Geoide y el Elipsoide de Revolución Aplastado	21
2.6 Relación entre alturas	22
2.7 Coordenadas cartesianas y geodésicas	25
2.8 Cambio de datum	27
2.9 Coordenadas Ecuatoriales Celestes	31
3.1a Principio del posicionamiento GPS	34
3.1b Principio del posicionamiento GPS	35
3.1c Principio del posicionamiento GPS	36
3.2 Componentes del Sistema GPS	37
3.3 Constelación GPS	38
3.4 Posiciones en órbita de los satélites GPS	39
3.5 Esquema de los modelos de satélites Blocks IIA y IIR	40
3.6 Comparación de códigos	46
3.7 Estructura de la Señal GPS	47
3.8 Proceso de la determinación de las efemérides	49
3.9 Componentes básicos de un receptor GPS	51
3.10 Tipos de antenas de receptores GPS	52
4.1 Posicionamiento autónomo o puntual	55
4.2 Posicionamiento relativo estático	56
4.3 Posicionamiento cinemático relativo	57
4.4 Posicionamiento diferencial en tiempo real	58
4.5 Fuerzas perturbadoras que actúan sobre un satélite	61
4.6 El error de efemérides y el posicionamiento puntual	62
4.7 El error de efemérides y el posicionamiento relativo	62
4.8 Efemérides satelitales	64
4.9 Retardos ionosférico y troposférico	68
4.10 Ángulo de corte o máscara	69
4.11 Cycle slip	71
4.12 Multicamino	71
4.13 Buena geometría y bajo PDOP	74
4.14 Mala geometría y alto PDOP	74
4.15 Conceptos de exactitud y precisión	76

4.16	Función Probabilidad de errores	78
4.17	Elipse y elipsoide de error	79
5.1	Posicionamiento simple GPS	82
5.2	Diferencia simple entre receptores	88
5.3	Diferencia doble receptor-satélite	89
5.4	Diferencia triple receptor-satélite-tiempo	90
5.5	Método Stop and Go	92
5.6	Método estático rápido o pseudocinemático	93
5.7	Receptores sobre barra inicializadora	95
5.8	Inicialización por intercambio de antenas	96
6.1	Fases de una medición GPS	100
6.2	Configuración radial	102
6.3	Receptores desplegados en modo leap-frog	103
6.4	Configuración en red	104
6.5	Relación entre la altura de un obstáculo, el ángulo de elevación y la distancia a él	106
6.6	Factores que intervienen en el proceso de validación	111
6.7	Gráfico de los PDOP	113
6.8	Sky-Plot	114
6.9	Aspectos de la planificación y preparación de una medición	115

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del grado de desarrollo actual de la tecnología, y la aplicación de la misma en sectores tan diversos como ciencia, ingeniería, fuerzas armadas y actividades civiles de distinta índole, en todo momento del día, desde diferentes puntos del globo, se requiere conocer las posiciones de ciertos puntos sobre la superficie de la Tierra.

Si se recurre al diccionario la palabra "posición" muestra varias acepciones de las cuales, en esta temática, se rescata la que dice: "*Emplazamiento, lugar que ocupa una persona o cosa*"¹, lo que técnicamente se traduce en conocer las coordenadas del punto en cuestión con respecto a un sistema determinado. Existen dos soluciones posibles:

1. Con respecto a un sistema de coordenadas cuyo origen, próximo al centro de la Tierra, está definido y universalmente aceptado. En tal caso se habla de posicionamiento absoluto.

2. Con respecto a otro punto, origen de un sistema de coordenadas local, situación en la que se lo llama posicionamiento relativo. Esta denominación se usa también en el caso que las coordenadas de un sitio se expresan en un sistema global, pero han sido determinadas a partir de observaciones hechas con respecto a un punto de control cercano cuyas coordenadas son conocidas. Éste es el modo usado preferentemente en los trabajos de agrimensura y el ejemplo más ilustrativo es el caso de las redes geodésicas; en ellas las coordenadas de los vértices de los polígonos que la conforman surgen de aplicar

¹ Diccionario Enciclopédico EL PEQUEÑO LAROUSSE ILUSTRADO, ed. 1996, pag. 812.

un posicionamiento relativo respecto a una estación fija dato.

Para lograr tal objetivo las herramientas más modernas y apropiadas son las que trabajan con tecnología GPS.

El Sistema de Posicionamiento Global NAVSTAR² (o GPS) nació dentro del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) como una herramienta estratégica, por el requerimiento militar de contar con la capacidad de una estructura de satélites que permitiese a las fuerzas que estuvieren operando en cualquier lugar del planeta sobre toda clase de plataforma: aviones, helicópteros, barcos, vehículos terrestres, misiles y satélites, conocer exactamente su posición las 24 horas del día, bajo todas las condiciones atmosféricas posibles. La idea había sido generada a principios de la década de los 60 y fue en principio materializada a partir de 1967 con el sistema TRANSIT, el cual tenía el inconveniente de no proveer información continua, aunque el trabajo de desarrollo del NAVSTAR fue recién iniciado hacia 1973.

Básicamente, el GPS es un complejo sistema compuesto por una constelación con un mínimo de 24 satélites activos, el primero de los cuales fue lanzado el 22 de febrero de 1978, orbitando a unos 20.200km de altura. Ellos transmiten permanentemente señales electromagnéticas originadas en relojes atómicos ultraprecisos instalados a bordo, las que contienen dos portadoras, dos códigos y un mensaje.

Si bien el sistema alcanzó las condiciones de operatividad plena recién en 1995, a poco de comenzar la fase experimental los científicos pusieron su atención en él porque, fue tal el grado de éxito alcanzado y el conjunto de perspectivas que se avizoraron, que resultó imposible impedir su aplicación a las necesidades de distintos sectores no militares. De este modo el DoD se vio presionado a permitir el acceso

² NAVIGATION SATELLITE TIMING AND RANGING GLOBAL POSITIONING SYSTEM

de los civiles a una parte de la información que los satélites transmiten y con ello se generó un desarrollo tecnológico inesperado y la consecuente revolución en la práctica del posicionamiento y la medición que, acompañada por la actualización de las herramientas y técnicas de cálculo, han logrado, de hecho, la obsolescencia de una gran parte de las metodologías usadas hasta hace dos décadas y el rejuvenecimiento de la Geodesia.

Para los agrimensores y geodestas las principales ventajas del GPS residen en:

1. La posibilidad de ubicar fácil y precisamente en un mismo sistema puntos de la superficie terrestre no intervisibles, y aún sumamente alejados entre sí, sin la necesidad de recorrer la distancia que los separa, permitiendo enlazar lugares mutua y directamente inaccesibles, islas y también continentes. Esta condición ha sido siempre una exigencia básica en tareas de triangulación, trilateración y desarrollo de poligonales hasta el advenimiento de las técnicas espaciales.
2. Acceso al sistema gratuito y voluntario (no requiere ningún tipo de registro previo o autorización y el usuario es indetectable), a toda hora del día y desde cualquier lugar de la Tierra.
3. Obtener en forma directa y con excelente grado de exactitud las coordenadas geográficas (elipsóidicas) de un punto, prescindiendo de las observaciones de estrellas cuya precisión está inevitablemente limitada por la refracción astronómica que causa la atmósfera terrestre.
4. Proveer, junto con las coordenadas horizontales de las respectivas marcas, alturas respecto a una superficie de referencia.

Para los restantes usuarios civiles cubriendo un espectro que abarca desde las aplicaciones estrictamente científicas a las deportivas y recreacionales, el GPS es el medio más confiable y eficiente para posicionamiento, determinación precisa de grandes distancias,

relevamientos cartográficos con fines diversos, sincronización de redes de telecomunicaciones, navegación de todo tipo e información de localización en sistemas de transportes y equipos de emergencias.

Paralelamente, en competencia con el NAVSTAR, el sector militar de la ex Unión Soviética ha implementado un sistema similar llamado GLONASS (Global Navigation Satellite System), operacional desde enero de 1996, que a la fecha (2000) está sufriendo serios problemas de mantenimiento debido a las dificultades económicas que los afectan.

Los dos sistemas poseen características semejantes, aunque no idénticas, en lo que respecta al modo de transmisión de datos y métodos de posicionamiento. Esta situación fue aprovechada para abrir una nueva línea de investigación dentro de la electrónica y de la matemática aplicada y consecuentemente desarrollar algunos prototipos de un sistema dual combinado o mixto. Dichas circunstancias impulsaron a algunas firmas comerciales a adoptar los más exitosos y lanzar al mercado modelos de receptores que trabajan contactando simultáneamente satélites GPS y GLONASS, combinando luego ambos tipos de señales.

De todos modos, tal ha sido la difusión del GPS en sí que su potencial se presenta como prácticamente ilimitado y de uso creciente en el campo de las mediciones terrestres de diversa aplicación, fundamentalmente en las distintas áreas de la Geodesia y Agrimensura.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE REFERENCIA

2.1 Sistema de Coordenadas Cartesianas

2.1.1 Definición

La manera más directa de precisar la situación de un punto en el espacio es fijar un sistema de coordenadas tridimensional, el cual se define por tres ejes mutuamente perpendiculares x , y , z , de modo que la posición de cualquier punto P es expresada por un vector X_p tal que:

$$X_p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_P$$

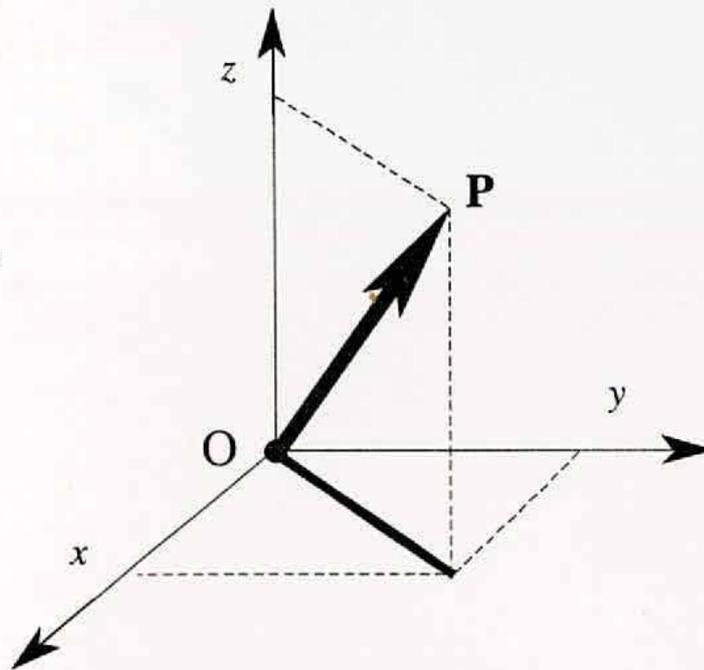


Fig. 2.1 Sistema de Coordenadas cartesianas

Así se establece una relación biunívoca entre los puntos del espacio tridimensional y las ternas de valores reales $[x,y,z]$, de manera que a cada punto le corresponde un único conjunto de éstos y, recíprocamente, una terna cualquiera identifica un sólo punto P del mismo espacio.

2.1.2 Transformación de un sistema a otro

Caso 1: Considerando un sistema dextrógiro, o de mano derecha, si el punto P tuviese que ser referido a otro sistema similar pero de diferente origen y ejes paralelos a los anteriores se daría la situación de la Figura 2.2:

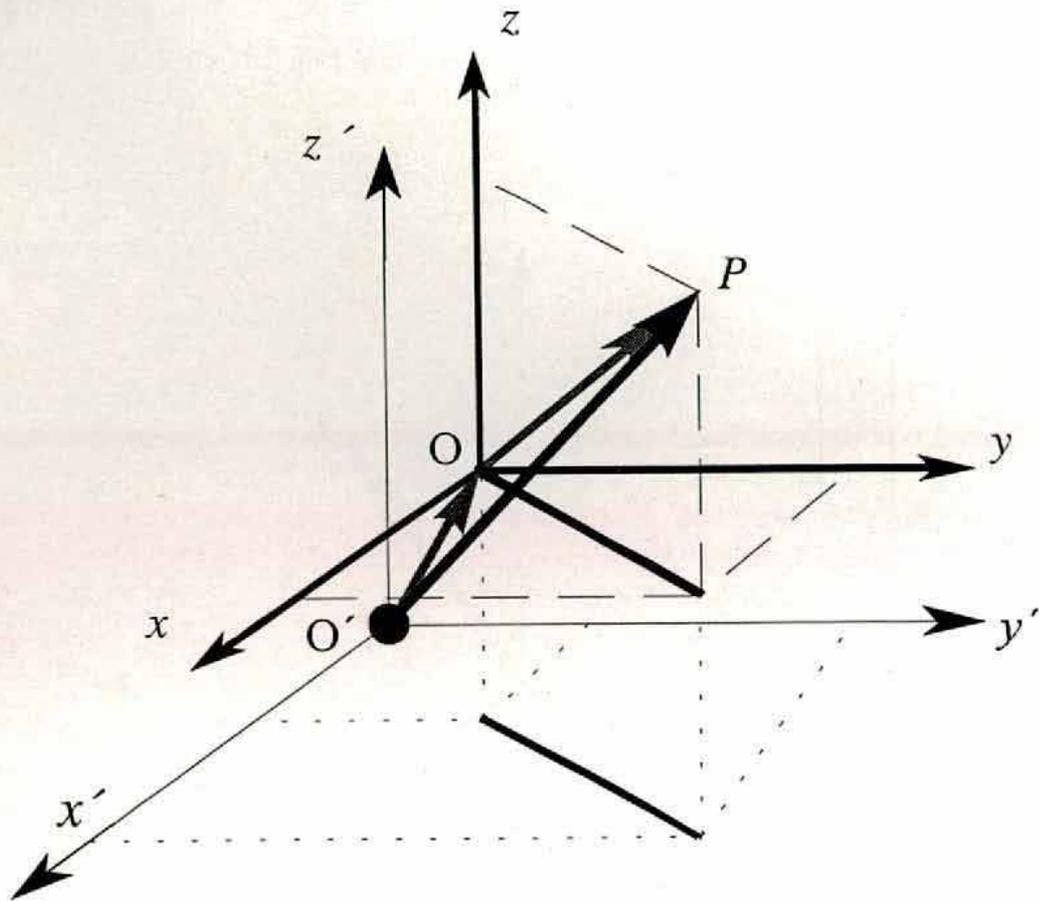


Fig. 2.2 Relación entre sistemas cartesianos de ejes paralelos

De allí:

$$X'_P = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}_P = X_P + X'_O$$

expresión en la cual X'_O es el vector cuyas componentes corresponden a las coordenadas del origen del primer sistema, O, referidas al segundo.

Caso 2: Si el origen es el mismo pero se produce una rotación de γ radianes en torno al eje z resulta: $X'_P = R_z(\gamma).X_P$ siendo R la matriz correspondiente.

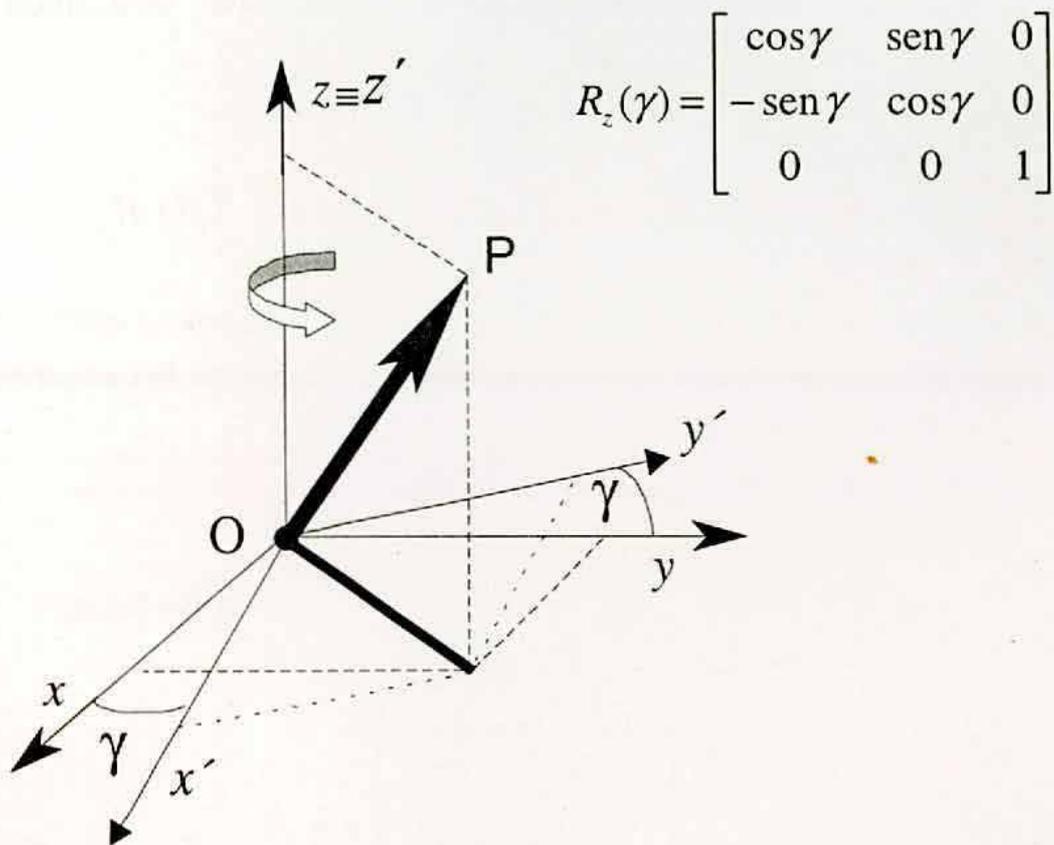


Fig. 2.3 Rotación en torno al eje z

Análogamente las rotaciones en torno a los otros dos ejes en ángulos respectivamente iguales a β y a α se calculan con las siguientes matrices:

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\text{sen } \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen } \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix}$$

$$R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \text{sen } \alpha \\ 0 & -\text{sen } \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

Caso 3: una transformación con tres rotaciones está dada por:

$$X'_p = R_x(\alpha) \cdot R_y(\beta) \cdot R_z(\gamma) \cdot X_p$$

$$\text{ó } X'_p = R \cdot X_p \quad \text{con } R = R_x(\alpha) \cdot R_y(\beta) \cdot R_z(\gamma)$$

En Geodesia los ángulos α , β y γ son muy pequeños por lo que pueden sustituirse las funciones seno y coseno de los mismos por los primeros términos de los respectivos desarrollos en serie y despreciar los productos de orden superior, es decir:

$$\text{sen } \alpha = \alpha \quad \text{y} \quad \cos \alpha = 1 \quad \text{por consiguiente:}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 1 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 1 \end{bmatrix}$$

2.2 Sistemas de Referencia Geodésicos

Con vistas a obtener por medio de satélites la posición de un punto sobre la Tierra se necesita conocer la ubicación de aquéllos respecto a ésta. Dicha situación se describe en la figura 2.4. Supuesto el satélite orbitando en torno al planeta, si es posible determinar las coordenadas del primero con respecto al centro de masa de la Tierra, o vector X^s y, por observación, obtener el vector X_p entre el satélite y el lugar de emplazamiento de P, se estaría en condiciones de obtener el vector R que relaciona matemáticamente P con el Geocentro.

$$R = X^s - X_p$$

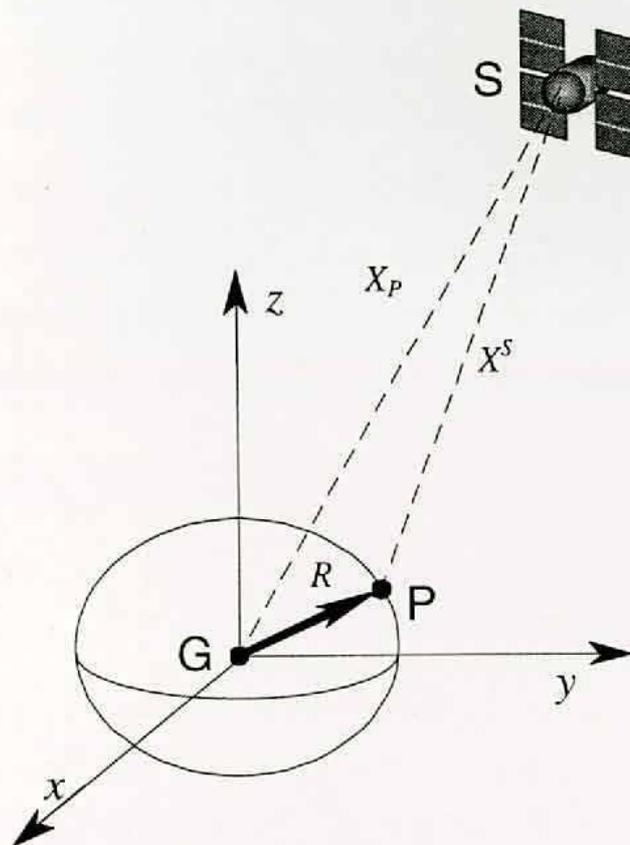


Fig. 2.4 Posicionamiento de un punto por medio de un satélite

Es obvio que ambos deben estar expresados en el mismo sistema de coordenadas y que éste debe ser global y centrado en el Centro de Masa de la Tierra, punto fundamental de las órbitas satelitarias. De hecho la cuestión no es tan simple y requiere observar al menos cuatro satélites al mismo tiempo.

Algunos autores de habla inglesa hacen distinción entre lo que llaman "*reference system*", o sistema de referencia, aludiendo al sistema teórico matemático que se define, y "*reference frame*", marco o estructura de referencia, para invocar la materialización del mismo a través de un conjunto de estaciones de control fijas, establecidas sobre la superficie terrestre por sus correspondientes coordenadas.

Al ser el origen de un sistema global coincidente con el centro de masas terrestre resulta natural que el plano fundamental del mismo coincida con el del ecuador y, en consecuencia, su eje principal ajustado al eje de rotación de la Tierra.

En general, según el objetivo, se requieren dos tipos diferentes:

- Un Sistema de Referencia Terrestre (CTS ó SRT).
- Un Sistema de Referencia Inercial (CIS ó SRI), fijado al espacio, para describir globalmente las órbitas de los satélites.

2.2.1 *Sistemas de Referencia Terrestre*

2.2.1.1 *Superficies de Referencia. Datum*

Las operaciones de agrimensura se efectúan corrientemente sobre el terreno, el cual muestra una figura conformada por infinidad de irregularidades y accidentes que se modifican con el tiempo por causas naturales e intervención humana. Esta es la llamada *superficie topográfica*.

En Geodesia se define la forma física de la Tierra en su aspecto global como la de una superficie de nivel del campo gravitatorio terrestre

denominada *geoide*, la cual coincidiría con la del nivel medio de los mares en riguroso equilibrio prolongada a través de los continentes. El geoide es la superficie de referencia o superficie cero para la nivelación y en la mayoría de los países se la asume como el producto de registros mareográficos extendidos por años.

Tal superficie suavizada es también irregular y asimétrica, en consecuencia imposible de ser representada en su totalidad por una ecuación con un número finito de términos, por ello, a efectos de trabajar con fórmulas matemáticas sencillas, se la sustituye por el *elipsoide de revolución aplastado*³ reflejando así las irregularidades de masa en el interior de la Tierra, el cual, en general, verticalmente difiere de aquella en valores inferiores a 100m. La separación entre ambas, medida en dirección normal al elipsoide, es llamada *ondulación del geoide* y se la designa con la letra *N*.

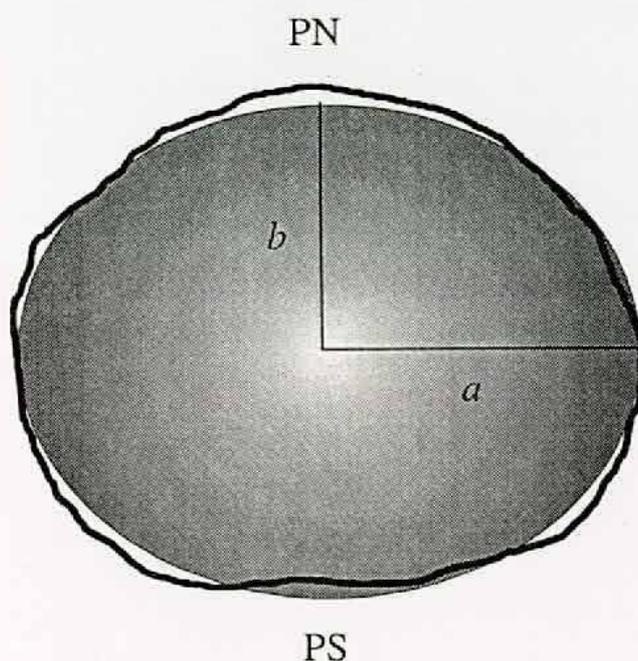


Fig. 2.5 El Geoide y el Elipsoide de Revolución Aplastado

³ *Elipsoide de revolución aplastado*: Cuerpo geométrico generado por una elipse que gira sobre sí misma alrededor de su eje menor.

La Fig. 2.6 refleja la relación de distancias verticales entre la superficie topográfica, el geoide y un elipsoide de referencia. "H" es el valor aportado por las operaciones clásicas de nivelación, corrientemente conocida como *altura sobre el nivel del mar* y de modo formal, *altura ortométrica*. La misma está asociada a las sucesivas posiciones de la burbuja del nivel, por lo tanto refleja las variaciones locales de la gravedad.

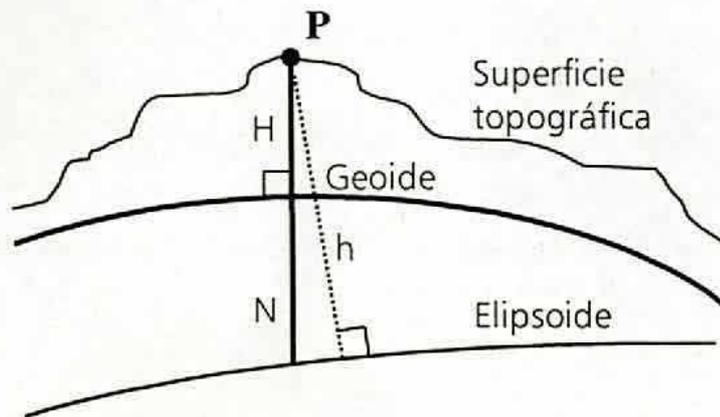


Fig. 2.6 Relación entre alturas

La cantidad "h", por su parte, es la altura del punto sobre el elipsoide de referencia o *altura elipsoidal*, cantidad esencialmente geométrica e independiente de la línea de la plomada, la cual puede computarse a partir de determinaciones con GPS.

Como $N = h - H$ sus variaciones elementales están relacionadas por $dN = dh - dH$ expresión que permite determinar y estudiar los cambios relativos que sufre la ondulación del geoide entre puntos de una misma región y efectuar modelos convenientemente ajustados de dicha superficie.

Los parámetros geométricos propios de un elipsoide son sus semiejes, a y b , o uno de ellos y una relación entre ambos:

semieje mayor $\Rightarrow a$ aplastamiento $\Rightarrow f = \frac{a-b}{a}$

o, en lugar de f la excentricidad e tal que:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad \text{ó} \quad e^2 = 2.f - f^2$$

Un sistema elipsoidal puede considerarse como *global* o *local*, según se ajuste lo mejor posible a toda el planeta o a sólo una región, país, grupos de países o continente.

El término usado para definir el tamaño y forma de la Tierra, así como el origen y orientación del sistema de coordenadas usado, es *datum geodésico*.

El mismo se traduce en un conjunto de parámetros que permite establecer la red de paralelos y meridianos correspondiente.

Las coordenadas geodésicas referidas a un datum incorrecto pueden acarrear errores de cientos de metros de ahí la importancia de trabajar con un datum perfectamente identificado.

2.2.1.2 Coordenadas geográficas elipsóidicas

Si bien las coordenadas cartesianas son muy prácticas para su tratamiento matemático, en Geodesia se prefieren las coordenadas geográficas (Fig. 2.7), porque resultan más fáciles de asociar mentalmente a la posición de cualquier punto sobre la Tierra y además son los valores de ingreso directo para el cálculo de las coordenadas planas en los distintos sistemas de proyección de uso corriente, por caso los sistemas Gauss Krüger y UTM.

Ellas son:

φ : latitud elipsóidica \Rightarrow Ángulo entre la normal al elipsoide en el punto y el plano del ecuador. Se mide a partir de éste hacia ambos polos, reconociéndosela positiva al norte y negativa al sur de dicho plano.

$$-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$$

λ : longitud elipsóidica \Rightarrow Es el ángulo diedro entre el meridiano origen (Greenwich) y el del lugar, considerando como meridiano geodésico a la sección determinada por un semiplano normal al elipsoide que contiene al eje menor del mismo y al punto en cuestión. Su variación es positiva de O a E.

$$-\pi \leq \lambda \leq \pi \quad \text{ó} \quad 0 \leq \lambda \leq 2\pi.$$

h : altura elipsóidica⁴

2.2.1.3 Relación entre los Sistemas Elipsóidico y Cartesiano

Si se toma un sistema cartesiano trirrectangular dextrógiro con origen en el centro del elipsoide de referencia⁵, eje Z coincidente con el eje menor del mismo orientado positivo hacia el Polo Norte y eje X en el meridiano 0, la relación entre coordenadas geodésicas y planas es:

$$X_p = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda \\ (N+h) \cdot \cos \varphi \cdot \sen \lambda \\ [N(1-e^2)+h] \cdot \sen \varphi \end{bmatrix}$$

⁴ Ver pág. 22.

⁵ ECEF (Earth-Centered-Earth-Fixed) Coordenadas terrestres centradas y fijas a la Tierra.

siendo N la *Gran Normal* o radio de curvatura de la sección normal orientada en la dirección E-O.

$$N = a.(1 - e^2 . \text{sen}^2 \varphi)^{-0.5}$$

La relación inversa puede establecerse recurriendo a un mecanismo de iteración para la determinación de φ :

Como $Z = (N + h) . \text{sen} \varphi - N . e^2 . \text{sen} \varphi$

es $Z + N . e^2 . \text{sen} \varphi = (N + h) . \text{sen} \varphi = Z'$

Siendo $p = (X^2 + Y^2)^{1/2}$ y $\tan \varphi \approx \tan \psi$

$\tan \psi = Z / p \approx \tan \varphi_1 \Rightarrow \varphi_1 = \arctan (Z / p)$

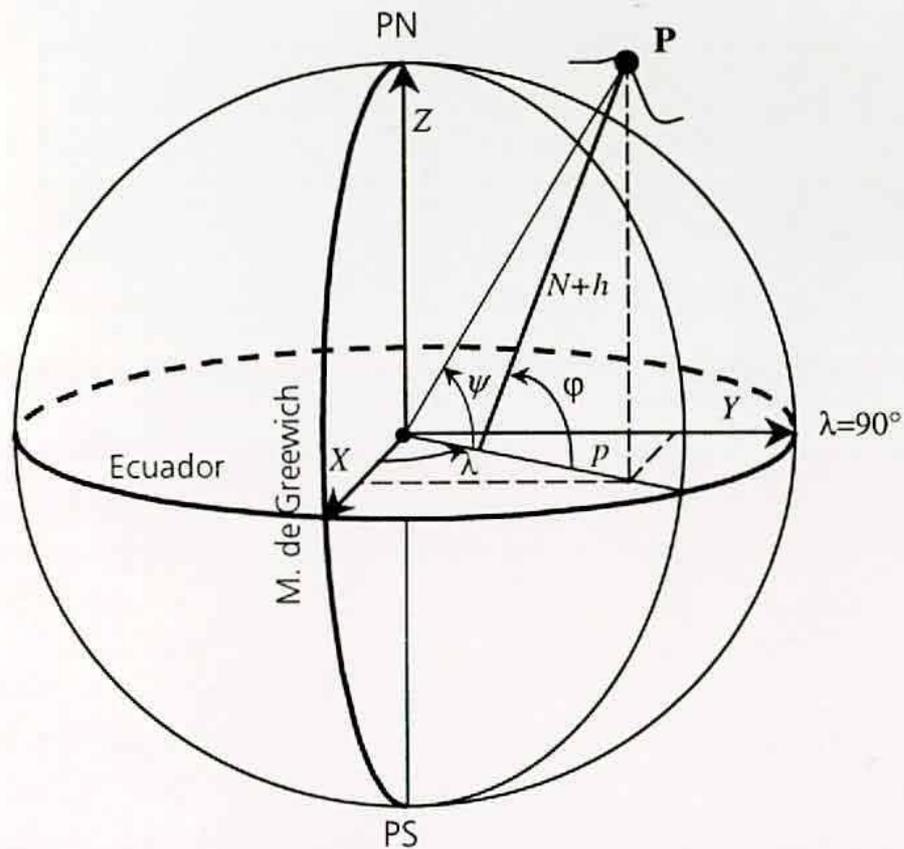


Fig.2.7 Coordenadas cartesianas y geodésicas

El valor de φ_1 obtenido se usa para determinar N_1 y el correspondiente

$$Z'_1 = Z + N_1 \cdot e^2 \cdot \text{sen } \varphi_1 \quad \text{de donde}$$

$$\tan \varphi_2 = Z'_1 / p \quad \therefore \quad \varphi_2 = \dots \quad \text{etc.}$$

procedimiento que se repite hasta minimizar la diferencia $\varphi_K - \varphi_{K-1}$

tanto como se desee, lo que se logra muy rápidamente, así: $\varphi_K = \varphi$

$$\varphi = \arctan \frac{Z + N_{K-1} \cdot e^2 \cdot \text{sen } \varphi_{K-1}}{p}$$

$$\lambda = \arctan \frac{Y}{X}$$

$$h = \frac{Y}{\cos \varphi \cdot \text{sen } \lambda} - N$$

ó

$$h = \frac{p}{\cos \varphi} - N$$

2.2.1.4 Cambio de datum

Las ecuaciones de transformación de las coordenadas cartesianas referidas a un datum antiguo (1) en otro nuevo (2) requieren 7 parámetros y es conocida justamente con ese nombre: "Transformación de Helmert o de los Siete Parámetros".

La misma es una generalización del problema visto en [2.1.2] aplicado a puntos de un elipsoide y contempla tres traslaciones o coordenadas del viejo origen en el nuevo sistema: ΔX , ΔY , ΔZ , tres rotaciones: α , β , γ , y un factor de escala: $M = 1 + m$, expresión en la cual $m = k \cdot 10^{-6}$ es decir, k se expresa en p.p.m.

Para poder determinar esos 7 parámetros es preciso conocer las posiciones en coordenadas cartesianas tridimensionales de un número

de puntos comunes a ambos sistemas; cuanto mayor es el número mejor resulta el ajuste por cuadrados mínimos. Teóricamente 3 serían suficientes.

La expresión en cuestión tiene la forma siguiente:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_2 = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1+m) \cdot \begin{bmatrix} 1 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 1 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1$$

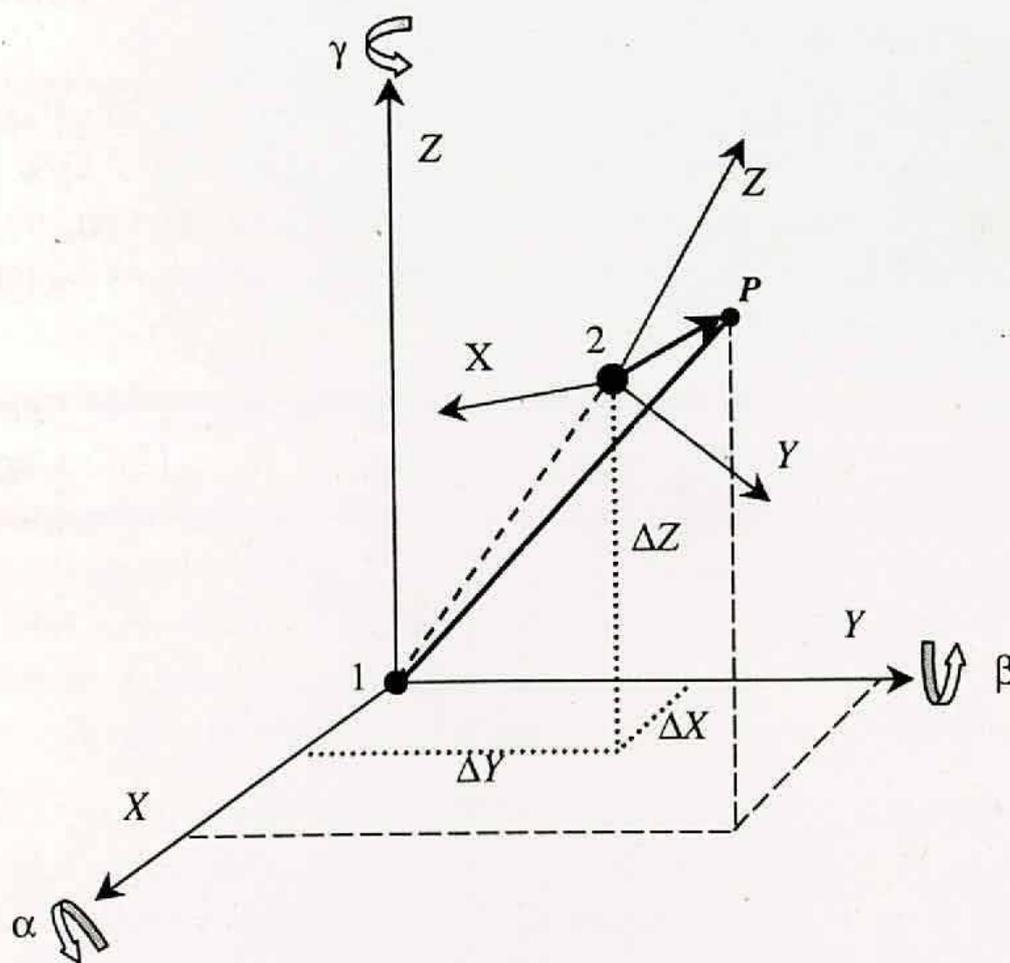


Fig. 2.8 Cambio de datum

2.2.2 Sistemas de Referencia globales

Un sistema de referencia global es definido por un modelo físico-matemático, parámetros y constantes, materializado a través de un conjunto de estaciones que forman el marco de referencia con sus coordenadas y las variaciones de éstas con el tiempo.

- El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) ha definido y mantiene un datum global muy preciso conocido como *IERS Terrestrial Reference Frame* (ITRF), basado en observaciones láser a satélites y a la Luna, Interferometría de Base Muy Larga (VLBI) y GPS. Dicho sistema ha determinado el geocentro con una exactitud del orden de menos de 10 cm, lo que exige el monitoreo continuo del movimiento del polo así como de la variación de la rotación de la Tierra y el control de los desplazamientos de las placas tectónicas.

Esta tarea de seguimiento permanente ha provisto sucesivas soluciones con un grado de refinamiento impensado hasta hace poco menos de dos décadas. Así se han logrado ITRF88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96 (ITRFy en general) con parámetros que difieren en cantidades sumamente pequeñas.

- Otro de estos sistemas mundiales es el llamado *World Geodetic System 1984* (WGS84), definido y mantenido por la Defense Mapping Agency (DMA)⁶ de los Estados Unidos, datum al cual se relaciona toda la información del posicionamiento GPS por ser justamente éste el sistema de referencia de sus mensajes de navegación radiodifundidos. La materialización del mismo es un catálogo de coordenadas de más de 1500 estaciones geodésicas distribuidas por todo el mundo.

WGS84 está determinado por un conjunto de parámetros primarios y secundarios. Los primeros para definir: dimensiones, forma, velocidad angular y masa de la Tierra. Los segundos detallan un modelo gravitatorio terrestre y son necesarios para describir las órbitas satelitales.

⁶ En la actualidad "National Imagery and Mapping Agency" (NIMA).

Capítulo 2 - Sistemas de Referencia

Los valores citados son los del elipsoide GRS80 con una pequeña modificación en el aplastamiento.

Los sistemas de referencia en general son redefinidos periódicamente porque mejoran las técnicas de rastreo o se altera la configuración de la red de estaciones terrestres lo suficiente como para justificar un nuevo cómputo. La DMA ha "pulido" la definición original recalculando en dos ocasiones, 1994 y 1996, las coordenadas de las estaciones de rastreo GPS. En la última oportunidad se determinó el actual sistema de referencia designado como WGS84 (G873) vigente desde el 29 de enero de 1997, el que es consistente con el ITRF94 con aproximación de unos pocos centímetros.

WGS 84 – PRINCIPALES PARÁMETROS	
Semieje mayor	$a = 6378137\text{m}$
Aplastamiento	$f = 1/298,257223563$
Velocidad angular	$\omega = 7,292115 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$
Constante gravitacional (incluida la atmósfera)	$GM = 3986005 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$

2.2.3 Sistemas Regionales y Locales

- *SIRGAS*

En razón de la multiplicidad de sistemas de referencia existentes en los distintos países sudamericanos, con el objetivo de definir un sistema de referencia único para Sudamérica, fijar y mantener una red de referencia y establecer un dato geocéntrico, fue creado el Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur o SIRGAS. Dicha red está integrada por unas 57 estaciones diseminadas por el continente

de las cuales 10 en territorio argentino, 6 de ellas pertenecientes a la red nacional POSGAR y otras 2 vinculadas a la misma. Como SIRGAS es ITRF (ITRF94) permite, justamente, la integración con otras redes continentales en beneficio de la "globalización" de la estructura geodésica.

- SAGA

SAGA o *South American Geodynamyc Activities*, es el nombre de una red GPS a gran escala, sudamericana, que cubre parte de Argentina y Chile con dos sitios en las islas Robinson Crusoe y San Félix, respectivamente, que fueron observados con cerca de otros 100 en el continente durante extensas campañas realizadas en marzo de 1994 y noviembre/diciembre de 1996. La misma fue realizada por el GeoForschungsZentrum (o GFZ) de Potsdam, Alemania, en colaboración con instituciones argentinas y chilenas y sus resultados han sido asimilados al marco ITRF 93.

- POSGAR o *Posiciones Geodésicas Argentinas*

POSGAR94: sistema cercano a WGS84 materializado, a partir de una campaña GPS, en 127 puntos distribuidos a lo largo de la República Argentina (56 comunes con Campo Inchauspe 69), cuyas coordenadas tienen una precisión media estimada de 1ppm.

POSGAR98: Coordenadas de 136 puntos que surgen de un recálculo de las anteriores y su compatibilización con el sistema SIRGAS.

2.2.4 Sistema de Referencia Inercial Convencional

Usado para describir las órbitas satelitales no es rigurosamente inercial porque se toma como origen el centro de la Tierra y ésta se mueve alrededor del Sol con movimiento acelerado. Las Leyes de Newton son válidas si el sistema permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme.

El Sistema Ecuatorial absoluto de coordenadas astronómicas es una buena aproximación y puede usársele para tal fin como quasi-inercial.

Como eje de las x se toma la intersección de los planos del ecuador y la eclíptica, positivo en dirección al equinoccio de otoño o punto γ , z según el eje de rotación, positivo hacia el PN, y el eje y completando con los anteriores una terna directa o dextrógira.

Dado un satélite ubicado a una distancia r del geocentro la abscisa curvilínea es su *Ascensión Recta* ($0 \leq AR \leq 2\pi$), medida en igual sentido que el de la rotación terrestre, y la ordenada correspondiente su *Declinación* ($-\pi/2 \leq \delta \leq \pi/2$), la cual toma valores negativos en el Hemisferio Sur y positivos en el Norte.

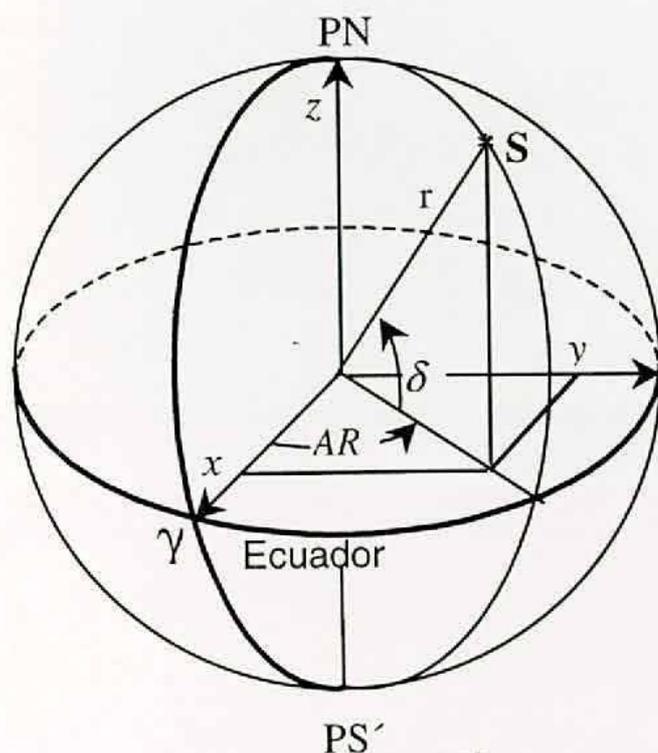


Fig. 2.9 Coordenadas ecuatoriales celestes

Las coordenadas rectangulares del satélite son entonces:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cdot \cos \delta \cdot \cos AR \\ r \cdot \cos \delta \cdot \sin AR \\ r \cdot \sin \delta \end{bmatrix}$$

El ángulo entre los ejes de las abscisas de los sistemas de referencia terrestre e inercial se denomina *Tiempo Sidéreo de Greenwich*

Para establecer una relación entre los sistemas convencionales Terrestre (CTS) e Inercial (CIS) deben tenerse en consideración los cambios que experimenta la orientación del eje terrestre en el espacio debido a los movimientos de precesión, nutación y movimiento del polo así como las variaciones de la velocidad de rotación de la Tierra⁷.

⁷ Un desarrollo más detallado de este ítem puede encontrarse en la obra *Global Positioning System* de B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger and J. Collins, pag. 25 a 35.

CAPÍTULO 3

EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

El GPS es un sistema de posicionamiento que tiene las siguientes características:

- Se trata de uno de los sistemas llamados de "una vía", es decir, la onda electromagnética emitida por el satélite sólo recorre el camino de éste al receptor y sendos relojes miden el tiempo de travesía. Como el usuario no transmite ningún tipo de señal es un observador pasivo, por lo tanto indetectable, particularidad muy importante desde el punto de vista militar.
- Requiere equipo de poco volumen y es de acceso libre para quien desee hacer uso de él en forma gratuita sin ningún tipo de restricciones por parte del organismo administrador.
- A satisfacción del usuario cubre los requerimientos tanto de plataformas estacionarias como móviles con la sola condición de tener contacto con los satélites.
- Está disponible ininterrumpidamente las 24 horas del día para todos los lugares del planeta, en tierra, aire o mar, cualquiera fueren las condiciones meteorológicas, así como en el espacio circundante.
- Provee información de coordenadas tridimensionales de los puntos estación y tiempo, y, en consecuencia, también velocidad cuando el receptor está en movimiento.
- Es posible obtener posiciones con grados de exactitud que oscilan

entre unas decenas de metros a unos pocos milímetros según las circunstancias, tipo de equipo y técnica empleados.

- Permite determinar vectores terrestres de longitudes que oscilan de centímetros a centenas de kilómetros.
- En los trabajos topográficos y geodésicos con GPS no se requiere intervisibilidad entre vértices, ni considerar previamente la magnitud de los ángulos de un polígono o fuerza de la figura.

3.1 Principio del posicionamiento GPS

El funcionamiento del sistema NAVSTAR puede explicarse en forma sencilla.

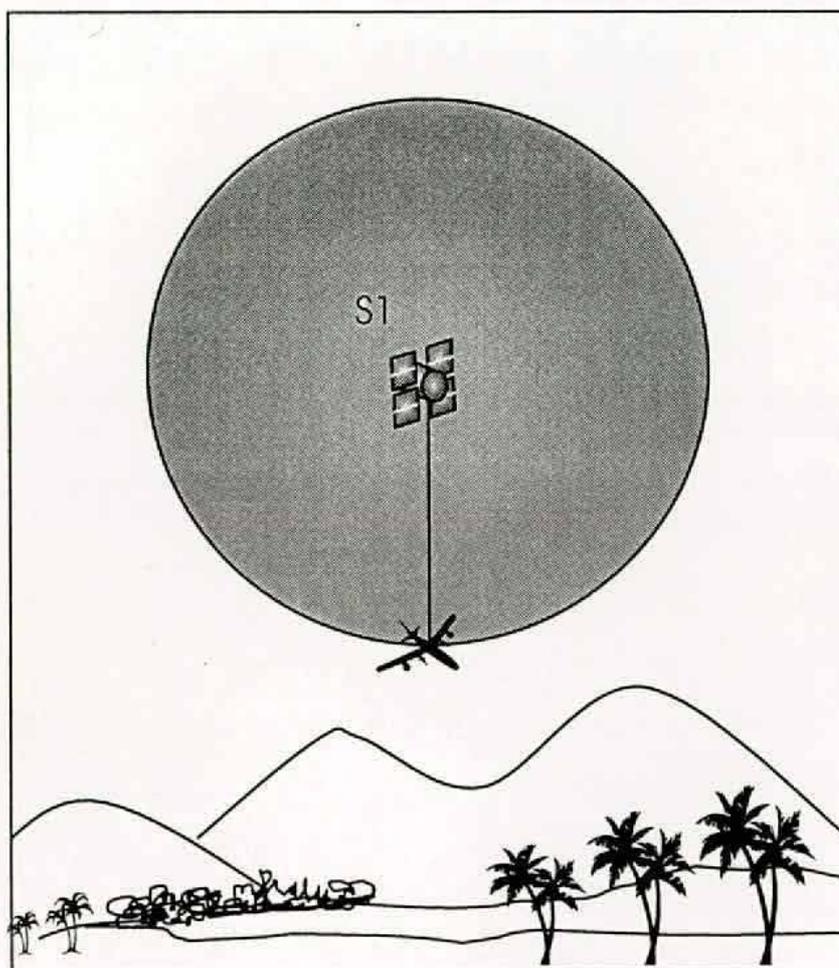


Fig. 3.1a Principio del Posicionamiento GPS

Capítulo 3 - El Sistema de Posicionamiento Global

Supongamos un receptor ubicado en un avión en vuelo, o en punto P del terreno, desde donde se tiene contacto con la constelación de satélites disponible.

- La distancia del avión a un satélite S1 determina una esfera con centro en éste y de radio igual a la distancia entre los mismos. La posición ocupada por el avión es un punto no identificado de la superficie de aquélla.
- La distancia del avión a un segundo satélite S2 indica que aquél se encuentra en algún punto sobre la circunferencia intersección de ambas superficies esféricas.

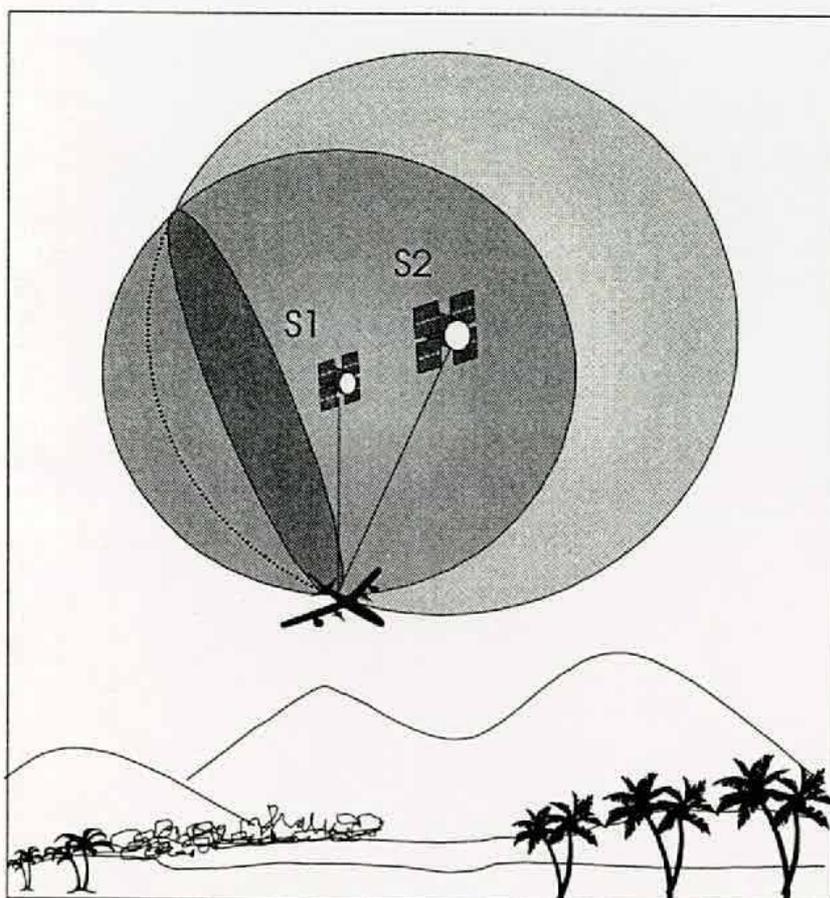


Fig. 3.1b Principio del Posicionamiento GPS

- Al tener en cuenta un tercer satélite se da una superficie esférica que corta al plano de la circunferencia anterior según otra circunferencia.

El avión se halla entonces sobre uno de los puntos de intersección de ambas curvas. Si se consideran los valores de las coordenadas de los mismos, uno de ellos es una solución absurda. Puede discernirse fácilmente cuál es la verdadera cuando se conoce la altitud del aparato por lectura de alguno de sus instrumentos. De ese modo se está en condiciones de descartar una de las posibles soluciones, si no, ello puede hacerse por medio de un cuarto satélite.

A la misma conclusión se llega si se piensa que sólo dos puntos del espacio pertenecen a las tres esferas mencionadas.

Resumiendo, con la obtención de la distancia a cuatro satélites es posible determinar la posición tridimensional de un punto cualquiera.

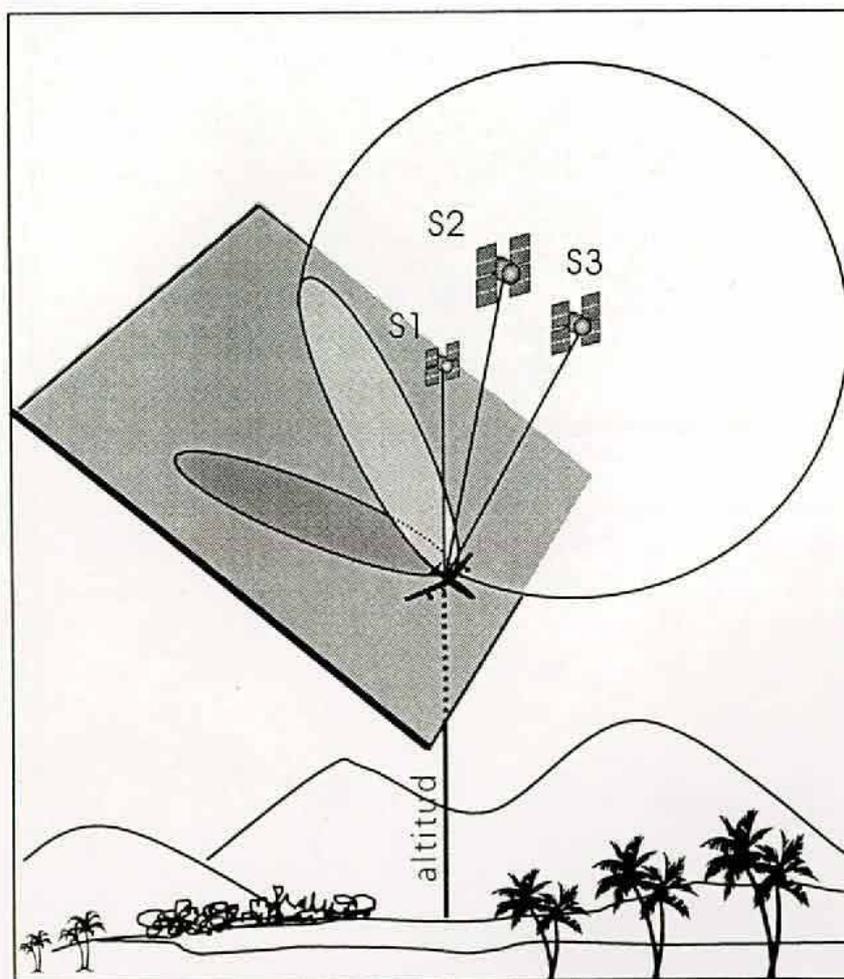


Fig. 3.1c Principio del Posicionamiento GPS

3.2 Componentes del sistema GPS

En el GPS se reconocen básicamente tres partes o segmentos:

1. El segmento espacial, el cual comprende a todos los satélites NAVSTAR que transmiten las señales que hacen operativo al sistema, más el instrumental que éstos llevan a bordo.
2. El segmento de control que agrupa a todas las instalaciones terrenas que se ocupan del rastreo, supervisión, telemetría, cómputo y corrección de las órbitas de los satélites.
3. El segmento del usuario constituido por todos los equipos, software y tecnología utilizados para la recepción de las señales provenientes de los satélites que permiten el posicionamiento y la determinación del tiempo.

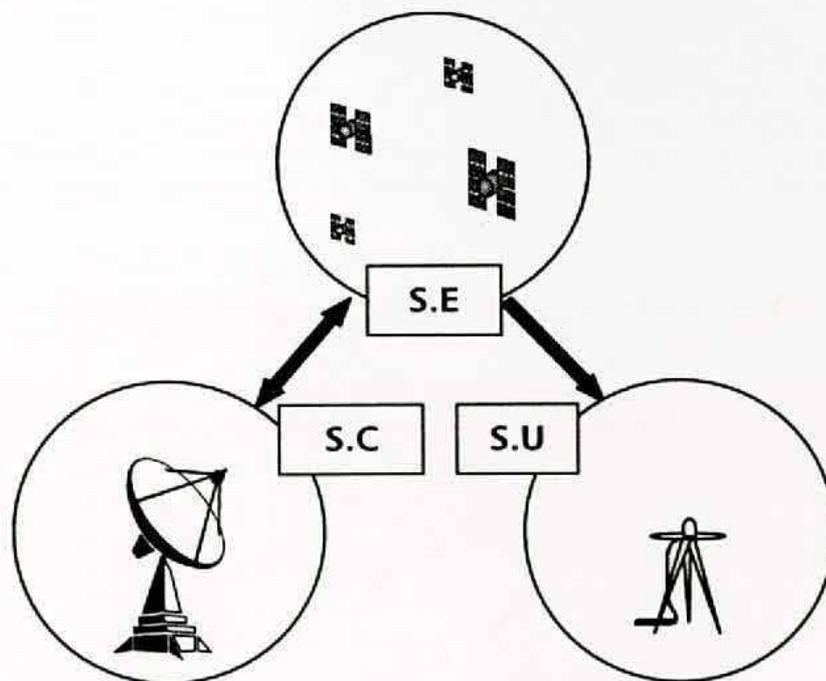


Fig. 3.2 Componentes del Sistema GPS

Los segmentos 1 y 2 interactúan entre sí en tanto el tercero es permanentemente pasivo.

3.2.1 Segmento espacial

Este sector comprende hoy (junio 2000) 28 satélites NAVSTAR operacionales (24 de la constelación básica y 3 de repuesto era lo proyectado) que giran en torno a la Tierra distribuidos en seis planos orbitales equidistantes, inclinados 55° con respecto al ecuador, describiendo órbitas casi circulares (excentricidad 0.01) a una altitud media de 20200km ($r \cong 26.600\text{km}$) con un período de 12 horas sidéreas⁸. Esta última particularidad hace que para un lugar dado la configuración satelital se repita y que cada día la misma se adelante cuatro minutos con respecto al tiempo universal o el local.

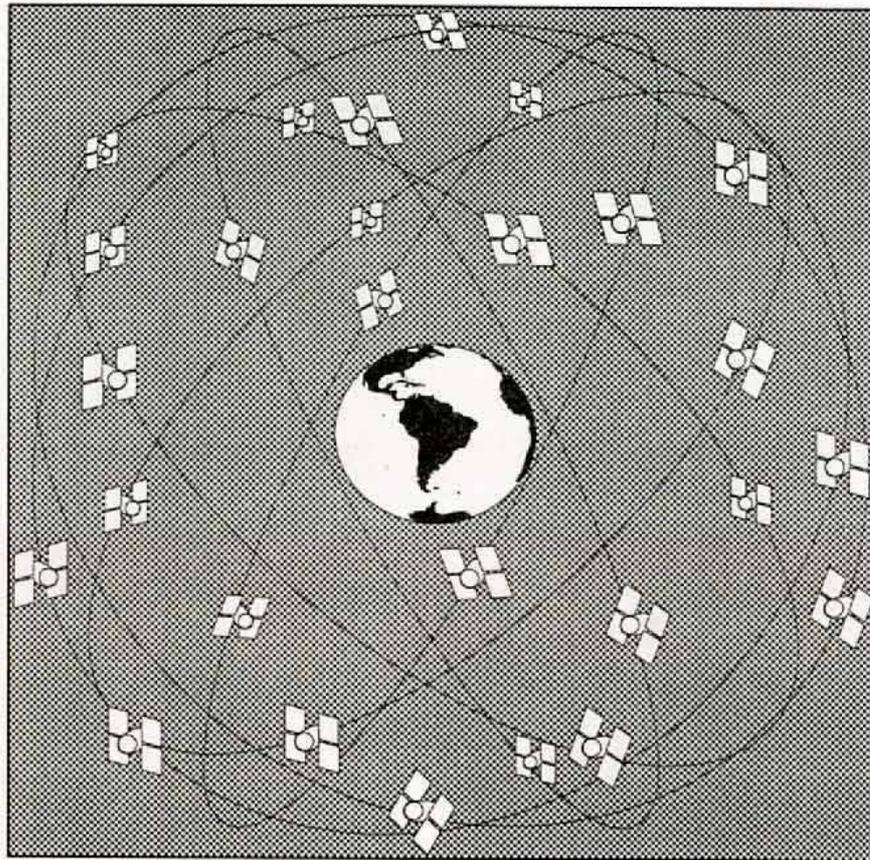


Fig. 3.3 Constelación GPS

⁸ Valor que implica una velocidad tangencial del orden de los 3km/s.

Cada satélite tienen una tendencia a derivar o desviarse de su posición orbital original debido, fundamentalmente, al exceso de masa ecuatorial terrestre; por esta razón, una vez al año, se lo retira de servicio durante unas horas a fin de reubicarlo apropiadamente.

Cuando se introduce algún cambio, corrección o innovación en uno de ellos, o se lo desactiva por encontrarse "enfermo" (unhealth), el sistema lo hace saber a través de un boletín periódico, NANU (*Notice Advisory to NAVSTAR Users*), que alerta a los usuarios de GPS sobre cambios en su performance.

El arreglo geométrico de los "slots" ocupados por los vehículos de la constelación activa (marzo 1999) puede apreciarse en la figura 3.4.

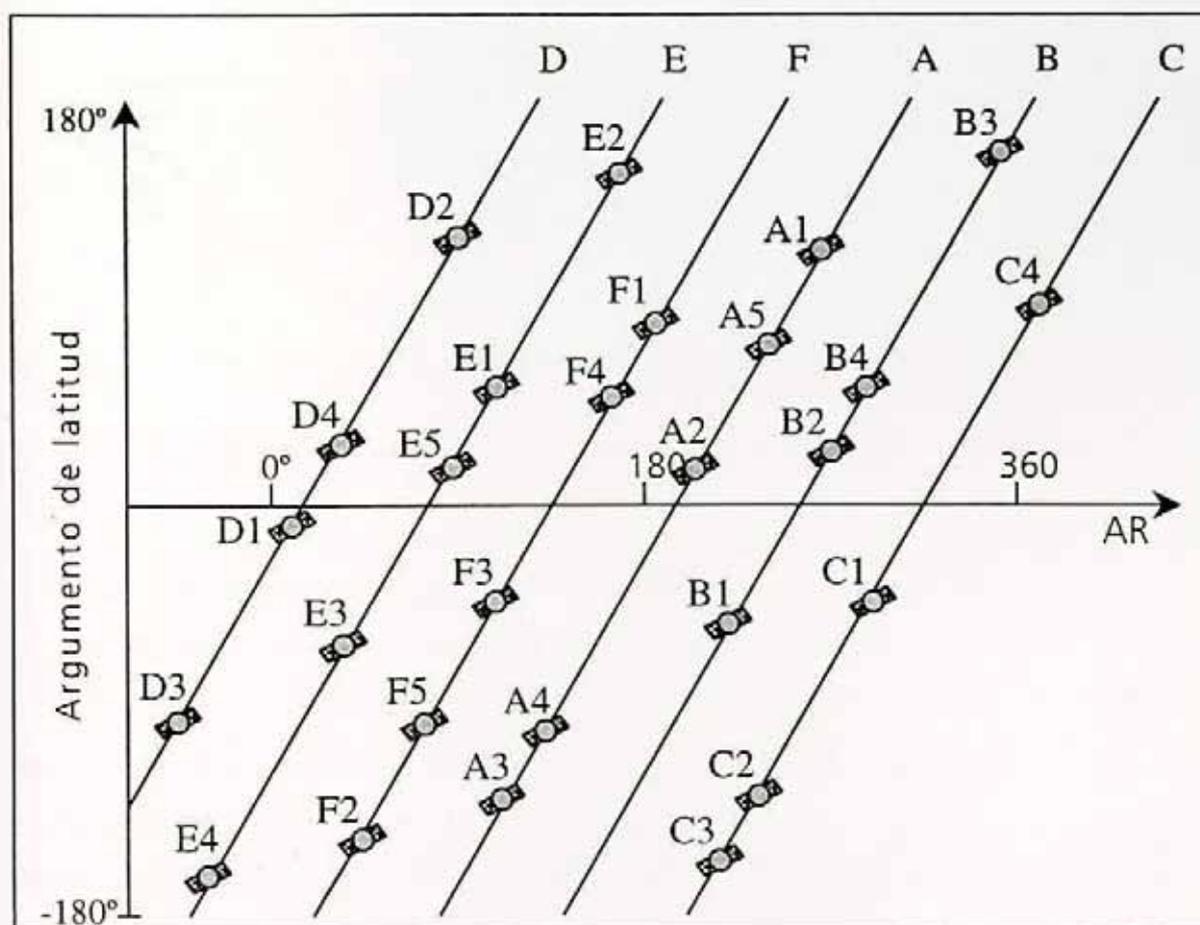


Fig. 3.4 Posiciones en órbita de los satélites GPS

La misma esquematiza, sobre una representación plana, la disposición relativa de los seis planos orbitales, A, B, C, D, E y F según la Ascensión Recta de los respectivos nodos, la inclinación respecto al ecuador y la distribución de satélites sobre cada uno de ellos.

Con este diseño cada satélite permanece sobre el horizonte de un observador terrestre hasta unas 5 horas de cada período, en tanto el número de vehículos "a la vista" varía entre 4 y 10 según la latitud, la fecha y la hora del día.

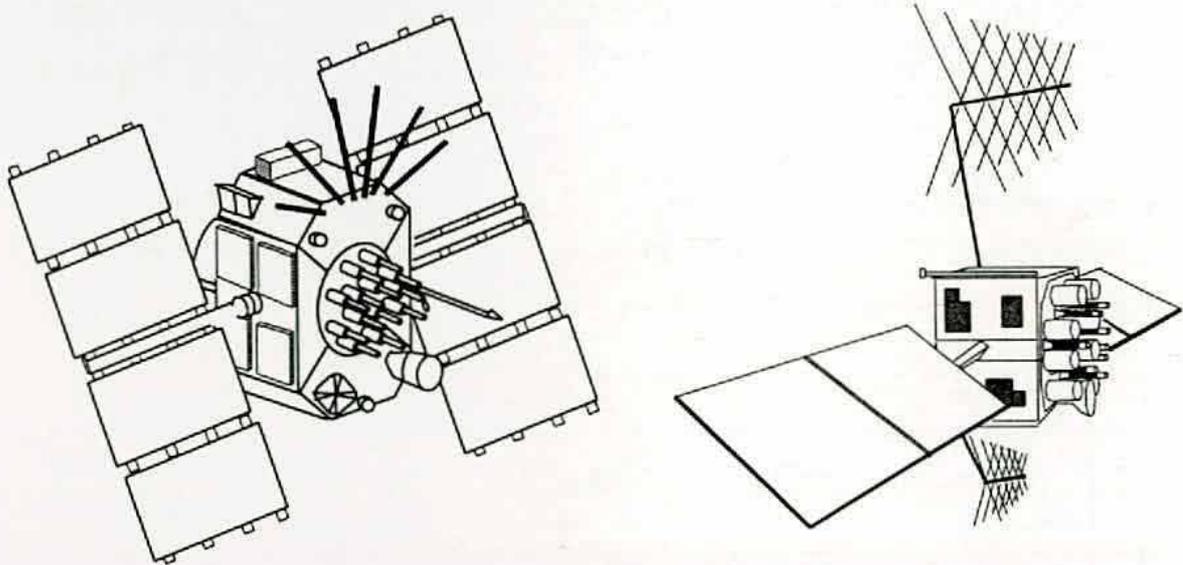


Fig. 3.5 Esquema de los modelos de satélites Blocks IIA y IIR

El peso de cada uno de ellos es cercano a 2 toneladas. Los de la última generación están diseñados para una vida útil superior a 7,8 años y su aspecto externo puede apreciarse en la figura 3.5.

Los paneles solares, generadores, se despliegan ofreciendo en dirección perpendicular al Sol una superficie de unos siete metros cuadrados y llevan a bordo baterías adicionales de níquel-cadmio para la provisión de energía cuando transitan la zona de la sombra de la Tierra.

Capítulo 3 - El Sistema de Posicionamiento Global

Las maniobras orbitales inducidas desde el segmento de control pueden llevarse a cabo por un sistema de micropropulsores.

Cada satélite GPS es básicamente una plataforma portadora de relojes atómicos de cesio y de rubidio, que generan y mantienen una escala de tiempo de altísima precisión, radiotransmisores y computadoras. Individualmente pueden ser identificados de distintas maneras: por la secuencia de lanzamiento o número de vehículo espacial: SVN, posición orbital, etc., pero para evitar confusiones generalmente se los reconoce por el número de código PRN (Pseudo Random Noise⁹) insertado en la respectiva señal, el que denota cuál de los 37 segmentos de código P⁹ está siendo usado por cada satélite.

Existen distintas clases o "generaciones" las que han sido designadas Block I, II, IIA, IIR y IIF según reemplazos progresivos.

Tabla 3.1 Block I de satélites GPS

SVN	Código PRN	Lanzamiento	Alta	Baja
01	04	22-02-78	29-03-78	17-07-85
02	07	13-05-78	14-07-78	16-07-81
03	06	06-10-78	13-11-78	18-05-92
04	08	10-12-78	08-01-79	14-10-89
05	05	09-02-80	27-02-80	28-11-83
06	09	26-04-80	16-05-80	06-03-91
07		18-12-81 (Fallado)		
08	11	14-07-83	10-08-83	04-05-93
09	13	13-06-84	19-07-84	20-06-84
10	12	08-09-84	03-10-84	18-11-95
11	03	09-10-85	30-10-85	13-04-94

⁹ Ver páginas 45 a 47

Los satélites del Block I, involucrados en los lanzamientos del 1 al 11 entre 1978 y 1985, a diferencia de los que les siguieron orbitaban con una inclinación de 63° respecto al ecuador y contenían un reloj atómico de cesio y dos de rubidio. Con excepción del 7^{mo}, que fracasó, cumplieron una buena performance y la última baja se dio en 1995.

El Block II, que comprende los SVN de 13 a 21 y constituye la primera serie completa de satélites operacionales, fue diseñado para que los mismos pudiesen operar hasta dos semanas sin contacto con el segmento de control, en tanto los del Block IIA, del 22 al 40, extendieron este período hasta 180 días, al final de los cuales la degradación de la exactitud en el mensaje de navegación sería evidente por las alteraciones que los parámetros orbitales sufrirían al cabo de ese tiempo. Ambos tipos llevan a bordo cuatro relojes atómicos, dos de cesio y dos de rubidio, y pueden mantener activadas la SA y AS¹⁰.

Los satélites del Block IIR, SVN del 41 al 62, con notables mejoras con respecto a los anteriores, han sido proyectados para trabajar en la primera década del siglo XXI y con la posibilidad de mantener enlaces entre satélites, para estimar y actualizar los parámetros orbitales sin contacto con el segmento de control, en otras palabras, ellos pueden autodeterminar su posición y crear su propio mensaje de navegación. Se estima tendrán una vida útil superior a los 12 años.

Cada vehículo de éstos lleva a bordo tres relojes atómicos, dos de rubidio y uno de cesio, igualmente con la capacidad de SA y AS. La siguiente generación será la del Block IIF, con un diseño modular para incrementar su rendimiento, opción de una nueva señal civil, autonomía extendida, rápida reprogramación orbital y UERE¹¹ igual a 3m.

¹⁰ Ver página 47.

¹¹ El efecto combinado de la inexactitud de las efemérides, errores de reloj y ruido del receptor proyectado sobre la línea satélite-antena es llamado "User Equivalent Range Error" (UERE), el cual expresado en metros da información sobre la bondad de una observación y colabora para estimar el efecto de la S.A si está activada.

Capítulo 3 - El Sistema de Posicionamiento Global

Tabla 3.2: Blocks II/IIA/IIR de Satélites GPS ¹²

Block	SVN	PRN	Lanzamiento	Slot	Alta	Baja
II	14	14	14-02-89		15-04-89	14-04-00
II	13	02	10-06-89	B-3	10-08-89	
II	16	16	18-08-89	E-5	24-10-89	
II	19	19	21-10-89	A-5	23-11-89	
II	17	17	11-12-89	D-3	06-01-90	
II	18	18	24-01-90	F-3	14-02-90	
II	20	20	26-03-90		18-04-90	21-05-96
II	21	21	02-08-90	E-2	22-08-90	
II	15	15	01-10-90	D-5	15-10-90	
IIA	23	23	26-11-90	E-4	10-12-90	
IIA	24	24	04-07-91	D-1	30-08-91	
IIA	25	25	23-02-92	A-2	24-03-92	
IIA	28	28	10-04-92		25-04-92	15-08-97
IIA	26	26	07-07-92	F-2	23-07-92	
IIA	27	27	09-09-92	A-4	30-09-92	
IIA	32	01	22-11-92	F-4	11-12-92	
IIA	29	29	18-12-92	F-1	05-01-93	
IIA	22	22	03-02-93	B-1	04-04-93	
IIA	31	31	30-03-93	C-3	13-04-93	
IIA	37	07	13-05-93	C-4	12-06-93	
IIA	39	09	26-06-93	A-1	20-07-93	
IIA	35	05	30-08-93	B-4	28-09-93	
IIA	34	04	26-10-93	D-4	22-11-93	
IIA	36	06	10-03-94	C-1	28-03-94	
IIA	33	03	28-03-96	C-2	09-04-96	
IIA	40	10	16-07-96	E-3	15-08-96	
IIA	30	30	12-09-96	B-2	01-10-96	
IIA	38	08	06-11-97	A-3	18-12-97	
IIR	42	12	17-01-97		Fallado.	
IIR	43	13	23-07-97	F-5	31-01-98	
IIR	46	11	07-10-99	D-2	03-01-00	
IIR	51	20	11-05-00	E-1	01-06-00	

¹² Estado a la fecha: 20-06-2000

3.2.1.1 El Tiempo GPS

En el sistema GPS el tiempo es mantenido internamente según una escala continua propia denominada *Tiempo GPS*, dado por un reloj compuesto que comprende los relojes de todas las estaciones monitoras en operación y las frecuencias estándares de los satélites. El mismo está referido al Reloj Principal (Master Clock) del Observatorio Naval de los Estados Unidos de Norteamérica (USNO) y adaptado a las fracciones del Tiempo Universal Coordinado¹³ con un grado de coincidencia básica del orden de algunas centenas de nanosegundos.

Los monitores del USNO utilizan los dos niveles de servicio que brinda el sistema GPS: *Standard Position Service* (SPS) y *Precise Position Service* (PPS). El SPS ofrece sin cargo directo posicionamiento y tiempo a los usuarios civiles en general, en tanto el PPS, que permite un grado de exactitud cinco veces mayor, es de uso prácticamente exclusivo de las fuerzas armadas.

La época 0 del TGPS se fijó coincidente con la 0h de TU del 6 de enero de 1980 y las correspondientes fracciones en uso son semanas y segundos. Las primeras se numeran según módulo 1024 (de 0 a 1023), El 21 de agosto de 1999 a las 24 h de TU se completó el primer ciclo, volviendo la cuenta a 0 (GPS Week Roll Over) circunstancia que requirió la actualización de gran parte del equipamiento y software GPS existentes.

Dado que el tiempo GPS no incorpora correcciones por las irregularidades de la rotación de la Tierra su escala difiere de la del Tiempo Universal Coordinado (TUC) en un número entero de segundos, información que está contenida en forma de constantes en el mensaje de navegación que envían los satélites. Dicho valor va cambiando con el tiempo y generalmente varía en forma creciente.

¹³ El Tiempo Universal Coordinado (TUC) es una escala de tiempo uniforme basada en el Tiempo Atómico Internacional (TAI), a la cual se le insertan segundos enteros (*leap seconds*) para mantenerlo sincronizado con la rotación terrestre.

$$\text{TUC} - \text{TGPS} = n \text{ segundos}^{14}$$

3.2.1.2 La Señal GPS

Todos los satélites GPS transmiten una señal electromagnética estructurada sobre la frecuencia fundamental de 10,23 MHz originada en relojes atómicos muy estables instalados a bordo.

Básicamente la misma comprende:

- Dos ondas portadoras múltiplos de la frecuencia base.
- Dos códigos de medición de distancias modulados sobre las anteriores.
- Un mensaje de navegación

Las frecuencias de las ondas portadoras resultan de multiplicar la frecuencia fundamental por 154 y 120, con lo que se obtienen dos productos de la banda L del espectro electromagnético, L1 y L2, tales que, llamando c a la velocidad de la luz¹⁵:

$$f_{L1} = f_f * 154 = 1575,42 \text{ MHz} \Rightarrow \lambda_1 = c / f_{L1} = 19 \text{ cm}$$

$$f_{L2} = f_f * 120 = 1227,60 \text{ MHz} \Rightarrow \lambda_2 = c / f_{L2} = 24 \text{ cm}$$

En estas frecuencias las señales son muy fáciles de bloquear y reflejar, por eso se impone trabajar con cielo desprovisto de obstáculos como podría ser follaje, construcciones, etc. y prudentemente alejado de superficies reflectoras, techos, superficies metálicas, espejos de agua, etc.

Las portadoras se modulan con los códigos y el mensaje de manera tal que L1 lleva dos códigos, uno para uso civil, C/A, el otro para

¹⁴ A la fecha 01-01-99 $n = 13$ segundos

¹⁵ $c =$ velocidad de la luz en el vacío = 299.792.458 m/s

aplicaciones militares y usuarios autorizados, P, mientras que L2 sólo este último.

Dichos códigos consisten en secuencias de dígitos binarios (0 y 1) propias de cada satélite que se traducen en un ruido electrónico con apariencia azarosa. Por eso se lo llama *Pseudo Random Noise* o *PRN*. Su función es permitir determinar el tiempo invertido por la señal en recorrer la distancia¹⁶ entre el satélite y el receptor:

$$\text{distancia} = \text{velocidad} * \text{tiempo}.$$

El receptor establece el retraso, por comparación del código que trae la señal con una réplica idéntica generada por él mismo. El desplazamiento relativo de los dos indica el tiempo de travesía de la onda y es medida por el instrumento provocando internamente la sincronización de ambos.

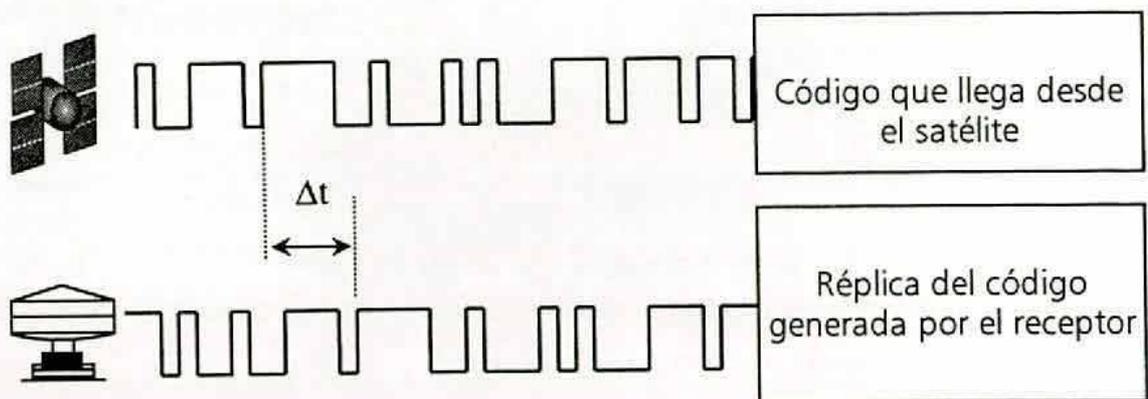


Fig. 3.6 Comparación de códigos

El primer código conocido como "*coarse acquisition*", *C/A*, se transmite a una frecuencia igual a un décimo de la fundamental, 1,023 MHz, tiene por lo tanto una longitud de onda de unos 300m y completa una secuencia cada milisegundo.

¹⁶ En razón de la falta de sincronización entre los relojes del receptor y el satélite se la llama "*pseudodistancia*".

El "código P" difundido a una frecuencia de 10,23 MHz, $\lambda \approx 29\text{m}$, tiene una estructura mucho más compleja y se repite cada 266,4 días. Semanalmente se le adjudica a cada satélite una porción o segmento del mismo reiniciándose los sábados a medianoche.

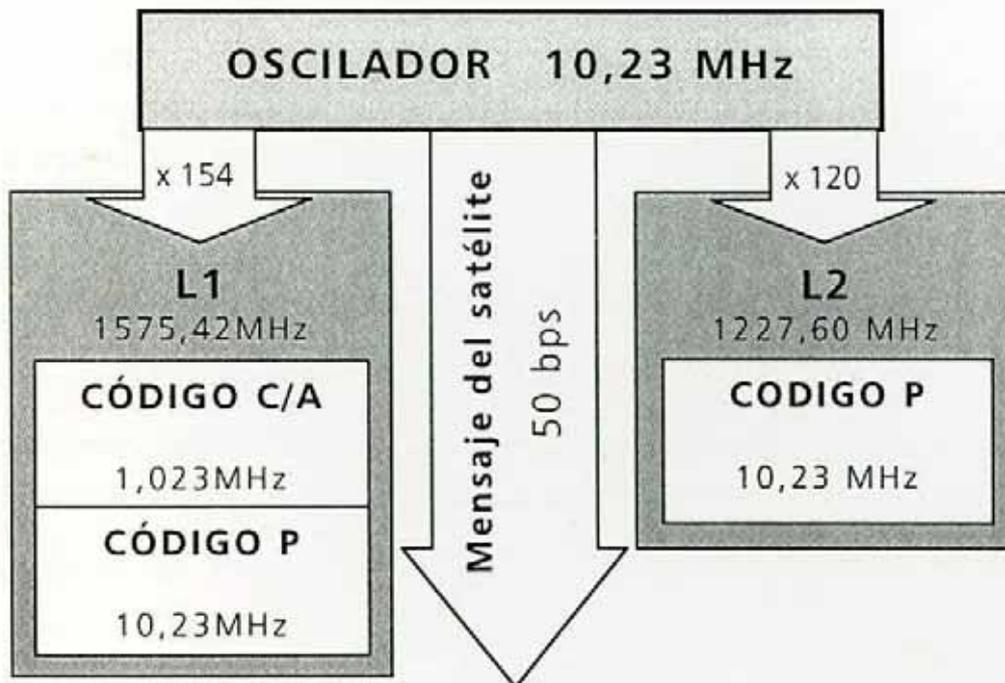


Fig. 3.7 Estructura de la señal GPS

La capacidad del Sistema GPS para lograr posiciones con muy buen grado de exactitud llevó al Departamento de Defensa de los Estados Unidos a limitar, por razones tácticas, esta posibilidad activando dos reducciones conocidas como SA y AS las cuales introducen errores en las pseudodistancias medidas.

- La SA (Selective Availability) o Disponibilidad Selectiva consiste en un proceso de manipulación intencional de la señal del satélite, cuyos principales mecanismos son: la desestabilización sistemática del reloj (llamada técnica δ) y/o un error introducido en sus datos o efemérides (técnica ϵ). Hasta el 1 de mayo de 2000, fecha en la cual la Presidencia

de los E.U de N.A la suprimió por decreto, en los últimos años la mayoría de los satélites la mantuvieron activada permanentemente aunque, según un documento de la Casa Blanca del 29 de marzo de 1996, existía desde entonces la intención de reducir los períodos de activación gradualmente hasta anularla recién para el año 2006.

- El AS (Anti-Spoofing), o Anti-Engaño en nuestro idioma, es un problema distinto. La finalidad es que los receptores no caigan en la trampa de tomar como auténticas señales falsas emitidas por el enemigo. Para ese fin proceden a encriptar el código P a través de un nuevo código secreto, W, generando en total un llamado *código Y*, protegido, al cual pueden acceder sobre ambas portadoras sólo los usuarios autorizados a través de una clave otorgada por el DoD.

En cuanto al mensaje de navegación, es transmitido tanto en L1 como en L2 y se accede a él decodificando la señal. El mismo contiene:

- Las efemérides del satélite referenciadas al sistema de coordenadas WGS 84.
- Los coeficientes del modelo de corrección del reloj del satélite.
- Información sobre el estado o "salud" de cada vehículo GPS.
- El modelo ionosférico¹⁷ del sistema.
- El Almanaque, que es un conjunto de valores aproximados de los parámetros orbitales de cada uno de los vehículos GPS a fin de determinar sus posiciones con respecto al observador en un tiempo dado, es decir, para poder efectuar la previsión de visibilidad y programar mediciones.

Toda esta información es cargada en los respectivos satélites por el Segmento de Control y difundida hacia el usuario en forma binaria, pero no en secuencia aleatoria, con una longitud de 1500 bits.

¹⁷ La ionosfera es el estrato de la atmósfera ubicado aproximadamente entre los 50 y los 1000 km, caracterizado por la presencia de átomos con carga eléctrica en cantidad suficiente como para afectar la trayectoria de las ondas de radio que la atraviesan.

3.2.2 Segmento de Control

El sector de control tiene por función el rastreo y monitoreo de los satélites, la telemetría, comando y control del sistema, cálculo de efemérides y actualización. El mismo está constituido por:

- Una estación maestra sita en Colorado, en la Base Aérea Falcon de los Estados Unidos, a cargo de calcular las efemérides y correcciones de reloj a inyectar en los satélites. En ellas se inician las operaciones tales como maniobra de los satélites, encriptación de la señal, etc.

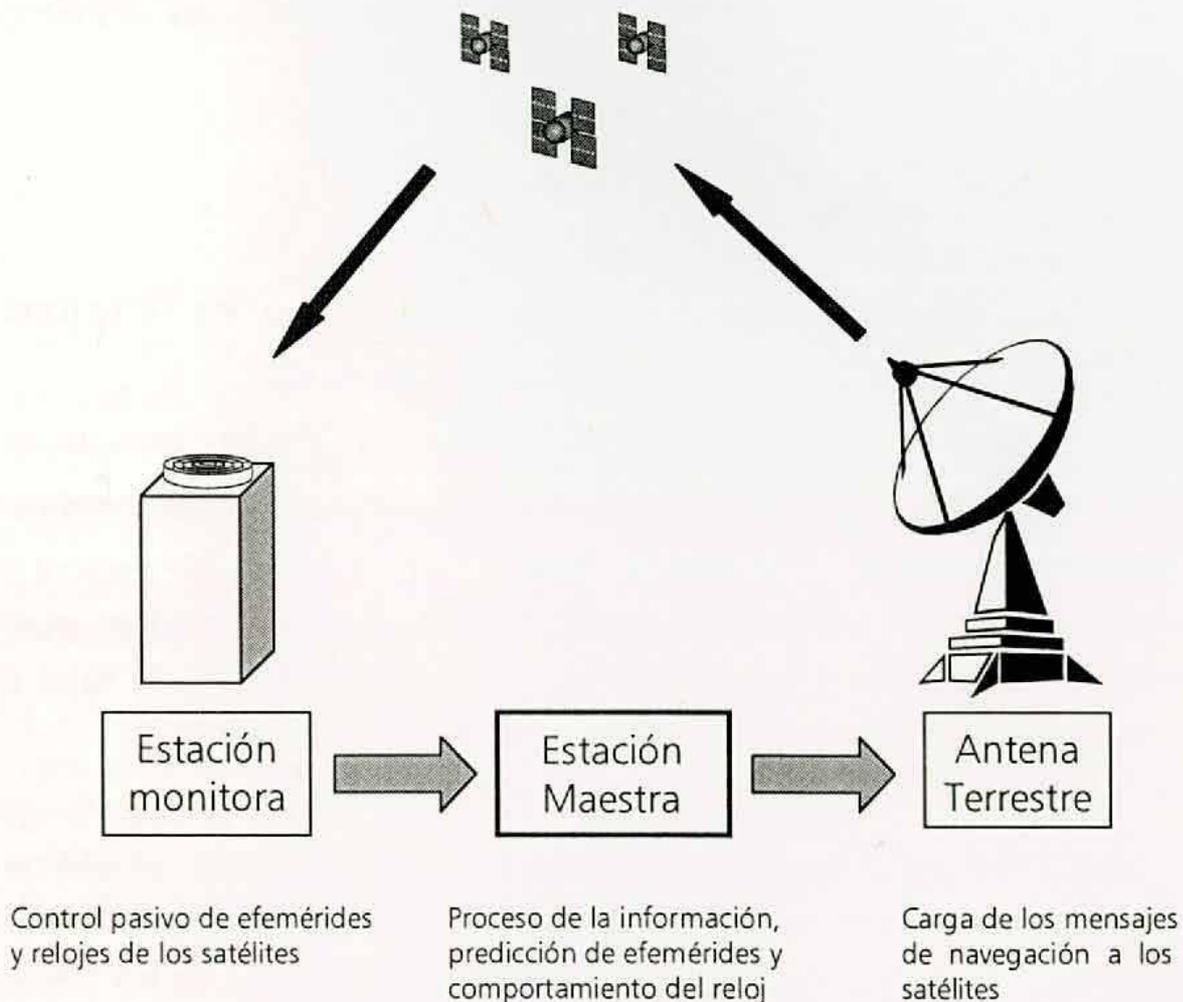


Fig. 3.8 Proceso de la determinación de las efemérides

- Tres estaciones de carga ubicadas en la Isla Diego García del Océano Índico, Isla Ascensión, en el Atlántico y Kwajalein, en el Pacífico, que transmiten datos (1783,74 MHz) y reciben las señales que les envían los satélites (2227,5 MHz). Los mensajes de navegación podrían ser inyectados cada ocho horas, de ser necesario.
- Cinco estaciones monitoras, Colorado Spring, Hawaii, Isla Ascensión, Diego García y Kwajalein, que controlan permanentemente el estado y posición de los satélites reuniendo los datos obtenidos en la estación maestra.
- Una red integrada de estaciones de rastreo de los satélites GPS diseminadas por todo el globo a fin de controlar los relojes atómicos de los mismos.

3.2.3 Segmento del usuario

El núcleo del segmento del usuario comprende a los receptores GPS de todo tipo.

El Receptor GPS es la pieza del hardware cuya misión consiste en captar las señales emitidas por los satélites.

Según el destino y fabricante, cada equipo de éstos puede presentar diferencias notables con respecto a otros de igual designación, pero genéricamente todos poseen las mismas componentes básicas, total o parcialmente integradas a él. Entre ellas puede citarse:

1. Antena y preamplificador: constituyen el dispositivo encargado de captar la débil señal de radio proveniente del satélite, filtrar, amplificar y convertir dicha energía en corriente eléctrica. Omnidireccional, casi siempre está incorporada al receptor, él que, en la mayoría de los casos, puede trabajar del mismo modo con una antena externa, ya sea montada sobre un trípode, una construcción o un vehículo.

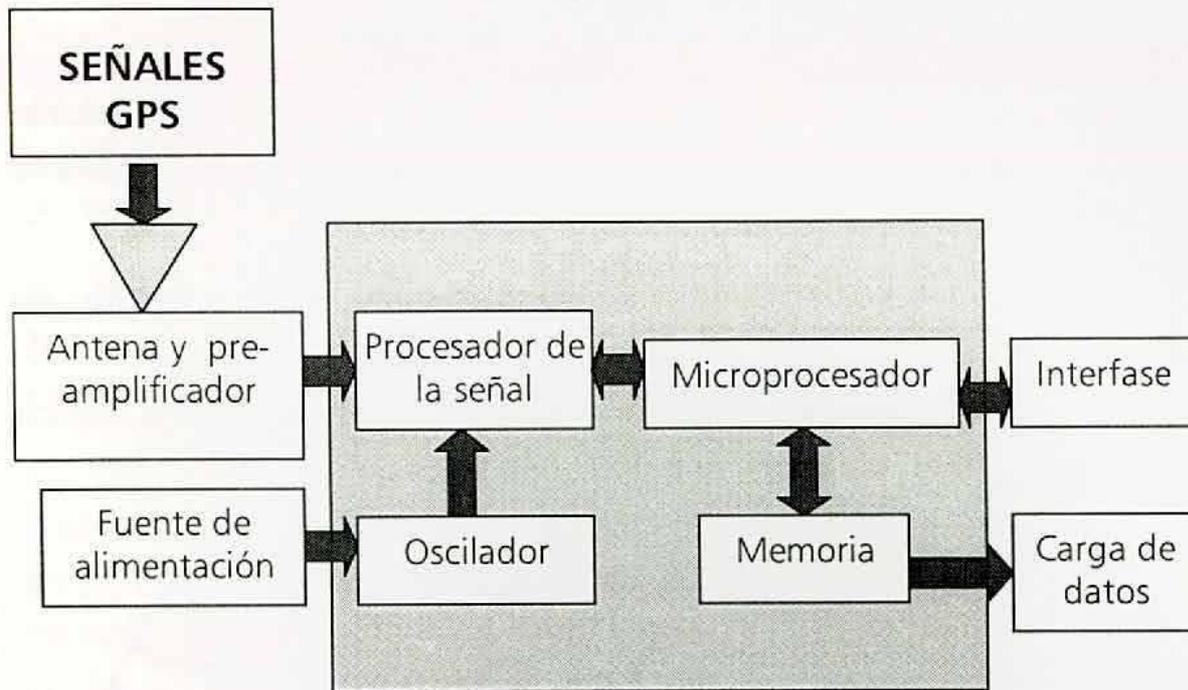


Fig. 3.9 Componentes básicos de un receptor GPS

Cualquiera sea el caso, la posición que se determina es la del centro electrónico o centro de fase de la misma, detalle que debe ser tenido en cuenta obligadamente cuando se realizan determinaciones de tipo topográfico o geodésico, pues éste debe estar relacionado en forma apropiada al punto, mojón o marca a posicionar.

En lo que hace a su diseño hay configuraciones básicas como las ilustradas en la fig. 3.10. Ellas son:

- a. *Monopolo / dipolo*, de construcción simple y con un centro de fase muy estable requiere de un plano base o plato. Según uno u otro caso usada en equipos monofrecuencia o bifrecuencia.
- b. *Hélice cuadrifilar o voluta*, para frecuencia simple, no necesita plato y no es acimutalmente simétrica.
- c. *Microstrip o patch*, es la variante más común. De construcción sencilla y fuerte se usa para frecuencias simples o dobles. Su calidad de aplastada

o aplanada la hace ideal para usar en aeronaves.

d. *Hélice espiral*, usada fundamentalmente para operaciones de doble frecuencia, posee un perfil alto y, como las volutas, requiere cuidadosa orientación en el terreno por su asimetría acimutal.

e. *Choke ring o Planar ring*, anillo obstructivo o anillo aplanado en español, formado por fajas conductoras concéntricas con el eje vertical de la antena y conectadas a un plato. Es un diseño destinado a reducir el fenómeno de multipath o multicamino¹⁸.

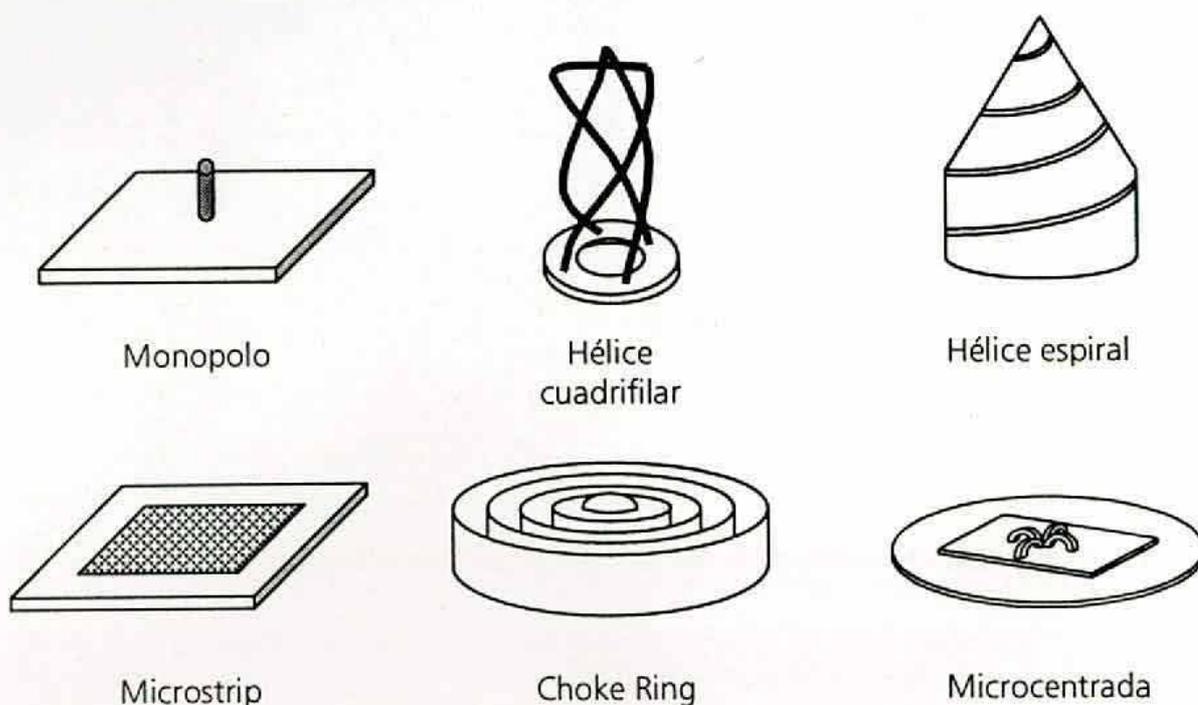


Fig. 3.10 Tipos de antenas de receptores GPS

f. *Microcentrada*¹⁹, antena de alta precisión y última generación, L_1/L_2 , totalmente simétrica y con plato impeditivo de multipath.

¹⁸ Ver página 71.

¹⁹ De Trimble.

2. Sección de Radio-Frecuencia: es la parte del hardware responsable de identificar las señales, extraerles el código y derivarlas a uno o varios canales²⁰ para su seguimiento. Considerando este último aspecto pueden darse los siguientes casos:

a. *Receptor secuencial*: posee un canal que regular y ordenadamente toma distintos satélites por un breve intervalo de tiempo, a ritmo asincrónico con el mensaje, extrayendo la información que porta la respectiva señal.

b. *Receptor multiplexador*: este modelo dispone también de uno o pocos canales, cada uno de los cuales contacta secuencialmente, pero a muy alta velocidad, y en algunos casos ambas frecuencias, un grupo de satélites de manera que completa un rastreo sobre cuatro de ellos en 20 ms. Dada esta característica, necesita un microprocesador de mayor potencia que en el caso anterior, en consecuencia su precio es superior.

c. *Receptor multicanal, continuo o de canales paralelos*: dispone de 4, 6, 8 hasta 12 canales a cada uno de los cuales se le asigna un satélite en particular, duplicados en el caso de los receptores que toman ambas frecuencias. Así se miden los retardos simultáneamente resultando más rápidos y precisos. La mayor parte de la tecnología actual de los receptores GPS topográficos y geodésicos se ajusta a este modelo.

3. Oscilador de precisión: es el dispositivo encargado de generar la frecuencia de referencia en el receptor. En general se trata de un reloj de cuarzo de muy buena calidad, aunque menos preciso, por razones de precio, que los transportados a bordo de los satélites.

4. Unidad de control o interfase: es el elemento que permite al operador interactuar con el receptor, es decir, seguir y controlar a través del teclado y la pantalla las operaciones que el instrumento realiza.

²⁰ "Se define un canal de recepción GPS como el conjunto de elementos físicos y lógicos necesarios para el seguimiento de un VS y la recepción de una de las frecuencias portadoras". J.L. Caturla Sánchez de Neira, IGN, Madrid, 1988.

5. Unidad de memoria o almacenaje de datos: existen diversos medios para tal fin, internos, externos y suplementarios opcionales como las tarjetas, los cuales con el transcurso del tiempo se han ido perfeccionando y, consecuentemente, incrementando su capacidad paralelamente al desarrollo de la evolución tecnológica.

6. Fuente de alimentación: ésta puede ser interna o externa. Los receptores de última generación son de bajo consumo y flexibles en lo que hace al dispositivo proveedor de energía. Para el caso de receptores estacionarios instalados en estaciones permanentes generalmente se usa energía de red.

En lo que respecta al tipo de datos que un receptor puede elaborar se dan los siguientes casos:

- Código C/A únicamente.
- Código C/A + Fase de la portadora L1.
- Código C/A + Fase de la portadora L1 + Fase de la portadora L2.
- Código C/A + Código P + Fase de la portadora L1, L2.
- Fase de la portadora L1
- Fase de la portadora L1, L2

CAPÍTULO 4

ADQUISICIÓN DE DATOS GPS

4.1 Tipos de posicionamiento

4.1.1 Posicionamiento autónomo vs. posicionamiento relativo

En el posicionamiento autónomo o puntual se procede a determinar con un solo receptor las coordenadas desconocidas de un punto, contactando en forma simultánea un grupo mínimo de cuatro satélites.

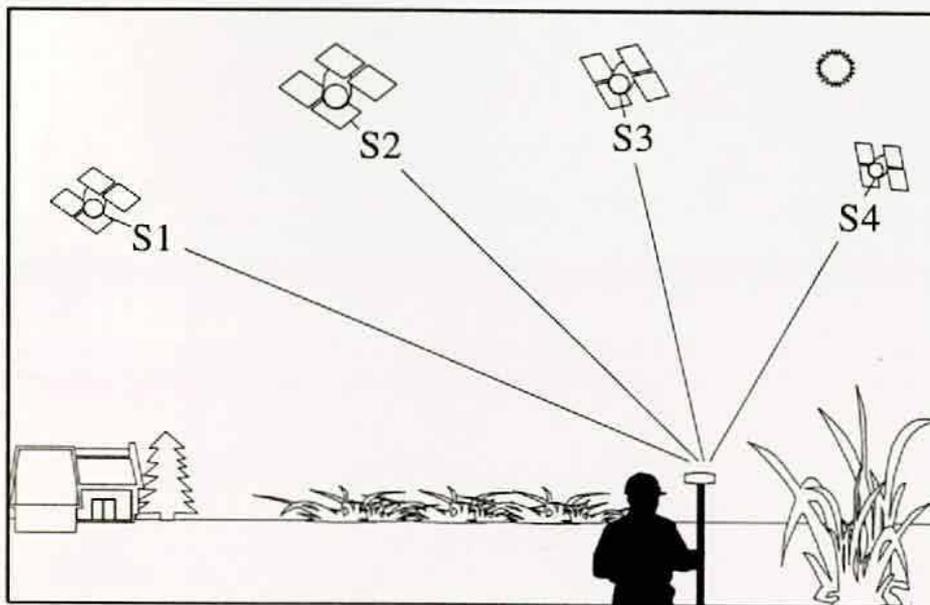


Fig. 4.1 Posicionamiento autónomo o puntual

El resultado de la operación es muy poco preciso y de escasa aplicación en Agrimensura. Sí puede considerárselo como un recurso válido en tareas de búsqueda de mojones, señales, puntos u objetos difíciles de

localizar, cuando se conocen sus coordenadas y teniendo presente que la precisión es del orden de unas decenas de metros.

En el caso del posicionamiento relativo de puntos se requiere al menos dos receptores uno de los cuales ocupa inmóvil una estación principal, base o punto de control de coordenadas conocidas, a partir de las cuales se obtienen las del punto incógnita operando desde ambos simultáneamente y sobre los mismos satélites.

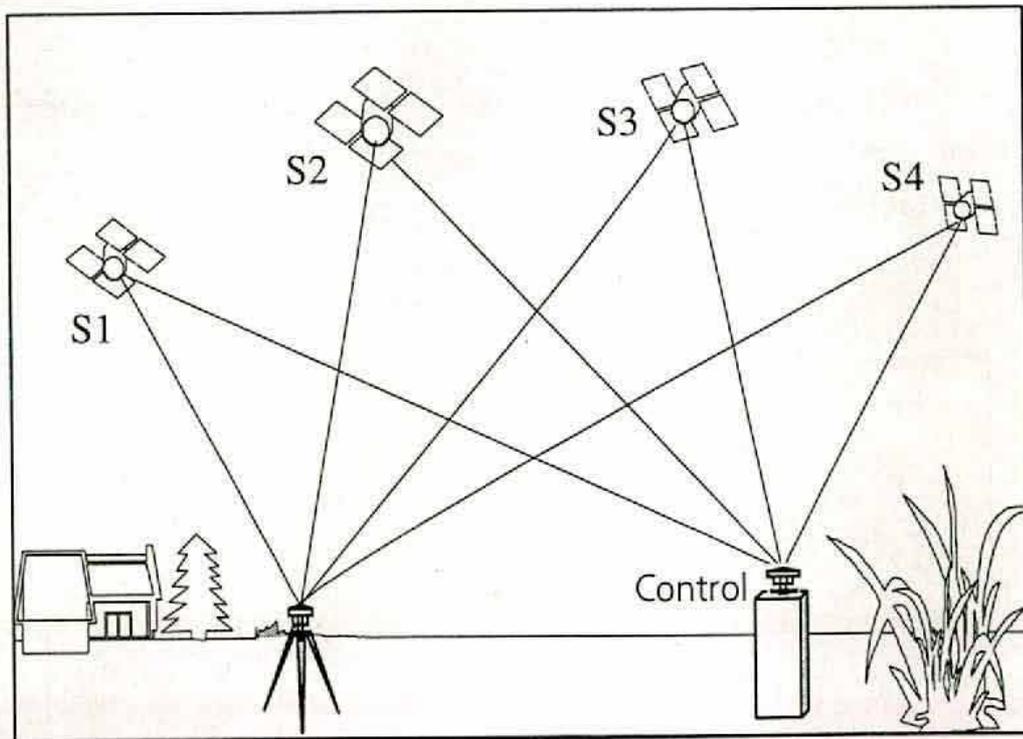


Fig. 4.2 Posicionamiento relativo estático

Una variante interesante que implica ahorro de tiempo y mayor cubrimiento de líneas base reales, aunque demanda mayor inversión económica, o gastos de alquiler y personal, es el posicionamiento relativo con varios receptores remotos (dos o más) desplegados en el campo según un diseño determinado, los que operan con un punto de control común.

4.1.2 Posicionamiento estático vs. posicionamiento cinemático

Cuando se realiza posicionamiento estático el receptor ubicado sobre el punto en cuestión, permanece estable durante el período de toma de datos. La variante estático relativo es la más confiable para un buen grado de exactitud y es la modalidad exclusiva de aplicación en trabajos de redes geodésicas extensas.

En el posicionamiento cinemático, modo autónomo, el aparato se mueve sobre cierta trayectoria colectando datos. En el modo relativo el principal está fijo mientras el remoto se desplaza.

En los últimos tiempos se ha incrementado notablemente la capacidad de los equipos usados en Agrimensura para desarrollar técnicas cinemáticas relativas, las cuales involucran considerables ahorros de tiempo, buenos niveles de exactitud y, consecuentemente, alto grado de rendimiento efectivo.

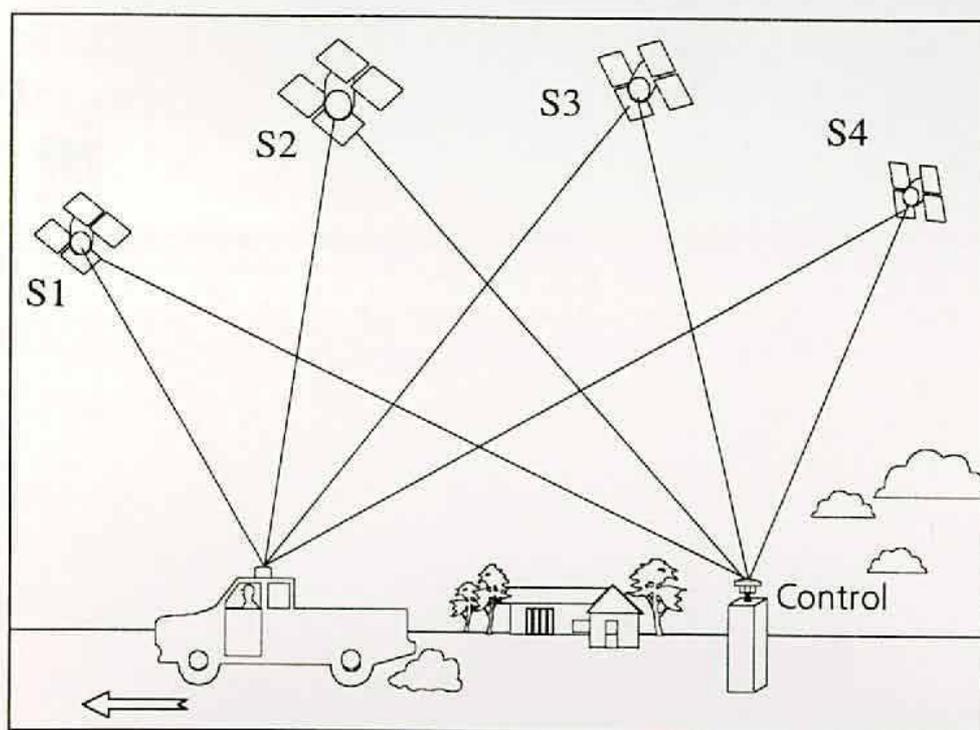


Fig. 4.3 Posicionamiento cinemático relativo

4.1.3 Tiempo real diferenciado vs. post-proceso o diferido

Corrientemente el modo de hallar la posición de un punto por posicionamiento relativo es desarrollar primero una fase de colecta de datos y posteriormente destinar otra a elaborar los mismos.

Una alternativa para medir, trabajando siempre en modo relativo, es el posicionamiento en tiempo real el cual brinda las coordenadas de la estación ocupada por el remoto en forma prácticamente instantánea. Para ello se requiere enlace de radio (*data link*) entre el punto de control y el rover para transmitir las correcciones que surgen de la observación en el primero con respecto a las coordenadas fijas. El receptor remoto usa entonces, automáticamente, la información recibida para calcular sus coordenadas en el terreno.

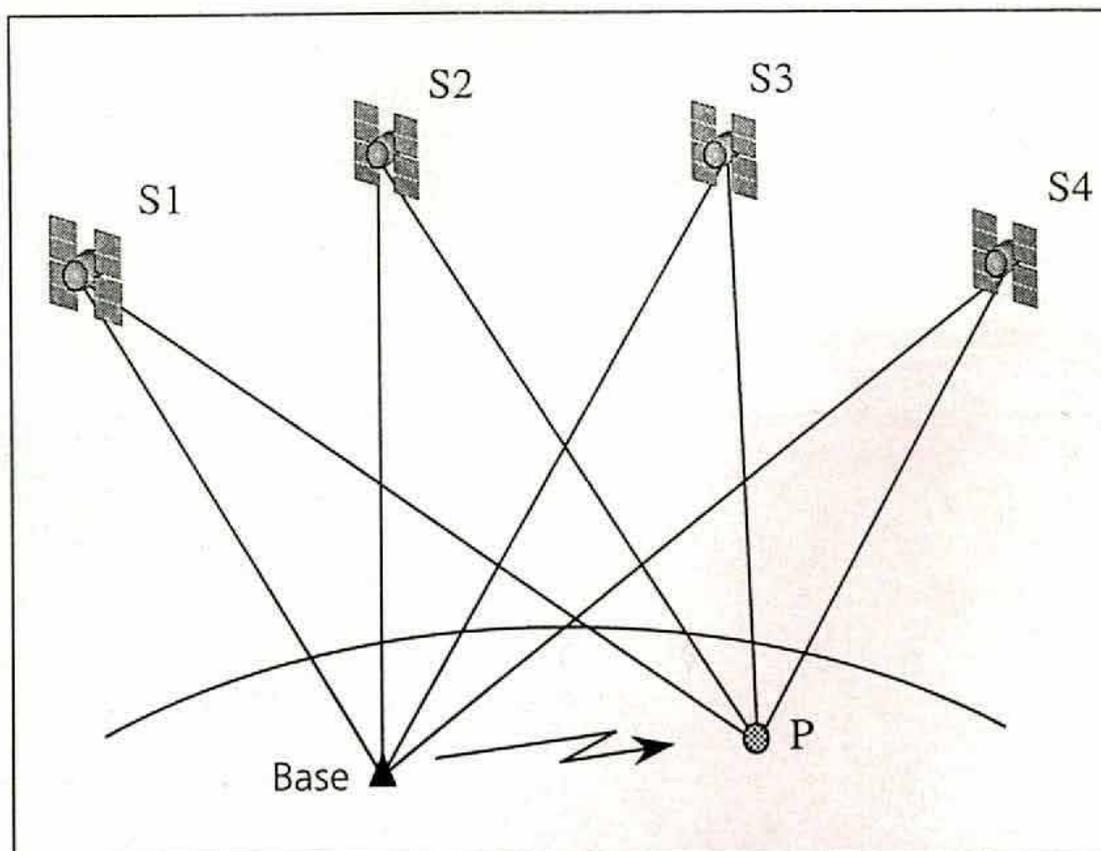


Fig. 4.4 Posicionamiento diferencial en tiempo real

El fundamento de esta técnica es el llamado posicionamiento diferencial o DGPS para observaciones de código (RTK en las de fase), descrito en la figura 4.4 y su mayor limitación, hasta ahora, reside en el alcance de los radioenlaces y la variación de la corrección ionosférica con la distancia.

Analíticamente las siguientes relaciones justifican el procedimiento teniendo presente que (X_B, Y_B, Z_B) son las coordenadas fijas del punto Base.

$$\begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_B - X_B^{inst} \\ Y_B - Y_B^{inst} \\ Z_B - Z_B^{inst} \end{vmatrix} \Rightarrow \begin{vmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_P^{inst} + \Delta X \\ Y_P^{inst} + \Delta Y \\ Z_P^{inst} + \Delta Z \end{vmatrix}$$

En tareas topográficas y geodésicas el tipo más frecuente de resultados surge de un proceso posterior al levantamiento de datos en campaña o post-proceso. Durante el mismo todos los datos se combinan convenientemente a fin de obtener la mejor solución posible, generalmente, mediante un software apropiado que utiliza un algoritmo fundado en el método de los cuadrados mínimos.

4.2 Fuentes de errores en las medidas GPS

Los errores que afectan a las medidas con GPS se originan en diversas fuentes, las cuales pueden agruparse en tres sectores bien diferenciados: los satélites, la propagación de la señal y los receptores.

En general toda desviación del valor correcto del resultado de una medida es una combinación de errores sistemáticos y aleatorios o accidentales. En tanto los primeros deben ser modelados a fin de incluir los términos correctivos en las ecuaciones de observación, los segundos,

impredecibles en magnitud y signo, definen el «ruido» de la observación y tienden a cancelarse al crecer el número de determinaciones.

Las medidas individuales afectadas de errores groseros o equivocaciones merecen una sola consideración: identificarlas y eliminarlas del procesamiento de datos. Ninguna razón es válida para mantenerlas dentro de él. Sus efectos sobre el conjunto son imposibles de prever pudiendo provocar desviaciones sumamente abultadas o disparates en los resultados.

4.2.1 Errores sistemáticos

4.2.1.1 Dependientes del satélite

- Inexactitud de las Efemérides

El error de Efemérides es la diferencia que existe entre la verdadera posición del satélite y el dato que se tiene de la misma.

El problema de la órbita de un satélite es una aplicación directa de las tres Leyes de Kepler, pero éstas no consideran a las fuerzas perturbadoras que actúan sobre los satélites.

Entre las últimas se encuentran: el efecto del exceso de masa ecuatorial terrestre, las atracciones de la Luna y del Sol, fuerzas de marea, la presión de radiación solar y el frenado atmosférico. También está presente, aunque en menor orden, un efecto relativístico causado por el campo gravitatorio terrestre.

Las influencias de las distintas fuentes de error no son constantes ni totalmente previsibles, además relacionadas con factores tan diversos como forma y orientación del satélite, altura de la órbita, actividad solar, etc., por lo tanto, sólo se puede acceder a los valores exactos de la coordenadas satelitales a posteriori.

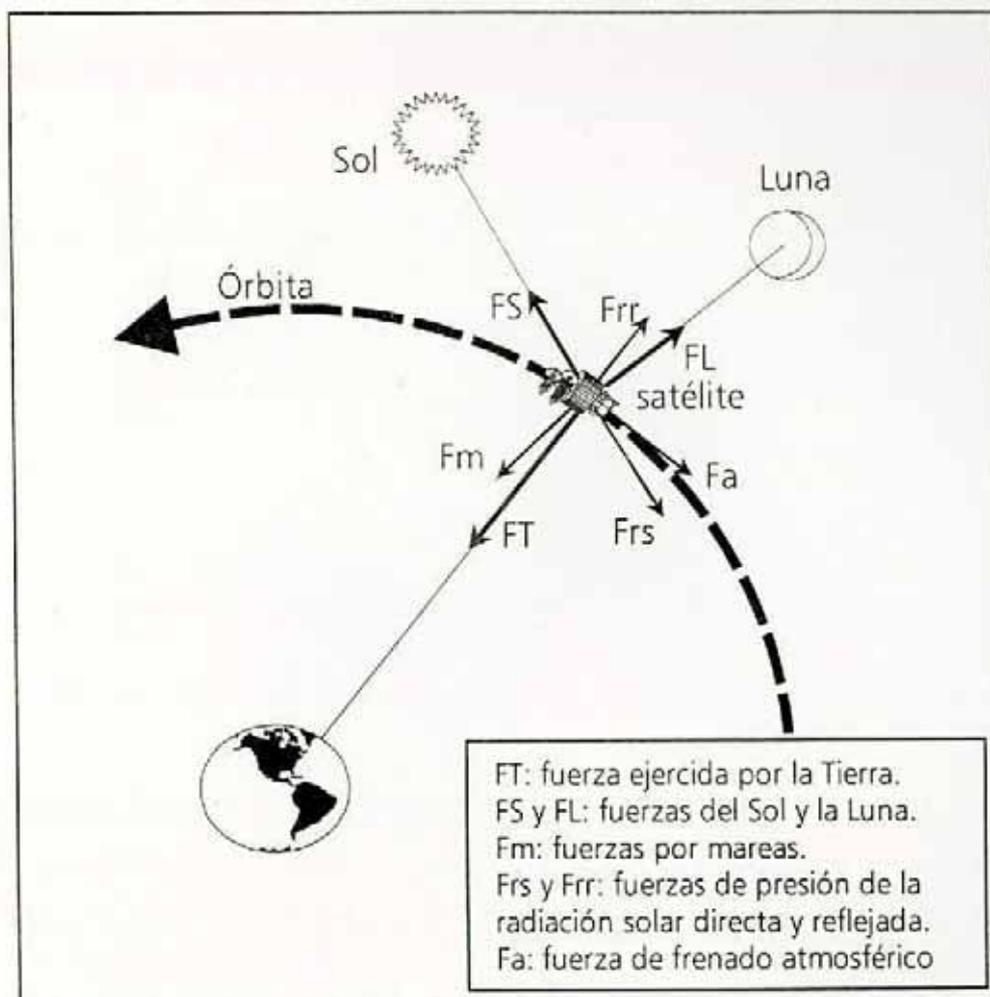


Fig. 4.5 Fuerzas perturbadoras que actúan sobre un satélite

En el caso del posicionamiento autónomo de un punto el error de efemérides es directamente transferido a la distancia y resulta una posición final con un importante desvío cualquiera sea el tipo de receptor usado.

La Fig. 4.6 describe dicha situación donde:

dE = error de posición del satélite

dr = error de distancia correspondiente

dp = error en la posición de la estación

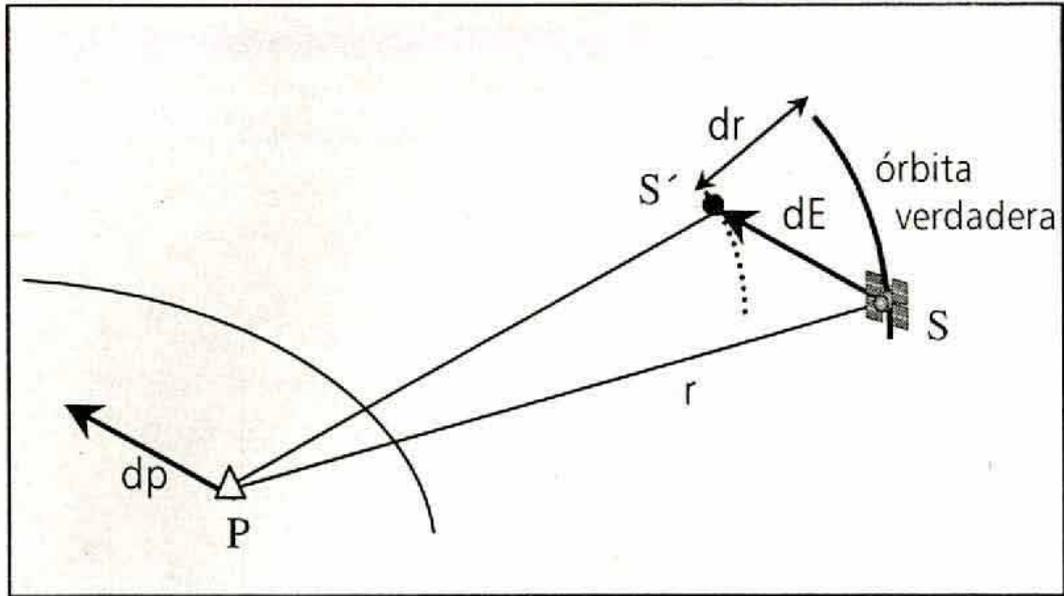


Fig. 4.6 El error de efemérides y el posicionamiento puntual

Para el caso de un posicionamiento relativo el efecto es notablemente disminuido porque las líneas de base son siempre pequeñas en comparación con la distancia a los satélites y por lo tanto tiende a cancelarse su efecto.

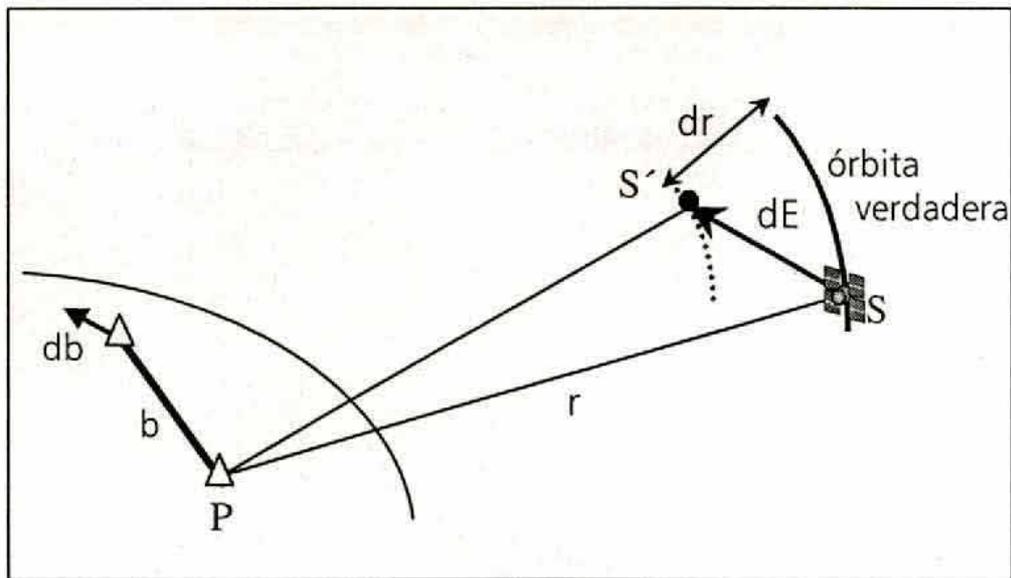


Fig. 4.7 El error de efemérides y el posicionamiento relativo

Una regla práctica $\Rightarrow \frac{db}{b} = \frac{dE}{r}$ si se reconoce como:

dE = error de órbita

b = longitud de la línea base

r = distancia al satélite

db = error de la base

Esta relación señala que el error de la línea de base depende fundamentalmente de la razón entre su longitud y la distancia al satélite. Por lo tanto, cuando la línea de base es de unas pocas decenas de kilómetros la influencia es pequeña. Por ejemplo, supongamos $b = 10\text{km}$ y un error de efemérides de 50m es:

$$db = 10\text{km} \cdot \frac{50\text{m}}{20200\text{km}} \Rightarrow db = 0,025\text{m}$$

La información de órbita a la que se tiene acceso puede ser: *radiodifundida*, la cual llega al usuario a través de la señal dentro del mensaje de navegación (posición extrapolada), o *post-procesada* (posición precisa producto de la interpolación de datos obtenidas por rastreo satelital desde el segmento de control), no disponible en tiempo real y dada a conocer después de un lapso de unos dos días a una semana, según el servicio consultado.

Las efemérides radiodifundidas contienen errores propios del *proceso de cálculo* en sí mismo, errores de *predicción* que surgen de movimientos no previstos del satélite en su órbita más los eventuales errores introducidos artificialmente por la *disponibilidad selectiva* o SA. En razón de la activación de esta última, que reduce la precisión al rango de los 100m en el 95% de los casos, es imposible en tales oportunidades cuantificar apropiadamente el monto final sobre una medida, por ello deben aplicarse técnicas de cálculo, o combinaciones de observables, que cancelen su influencia.

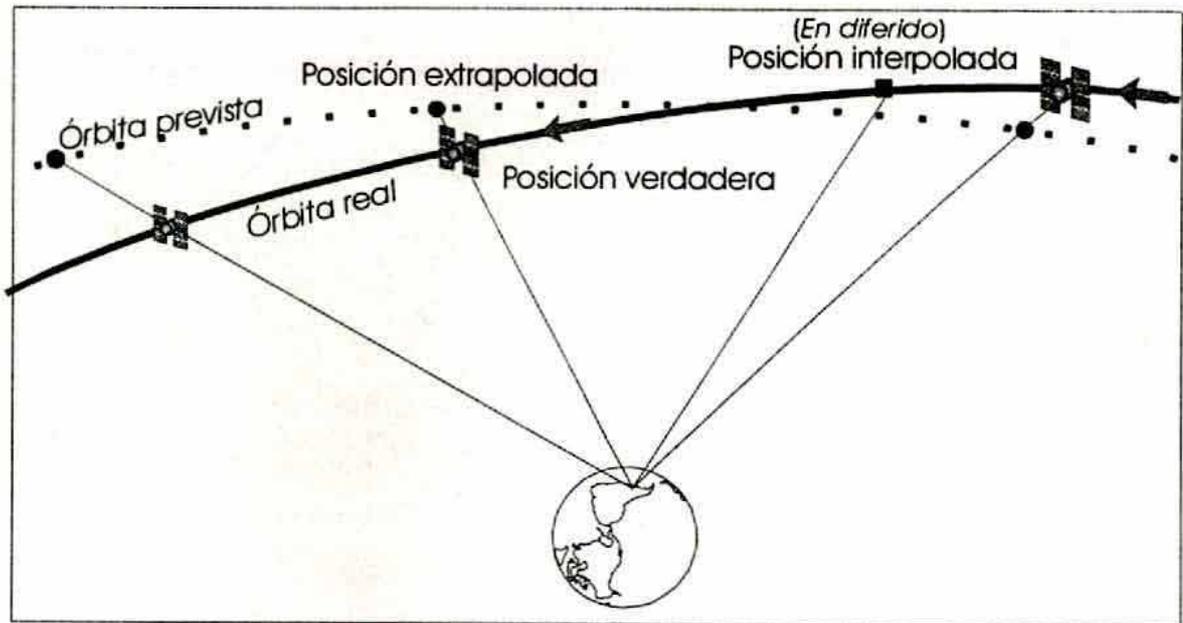


Fig. 4.8 Efemérides satelitales

Las diferencias entre las efemérides previstas y la órbita real se traducen en error de las posiciones terrestres buscadas.

Las efemérides post-procesadas surgen de observaciones de código y de fase a todos los satélites a la vista, realizadas con receptores doble frecuencia desde estaciones de rastreo distribuidas por toda la Tierra y están disponibles para todos los usuarios a través de diferentes servicios de telecomunicación. Se recomienda su aplicación para aquellos casos de líneas base extensas.

- Error de reloj del satélite

Este error y sus variaciones son calculados mediante el mismo procedimiento que se determinan las efemérides, mediante un monitoreo permanente y contraste con el tiempo GPS mantenido en el reloj atómico de la Estación Maestra de Colorado Spring. Una vez elaborado el modelo, la predicción de dicho valor para determinada hora se encuentra a disposición del usuario a través del mensaje de navegación. Su influencia varía de 1m a 10-50m según que la disponibilidad selectiva esté o no desactivada.

- Disponibilidad selectiva

Como se mencionara en [3.2.1.2] es éste un artificio que se introduce intencionalmente en la señal a fin de degradar la precisión accesible a través del SPS.

El error originado por la SA activada es distinto para cada satélite por lo que la influencia sobre una medición es un efecto combinado de los errores aportados individualmente.

4.2.1.2 *Dependientes de la estación*

- Error de reloj del receptor

Todos los receptores GPS, por razones de precio, están equipados con osciladores de cristal de cuarzo, los cuales, además, son estables, muy pequeños y de bajo consumo.

Ni bien el receptor contacta un número de satélites que le permite determinar las coordenadas de la estación se produce la sincronización. Este es un proceso susceptible de error, el mismo para todos los satélites contactados simultáneamente. Con la SA activada puede lograrse a un nivel 0,1 microsegundos.

En cuanto a la estabilidad de la escala de tiempo que el oscilador genera, ella depende de la calidad del mismo. Igualmente en los trabajos de agrimensura y geodésicos los errores del receptor son cancelados en el procesamiento por medio de las dobles diferencias.

- Error en las coordenadas de la Estación de Referencia

Las técnicas diferenciales requieren que las coordenadas de uno de los extremos sean conocidas y permanezcan fijas durante el proceso de cálculo. Esta es la llamada "estación de referencia" o "estación base". Obviamente, un error en la terna asignada a la misma se traduce en un error en la solución buscada para el punto de coordenadas incógnitas. El monto de la influencia es similar al de error de órbita.

4.2.1.3 Dependientes de la propagación

Ya se trate de observaciones de código o de fase existen errores sistemáticos relacionados directamente con la trayectoria seguida por la señal al enlazar el satélite con la antena del receptor.

- Retardo ionosférico

La radiación ultravioleta solar provoca el fenómeno de ionización de la capa de la atmósfera terrestre denominada ionosfera. La presencia de electrones libres en la misma afecta la velocidad, dirección y polarización de las señales emitidas por los satélites que la atraviesan, en relación directa a las respectivas frecuencias y la densidad de electrones libres en dicho medio, con variaciones temporales y espaciales que dependen de la hora del día, la fecha y la posición geográfica.

Un rasgo peculiar de este fenómeno es que afecta de distinta manera a las medidas de código que a las observaciones de fase: mientras la velocidad de los códigos (velocidad de grupo) es frenada la de las portadoras (velocidad de fase) es incrementada. Ello se traduce en que las distancias implícitas son "acortadas" y "alargadas" respectivamente y, en consecuencia, los términos correctivos llevan distinto signo en uno y otro caso.

El comportamiento de la ionosfera es monitoreado en forma permanente desde las estaciones propias del segmento de control con el consecuente perfeccionamiento de modelos y parámetros para la predicción que se inserta en el mensaje de navegación.

A fin de reducir al mínimo sus efectos la mejor alternativa es contar con receptores de doble frecuencia, L1 y L2, los cuales permiten formar combinaciones lineales libres de la influencia ionosférica.

Cuando se trata de medir líneas de base cortas puede considerarse que son similares los efectos de la ionosfera sobre las ondas que desde un mismo satélite se dirige a ambos extremos, en razón del mínimo ángulo que ellas forman. No es así para líneas de base de longitud

de algunas decenas de kilómetros, circunstancia que impide la cancelación de sus efectos en el diferenciado.

En general, el retardo ionosférico es mínimo en el cenit y unas tres veces mayor en proximidades del horizonte, máximo de día y cinco veces menor durante la noche, con las variaciones propias del ciclo solar de once años.

También hay que considerar la actividad geomagnética por la cual suelen presentarse anomalías inesperadas en las altas latitudes, Antártida, Canadá, Alaska, Noruega, zonas de auroras polares en general, cuando se dan las llamadas tormentas magnéticas que alteran notablemente la ionosfera sobre esas zonas.

- Retardo troposférico

La troposfera, capa de la atmósfera de unos 40 km de espesor en contacto directo con el suelo, es un medio prácticamente neutral desde el punto de vista eléctrico, es decir, no ionizado. En ella tienen lugar todos los fenómenos de tipo meteorológicos y, justamente, la propagación de las señales GPS a través de ella depende del contenido de vapor de agua, temperatura y presión presentes a lo largo del recorrido, lo que permite su modelado.

Para las frecuencias usadas por las señales GPS la troposfera no es dispersiva, en otros términos, sus efectos no dependen de la frecuencia por lo tanto no pueden cancelarse éstos por medio de observaciones con L1 y L2, siendo equivalentes para observaciones de código y de fase.

Tal como en el caso del retardo ionosférico cuando se trabaja con líneas de base cortas las influencias sobre ambos extremos son prácticamente iguales y pueden ser canceladas. En cambio, para distancias mayores o grandes desniveles, como en regiones de montaña, las condiciones atmosféricas están poco correlacionadas y surgen incertidumbres o errores troposféricos residuales, aún si se incluyen correcciones de acuerdo a las respectivas condiciones atmosféricas sujetas

a un modelo determinado.

En cuanto a los valores que pueden preverse a nivel del mar van de unos 2m en el cenit a 20-30m en la zona del horizonte.

Los errores para las observaciones de satélites a baja altura son mayores porque los recorridos de la onda través de ambas capas, troposfera e ionosfera, son más largos.

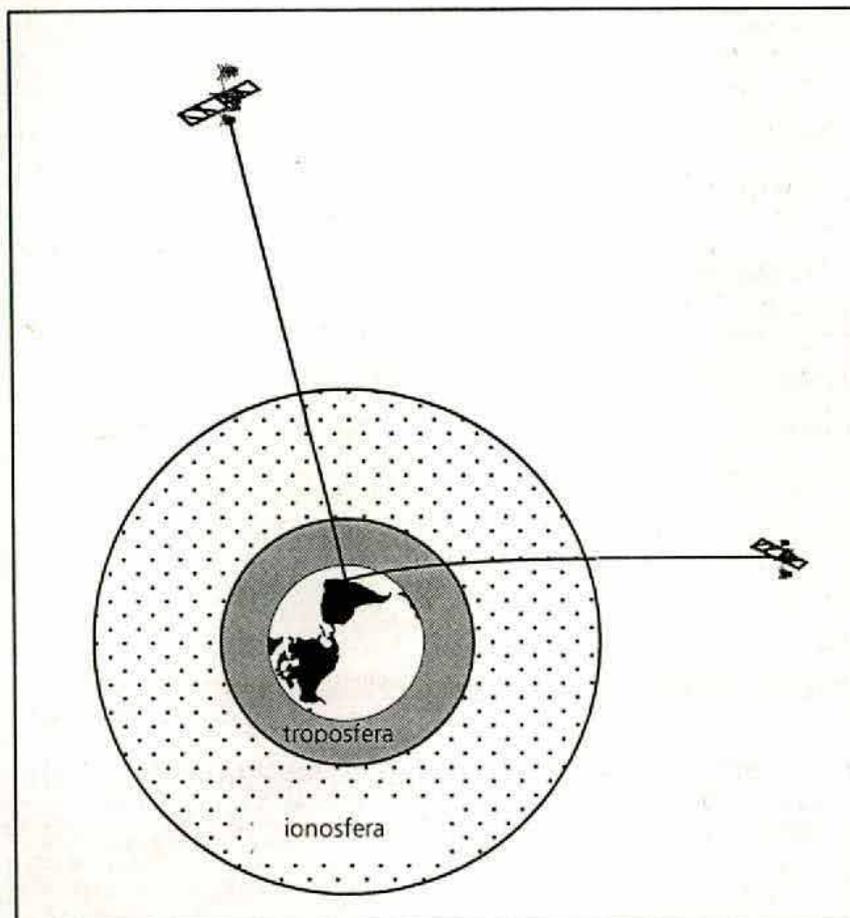


Fig. 4.9 Retardos ionosférico y troposférico

Esto exige, en la práctica, imponer una zona de *máscara* de elevación²¹ variable, por lo general con un *ángulo de corte* entre 0° y 8 a 15° (20° como máximo), dentro de la cual no se toman señales (Fig. 4.10).

²¹ Se llama *elevación* de un satélite al ángulo que forma la recta que lo une a la antena GPS con el plano del horizonte.

Generalmente la mayoría de los instrumentos trabajan por defecto con 13° o 15° , otros, en cambio, contactan todos los satélites que se hallan sobre el horizonte y durante el procesamiento el software correspondiente los selecciona según las instrucciones que se le proporciona

Cabe aclarar que en la terminología propia del GPS se dice que un satélite está visible cuando se halla sobre el citado ángulo de máscara y no eclipsado por ningún obstáculo.

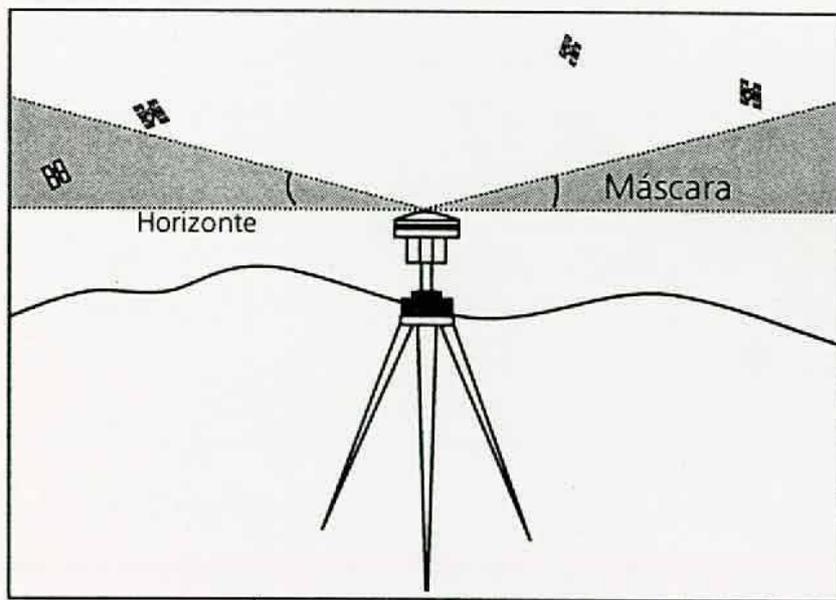


Fig. 4.10 Ángulo de corte o máscara

4.2.2 Errores accidentales

Existe una regla práctica que afirma que la precisión, o nivel de ruido de una medición GPS es del 1%, o mejor, de la longitud de onda correspondiente.

- La longitud de onda del código C/A es cercana a los 300m, en consecuencia cabe esperar un error aleatorio de $\pm 3m$, valor demasiado grande para aplicaciones de agrimensura.

- La del código P es de aproximadamente 30m, por lo tanto su precisión es del orden de $\pm 30\text{cm}$.
- L1 y L2 tienen longitud de onda de 19cm y 24cm respectivamente lo que permite confiar en obtener precisión milimétrica con cada una de ellas.

Entre los errores que convergen a determinar el ruido de una observación pueden citarse:

1. Los errores sistemáticos no modelados, residuales.
2. Ciclos perdidos.
3. Multicamino e interferencias de la señal.
4. Desplazamiento del centro de fase de la antena.

- Errores sistemáticos no modelados

Entre éstos cabe mencionar los retardos ionosférico y troposférico diferenciales y efectos menores del error de órbita sobre los extremos de una línea de base.

- Ciclos perdidos (Cycle slip)

Durante una medición de fase el contacto con la señal proveniente de un satélite puede ser interrumpido por obstrucciones, debilidad de la misma debido a escasa elevación sobre el horizonte, perturbaciones ionosféricas, inclinación de la antena en aplicaciones cinemáticas, etc. En tal caso se produce un corte de la cuenta de ciclos enteros acumulados durante la observación o *cycle slip*.

Si se representa gráficamente la fase medida en función del tiempo surge una curva que muestra un salto anormal que denuncia el problema como la figura 4.11.

En la práctica los ciclos perdidos son detectados y corregidos durante el procesamiento de datos por medio de las diferencias triples que los señalan.

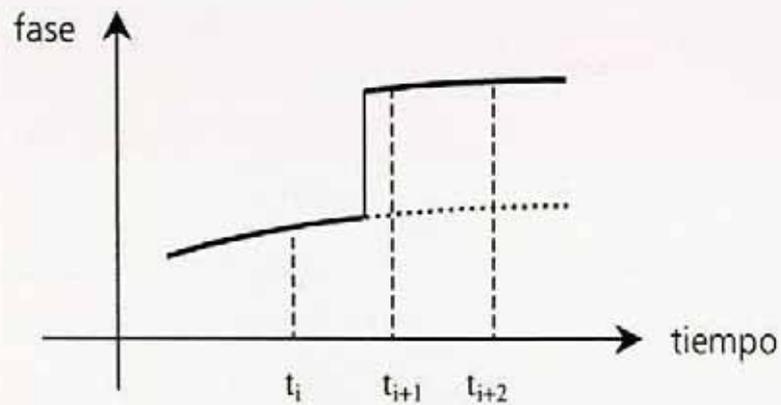


Fig. 4.11 Cycle slip

- Multicamino (Multipath)

Las ondas GPS siguen una trayectoria prácticamente rectilínea pero tienen la particularidad de reflejarse inesperadamente sobre superficies cercanas a la antena como espejos de agua, objetos metálicos u otros, dispuestos en forma horizontal, vertical u oblicuas indistintamente.

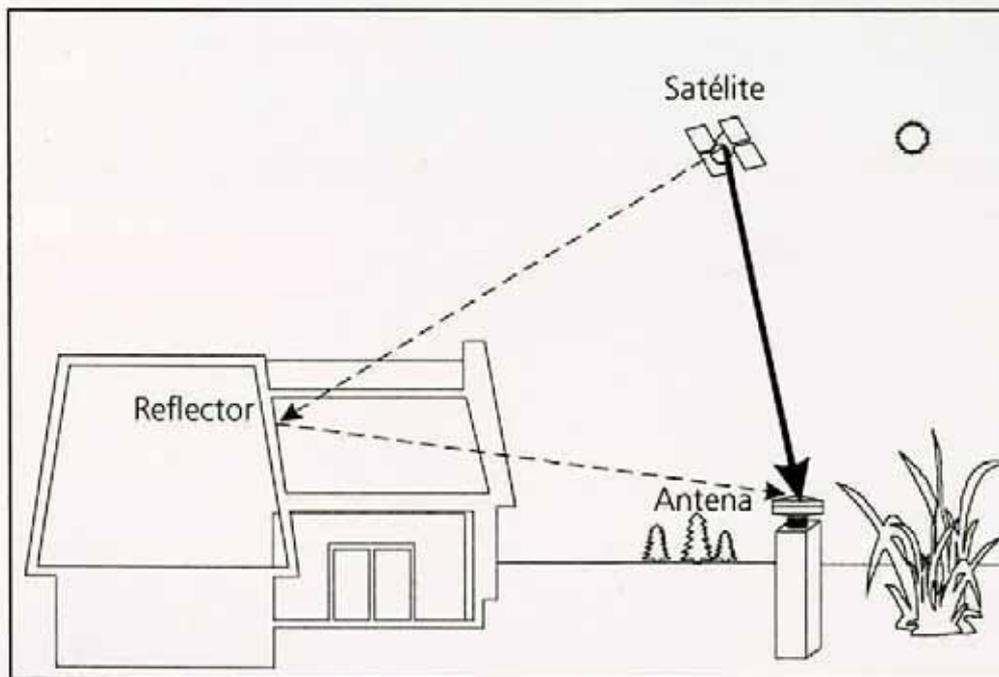


Fig. 4.12 Multicamino

La señal a continuación ingresa a la antena bien interfiriendo la onda directa, o confundiendo la cuenta del receptor que toma la pseudodistancia como la suma de los recorridos satélite-reflector más reflector-antena.

Para reducir los efectos del multicamino, que afectan tanto a las mediciones de código como las de fase y pueden sumar hasta 0,50m, se recomienda:

1. Emplazar cuidadosamente la antena, lejos de posibles superficies reflectoras, pavimento, edificios, espejos de agua, vehículos, etc.
2. Usar antenas de calidad y con montaje de altura no muy reducida.
3. No observar satélites muy bajos, sus señales son más susceptibles al multipath.

- Desplazamiento del centro de fase de la antena

El centro de fase de la antena es el punto físico donde las señales son observadas, al cual son referidas directamente las mediciones, y que no siempre coincide con el centro estructural de la misma. El desplazamiento depende de la elevación y acimut del satélite así como del tipo de señal, L1 o L2. Es mínimo para antenas bien diseñadas y el impacto sobre el posicionamiento relativo de dos sitios puede reducirse con la precaución de orientar siempre cada antena en la misma dirección.

4.3 DOP - Configuración geométrica de los satélites visibles.

Existe un factor condicionante de la calidad de una medición GPS que es la configuración geométrica del despliegue de los satélites visibles en el cielo durante el período de medición. Usualmente el efecto de la misma se expresa por un factor denominado *Dilución de la Precisión* o *DOP*, el cual es un número que relaciona el desvío estándar σ_0 de una observación (UERE) con el desvío estándar de la posición consecuente.

$$\sigma_p = DOP * \sigma_o$$

La expresión anterior señala que a mayor DOP mayor es el error de posición, por lo tanto deben seleccionarse períodos de trabajo coincidentes con valores bajos de DOP.

Corrientemente se usan distintos escalares DOP según el objetivo de la medición, a saber:

$$\begin{aligned} \sigma_H &= HDOP * \sigma_o && \text{para posicionamiento horizontal o 2D.} \\ \sigma_V &= VDOP * \sigma_o && \text{para posicionamiento vertical.} \\ \sigma_P &= PDOP * \sigma_o && \text{para posicionamiento 3D.} \\ \sigma_T &= TDOP * \sigma_o && \text{para determinaciones de tiempo.} \end{aligned}$$

A los que se suma el GDOP empleado en determinaciones conjuntas 3D y tiempo tal que:

$$GDOP = \sqrt{(PDOP)^2 + (TDOP)^2}$$

Análogamente los tres primeros se relacionan entre sí a través de la expresión pitagórica:

$$(PDOP)^2 = (HDOP)^2 + (VDOP)^2$$

Una buena geometría, la cual se traduce en un bajo PDOP, es aquella que corresponde a un valor grande del volumen del poliedro que tiene por vértices a los puntos intersección de los vectores de la antena a los satélites que participan en el posicionamiento con una esfera centrada en el sitio de observación.

La configuración crítica resulta cuando dicho cuerpo tiene volumen mínimo y degenera en un plano. Para evitar tal tipo de situaciones se establece una máscara o valor máximo de PDOP durante la operación de seteo del receptor.

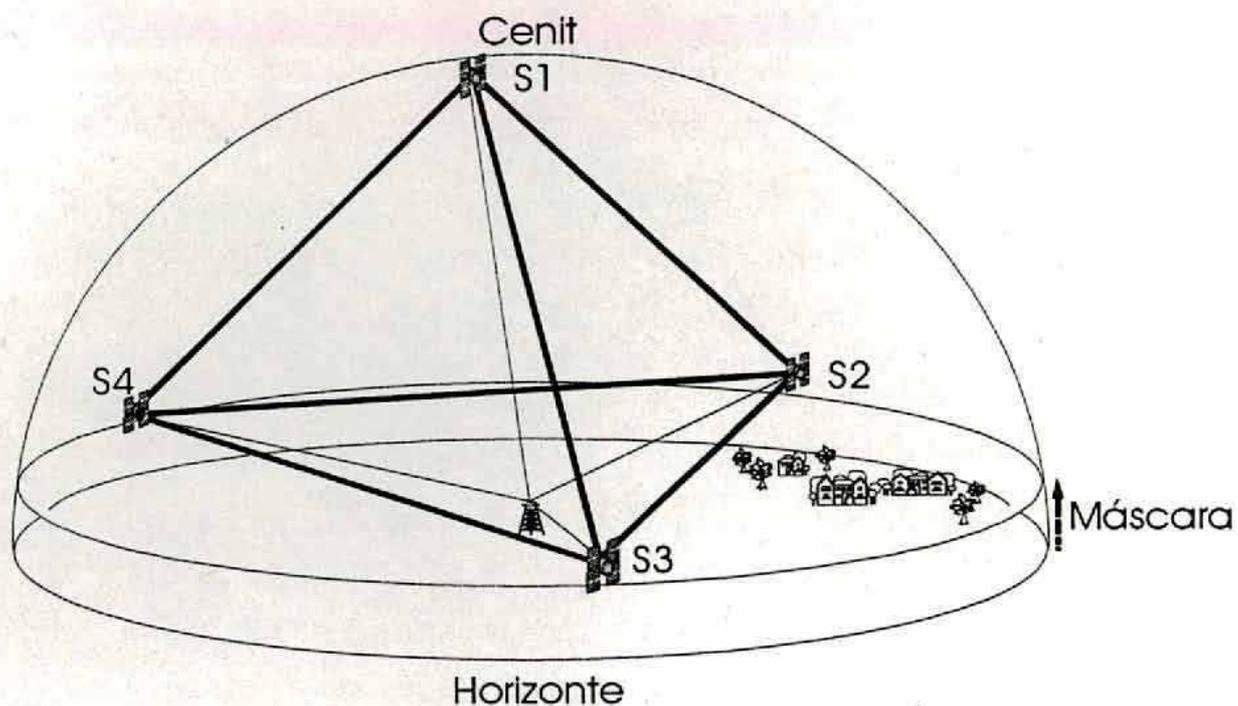


Fig. 4.13 Buena geometría y bajo PDOP

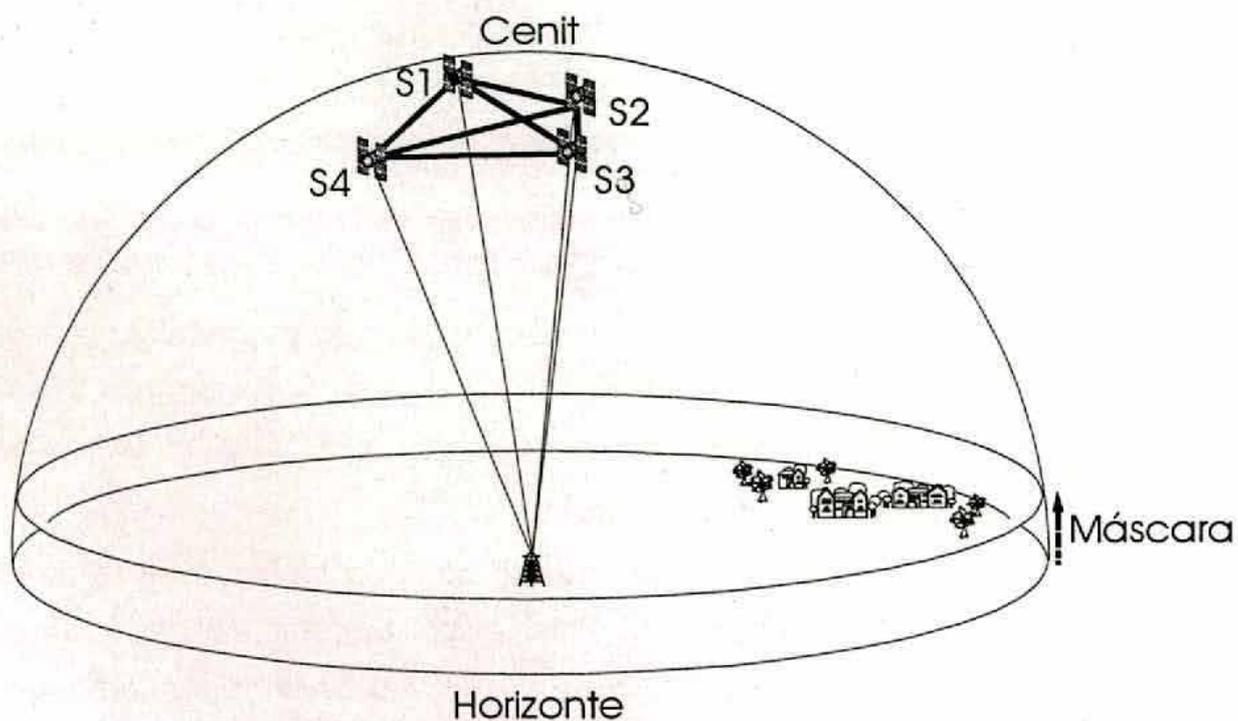


Fig. 4.14 Mala geometría y alto PDOP

4.4 Exactitud y precisión

En el lenguaje corriente las palabras exactitud y precisión son usadas como sinónimos, pero cuando se hace referencia a mediciones y al tratamiento de éstas surge una distinción en la aplicación de las mismas. Si bien el valor verdadero de una magnitud es siempre incógnita, porque los instrumentos y personas son imperfectos y las condiciones del entorno donde éstos operan influyen sobre el proceso, conceptualmente la *exactitud* es una cuantificación de la proximidad de las medidas a dicho valor o a aquél considerado como tal. En tanto *precisión* es un término que hace referencia a cuánto se acerca una estimación al valor estadísticamente más probable.

Es posible entonces encontrarse en la práctica con medidas muy exactas y poco precisas, o a la inversa, tal como puede apreciarse en la figura 4.15 donde cada punto de la nube indica una medida.

Visto desde otro ángulo, la precisión es afectada sólo por los errores accidentales, los cuales tienden a compensarse en la medida que el número de observaciones aumenta, por consiguiente, tiene que ver con el cuidado y refinamiento del proceso de medición. Es sólo una medida de control de los errores aleatorios. Mientras, en la exactitud intervienen además los errores sistemáticos, aspecto que señala el rigor en la definición de las leyes físico-matemáticas, modelos y estándares implicados, más la esmerada calibración de los instrumentos.

Supóngase a modo de ejemplo sencillo la doble medición con cinta de una longitud determinada. Si el resultado de la vuelta es prácticamente igual al de la ida se concluye que el valor obtenido es exacto, sin embargo un error sistemático inherente como el de contraste, por citar uno, no ha sido tenido en cuenta y sabido es que su efecto es acumulativo. Por lo tanto se puede hablar de una medición precisa pero no exacta.

De todos modos, la presencia de los errores de medida es inevitable así como nunca se logra eliminarlos completamente.

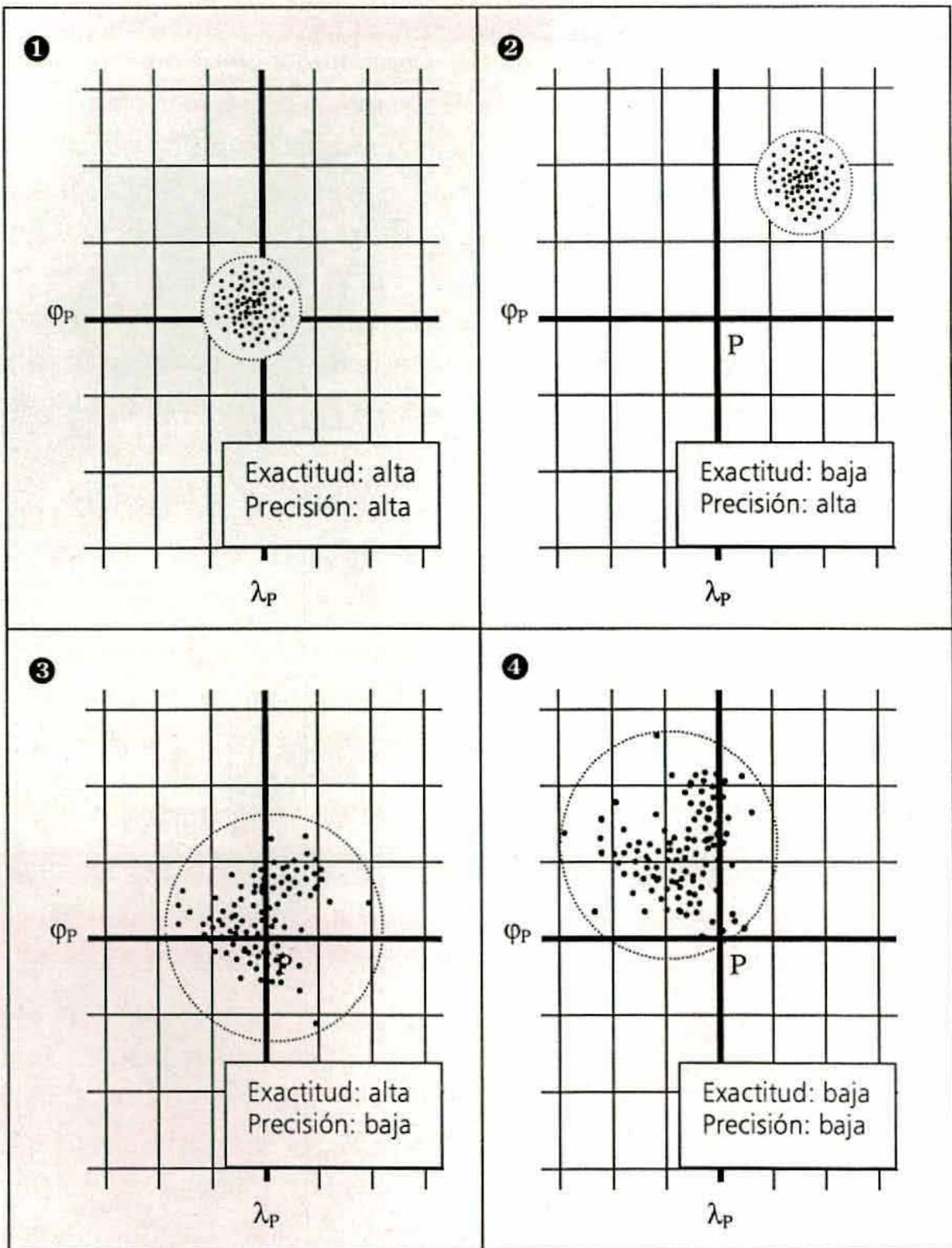


Fig. 4.15 Conceptos de Exactitud y Precisión

Dado que se asume por definición que los errores aleatorios adoptan una distribución "gaussiana", es posible darle a los mismos un tratamiento matemático basado en la Teoría de Probabilidades conducente al cálculo de diferentes parámetros que señalan una medida del grado de precisión obtenido en una medición. Así, es posible contar con la ventaja de expresar la seguridad de un resultado como la probabilidad de que el error no exceda determinada cantidad.

Corrientemente en los cálculos surge como parámetro estadístico más citado para caracterizar la precisión el *desvío estándar* (σ) o, el usado como equivalente, error medio cuadrático (rms), valor igual a la raíz cuadrada del cociente entre la sumatoria de los cuadrados de las diferencias de cada valor observado con el promedio y el número de medidas menos uno.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

El cuadrado del desvío estándar, σ^2 , es llamado *varianza*.

Teóricamente la relación entre σ y la probabilidad es tal que en el caso de una medición lineal (unidimensional), con un número muy grande de observaciones corregidas de errores sistemáticos, se corresponde:

- 1) El valor 1σ con un intervalo de confianza de 68,27%. En otras palabras, el intervalo $(-\sigma, +\sigma)$ contiene el 68,27% de todos los resultados.
- 2) $(-2\sigma, +2\sigma)$ con el 95,45% .
- 3) $(-3\sigma, +3\sigma)$ y el 99,73%. Como es notorio, este último deja fuera sólo el 0,27% de las medidas o, aproximadamente, 3 por mil.

La curva de la fig. 4.16 encierra un área igual al 100% de probabilidad de aparición y en ella se evidencia el hecho que fuera del intervalo $(-3\sigma, +3\sigma)$ prácticamente la superficie en cuestión es cero, de ahí que en la práctica es habitual considerar *outlier*²² a todo valor que difiere en $\pm 3,5\sigma$ del promedio (probabilidad de ocurrencia: 0,06%).

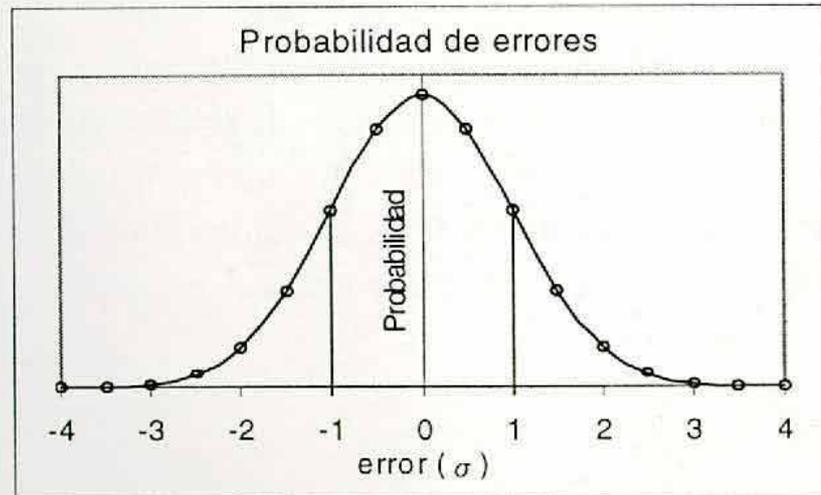


Fig. 4.16 Función Probabilidad de errores

La relación entre la magnitud del error expresado en función de σ y la probabilidad de aparición así como la situación inversa son reflejadas en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Desvío y Probabilidad en medidas unidimensionales

Desvío \leq	Probabilidad	Int. de confianza	Desvío
1σ	68,27 %	90 %	$1,645 \sigma$
2σ	95,45 %	95 %	$1,960 \sigma$
3σ	99,73 %	99 %	$2,576 \sigma$

²² Una observación portadora de un residuo muy grande.

Este concepto puede extenderse a medidas bidimensionales estableciendo la relación entre la posición observada y la correcta a través de elipses centradas en esta última. Las mismas se conocen como *elipses de error*, concepto que trasladado a tres dimensiones lleva a los *elipsoides de error*.

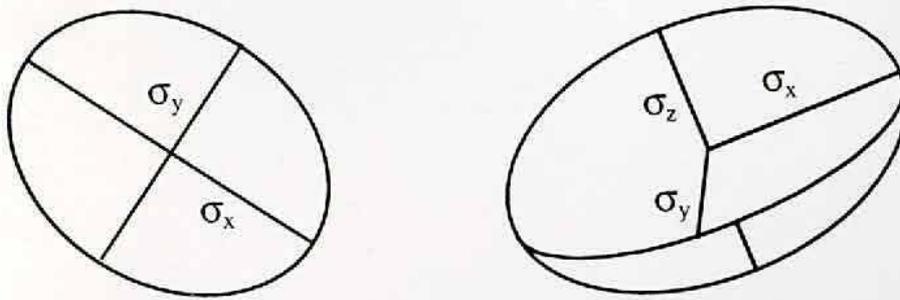


Fig. 4.17 Elipse y elipsoide de error

Zonas similares pueden también ser construidas en correspondencia con distintas probabilidades de error, 50%, 95%, etc. Cualquiera fuese el caso, para su trazado se requiere una ponderación de los correspondientes desvíos y de sus correlaciones.

Otro parámetro indicativo de exactitud, menos usado que el anterior, es el *error probable*, al cual le corresponde el 50% de probabilidad de aparición, es decir, tiene la misma probabilidad de no ser alcanzado como de ser superado, e igual a 0.674σ .

En las mediciones GPS frecuentemente se utilizan también otros valores relacionados con los anteriormente mencionados como son el *Error Probable Circular* (CEP) y el *Error Probable Esférico* (SEP), radios de un círculo y de una esfera, respectivamente, que contienen el 50% de los puntos datos. Igualmente es de uso extendido el hacer referencia a una *exactitud relativa* expresada generalmente en partes por millón que indica cuan bien se ha determinado la longitud de cierto vector.

CAPÍTULO 5

OBSERVABLES GPS

5.1 Tipos de Datos

El intervalo de tiempo empleado por la señal GPS en cubrir el recorrido del satélite a un receptor ubicado sobre la superficie terrestre es extremadamente breve:

$$t = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad}} \cong \frac{20200\text{km}}{300000\text{km/s}} \cong 0,067\text{s}$$

valor que habla a las claras de las exigencias de precisión de los relojes involucrados, pues un error de 0,000001 segundo implica una diferencia de 300m en dicha distancia.

Teóricamente el tiempo en cuestión es la diferencia entre el tiempo de recepción t_r (medido por el reloj del receptor) y el tiempo de transmisión T_t (medido por el reloj del satélite). En la práctica ambos están afectados por errores mínimos no equivalentes debido a que están generados por osciladores de distinta calidad. La determinación de este retardo con errores es traducido en una pseudodistancia PD , o distancia no correcta.

$$PD = c.(t'_r - T'_t)$$

En general, en la mayoría de las aplicaciones GPS se utilizan dos tipos de observables básicos: pseudodistancias a partir de mediciones de código y determinaciones de fases, o diferencias de fase, de la portadora. La cantidad necesaria para el procesamiento de los datos

GPS y la consecuente determinación de las coordenadas de la estación es la distancia verdadera satélite-antena. En presencia de los errores mencionados anteriormente es preciso introducir entonces las respectivas correcciones a fin de acceder a un valor que la represente de la manera más exacta posible.

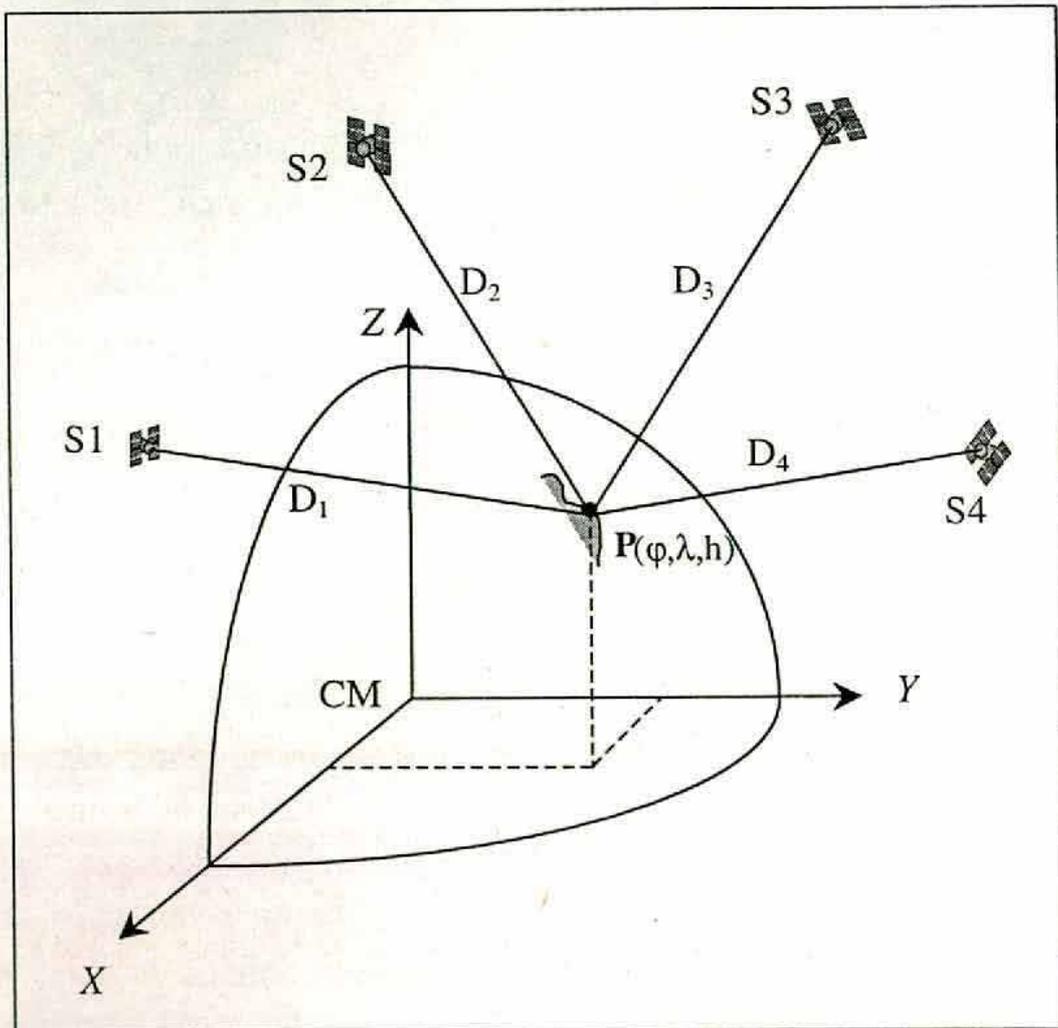


Fig. 5.1 Posicionamiento simple GPS

Así si llamamos a las coordenadas de un satélite y de la estación:

$[X_i, Y_i, Z_i]^S$ y $[x, y, z]^P$ respectivamente, debe cumplirse que:

$$(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2 = D_i^2$$

Esta ecuación contiene formalmente cuatro incógnitas, las coordenadas (x,y,z) de la estación y la distancia verdadera D_i . A esta última es posible acceder con diversos grados de exactitud a través de la medida GPS en sí, o pseudodistancia, y el modelado de las influencias de los errores descritos, permaneciendo como incógnitas el error residual de aquella y las coordenadas de la antena.

5.1.1 Pseudodistancias por código

Considérese en principio sólo que los relojes involucrados mantienen una pequeña diferencia o deriva y no están sincronizados rigurosamente, así, ignorando los efectos atmosféricos y otros errores, la distancia satélite-receptor que se obtiene es:

$$PD_i = (t'_r - T'_u).c \quad \text{con} \quad t'_r = t_r + dt_r \quad \text{y} \quad T'_u = T_u + dT_u$$

definidos dt_r como el error de sincronización del receptor y dT_u la deriva o error del reloj del satélite i con respecto a la escala de Tiempo GPS. Por lo tanto:

$$PD_i = (t_r - T_u).c + (dt_r - dT_u).c \quad \Rightarrow \quad PD_i = D + dD$$

Por ello la distancia obtenida, PD_i , es llamada *pseudodistancia* o *pseudorange*.

Reconociendo con (x, y, z) y (X_i, Y_i, Z_i) las coordenadas rectangulares del punto estación y del satélite respectivamente, se tienen n ecuaciones (para $n \geq 4$) de la forma:

$$(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2 = (PD_i - dD)^2$$

donde X_i, Y_i, Z_i, PD_i son datos y x, y, z, dD , incógnitas.

Para linealizar esta ecuación el usuario ingresa una posición aproximada (x_0, y_0, z_0) a través de $(\varphi_0, \lambda_0, h_0)$.

Así, aplicando el desarrollo de Taylor limitado a los términos de primer grado:

$$PD_i = F(x_0, y_0, z_0, dD=0) + \left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_0 \Delta x + \left. \frac{\partial F}{\partial y} \right|_0 \Delta y + \left. \frac{\partial F}{\partial z} \right|_0 \Delta z + \left. \frac{\partial F}{\partial dD} \right|_0 \Delta dD$$

$$PD_i - D_{i0} = a_i \cdot \Delta x + b_i \cdot \Delta y + c_i \cdot \Delta z + \Delta dD$$

donde $a_i = \frac{X_i - x_0}{D_{i0}} \quad b_i = \frac{Y_i - y_0}{D_{i0}} \quad c_i = \frac{Z_i - z_0}{D_{i0}} \quad y$

$$D_{i0} = \sqrt{(X_i - x_0)^2 + (Y_i - y_0)^2 + (Z_i - z_0)^2}$$

Si $i = 4 \Rightarrow$ 4 ecuaciones y 4 incógnitas, una única solución.
 Si $i > 4 \Rightarrow$ la solución está dada por el sistema más probable.

Cuando los retardos troposférico, d_{TROP} , ionosférico, d_{ION} , y el ruido de la medida, ε_D , son tenidos en cuenta, simplificando la escritura, se tiene que en las mediciones de código cada satélite genera una ecuación de observación de la forma:

$$PD = D + c \cdot (dt - dT) + d_{ION} + d_{TROP} + \varepsilon_D$$

5.1.2 Fases o diferencias de fase de la portadora

En las mediciones de fase, en las que la señal arriba sin la información de cuál ciclo representa la sincronización perfecta, se llega a una expresión similar. Como el número arbitrario de ciclos de una observación de fase al comienzo de ésta es desconocido, y la fase de la onda que ingresa es comparada con la fase de una señal de referencia generada

dentro del receptor, la diferencia observada corresponde a la porción residual de onda ($\Delta\lambda$). El número total de ondas completas, N , entre observador y satélite en el momento inicial es la llamada *ambigüedad*, "incógnita similar a la lectura de un reloj sólo con la aguja de los minutos. Uno no conoce el número entero de ondas (u horas) y sí la fracción (o minutos) de la última onda (hora)"²³. A partir del primer enlace con el satélite el receptor suma los ciclos manteniendo la cuenta de éstos ininterrumpidamente, por eso una pérdida de contacto con la señal introduce una nueva incógnita.

La fase total comprende, entonces, una fracción de fase, $\Delta\phi$, un número de ciclos enteros correspondiente a la cuenta que lleva el receptor a partir de la primer medida en el instante t_0 y la ambigüedad:

$$\phi_{total} = \Delta\phi + Ent(\phi; t_0, t) + N(t_0)$$

donde la fase medida por el aparato es:

$$\phi_{med} = \Delta\phi + Ent(\phi; t_0, t) \quad \phi_{total} = \phi_{med} + N(t_0)$$

expresión que traducida a unidades de longitud y consideraciones similares a las mediciones de código conduce a que cada satélite aporta una ecuación directamente comparable con la ecuación de observación correspondiente a la mediciones de código, excepto por el término de la ambigüedad y el signo de la corrección ionosférica²⁴, del tipo:

$$PD = D + c.(dt_r - dT_t) + \lambda N - d_{ION} + d_{TROP} + \epsilon_R$$

²³ Comparación hecha por los Prof. Vidal Ashkenazi, y Conrad Cleasby. IAG, Simposium No. 108. Stuttgart, 1991

²⁴ Ver pág. 66

5.1.3 *Ventajas y desventajas de las medidas de código y de fase*

Para resumir, retomando el concepto ya citado que la precisión o nivel de ruido de una medición GPS es del 1% o mejor de la longitud de onda utilizada para la medida, es inmediato que, si se comparan las determinaciones de código C/A de $\lambda \cong 300\text{m}$, con las de fase de la portadora, cuya $\lambda \cong 19\text{cm}$ para L1, la conclusión es que las mejores soluciones se logran con mediciones de fase. Ésta es la razón por la cual los receptores destinados a navegación simple (navegadores) usan exclusivamente código en tanto los equipos de aplicación en agrimensura, con exactitudes de unos pocos centímetros o mejor, utilizan las fases de la portadora como observables primarios.

Sin embargo es posible mejorar la calidad de las medidas de código con técnicas de suavizado que implican asociación de éstas con toma de datos de fase.

Por otra parte, tal como puede comprobarse en las ecuaciones de observación de medidas de fase, las mismas contienen el término de la ambigüedad cuya estimación implica la aplicación de técnicas y algoritmos más complejos, circunstancia no presente en las observaciones de código, totalmente sencillas, que marca las diferencias básicas entre receptores de uno y otro tipo y los precios correspondientes.

5.1.4 *Combinaciones lineales de observaciones*

Las tareas topográficas y geodésicas exigen de hecho el posicionamiento relativo de un punto con respecto a otro, es decir la determinación del vector que los tiene por extremos, que es la llamada "línea-base".

A fin de mejorar la exactitud del posicionamiento relativo, y obviar durante el procesamiento de datos la consideración de gran parte de

los errores inherentes, tanto a las medidas de código como de fase, teniendo en cuenta que aquél muestra cierta correlación entre observaciones realizadas simultáneamente, es habitual usar combinaciones lineales de las mismas, las que se reconocen como simple, dobles y triples diferencias de las respectivas ecuaciones de observación.

Distintas posibilidades conducen a diferenciar entre satélites, entre receptores, entre épocas y aún armar arreglos entre ellas. Para facilitar la escritura es cómodo recurrir a la simbología nemotécnica propuesta por David Wells y otros en su obra "Guide to GPS Positioning" (1986/87) y que consiste en:

- Δ indica diferencia entre dos receptores (dos vértices abajo).
- ∇ indica diferencia entre dos satélites (dos vértices arriba).
- δ indica diferencia entre dos épocas.

5.1.4.1 Diferencia Simple entre receptores

La diferencia entre dos pseudodistancias obtenidas simultáneamente por código, de dos receptores i y j a un satélite $S1$, puede escribirse como:

$$\Delta PD_{ij} = PD_j - PD_i$$

operación que, manteniendo la nomenclatura conduce a la siguiente expresión:

$$\Delta PD = \Delta D + c \cdot \Delta t + \Delta d_{ION} + \Delta d_{TROP} + \epsilon_C$$

mientras que si se trata de observaciones de fase el mismo procedimiento lleva a la relación:

$$\Delta PD = \Delta D + c \cdot \Delta t + \lambda \cdot \Delta N - \Delta d_{ION} + \Delta d_{TROP} + \epsilon_F$$

En ambas situaciones se observa que la diferencia simple sobre dos receptores considerada como observable básico permite cancelar la influencia de los errores asociados al satélite: errores de reloj y de órbita (solución favorable para los casos de disponibilidad selectiva activada).

Aunque en Geodesia así se las utiliza, las diferencias simples pueden igualmente formarse entre satélites o entre épocas.

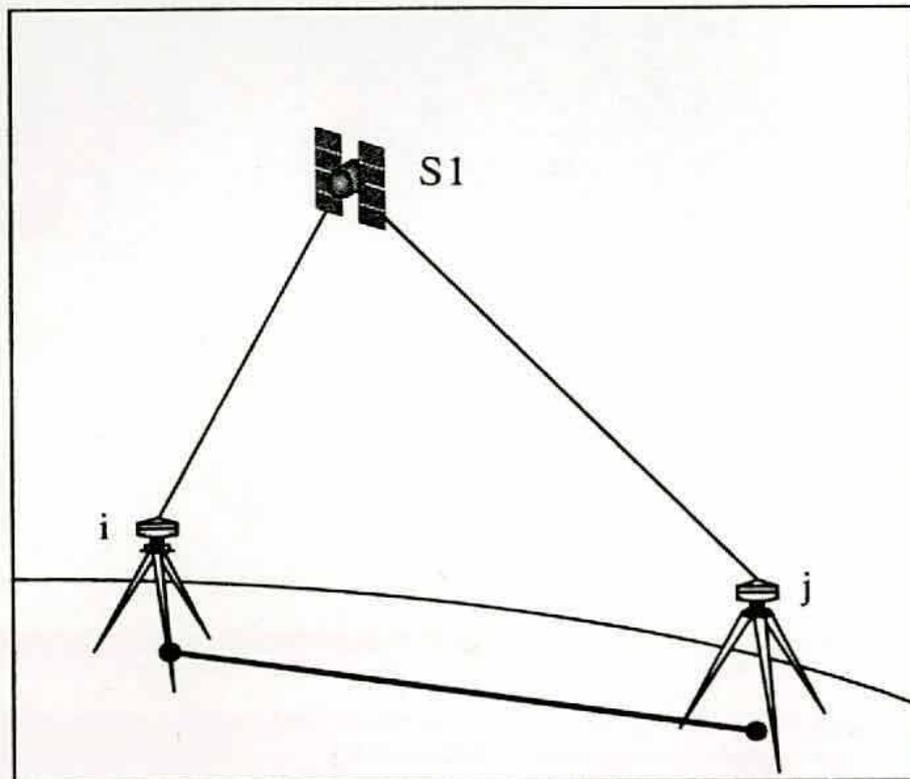


Fig. 5.2. Diferencia simple entre receptores

5.1.4.2 Diferencia doble receptor-satélite

Si se consideran dos diferencias simples de medidas de código respecto a dos satélites observados simultáneamente, se plantea un par de relaciones como las siguientes:

$$\Delta PD^{(1)} = \Delta D^{(1)} + c \cdot \Delta t^{(1)} + \Delta d_{ION}^{(1)} + \Delta d_{TROP}^{(1)} + \epsilon_C^{(1)}$$

$$\Delta PD^{(2)} = \Delta D^{(2)} + c \cdot \Delta t^{(2)} + \Delta d_{ION}^{(2)} + \Delta d_{TROP}^{(2)} + \epsilon_C^{(2)}$$

La diferencia de las primeras diferencias es la diferencia doble. Como Δt es la resta entre los errores de reloj de ambos receptores el valor es igual cualquiera sea el satélite de referencia, por lo tanto, en la sustracción el término se cancela.

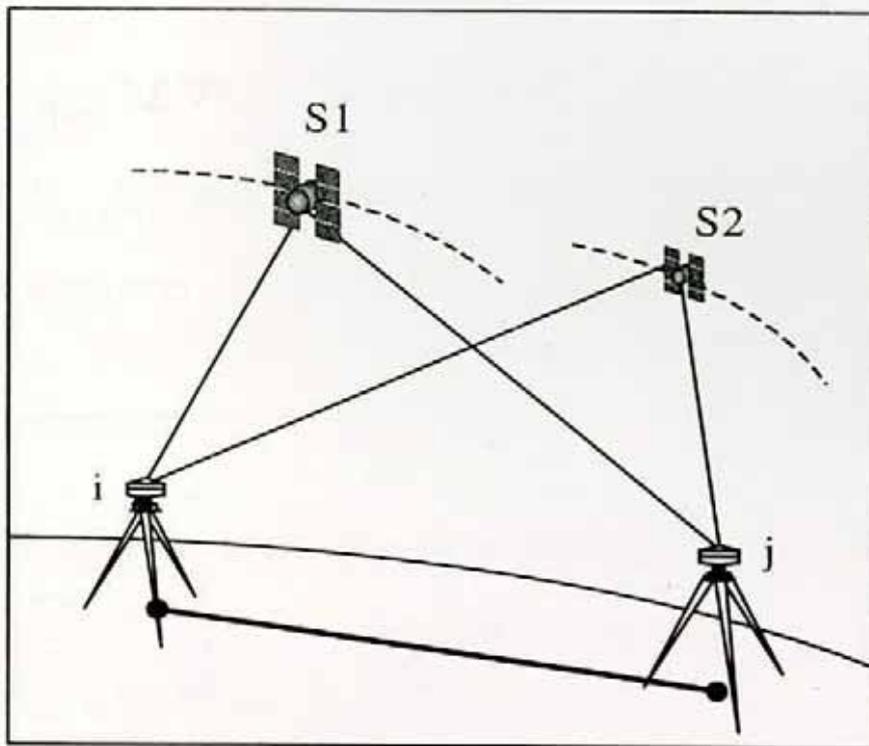


Fig. 5.3 Diferencia doble receptor-satélite

$$\nabla \Delta PD = \nabla \Delta D + \nabla \Delta d_{ION} + \nabla \Delta d_{TROP} + \nabla \epsilon_C$$

Si las observaciones son de fase, el resultado es parecido porque también se anula la influencia de los errores de relojes de los aparatos,

pero persiste la presencia de una componente debido a las ambigüedades:

$$\nabla\Delta PD = \nabla\Delta D + \lambda.\nabla\Delta N - \nabla\Delta d_{ION} + \nabla\Delta d_{TROP} + \nabla\epsilon_F$$

5.1.4.3 Diferencia triple receptor-satélite-tiempo

Una nueva combinación de observables GPS se puede obtener al considerar el cambio de una diferencia doble al pasar de una época a la siguiente. Según se trate de código o de fase resultan respectivamente:

$$\delta\nabla\Delta PD = \delta\nabla\Delta D + \delta\nabla\Delta d_{ION} + \delta\nabla\Delta d_{TROP} + \epsilon_{RES}$$

$$\delta\nabla\Delta PD = \delta\nabla\Delta D - \delta\nabla\Delta d_{ION} + \delta\nabla\Delta d_{TROP} + \epsilon_{RES}$$

expresiones en las que los últimos términos contienen los errores residuales de propagación y efectos no modelados.

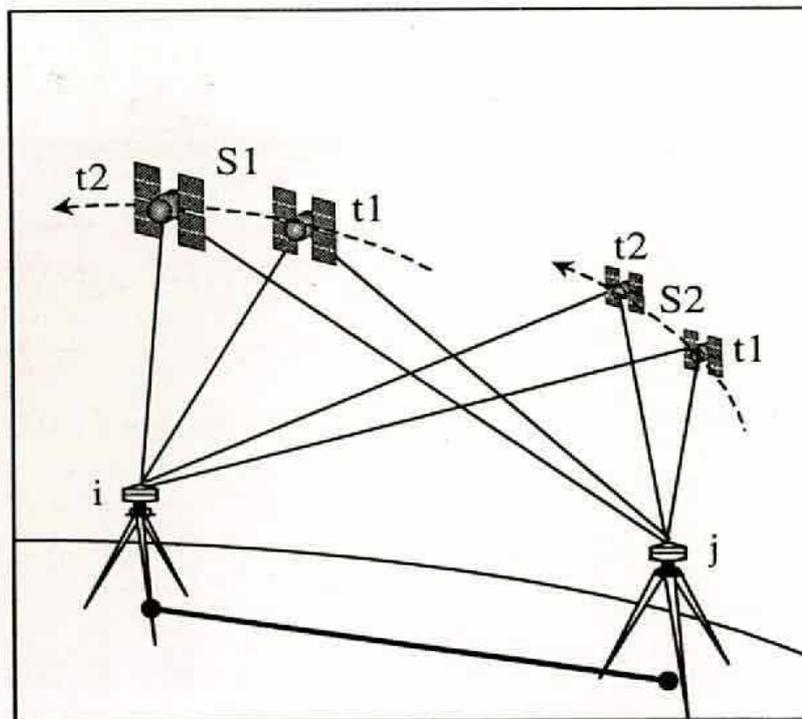


Fig. 5.4 Diferencia triple receptor-satélite-tiempo

Una propiedad sumamente interesante de las diferencias triples es que se cancela el término de la ambigüedad en las observaciones de fase. Además, facilita la detección rápida de los ciclos perdidos y su consecuente eliminación.

5.2 Métodos de posicionamiento

Cuando se trabaja con un solo receptor y no hay medio de contar con registros de observaciones simultáneas realizadas desde una estación de control, sólo tiene sentido efectuar observaciones de código las que, como ya se apuntara, en ese caso ofrecen resultados poco exactos y de escasa utilidad topográfica. Para tal fin es suficiente contar con un receptor de bajo costo el cual brinda datos que no requieren un tratamiento sumamente cuidadoso.

En tanto, si se dispone de dos o más instrumentos, o de un receptor y los datos de la señal provistos por una estación permanente, es posible realizar posicionamiento relativo, en ambas modalidades, estático y cinemático.

En las situaciones en las que se procede a determinar posiciones con fase pueden aplicarse algunas variantes estático rápidas y cinemáticas que implican un significativo ahorro de tiempo y buen grado de exactitud. En estos casos la cuestión básica es la resolución de las ambigüedades para cada satélite las que respectivamente deben fijarse en el número entero correcto correspondiente.

Generalmente las instrucciones de manejo de todo equipo aconseja respecto a las posibilidades y método más apropiado para las características del mismo.

Existen diferentes posibilidades y, según la bibliografía consultada, en algunos casos se usan términos diferentes para describir la misma técnica, o, el mismo nombre para métodos distintos.

5.2.1 Método Semicinemático o Stop and Go

Con esta técnica la antena del remoto se monta de unos segundos a minutos sobre las marcas a posicionar y no interesa el recorrido seguido para ir de un punto al siguiente siempre que la señal no sea interrumpida por obstrucciones como puentes, árboles, pasos a bajo nivel, construcciones, etc., pues su fundamento está en transferir la ambigüedad de una estación a otra.

Por lo tanto, si bien se lo llama semicinemático en realidad es éste un método simplemente cinemático porque, aunque el sistema rescate fundamentalmente las coordenadas del punto sobre el cual permanece detenido (stop), cuando el receptor está en movimiento (go) continúa rastreando los satélites. Esta es la razón por la que en la actualidad este procedimiento de medición suele ser mencionado en manuales y trabajos como simplemente "cinemático".

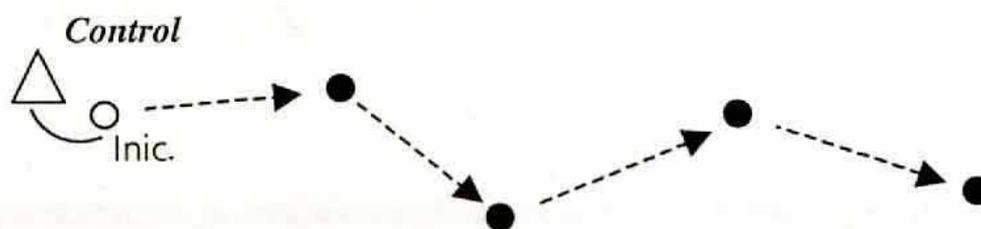


Fig. 5.5 Método Stop and Go

Resumiendo, el mismo requiere: 1) un período de algunos minutos para inicialización, o resolución de la ambigüedad sobre una muy corta línea de base de longitud conocida; 2) mantener a lo largo del recorrido el contacto con los mismos satélites y 3) si por cualquier razón se interrumpe la recepción de la señal, proceder a reinicializar la operación. En la mayoría de los instrumentos un bip o señal audible denuncia esta circunstancia. Esta última situación implica, en el caso de trabajar con un aparato de una sola frecuencia, retornar al último punto bien

determinado y reobservar por un corto tiempo, lo que conspira con la cualidad básica de la metodología que es su rapidez, ya que el tiempo de ocupación puede ser tan reducido como el correspondiente a dos épocas sincronizadas con la base. Esta propiedad lo hace sumamente apto para trabajos con gran número de puntos.

5.2.2 Método Estático Rápido o Pseudocinemático

Es este un procedimiento que demanda unos pocos minutos de permanencia colectando datos en cada uno de los puntos ocupados por el receptor remoto. El hecho de sólo requerir períodos cortos de ocupación es respaldado por las habilidades del software correspondiente.

No requiere mantener el contacto con los satélites al pasar de una estación a la siguiente, sí cuando está estacionario, pero es muy exigente en cuanto a la resolución de la ambigüedad, lo que se traduce en:
 a) el uso de equipos doble frecuencia con código P, o, en su defecto,
 b) la reocupación de los puntos después de un intervalo de 50 minutos a 2 horas trabajando sobre la misma constelación.

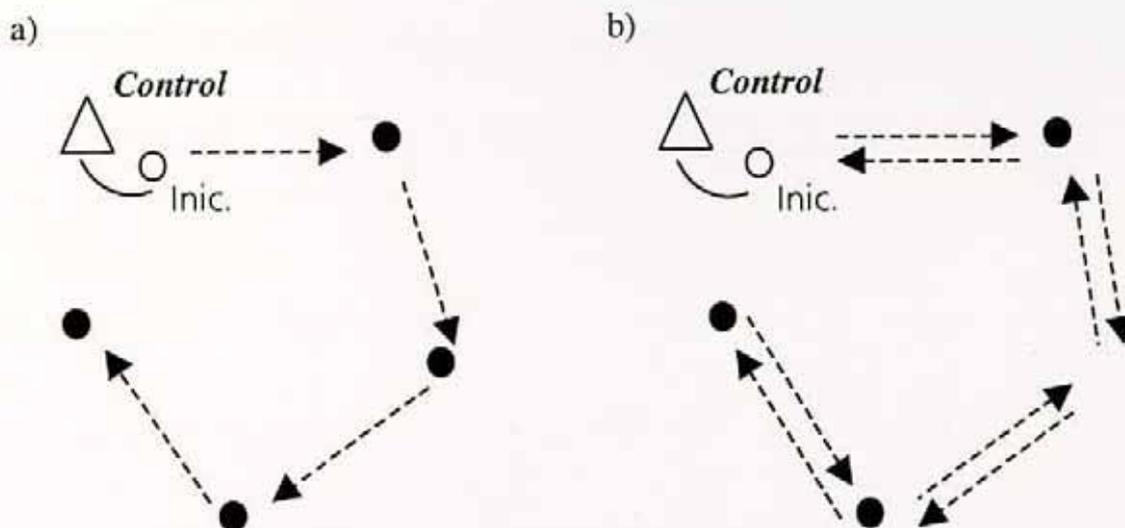


Fig. 5.6 Método estático rápido o pseudocinemático

Es muy importante en el caso de repetir la estación que el centrado de la antena se verifique estrictamente sobre el mismo punto es decir con igual posición planialtimétrica.

La ventaja de esta metodología de trabajo reside en que se aprovechan los cambios que se producen en las posiciones de los satélites y en la flexibilidad otorgada por el hecho de no exigir el contacto con los mismos entre estaciones, de igual modo no se alcanza el grado de exactitud de un posicionamiento estático relativo convencional realizado por los mismos aparatos.

5.2.3 Método Cinemático Continuo o Cinemático Puro

Puede decirse que esta es una técnica muy parecida a la Stop and Go. También exige el contacto con los satélites a partir del período de inicialización y si se produce una interrupción debe repetirse la resolución de la ambigüedad. La diferencia reside en que en este caso sí es válida la trayectoria del receptor remoto mientras éste se halla desplazándose, porque en cada una de las épocas, 1 ó 2 segundos, es registrada la posición de la antena. Dicha propiedad lo hace sumamente apto para efectuar el relevamiento de una línea irregular determinada, como podría ser el borde de una laguna, el trazado de una senda, una derrota de escalamiento, una línea de rivera, etc., sin detenciones, a pie o sobre vehículos en movimiento.

5.2.4 Inicialización

Cuando se realizan observaciones de fase cinemáticas con vistas a obtener un grado de exactitud aceptable es necesario, una vez encendidos los receptores, resolver las ambigüedades en un proceso que se lo llama *inicialización*.

A tal fin existen cuatro técnicas y ellas son: sobre línea base conocida; por barrido o intercambio de antena; medición estática y en movimiento (on the fly).

5.2.4.1 Sobre línea base conocida

Como su nombre lo indica es preciso instalarse sobre los extremos de una línea base corta conocida, determinada con anterioridad, la cual es ocupada por algunos minutos, cuyo número varía de acuerdo al modelo de instrumento disponible.

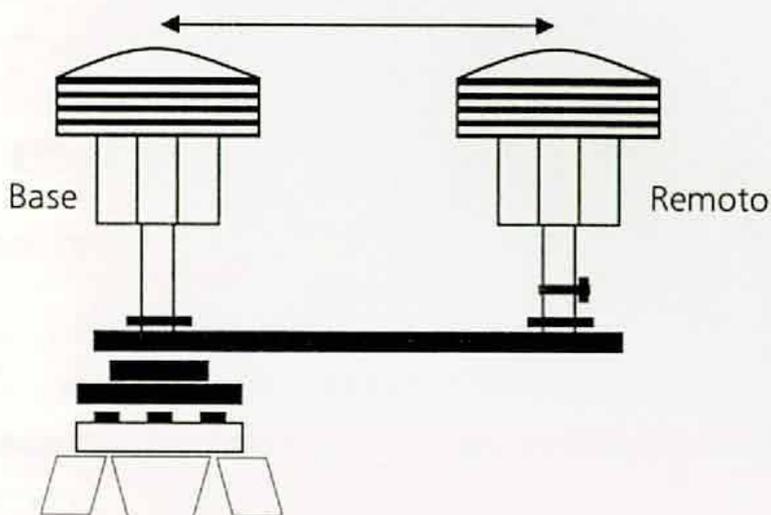


Fig. 5.7 Receptores sobre barra inicializadora

Algunas firmas proveen sus receptores con una barra adicional de longitud fija (fig. 5.7) que se adosa al trípode instalado en el punto base de modo que su extremo libre soporte al receptor que oficiará de remoto durante el proceso de inicialización. Al terminar la operación se lo traslada al bastón con el cuidado suficiente de no inclinarlo u obstruir la señal y puede comenzarse el recorrido según el itinerario y método planificados.

5.2.4.2 Por barrido o intercambio de antenas

Para aplicar esta técnica se requiere que el receptor base se encuentre sobre un punto de coordenadas conocidas y el remoto sobre un punto arbitrario distante a no más de 10m de aquél. Se comienza con más o menos algunos minutos de observación en común (este intervalo es variable según el instrumento). Luego se intercambian las antenas con la precaución de mantener el contacto con los satélites y se colectan datos durante igual período.

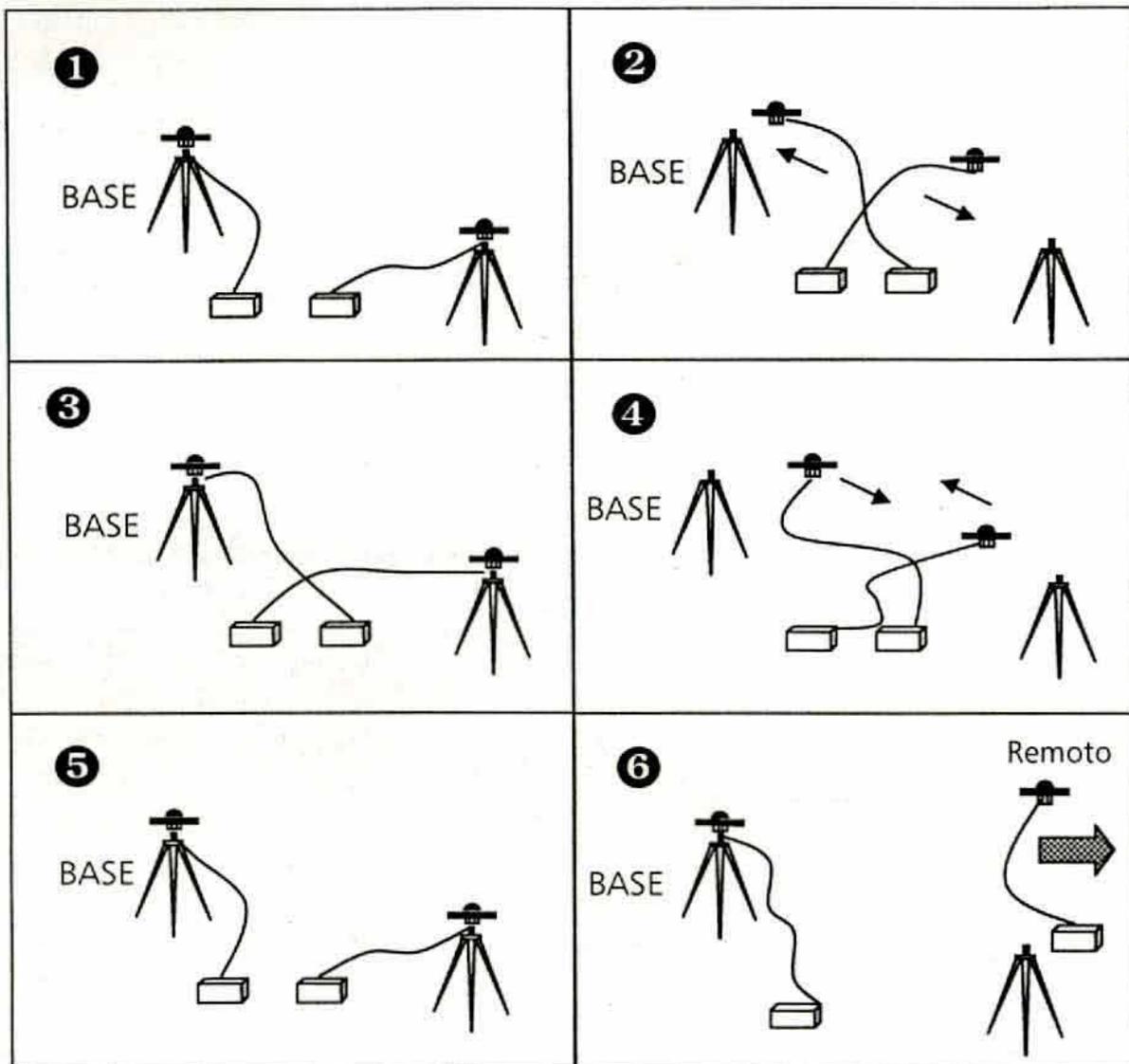


Fig. 5.8 Inicialización por intercambio de antenas

A los efectos de control conviene volver a mudarlas (⊖) a su posición original para observar por otro minuto más completando el proceso de inicialización.

5.2.4.3 *Por medición estática*

A fin de lograr la resolución de la ambigüedad en un período corto de tiempo en este caso se procede a medir una base reducida, sólo de algunos metros, uno de cuyos extremos es el punto de control, tal como se hace en una medición estática ordinaria.

En razón de las objeciones que algunos fabricantes le hacen a esta técnica conviene ajustarse siempre a las instrucciones que constan en los manuales respectivos pues ellas han sido enunciadas en base a intensos períodos de validación con instrumentos idénticos.

5.2.4.4 *Cinemático OTF (On-the-fly)*

Las técnicas OTF tienen la propiedad de completar el proceso de resolución de las ambigüedades mientras el receptor remoto se encuentra en movimiento permanente, es decir, en forma prácticamente instantánea y sin recurrir a ningún procedimiento estático. Ello se logra tomando señales de cinco satélites en común, a través de aproximaciones y mejoras sucesivas de las posiciones por el método de los cuadrados mínimos.

Esta característica las hace principalmente aptas para el uso en trabajos que demandan registros de un número muy abultado de puntos o desde vehículos en movimiento cuya detención puede generar inconvenientes: aeronaves (por ejemplo para ubicar los centros de toma de fotografías aéreas), mediciones stop and go a lo largo de caminos y carreteras (perfiles longitudinales), vías fluviales (relevamientos batimétricos) y levantamientos rápidos de datos en diversos tipos de terreno con automóviles, cuatriciclos u otros (modelos digitales del

terreno). Cualquier interrupción de la señal no impone el retorno a un punto anterior medido.

5.2.5 Cinemático en Tiempo Real o RTK

En la actualidad se destaca como novedosa la técnica de RTK, complementada con OTF, la cual hace uso de la fase de portadora y, desde un punto de control donde se ubica la estación base trasmite por radio correcciones al remoto, por ejemplo, cada dos segundos. De ese modo el móvil calcula sus coordenadas corregidas en una fracción mínima de tiempo, convirtiéndolas en valores de tiempo real desde el punto de vista práctico. Esta propiedad hace que el RTK constituya una metodología sumamente apta y efectiva para los más diversos replanteos topográficos a cielo abierto.

Las mediciones cinemáticas OTF y a tiempo real, son por ahora las de más alta productividad²⁵ pero el costo del instrumental adecuado aún se halla fuera del rango de inversiones fáciles de amortizar para gran parte de los profesionales de la Agrimensura.

²⁵ Se define como *productividad* a la relación entre la cantidad de puntos útiles colectados en campaña y un determinado intervalo de tiempo.

CAPÍTULO 6

ASPECTO PRÁCTICO DE LAS MEDICIONES GPS

En todo trabajo de medición con técnicas GPS es necesario cubrir una serie de etapas o fases comunes que pueden resumirse en cuatro (fig. 6.1):

1. Planeamiento y preparación.
2. Operaciones de campo.
3. Procesamiento de datos.
4. Informe final.

6.1 Planeamiento y preparación

La etapa de planeación y preparación es sumamente importante y nunca debe desecharse totalmente, cualquiera fuere la magnitud de la tarea encomendada al profesional, porque es la que permite la optimización de las otras fases con el consecuente ahorro de tiempo, esfuerzos y dinero, sumados a la calidad de los resultados.

Previamente quien se ocupa de la planificación debe responderse una serie de preguntas como, por ejemplo:

- ¿Cuál es el objetivo del trabajo y que exigencias plantea el cliente?
- ¿En qué tipo de terreno se debe operar?
- ¿Cuál es la exactitud requerida y técnicas posibles?
- ¿Se dispone de instrumental, equipo y medios adecuados y suficientes al efecto?



Fig. 6.1 Fases de una medición GPS

- ¿Qué antecedentes de mediciones existen en la zona?
- ¿A qué distancia se hallan los puntos de control preexistentes?
- ¿Existe buena cartografía o fotografía aérea actualizada de la región?
- ¿Qué tiempo se estima necesario para desarrollar el trabajo?
- ¿Hay aspectos particulares de la tarea que requieran consideración especial?

Una vez que se consiguen las respuestas es posible ingresar en la etapa de planeamiento propiamente dicha, la cual siempre debe considerársela seriamente y comprende los aspectos tratados a continuación.

6.1.1 Selección previa de los sitios a ocupar

Como primera tarea de planificación, a fin de proceder a preseleccionar sobre la carta los posibles lugares de emplazamiento de las estaciones, es necesario obtener antecedentes y la mejor cartografía disponible del área en la que se desarrollará el trabajo. Escalas entre 1:25000 y 1:100000 suelen ser suficientes y debe investigarse sobre material de orígenes diversos como IGM, organismos provinciales, municipalidades, vialidad, etc., incluso mapas de rutas editados por empresas comerciales.

Las condiciones básicas exigidas para el sitio en esta etapa de preselección son dos:

1. Buena visibilidad del cielo, sin obstrucciones en general, como podrían ser las de una población, un bosque alto o una selva.
2. Proximidad a un camino o facilidad de acceso.

Existen además otros aspectos a tener en cuenta, pero ellos son considerados en la etapa del reconocimiento en el terreno en que se verifican las condiciones actualizadas del entorno.

Es importante en esta fase de la tarea prestar especial atención

a la posibilidad de incluir puntos ya existentes, u ocupados por trabajos anteriores, y a la posible exigencia de definir un acimut de arranque lo que implica intervisibilidad entre dos estaciones distantes algunas centenas de metros.

6.1.2 Diseño del proyecto

Es este un paso que varía notablemente con la envergadura del proyecto, exactitud buscada y la cantidad de receptores disponibles.

Un factor importante usando de equipos de una sola frecuencia, es la longitud de las líneas base "punto de control-remoto", que en este caso los fabricantes recomiendan mantener por debajo de los 10 km, pues la exactitud disminuye en tanto las mismas se incrementan positivamente.

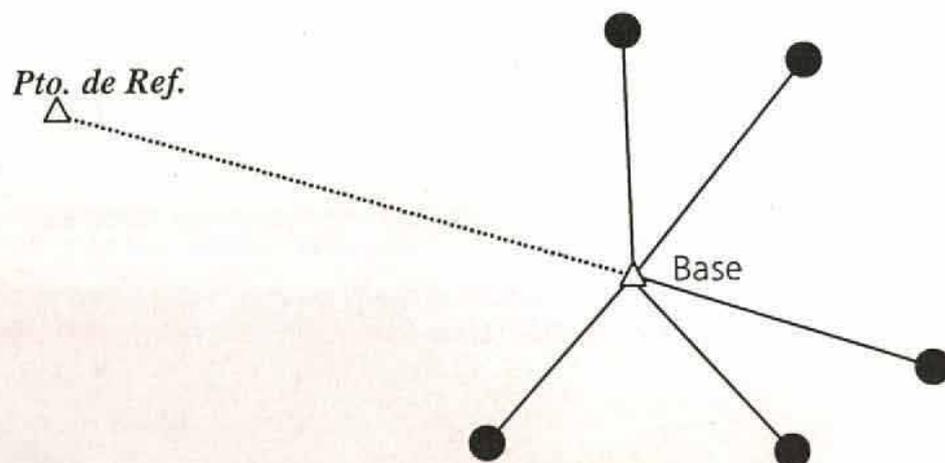


Fig. 6.2 Configuración radial y Punto de Referencia lejano

Además, en forma paralela a las distancias aumentan los tiempos necesarios para resolver con éxito las ambigüedades.

Si bien se pueden observar vectores mayores, los resultados óptimos

se obtienen si los mismos son menores de cinco kilómetros.

Cuando se tienen sólo dos receptores la estrategia adoptada para una medición estática es la de operar un instrumento en un punto central que oficia de base, previamente relacionado a un sitio de control si éste se halla muy alejado, en tanto el segundo ocupa estaciones adyacentes siguiendo una configuración radial.

Por sus características esta disposición no tolera ajuste geométrico de ninguna naturaleza y la exactitud relativa entre puntos adyacentes no interconectados, extremos de una línea base trivial, es pobre, cualquiera sea la distancia entre los mismos.

Cuando se dispone de dos receptores que pueden desplazarse entre estaciones mientras el principal permanece en la base suele emplearse la técnica denominada *leap-frog*²⁶, tipo *poligonal*, descrita en la figura siguiente.

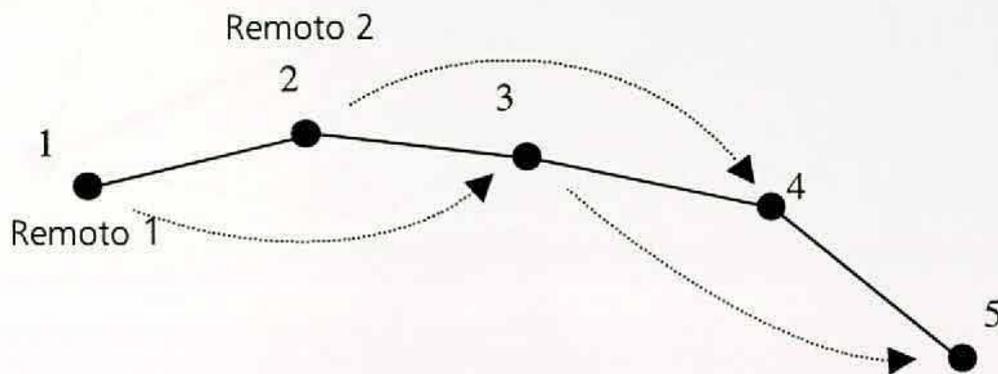


Fig. 6.3 Receptores desplegados en modo leap-frog

Si hay más de dos instrumentos operando, una alternativa distinta de las anteriores es ocupar los mismos puntos con un diseño de red conformada por polígonos cerrados, triángulos o cuadriláteros, según los receptores disponibles, con la precaución de reocupar líneas base comunes a polígonos adyacentes a fin de obtener observaciones redundantes para el ajuste.

²⁶ *Leap-frog* se traduce como "salto de rana".

El período de tiempo específico durante el cual simultáneamente se hacen determinaciones dentro de un mismo proyecto constituye una *sesión*.

Este tipo de solución casi siempre se adopta para trabajos geodésicos o cuando se pretende alta exactitud. Las sesiones, generalmente en modo estático, son entonces más dilatadas y es preciso procesar cierto número de líneas base en una solución combinada para el ajuste de la red.

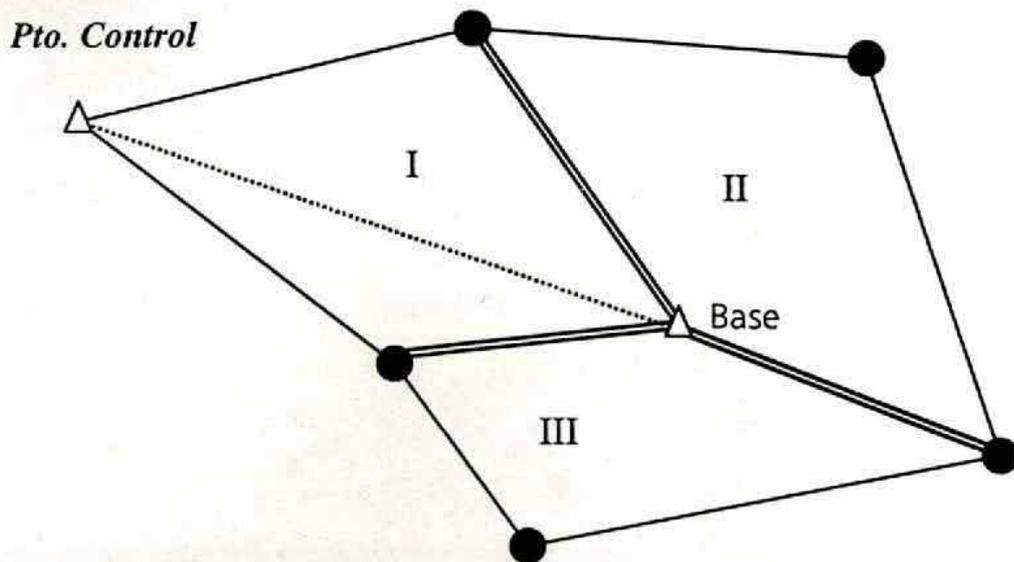


Fig. 6.4 Configuración en red

Aunque se mantengan las ubicaciones relativas de los sitios las alternativas son variadas. Sin embargo cabe notar que, cualquiera fuere el diseño adoptado, no tiene ninguna trascendencia la forma de los polígonos, como cuando se trabajaba con triangulación geodésica y era obligado atender a los valores angulares para lograr la fuerza de la figura. Como en el caso del diseño radial, es preciso no exagerar las longitudes de los vectores por la incertidumbre resultante en la consideración del retardo ionosférico, cuyo error remanente es de 1

a 2 ppm de la distancia correspondiente (1 a 2cm en 10km), para una atmósfera estable y actividad solar moderada en las latitudes medias²⁷.

En estos casos la fuerza del diseño reside en la estructura de la red, tópico algo más complejo que excede el objetivo de este libro.

Un detalle muy importante es asegurar la inclusión de suficientes observaciones redundantes con un 30% a un 50% de ocupación múltiple para que haya una buena probabilidad de detección de errores groseros durante la fase de ajuste.

6.1.3 Reconocimiento

El reconocimiento, previo al comienzo de las observaciones GPS, es la tarea de verificación en el terreno de la factibilidad y conveniencia del proyecto elaborado.

Ciertos profesionales se resisten un poco a cubrir adecuadamente esta etapa considerándola totalmente prescindible, pero, en proyectos importantes, como no se esté totalmente familiarizado con la zona de trabajo y se la haya visitado muy recientemente, es recomendable no dejarla de lado pues contribuye a una cuidadosa planificación y el consecuente ahorro de tiempo y recursos. Rinde provechos además, el hecho de registrar cuidadosamente en notas de campo todos los detalles incluidos en los aspectos tratados a continuación que se consideren significativos.

6.1.3.1 Características de los sitios

- El cielo debe estar despejado de posibles obstrucciones a partir de los 15° de altura. Cuando se tienen dudas sobre si algún objeto, o grupo de ellos, existente en el entorno puede obstaculizar las señales,

²⁷ Campbell, Cloppenburg, Lohmar, 1984.

conviene identificarlo en las anotaciones y relevar someramente (brújula y clinómetro serían suficientes) su perfil vertical en acimut y altura, para contar con elementos de juicio ciertos al cotejarlo con las posiciones de los satélites que intervendrán en la medición.

Por la rapidez de la consulta para esta consideración pueden ser de utilidad gráficos que relacionan la distancia y la altura relativa de una posible obstrucción, como el que se muestra en la figura 6.5.

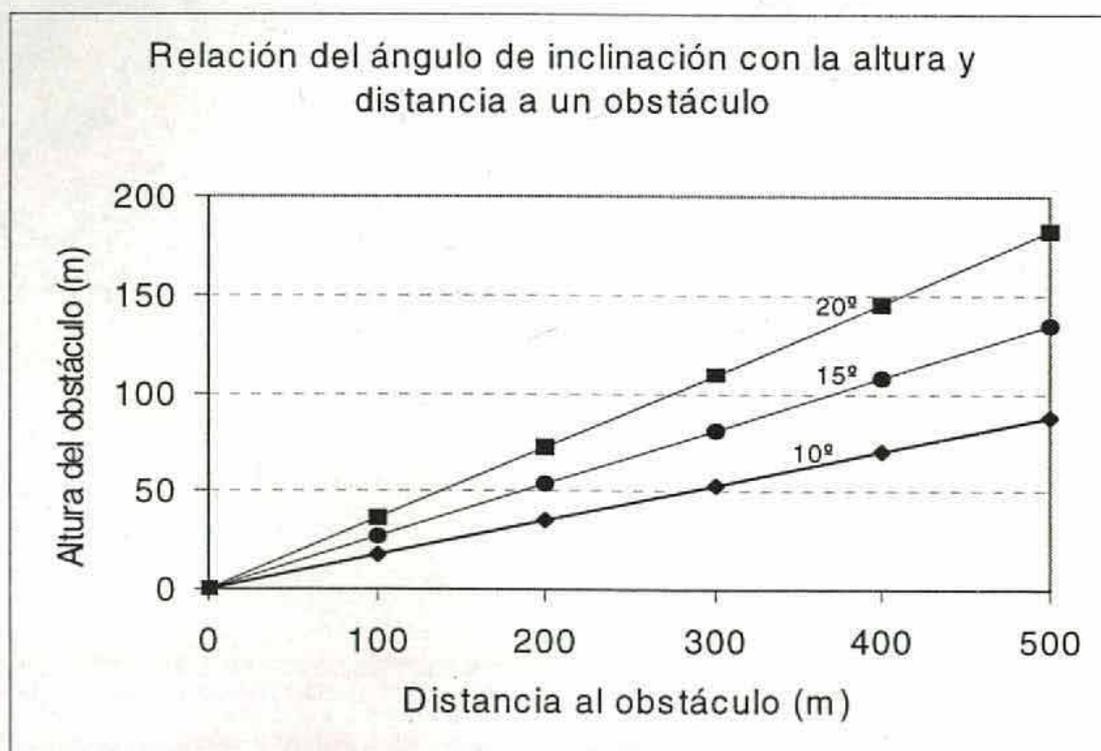


Fig. 6.5 Relación entre la altura de un obstáculo, el ángulo de elevación y la distancia a él.

- Hay que tener en cuenta que la proximidad de árboles altos con denso follaje puede provocar pérdidas intermitentes de la señal. Si en el sitio se va a instalar un mojón permanente, también debe considerarse el crecimiento de ejemplares jóvenes próximos que aún no se han desarrollado más el hecho que los árboles de hoja caduca están desnudos en invierno mientras, probablemente, con el desarrollo de las ramas

y hojas, constituyan un obstáculo en verano. Del mismo modo, si se presenta la duda, es aconsejable informarse si el lugar no está destinado al emplazamiento de futuras construcciones o movimientos de suelos.

- A fin de disponer de un patrón de las posibles obstrucciones resulta conveniente, además, tomar fotografías que documenten la situación para reconsiderarla a posteriori evitando nuevas visitas al sitio.
- La naturaleza del terreno donde estará emplazado el punto debe ser estable y tal que el mismo no esté expuesto a inundaciones, deslizamientos, movimientos de suelos, etc. De acuerdo a la misma habrá que decidir el montaje apropiado de la antena, pilar, trípode u otro.
- Si el trabajo requiere el emplazamiento de una señal permanente es conveniente elegir un sitio donde no resulte sencilla su remoción y en lo posible en terreno público para evitar futuros problemas con los permisos de acceso a propiedades privadas.
- El sitio no puede encontrarse muy cercano a objetos metálicos, espacios con movimiento de vehículos, estructuras o espejos de agua que provoquen multicaminos por reflexión.
- Es preciso controlar que el punto esté libre de posibles interferencias eléctricas (cables de alta tensión, radares, transmisores de radio y TV, telefonía celular, etc.).
- Debe verificarse in situ la visibilidad clara del lugar correspondiente a una marca acimutal, ya instalada o a instalar según lo proyectado. Si fuese necesario, proceder a determinar en el área la ubicación de una estación excéntrica que permita la orientación de una línea por vinculación.
- Prever la posibilidad cierta de una vinculación altimétrica a un punto de la red de nivelación que posibilite computar el valor de la ondulación del geoide.

6.1.3.2 Verificación de las marcas y puntos de control

- Las marcas deben identificarse apropiadamente y verificar que realmente cumplen con las exigencias de una estación GPS.
- Aunque se conozca el sitio de antemano, es prudente comprobar que el o los puntos de control en los que se apoyarán las observaciones aún existen y se encuentran en buenas condiciones de conservación y estabilidad.
- En cuanto a los puntos nuevos, o a reponer, deben ser previamente marcados, luego determinar y registrar sus coordenadas aproximadas y por último decidir sobre el tipo de monumentación o señalización necesarias. Si se trata del emplazamiento de un pilar en terreno privado es preciso gestionar y lograr por anticipado la autorización del propietario.

6.1.3.3 Identificación de los requerimientos logísticos

Es éste un ítem sumamente variable en función de:

- 1) El número de estaciones a medir, el de receptores a utilizar, la metodología elegida y las características del equipamiento material y humano disponible,
- 2) El tipo de terreno, distancias, transporte usado, clima de la región en la época del año fijada para la tarea y tiempo destinado a completarla. Por lo tanto el reconocimiento debe permitir decidir sobre:
 - Conveniencia del diseño geométrico.
 - Modo de transporte (automóvil, caballo, helicóptero, etc.)
 - Tiempo de acceso a las distintas estaciones.
 - Sistema de comunicaciones.
 - Equipos o procedimientos especiales.

- Precauciones por seguridad del personal y equipos.
- Lugar de alojamiento.

6.1.4 Instrumental y personal

El ítem que hace referencia a los receptores GPS a utilizar en el levantamiento de datos muestra diversas facetas. Lógicamente la exactitud exigida y la técnica a aplicar restringen la gama de modelos a seleccionar pero debe prestarse especial atención al número y tipo requeridos: si los propios son suficientes, si se deben adquirir otros o si es posible alquilarlos. Cualquiera fuere la opción elegida es recomendable que sean de la misma marca y características técnicas equivalentes a fin de evitar incompatibilidades y problemas de procesamiento. Es aconsejable además que todos los receptores que intervendrán en la medición, cuando llevan meses sin trabajar o han sido trasladados desde distancias muy grandes después de la última medición, sean puestos a tomar señal unos días antes. Si no, en tales casos, un aparato al encenderse se encuentra "perdido" y una vez contactado con los satélites desarrolla una fase de prueba y error que puede demandar unas decenas de minutos, influyendo negativamente en la coordinación temporal de la operación.

Otros elementos que deben tenerse presente son los requerimientos de hardware y software más la capacidad de almacenaje de datos, aspecto que puede acarrear molestas interrupciones, viajes y gastos innecesarios. Disponer de una PC portátil es importante para una etapa de preprocesamiento que permita verificar en el campo la validez de los datos obtenidos.

Es provechoso también prever todo el instrumental auxiliar (baterías, radios, cables, cintas, plomadas, bastones, mástiles, etc.) y aún estación total, teodolito o nivel cuando se necesitan. Este conjunto debe complementarse con libretas de campo, mapas, manuales, programas

de observación, instrucciones, etc. y repuestos diversos.

Otra cuestión que debe prevenirse es la disponibilidad de las fuentes de alimentación de energía necesarias para todo el equipamiento, desde receptores, computadoras portátiles y elementos de comunicaciones hasta las de uso del campamento, si lo hubiere.

En cuanto al personal que intervendrá en el trabajo, del jefe de campaña al procesador, es necesario que esté convenientemente entrenado para minimizar los errores y adquiera pleno conocimiento de la tarea que le es asignada dentro del proyecto.

Si alguien del equipo no está familiarizado con el instrumental y las técnicas GPS que deberá trabajar, se impone el desarrollo de una etapa de preparación para lograr el dominio y destreza adecuados.

6.1.5 Validación

Antes de proceder al levantamiento de datos en campaña es necesario tener la certeza que los instrumentos, técnicas de posicionamiento proyectadas, software a usar para el procesamiento de datos, tanto como el personal que intervendrá en las operaciones, funcionarán y rendirán de acuerdo a lo previsto.

Si hay experiencias similares anteriores exitosas, una rápida revisión será suficiente para prever posibles inconvenientes. Pero si algunos de los elementos mencionados son empleados por primera vez, debe procederse a probar todos los procedimientos, desde el levantamiento de datos hasta el procesamiento de los mismos, a través de ensayos que permitan identificar y resolver los problemas con antelación.

Esta tarea ayudará además a economizar recursos, ordenar y agilizar las operaciones definitivas. No es fácil cubrir por completo los distintos aspectos de una medición si no se ha experimentado con todos los elementos intervinientes en ella previamente.

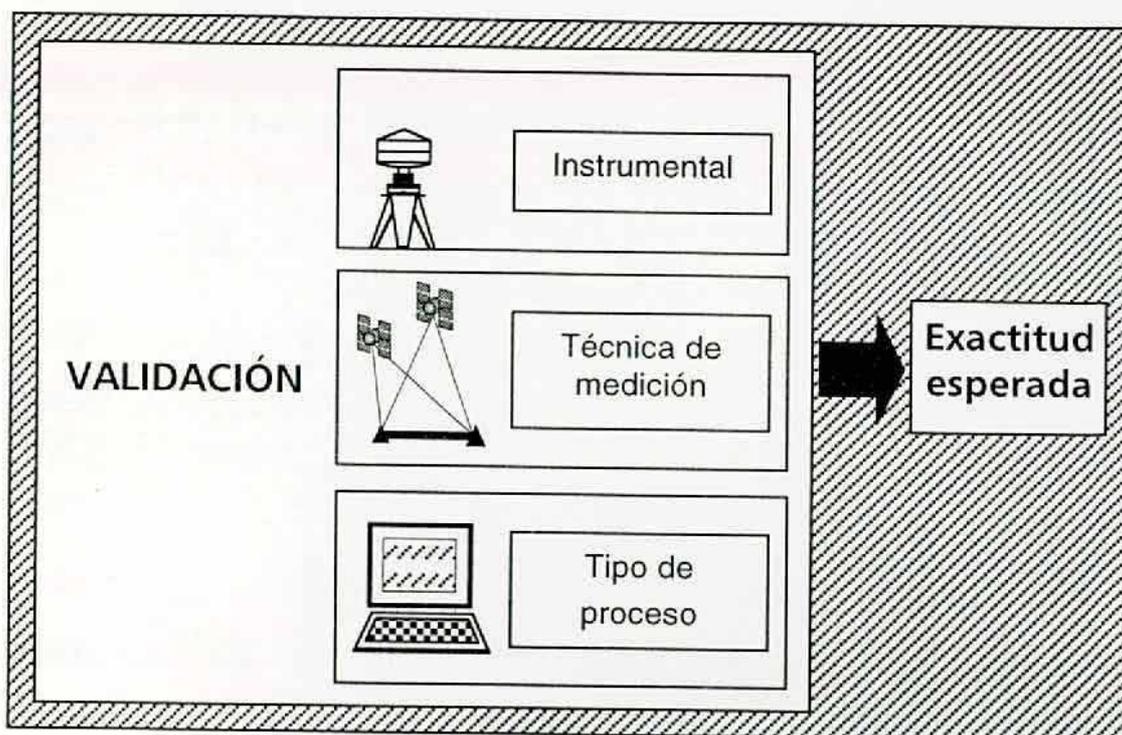


Fig. 6.6 Factores que intervienen en el proceso de validación

Un detalle práctico radica en redactar en forma sencilla y sintética un menú que incluya los diferentes pasos a seguir secuencialmente en cada estación, incluidos los del manejo del receptor, para consulta de los operadores.

Dado que el aspecto crítico reside fundamentalmente en la calidad de los resultados finales es aconsejable efectuar pruebas usando puntos de control y bases de exactitud conocida y superior a la buscada. A tal efecto se debe tener presente que los principales factores que influyen en la bondad de una línea base son: su longitud, tipo de instrumento, observable, tiempo de observación, número de satélites observados, PDOP, exactitud de las coordenadas del punto de control y software de procesamiento.

Cuanto más familiarizados están los operadores con los distintos pasos de la medición mayores son las probabilidades de éxito.

6.1.6 Programa de observaciones

La preparación de la medición debe contemplar además otros aspectos que no pueden improvisarse en el terreno y comprenden:

- Estudio de la disponibilidad y visibilidad de los satélites.
- Distribución de tareas y responsabilidades.
- Diagrama y/o planilla de los puntos ocupados en secuencia y tiempo por los distintos receptores, preferentemente complementado con un mapa.
- Restricciones logísticas.
- Tiempos muertos (intervalos ocupados por accesos, desplazamientos de un sitio al siguiente, puesta en estación, levante de la misma, etc.).
- Establecimiento de sistemas claros, que no induzcan a confusiones, para identificación de las estaciones y los archivos levantados en ellas en distintas sesiones.

El primer tópico, disponibilidad y visibilidad de los satélites merece especial atención porque está fuertemente relacionado con la posibilidad de interrupción de las señales y la calidad de éstas.

Cuando se tiene precisiones acerca de las fechas en las que se desarrollará el trabajo y la ubicación definitiva de los puntos a ocupar, a fin de alcanzar los mejores resultados posibles, se realiza el planeamiento de las observaciones de los satélites, cuyas posiciones son previsibles a través de programas propios del software de los receptores.

Esta tarea se basa en el llamado *almanaque*, el cual comprende una serie de parámetros orbitales de baja precisión, aportados por el mensaje de navegación que trae la señal de cada satélite. En razón de lanzamientos recientes o satélites fuera de operación es mejor contar con datos actualizados, por lo que conviene bajar el almanaque de un receptor que haya estado trabajando pocos días antes o, de lo

contrario, poner el aparato en cualquier lugar a cielo abierto a tomar señal durante unos 13 minutos para que se haga de la información completa. Aunque se rastreara un solo satélite se tendría igualmente los valores de todos los demás en órbita.

Con los valores sólo aproximados de las coordenadas geográficas del lugar de observación, fecha y ángulo de máscara, el programa específico brindará para las 24 horas del día, o el intervalo que el profesional establezca, la información gráfica y/o tabulada de:

- Satélites a la vista.
- Tabla de acimut y elevación de cada satélite disponible.
- Gráfico de la variación del acimut de cada satélite con la hora.
- Gráfico de la variación de la elevación de cada satélite con el tiempo.
- Los diferentes DOP, variación y relación con el número de satélites.
- Los períodos óptimos o *ventanas* que cumplen con las condiciones que el profesional impone (generalmente PDOP < 4 y máscara 15°).

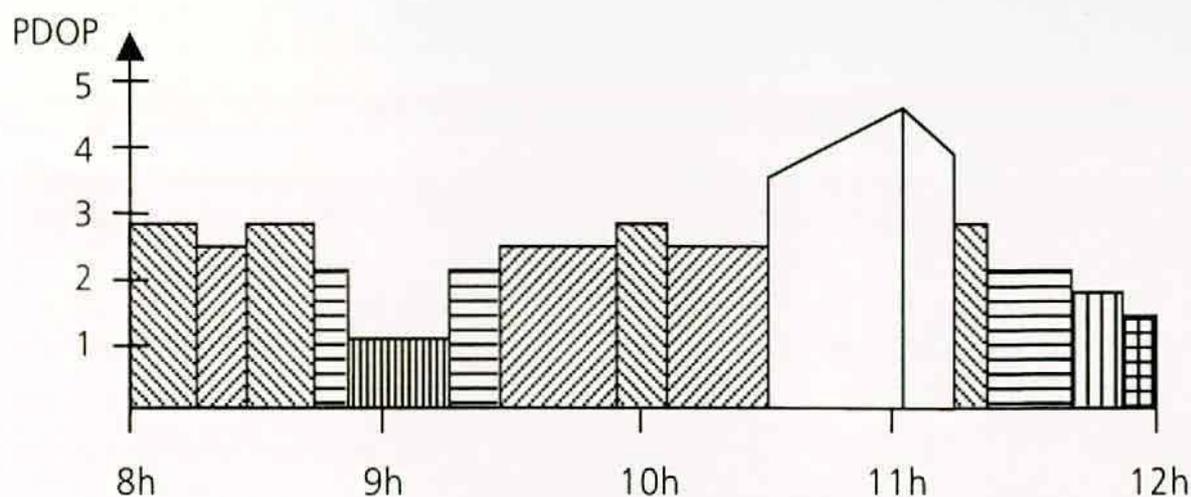


Fig. 6.7 Gráfico de los PDOP

- Sky-plot polar o gráfico del hemisferio visible del observador, el cual permite informarse rápidamente sobre la geometría de la constelación

visible durante las horas que se indique, con la traza de los arcos descritos por los satélites en función de su acimut y elevación.

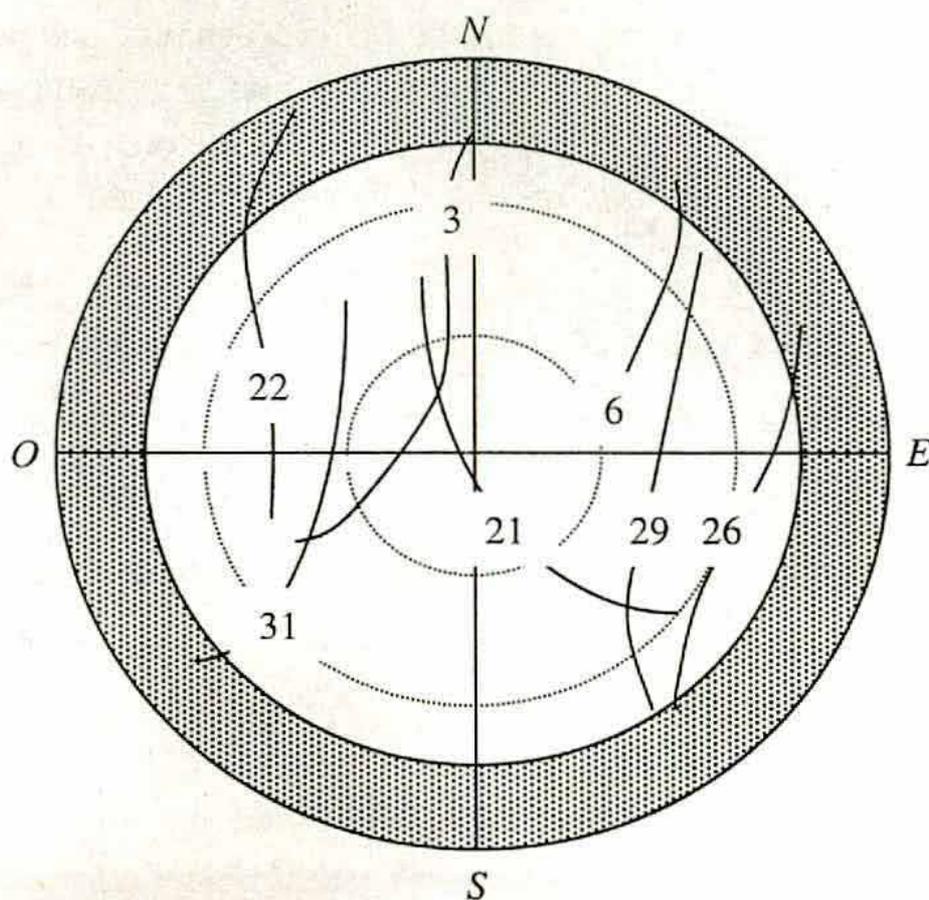


Fig. 6.8 Sky-plot

- Gráfico de obstrucciones, si el software lo permite. Si no, puede hacerse manualmente volcando sobre el sky-plot el perfil vertical de las posibles obstrucciones obtenido durante el reconocimiento, a fin de contrastarlo con las trazas de los satélites.

Ante la duda, es interesante prever antes de ir a campaña soluciones alternativas, desde la simple extensión de un bastón o mástil a la posibilidad de cambiar de sitio.

Capítulo 6 - Aspecto práctico de las mediciones GPS

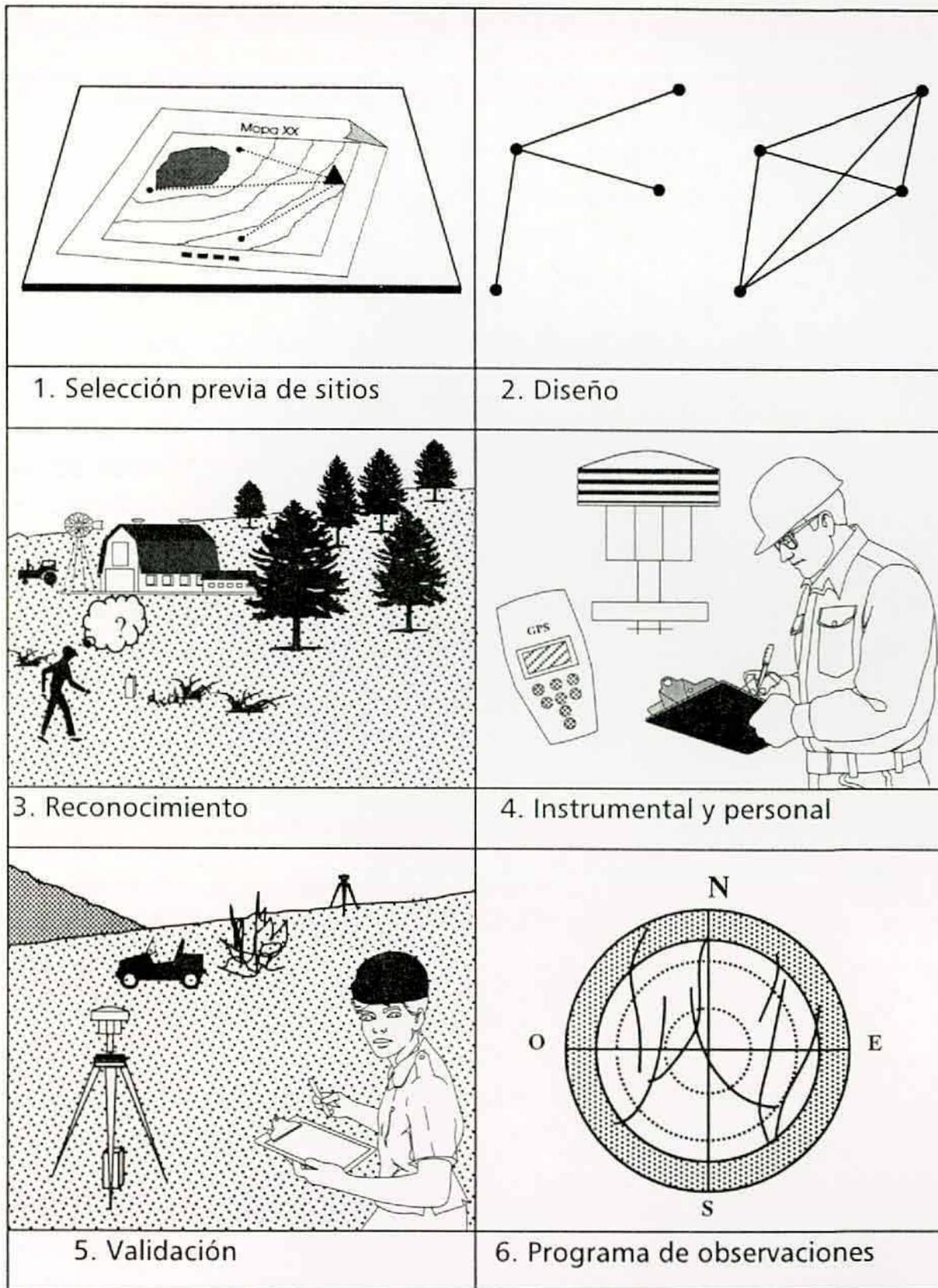


Fig. 6.9 Aspectos de la planificación y preparación de una medición GPS

6.2 Operaciones de campo

Una cuestión crucial de las operaciones de campo reside en el hecho que cada uno de los integrantes del equipo de medición, cualquiera fuese su número y la magnitud del proyecto, tenga bien en claro cuáles son las tareas que ordenadamente debe desarrollar y los diferentes aspectos del trabajo de los que es responsable y está obligado a responder.

Cuando se ha cumplido acabadamente la fase de planeación y preparación es de esperar que esta etapa no presente mayores inconvenientes pero, ante la presencia de eventualidades, es preciso que los operadores estén capacitados para encontrar rápidamente la solución adecuada.

La Geodetic Survey Division de Canadá en su obra "GPS Positioning Guide" (1995) resume las responsabilidades de campo adjudicándoselas a tres partes distintas: jefe, operadores y procesador. La síntesis de sus consideraciones fue la base del siguiente listado ampliado:

Jefe de operaciones

- Listar las observaciones según el plan (quién, cuándo, dónde, frecuencia o época, cuánto).
- Instruir y supervisar la tarea conjunta.
- Prever planes de repetición de sesiones ante contingencias imprevistas.
- Chequear los posibles problemas con los satélites.
- Evaluar diariamente los resultados y modificar el plan si es preciso.
- Manejar las dificultades logísticas.
- Llevar una memoria de campaña con las tareas cumplidas y observaciones o comentarios pertinentes, dejando constancia de las soluciones alternativas asumidas no previstas en el plan inicial.

Operadores

- Chequear que el equipo requerido se encuentra completo y operable, incluidas las radios, o los teléfonos.

Capítulo 6 - Aspecto práctico de las mediciones GPS

- Verificar que se dispone de los manuales del receptor, instrucciones sintéticas, diagrama de trabajo, programa, planos, mapas de ruta, etc.
- Asegurarse que las baterías, instaladas y de repuesto, tienen carga completa y los cables y conectores estén en condiciones.
- Controlar si el receptor tiene capacidad de memoria suficiente o si es preciso proceder a limpiarla antes de la medición.
- Asegurarse de borrar los archivos del receptor sólo después que el procedimiento de bajada de datos ha sido verificado.
- Tener presente que todas las observaciones deben ser coordinadas, por lo tanto evitar las improvisaciones y decisiones inconsultas individuales.
- Lograr evidencia o conformidad de hallarse en el punto correcto antes de hacer estación sobre él.
- Nivelar, centrar y orientar, si es preciso, la antena GPS.
- Medir la altura de la antena e inicializar el receptor.
- Controlar que el aparato está adecuadamente seteado y trabaja sin inconvenientes de acuerdo a las exigencias previstas.
- Operar el receptor y evitar movimientos innecesarios en torno a la antena una vez comenzado el registro de datos.
- Verificar la altura de la antena antes de levantar la estación.
- Permitir se cuente con el tiempo suficiente para viajar hasta el próximo punto.
- Completar prolijamente la hoja de referencias con fecha, nombres de observador y sitio, identificación del receptor y la antena, altura de ésta, tiempo de inicio y fin de la observación, condiciones climáticas generales, inconvenientes si los hubo y soluciones aportadas.
- Entregar los datos y hoja de referencia al procesador al fin del día.

Procesador

- Verificar los registros de datos.
- Bajarlos a la computadora tan pronto como se pueda.
- Efectuar backups de datos crudos. En lo posible separadamente.

- Etiquetar clara y sistemáticamente los disquetes de acuerdo a una convención única, fácil de interpretar y que no induzca a confusión, y protegerlos contra escritura.
- Organizar esmeradamente los datos.
- Preprocesar los archivos GPS encontrándose aún en el área de trabajo. Frecuentemente la reobservación de una base o una sesión implica menos tiempo y gastos que posponer esta tarea para hacerla después en la oficina y encontrar resultados no satisfactorios.
- Efectuar el ajuste conjunto de sesiones cuando el diseño, la cantidad de datos y el software lo permiten.
- Chequear los resultados y reportarlos al jefe.
- Mantener los elementos de hardware y software en condiciones de operabilidad plena.

6.3 Procesamiento de datos

El núcleo de esta fase de la medición GPS reside en el programa utilizado por el profesional, que la mayoría de las veces es el que acompaña a los receptores propios o alquilados, o *software comercial*. Los *softwares científicos*, multipropósitos, son desarrollados por instituciones científicas de distintos países como Canadá, Suiza, Alemania, Estados Unidos, etc. y se adquieren contactándolas directamente. Sus características deben estar obligadamente asociadas a la técnica desarrollada durante la medición, lo que anticipadamente ya ha sido verificado durante el proceso de validación.

Atendiendo a este aspecto, cuando se ha trabajado con un equipo mixto hay que recurrir a la conversión de los archivos a RINEX, o *Receiver Independent Exchange Format*, conjunto de formatos y definiciones para tiempo, fase y distancia que permite intercambiar y procesar datos provenientes de receptores GPS de diferentes características, marcas y modelos, adicionándoles algunos otros como: coordenadas aproximadas de la estación, altura de la antena, registros meteorológicos,

etc. El mismo agrupa tres tipos de archivos ASCII: a) de *observación*, con un encabezado y una sección de datos, b) de *navegación* y c) *meteorológico*. Si el sistema es mixto, agrega un archivo *Glonass*.

Para evaluar las propiedades y adaptabilidad de un programa a los propósitos de los trabajos estándares de la profesión conviene centrar la atención en aspectos funcionales del mismo tales como:

- Memoria requerida.
- Compatibilidad con las computadoras que se dispone.
- Tipo de datos que procesa.
- Capacidad de transformar fácilmente los archivos propios a RINEX y de incorporar archivos RINEX al cálculo.
- Opciones para procesar multiestaciones y multisesiones.
- Límites no estrechos para el número de puntos, líneas base y sesiones que es capaz de procesar en un proyecto.
- Posibilidad de combinar datos.
- Tiempo invertido en un procesamiento estándar (que también depende de la computadora).
- Transformaciones de coordenadas para distintos datums y sistemas de proyección.
- Presentación clara de los resultados en forma numérica y gráfica.
- Rutinas sencillas, facilidad para aprender su manejo y condición de "amigable", con "ayudas" (*helps*) precisas, claras y completas

Generalizando, puede decirse que la etapa del procesamiento, cuyas tareas se desarrollan en forma prácticamente automática según la capacidad, alcances, complejidad e instrucciones propias del programa empleado, comprende:

1. Carga de datos y efemérides.

La tarea de carga de datos es meramente mecánica. En cuanto a las efemérides, si bien pueden usarse las radiodifundidas para líneas base de hasta 50km, para acotar errores es conveniente introducir efemérides precisas cuando las distancias en cuestión superan los 25km.

Las mismas pueden ser bajadas, entre otros, de los siguientes sitios web:

<http://gibs.leipzig.ifag.de>

<ftp://gracie.grdl.noaa.gov>

<http://www.navcomuscg.mil>

2. Procesamiento de los observables.

En este paso existe un punto crucial que el software realiza sin intervención humana que es *la resolución de las ambigüedades* de la cual depende la calidad de los resultados de las dobles diferencias. Según el procedimiento pueden distinguirse dos tipos: *solución flotante o libre y solución fija*. Al principio del proceso se genera la primera, la cual consiste en asignar al número N de las ambigüedades un número real que se mantiene flotante. Pero N es un entero, por ello, si la cantidad de datos es suficiente, en una segunda etapa del procesamiento se fuerza al programa a encontrar varias soluciones enteras, *fijas*, de las cuales selecciona la mejor. Si el número hallado es correcto se puede hablar de un alto grado de exactitud, por ello las mediciones centimétricas siempre exigen una solución fija ya que cabe esperar que las flotantes entreguen valores básicamente decimétricos (aunque suelen ser mejores). Si los errores son tales que se llega a un N entero incorrecto, probablemente los resultados sean peores que los surgidos de la solución flotante, más débil, y es la única variante seguida por el programa si los datos son insuficientes. Puede resultar repetir el proceso variando la máscara o eliminando algún satélite bajo "ruidoso".

Cualquiera sea el software empleado, todos los procedimientos que conducen a los productos mencionados, surgen de la aplicación de algoritmos basado en el *Método de los Cuadrados Mínimos*.

3. Análisis de datos y resultados.

El análisis y la interpretación de los datos y resultados que arroja un programa específico de cálculo varían notablemente de un paquete a otro pero en general se centran en una serie de indicadores numéricos

y gráficos que el mismo muestra en el ámbito de pre-proceso, proceso y post-proceso, cuya evaluación demanda ciertos conocimientos y experiencia.

Por ejemplo el valor obtenido de una simple línea base puede ser evaluado por:

- a. Los valores de la desviación estándar (σ) del vector en sí y las de sus componentes, expresados en metros, ya se trate de coordenadas cartesianas o geodésicas. Como en las mediciones estáticas el número de medidas es alto, a menudo los valores de los respectivos σ suelen ser bajos, milimétricos, resultando estimaciones optimistas a usar con ciertas reservas. En tanto si son muy grandes constituyen un serio llamado de atención sobre la bondad de la medición.
- b. Atendiendo a las sumatorias de los cuadrados de los residuos el parámetro "ratio" o "razón" es un indicador robusto de la bondad del resultado de una línea base y señala cuán buena es la mejor solución fija respecto a la que le sigue en calidad. Por ende son recomendables los valores grandes, siempre mayores que 3.
- c. Los softwares modernos muestran un gráfico de residuos de la medición. Éste debe ser aprovechado por el procesador para chequear el comportamiento de las medidas surgidas de cada satélite e identificar posibles errores groseros, teniendo en cuenta que los residuos no pueden ser mucho más grandes que el valor indicado por la exactitud de medida que el equipo rinde. Para aquéllos casos en que es posible contar con la variante "normalizada" de los mismos debe tenerse presente que la probabilidad de ocurrencia de un valor mayor que 3,5 es inferior al 0,1%²⁸. Por lo tanto, si todos se mantienen debajo de dicho límite, puede confiarse en que no se han deslizado desaciertos.
- d. La varianza de referencia o factor varianza. Es un parámetro estadístico adimensional igual al cuadrado del desvío estándar de una observación

²⁸ Ver pag. 67.

ficticia de referencia. El mismo indica en que medida el desvío estándar, o la varianza, de la solución se ajusta al esperado según las medidas obtenidas. En otros términos: la varianza de la unidad de peso puede ser a priori o a posteriori, según que corresponda a un valor estimado antes del ajuste o al valor calculado después del mismo. Al comienzo del proceso el programa suele asignar el valor 1 a la varianza a priori para facilitar la comparación. La Varianza de Referencia contempla tres situaciones posibles:

- (1) Si su valor es 1 o cercano a 1 puede inferirse que las ambigüedades están bien resueltas, las observaciones no contienen errores groseros y el resultado es válido.
- (2) Si es significativamente mayor, cabe pensar lo contrario, o bien la varianza a priori es excesivamente optimista y es preciso escalarla a valores mayores.
- (3) Si es notablemente menor probablemente es porque se esperan valores muy pesimistas.

De todos modos no existen valores de corte y debe interpretárselo como un indicador más, no definitorio.

4. Ajuste y control de calidad

Si la medición se ha realizado según un diseño de polígono cerrado o red, las líneas base son introducidas en una solución combinada que se corresponde con una fase de *ajuste*. La misma consiste en una estimación de las coordenadas 3D de los puntos incógnitas según el método de los cuadrados mínimos para que sus posiciones resulten consistentes dentro del marco del diseño. Esta tarea no es posible si no se cuenta con un número de observaciones que exceda al estrictamente necesario.

Siempre debe tenerse presente que un ajuste por cuadrados mínimos sólo es tan bueno como lo ha sido el trabajo de campo

Entre las herramientas específicas para la detección de errores groseros, aparte de las ya citadas, merecen mencionarse algunas otras.

a. Análisis de cierre de los polígonos: todos los errores de cierre deben ser de magnitud acorde a la exactitud brindada por los equipos usados, en caso contrario puede pensarse en la presencia de algún error grosero, desafortunadamente no siempre sencillo de identificar y aislar. Una prueba interesante consiste en generar distintos polígonos con los vectores disponibles e ir analizando los cierres.

b. Cuando la varianza de referencia es mayor que 1 puede aplicársele el test de probabilidad de Chi Cuadrado como una segunda instancia para probar la validez de los errores de las observaciones.

(1) Si el valor del test cae dentro del rango de aceptación significa que estadísticamente los dos valores de la varianza de la unidad de peso, a priori y a posteriori, son equivalentes y el ajuste es bueno.

(2) Si ocurre lo opuesto el test falla señalando la presencia de un problema en el ajuste.

c. Los residuos normalizados pueden ser analizados para ver si podrían originarse en una observación con un error grosero sometiéndolos a la prueba o criterio Tau.

El algoritmo específico computa un valor crítico Tau a partir de una determinada distribución de frecuencias y lo compara con cada uno de aquéllos. El fracaso del test no indica necesariamente la presencia de un desacierto y se debe proceder a examinar minuciosamente la observación. En caso de comprobarse la falla, se la debe eliminar y luego reprocesar sometiéndolo el nuevo cálculo a los mismos pasos y pruebas descriptos.

Este procedimiento hay que repetirlo tantas veces como sea necesario hasta que todos los outliers sean removidos.

Volver al campo para repetir una medida nunca es mala idea

6.4 Informe final

Generalmente el profesional tiene que presentar un resumen o informe escrito, sucinto o minucioso, para que quien le ha encomendado el trabajo, u otra persona competente, no sólo disponga de los resultados sino que esté en condiciones de evaluarlos. Además de los detalles de su presentación, que habitualmente reflejan una actitud personal, las mediciones en sus diversas etapas deben estar clara y ordenadamente descritas y documentadas según las normas vigentes, si las hubiere, y las exigencias del cliente.

Si se pretende lograr que los informados se formen una idea completa de la tarea debiera incluirse los siguientes ítems:

1. Ubicación y descripción del área de trabajo, en lo posible complementado con un mapa.
2. Objetivo de la tarea.
3. Reglamentaciones o especificaciones que se consideraron.
4. Descripción del equipo GPS utilizado así como del instrumental convencional que se usó como complemento, tipo, marca y número de serie.
5. Puntos de control preexistentes que se usaron asociados a sus coordenadas y constancia de los no encontrados.
6. Coordenadas de los puntos de control nuevos que se emplazaron y tipo de monumentación o señal que los materializa.
7. Marcas de acimut y orientación de una línea base con descripción del instrumental y metodología empleados a tal fin.
8. Técnica de levantamiento de datos aplicada.
9. Listado de ocupación de los puntos con las correspondientes alturas de antena.

Capítulo 6 - Aspecto práctico de las mediciones GPS

10. Problemas técnicos y fallas producidos a lo largo de las distintas etapas.

11. Software de procesamiento utilizado.

12. Posiciones ajustadas y coordenadas planas de todos los puntos.

13. Parámetros y gráficos estadísticos que cuantifican la precisión y exactitud obtenidas.

14. Copia de los archivos correspondientes en formato RINEX.

BIBLIOGRAFÍA Y CONSULTAS

Libros y publicaciones

Geodetic Survey Division of Natural Resources Canadá (1994): GPS Positioning Guide.

Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger H , Collins J. (1992): Global Positioning System: Theory and Practice. Springer-Verlag, New York.

Leick A. (1990): GPS Satellite Surveying. John Wiley, New York

Rodríguez R. (1989): Una red GPS para el país: el proyecto POSGAR: Revista del IGM, Año 4 (6).

Seeber G. (1993): Satellite Geodesy. Foundations, Methods and Applications. Walter de Gruyter, New York,

Strang G – Borre K (1997): Linear Algebra, Geodesy and GPS. Wellesley – Cambridge Press

Univ. Nac. de La Plata: GPS, Seminario' 92:

Usandivaras J.C., Rodríguez, R. y Brunini C. (1993): GPS, un nuevo enfoque para levantamientos. Obs. Astronómico de La Plata.

Wells, D.E., Beck N. et al. (1986): Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Associates, Fredericton, Canadá.

Lugares Web

Trimble GPS Tutorial

<http://www.trimble.com/gps/>

NAVSTAR-GPS Tutorial (técnico), por Jesús A. Del Pozo Domínguez

<http://miranda.tel.uva.es/~jpozdom/telecomunicaciones/portadagps.html>

GPS GLONASS Geodesy por Alfred Leick Univ. Of Maine

<http://www.spatial.maine.edu/~leick/gpshome.htm>

GPS

http://www.inmet.com/~pwt/s09_hm

ESTÁNDARES GEODÉSICOS (GPS) por el Grupo de Trabajo de los Estándares Geodésicos (CNUGGI)

<http://200.16.16.16/esc/agrim/Estgeo.htm>

GPS por Agustín López Dobal

http://www.cambracn.es/al_top/gps-art.htm

Sistema Mundial de Localización (GPS) por: Evelio Martínez

<http://www.praxistelecom.com/articulos/gps.html>

Professional Surveyor Archives

http://www.profsurv.com/ps_scripts/

A practical Guide to GPS-UTM por Don Bartlet

<http://www.synapse.net/~dbartlet/gpsutm.htm>

GPS Overview por Peter H. Dana

<http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.htm>

GLOSARIO

Accuracy = Exactitud

Ajuste

Procedimiento por el cual se someten las observaciones de una figura geodésica a compensación.

Almanaque

Es un conjunto de parámetros incluidos en el mensaje de navegación de cada satélite que el receptor utiliza para predecir la posición aproximada de todos ellos, a una hora determinada, en cualquier punto de la Tierra.

Altura del geoide = Ondulación del geoide

Altura Elipsoidal

Medida de la distancia de un punto terrestre a la superficie de un elipsoide referencia.

Altura ortométrica = cota

Medida de la distancia de un punto al geoide según la línea de la plomada.

Ambiguity = Ambigüedad

El número arbitrario de ciclos de una observación de fase al comienzo de ésta. La fase de la onda que ingresa es comparada con la fase de una señal de referencia generada dentro del receptor. La diferencia de fase observada ($\Delta\Phi$) corresponde a la porción residual ($\Delta\lambda$) de una onda completa (λ). El número total, N , de ondas completas entre observador y satélite es, al principio, incógnita, y así se mantiene tanto como se invierta en determinarla mediante una técnica adecuada. (Ver **Solución flotante**).

Antena

Es el componente de un sistema GPS que, centrado sobre el punto, colecta las señales provenientes de los satélites y las envía al receptor para el procesamiento. Pueden estar incorporadas o no al cuerpo del mismo y existen diferentes tipos, desde modelos más simples como el "microstrip" hasta complejos "choke rings" que mitigan los efectos del multicamino o multipath.

APC = Antenna Phase Center

Centro de fase de la antena.

AS o Anti-Spoofing = Anti-engaño

Es un tratamiento aplicado a la señal cuya finalidad es que los receptores no caigan en la trampa de tomar como auténticas señales falsas emitidas por el enemigo. Para ese fin se procede a encriptar el código P a través de un nuevo código secreto, W, generando en total un llamado "código Y", protegido, al cual pueden acceder sobre ambas portadoras sólo los usuarios autorizados a través de una clave otorgada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica (DoD).

ASCII

American Standard Code for Information Interchange: conjunto de caracteres (letras, números y símbolos) usados para mostrar y transferir datos digitales en formato estándar.

Banda L

Grupo de frecuencias de radio comprendidas entre 1GHz y 2GHz entre las que se incluyen las frecuencias de las señales GPS, L1 (1575,42MHz) y L2 (1227,60MHz).

Baseline = Línea base o Línea de base

Bearing

Rumbo. Orientación fija a tomar durante una travesía para dirigirse de un punto a otro. Usualmente se mide en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte.

Bias = Error sistemático

Biased Range = Pseudorange = Pseudodistancia

Block I, II, IIR, IIF

Son distintas generaciones de satélites GPS según reemplazos progresivos. Los últimos corresponden a una clase que operará en el futuro.

Blunder = Error grosero

C/A code = Coarse/Acquisition code = Código C/A

Canal

Es el circuito de un receptor GPS necesario para recibir y rastrear la señal de un único satélite.

CAMPO INCHAUSPE

Datum argentino que lleva el nombre del punto ubicado aproximadamente en la intersección del paralelo 36° S con el meridiano 62° O, cerca de Pehuajó. Adoptado a partir de 1954 fue luego modificado, Campo Inchauspe 1969, manteniendo su origen físico pero con parámetros redefinidos al adecuar las coordenadas astronómicas al CIO. El elipsoide de referencia es el Elipsoide de Hayford o Elipsoide Internacional 1924 tal que:

$$a = 6.378.388m \quad 1/f = 297$$

Carrier = Portadora

Una onda de radio cuya frecuencia, amplitud o fase puede ser variada por modulación.

Carrier frequency

Frecuencia de una señal no modulada que emite un radio transmisor.

Carrier phase GPS = Mediciones GPS de fase

Mediciones GPS basadas en las señales portadoras L1 y L2.

Centro de fase

El centro de fase de una antena es el lugar físico de ésta donde las señales crudas GPS son observadas y, en consecuencia, el punto cuya posición será determinada. Por eso, para lograr las coordenadas de una marca del terreno, deben encontrarse ambos sobre la misma vertical (antena centrada) y medirse la distancia entre ambos a fin de incorporar este dato al procesamiento.

CEP = Error Probable Circular

Channel = Canal

Chip

El intervalo de tiempo requerido para la transmisión de cada 0 ó 1 en la secuencia pseudo-aleatoria. (Se usa también para designar un circuito integrado).

Ciclo faltante o ciclo perdido = Cycle Slip

Discontinuidad en la medición de fase resultante de la pérdida de conexión durante el seguimiento de un satélite.

CIO = Conventional International Origin

Clock bias = Sesgo del reloj

Diferencia entre el tiempo indicado por el reloj y el tiempo GPS.

Clock offset = error del reloj

Diferencia constante entre las lecturas de tiempo de dos relojes.

Code phase GPS = Mediciones de código

Código C/A

Modulado sobre la señal GPS L1. Se trata de una secuencia de 1023 bits generados con una frecuencia de 1,023MHz (millones de bits por segundo), por lo que se repite íntegramente cada milisegundo. En otras palabras, es una serie ordenada de dígitos binarios (0 y 1) modulada sobre la señal según un

patrón propio de cada satélite. Esto se traduce en un ruido electrónico con apariencia azarosa, por eso se lo llama *Pseudo Random Noise* o *PRN*. Cada satélite tiene el suyo y se lo usa para identificarlo, SV 1 al 36. Su función es permitir determinar el tiempo invertido por la señal en recorrer la distancia entre el satélite y el receptor.

Código P

Código preciso o protegido de la señal GPS, usado normalmente por los receptores militares o usuarios autorizados por el DoD. Difundida en 10,23Mhz, se trata de una secuencia binaria muy larga (10^{14} bits) modulada sobre una portadora GPS, la cual se repite cada 267 días. Semanalmente se le adjudica a cada satélite una porción o segmento único del mismo modificándose los sábados a medianoche.

Confidence Level = Nivel de confianza

Constellation = Constelación

Conjunto de satélites GPS en órbita. Comprende 28 satélites NAVSTAR operacionales que giran en torno a la Tierra distribuidos en seis planos orbitales equidistantes

Constraint

Limitación, restricción o condición impuesta sobre una posición en un ajuste. Por ejemplo: una incógnita puede estar sujeta a una restricción que no permita que su valor sea ajustado, tal como se trabajan las coordenadas de un punto de control.

Control Segment = Segmento de Control

Coordenadas cartesianas o rectangulares

Números reales X,Y,Z representativos de la posición de un punto P de la Tierra en relación a tres ejes mutuamente perpendiculares que se intersecan en un punto común u origen. También se las reconoce como las componentes rectangulares del vector que identifica a P.

Coordenadas geodésicas

Un sistema de coordenadas donde la posición de un punto es definida usando los elementos latitud, longitud y altura elipsoidal.

Coordenadas fijas

Coordenadas de un punto que no están sujetas a ajustes.

Corrección ionosférica = Retardo ionosférico

Corrección troposférica = Retardo troposférico

Correlación

Vínculo que existe entre los desvíos de dos o más observaciones que tienen al menos una fuente de error común.

Covarianza

Medida de la correlación entre los errores de dos o más medidas.

CTS = Sistema terrestre convencional

Acrónimo de *Conventional Terrestrial System* es un sistema conformado por un conjunto de coordenadas cartesianas de estaciones fundamentales dentro de una red global.

Cut-off elevation = Máscara de elevación

Cycle slip = Ciclo faltante o ciclo perdido

Data file = Archivo de datos

Datos crudos

Datos GPS que no han sido procesados o corregidos diferencialmente.

Datum geodésico

Modelo matemático elegido como el mejor ajuste para una parte o el total del geoide. Está definido por un elipsoide de dimensiones y orientación definidas relacionado con un punto de la superficie topográfica elegido como

origen del mismo. Por su aplicación puede ser regional, nacional, continental o global.

Datum global

Un datum geodésico mundial está definido por el tamaño, forma y orientación de un elipsoide y la ubicación del centro de éste con respecto al centro de masa de la Tierra.

Desvío estándar = Error estándar

DGPS = Diferencial GPS

Solución de navegación que consiste en el posicionamiento diferencial de un móvil en tiempo real empleando la técnica de código.

Diferencia simple

Es la resta entre dos señales de fase provenientes del mismo satélite, medidas simultáneamente en dos receptores.

Diferencia Doble

Se obtiene restando una diferencia simple tomada sobre un satélite de otra realizada sobre un satélite elegido como referencia.

Diferencia Triple

Es la resta entre una diferencia doble correspondiente a una época y la misma diferencia doble tomada en una época previa.

Dithering

Introducción de ruido digital en una señal.

Disponibilidad Selectiva

A fin de inducir imprecisión en las posiciones GPS por razones tácticas, el DoD tiene la facultad de activar la SA (Selective Availability) o Disponibilidad Selectiva, la cual consiste en un proceso de manipulación intencional de la señal del satélite, cuyos principales mecanismos son: la desestabilización

sistemática del reloj (llamada técnica δ) y/o un error inyectado en sus datos o efemérides (técnica ϵ).

DMA = Defense Mapping Agency

En la actualidad "National Imagery and Mapping Agency" (NIMA), es la Agencia Nacional de Mapeo e Imágenes de los Estados Unidos.

DoD

Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica.

DOP = Dilution of Precision = Dilución de la Precisión

Los DOP son números adimensionales que cuantifican la contribución de la disposición geométrica relativa de los satélites a la incertidumbre de una posición fija. Es decir, un DOP es una descripción del efecto de la geometría de los satélites que intervienen en la medición sobre el cálculo de las coordenadas del punto y el tiempo. Se representa por un escalar que multiplica al error medio cuadrático de la medida en sí, por lo tanto, a mayor DOP mayor inexactitud en el valor calculado.

Doppler shift

Aparente cambio de frecuencia de una onda causado por el movimiento relativo transmisor- receptor.

Double difference = Doble diferencia

Observable GPS formado por diferencias de fases, o pseudodistancias, medidas por un par de receptores i, j que rastrean el mismo par de satélites, $S1, S2$. Las dobles diferencias se usan esencialmente para eliminar todos los errores de reloj.

DTM = Digital Terrain Model

Modelo digital del terreno.

2D

Posicionamiento horizontal de un punto.

ECEF = Earth Centered Earth-Fixed

Sistema tridimensional de coordenadas cartesianas fijadas a la Tierra de modo tal que el origen coincide con el baricentro de ésta, el eje X en la intersección del primer meridiano con el ecuador, Y en la longitud 90° y Z paralelo al eje terrestre, constituyendo una terna de "mano derecha" .

Efemérides

Conjunto de parámetros numéricos que describen las posiciones precisas de los satélites en función del tiempo.

Efemérides transmitidas = Broadcast Ephemeris

Cada satélite transmite su propia efemérides extrapolada, la que repite cada 30s.

Efemérides precisas

Se calculan en base a observaciones realizadas por redes de rastreo de los satélites GPS y están disponibles unos días después de la toma de datos.

EGM = Earth Gravitational Model

Modelo gravitatorio terrestre.

Elementos keplerianos

Seis parámetros que describen teóricamente la posición y velocidad de un satélite sobre una órbita elíptica pura.

Elevación de un punto

Altura sobre el nivel del mar o sobre una superficie de referencia.

Elipse de error

Es una figura cuyos parámetros señalan aspectos de la precisión de la posición de un punto después de haberse realizado un ajuste por cuadrados mínimos. Su semieje mayor significa en módulo y orientación el máximo error estándar y el semieje menor, el mínimo, en tanto que la superficie de dicha elipse representa un porcentaje cercano al 37% de probabilidad de ubicación del

Anexo A

punto. Para alcanzar la imagen del 95% de probabilidad deben multiplicarse los semiejes por 2,5.

Elipsoide

Superficie matemática cuyas secciones planas son elipses, la cual es usada para representar la Tierra. En Geodesia se aplica el "elipsoide de revolución aplastado", figura tridimensional generada por una elipse que rota alrededor de su eje menor. Se define por dos cantidades, semieje mayor y aplastamiento a y $f = (a - b)/a$

Elipsoide de error

Concepto análogo al de elipse de error aplicado a 3D.

EMC = Error Medio Cuadrático

Definido como la raíz cuadrada del cociente entre la suma de los cuadrados de los errores aleatorios y el número de errores menos uno, se minimiza con una solución por el método de los cuadrados mínimos. Él da una medida estadística de la dispersión de las posiciones calculadas en torno a la "posición mejor ajustada". A menor EMC mayor precisión.

Ephemeris = Efemérides

Época

Intervalo de registro de datos, o frecuencia de medida.

Errores aleatorios o accidentales

Errores que no obedecen a una ley matemática o física conocida y tienden a distribuirse en torno a la media simétricamente, con frecuencia creciente en la medida que disminuye su magnitud. Tienden a compensarse en un gran número de observaciones y determinan la precisión del resultado final.

Errores groseros

Errores o yerros que resultan del mal funcionamiento del equipo, condiciones de observación adversas o de una equivocación, distracción o ignorancia del

operador. Son fáciles de reconocer y deben excluirse, sin excepción, de cualquier procesamiento posterior.

Errores sistemáticos

Errores que siguen una ley determinada que sesga las observaciones porque actúan siempre en el mismo sentido. Deben corregirse antes de aplicar cualquier procedimiento estadístico o, de lo contrario, cancelarlos a través de una técnica adecuada de medición pues comprometen la exactitud de los resultados.

Error estandar (σ sigma), o error típico

Concepto equivalente al de EMC.

Error Probable Circular = CEP

Una medida estadística de la precisión horizontal. El CEP es el valor que define un círculo de un radio tal que encierra el 50% de los puntos datos.

Error Probable Esférico = SEP

Una medida estadística de la precisión 3D. El SEP es el valor que define el radio de una esfera que contiene la mitad de los puntos datos.

Error relativo

Número que caracteriza la relación entre el error y la magnitud medida, generalmente una longitud. En forma habitual se la expresa en ppm (partes por millón) o como $1/x$.

Estación base = Estación de referencia

En posicionamiento GPS diferencial una estación base es aquélla que siendo extremo de un vector se asume como de coordenadas conocidas para el cálculo de las posiciones de otros puntos. Su posición es fija.

Exactitud

El grado de acuerdo entre la estimación o la medida de una posición y el valor de la misma considerado como "verdadero". No se lo utiliza como sinónimo de precisión, contrariamente a lo que dice el diccionario.

Excentricidad

Parámetro de una elipse igual a la razón entre la distancia focal y el eje mayor de la misma.

Factor de escala

Multiplicador utilizado principalmente en los sistemas de proyección conformes para convertir distancias del elipsoide en distancias sobre el plano y viceversa. Los valores correspondientes de aplicaciones geodésicas son generalmente cercanos a la unidad. También se hace uso de un factor de escala cuando se refiere un punto expresado en un datum a otro sistema de coordenadas diferente, problema conocido como transformación de datum.

File = archivo

Colección homogénea de datos almacenada en un dispositivo informático, receptor, computadora, disquete, etc., bajo un nombre específico. Según la estructura de su presentación se reconocen diferentes formatos.

Filtro Kalman

Es una técnica o procedimiento de predicción, iterativo, usado para estimar los parámetros correctos del modelo de un proceso en presencia de ruido. En otras palabras, un algoritmo para optimizar sistemas que varían en el tiempo.

Firmware

Dispositivo electrónico básico de un receptor GPS donde están codificadas las instrucciones relativas a las funciones del mismo e insertados los algoritmos de procesamiento de datos como partes integrales del circuito interno.

Frame/Framework = Marco de referencia

GAUSS KRÜGER

Caso especial del sistema de coordenadas planas Mercator Transversa, por el cual se representa el elipsoide sobre un cilindro tangente al mismo a lo largo de un meridiano cuya imagen plana no tiene alteraciones pues el correspondiente factor de escala es $k = 1$. Adoptado oficialmente para la

Anexo A

República Argentina en 1925 para la cartografía del país comprende 7 husos o fajas meridianas independientes, de 3° de amplitud. Las mismas están numeradas de O a E en orden creciente, entre 1 y 7, y respectivamente centradas sobre los meridianos: 72°, 69°, 66°, 63°, 60°, 57° y 54° de longitud oeste, a los cuales le corresponde el valor de ordenada 500.000 precedido del número de faja. Por ej. 3.500.000m es el valor de Y para un punto cualquiera del meridiano de 66°. El eje de las X de cada huso es el citado meridiano central y el origen de ésta, es el polo sur del elipsoide considerado. Las Coordenadas Gauss-Krüger de un punto referidas al sistema Campo Inchauspe 69 son distintas de las Gauss-Krüger para POSGAR94, diferentes a su vez de las deducidas de POSGAR98 y de las provenientes de cualquier otro sistema de referencia.

GDOP

Medida de la calidad geométrica de una constelación para las soluciones conjuntas de posición y tiempo. $GDOP^2 = PDOP^2 + TDOP^2$.

Geocenter = Geocentro = Centro de masa de la Tierra.

Geodesia

Disciplina que se ocupa de la determinación de la figura y dimensiones de la Tierra, del campo gravitatorio terrestre y sus variaciones temporales.

Geoide

Es una superficie particular equipotencial del campo gravitatorio terrestre (perpendicular a la dirección de la gravedad en todos sus puntos), ondulante y suavizada, que coincide con el nivel medio del mar imaginado extendido a través de los continentes. Muchos receptores GPS, así como los softwares tienen incorporado un modelo del mismo para poder corregir las posiciones determinadas por la separación geoide-elipsoide.

GLONASS (Global Navigation Satellite System)

Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema: sistema ruso activo de navegación por satélites de diseño muy similar al GPS.

GMT

Hora de Greenwich.

GPS o Sistema de Posicionamiento Global

Creado, administrado y operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos es un sistema de navegación pasivo (o de una vía) que permite determinar con alto grado de exactitud la posición de puntos en tierra, mar y aire. Consiste básicamente de tres partes: un segmento espacial (la constelación de satélites NAVSTAR), un segmento de control (estaciones terrestres de rastreo) y el segmento del usuario (hardware, software y accesorios).

Grid

Red de coordenadas planas resultante de aplicar una proyección cartográfica.

GRS80

Sistema de Referencia Geodésica adoptado por la Asamblea General de Asociación Internacional de Geodesia (IAG) del año 1979. Sus principales parámetros son:

$$a = 6378137\text{m} \quad 1/f = 298.257222101$$

HDOP

Es el DOP referido a mediciones horizontales (latitud, longitud).

Heading

En navegación es la dirección corriente en la que un móvil se desplaza.

Hertz

Unidad de frecuencia igual a un ciclo por segundo. La señal GPS tiene una frecuencia fundamental de 10,23 MHz, ($10,23 \text{ MHz} = 10,23 \cdot 10^6 \text{ Hz}$).

IERS = International Earth Rotation Service

El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra, establecido conjuntamente por la International Astronomical Union (IAU) y la International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) en 1988, tiene por misión proveer al mundo

científico y a la comunidad técnica valores de referencia para los parámetros de orientación de la Tierra (EOP) que surgen al considerar el movimiento del polo y las variaciones de la velocidad de rotación de la Tierra. Para ello contribuyen técnicas espaciales geodésicas entre las que se incluye el GPS.

IGS = International GPS Geodynamics Service

Es un organismo auspiciado por la Asociación Internacional de Geodesia y basado en un conjunto de más de 200 estaciones de rastreo GPS distribuidas por todo el planeta. Tiene por misión proveer productos GPS de alta calidad tales como efemérides precisas, parámetros de rotación de la Tierra, coordenadas y velocidades de las estaciones de rastreo e información de reloj de los satélites. Por otra parte, se ocupa de monitorear las deformaciones de la Tierra sólida, tectónica de placas, el nivel del mar y el estado de la ionosfera.

Inicialización

Procedimiento simple llevado a cabo al principio de una medición por fase por el cual el receptor resuelve primariamente las ambigüedades.

Intervalo de registro = Época

Ionosfera

Zona de la atmósfera ubicada aproximadamente entre los 60km y los 1000km de altura, caracterizada por la presencia de partículas cargadas eléctricamente que la tornan un medio no homogéneo y dispersivo para las señales de radio.

Ionospheric Delay = Retardo ionosférico

ITRF = IERS Terrestrial Reference Frame

Marco de referencia terrestre internacional definido, materializado y mantenido por el IERS. Sus coordenadas están relacionadas a un sistema con origen en el geocentro (incluidos los océanos y la atmósfera) y orientación de sus ejes consistentes con las resoluciones emanadas de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) y la Unión Astronómica Internacional (IAU). El elipsoide de referencia es el WGS84. En la escritura corriente es acompañado

por un número que señala el año al cual corresponden las coordenadas, por ej. ITRF96.

Latitud geodésica

Ángulo entre la normal a la superficie del elipsoide que pasa por el punto de interés y el plano del ecuador. Se la mide entre 0° y 90° hacia el Norte (+) y el Sur (-) de este último.

Línea base = Línea de base = Baseline

Longitud del vector tridimensional entre un par de estaciones donde se han colectado datos simultáneamente y procesado con técnicas diferenciales.

Log

Acción de almacenar datos en un receptor, en una computadora u otro elemento de hardware destinado al efecto.

Logging interval = Recording interval = Época

Longitud geodésica

Ángulo entre los planos del primer meridiano o meridiano 0 y del meridiano geodésico del punto en cuestión. Usualmente se la trabaja entre 0° y 180° al Este (+) y al Oeste (-) de aquél.

Loop miclosures = errores de cierre

L1 y L2

Señales radiadas por cada satélite GPS. L1 es la señal primaria; con una frecuencia de 1575,42Mhz está modulada con los códigos C/A y P, a los que se le suma el mensaje de navegación. L2, la secundaria, en 1227,60MHz, sólo porta el código P y el mensaje de navegación.

Marco de referencia

Materialización de un sistema de referencia a través de un conjunto de estaciones de control fijas, establecidas sobre la superficie terrestre por sus respectivas coordenadas y correspondientes variaciones en el tiempo.

Máscara de elevación = Ángulo de corte

La menor elevación, en grados, a la cual se le permite al receptor rastrear un satélite. Medida a partir del horizonte corrientemente se fija en 15° para evitar problemas de interferencia causados por edificios, árboles, errores de multipath y recorrido atmosférico máximo de la onda.

Máscara de PDOP

El valor más alto de PDOP hasta el cual el receptor computará posiciones.

Máscara SNR

La mínima relación señal-ruido a la cual el receptor usará un satélite para determinar posición.

Medición cinemática

Una forma de medición de fase continua que requiere sólo períodos muy cortos de colecta de datos en cada punto a posicionar. Las restricciones operacionales incluyen comenzar a partir de una línea de base, rastreando cuatro satélites como mínimo y mantener la conexión con éstos. Uno de los receptores se coloca estático en un punto de control en tanto otro, u otros, se desplaza de punto a punto. Este método requiere un operador atento y cuidadoso para evitar situaciones de pérdida de la señal.

Medición estática

Método de medición caracterizado por la ocupación simultánea de dos o más puntos durante un período suficientemente prolongado de tiempo mientras los receptores se mantienen estacionarios en tanto registran los datos. Es la técnica de mayor precisión.

Mediciones de código

Mediciones GPS basadas en el código C/A o P.

Mensaje de navegación

Es el paquete de información modulada sobre ambas frecuencias portadoras el cual incluye, entre otros datos, las efemérides del satélite en cuestión, los

parámetros de corrección del reloj del mismo e información sobre su estado de "salud". Se transmite a 50 bits por segundo y su estructura es tal que el total de la información está disponible después de 12,5 minutos.

Método de los cuadrados mínimos = MCM

Método de cálculo muy poderoso ideado por Gauss que consiste en imponer la condición de mínimo a la suma de los cuadrados de los errores de una medición sin sesgo. En el caso del ajuste de una red el MCM realiza tres tareas básicas: 1) desplaza los vectores para que estén conectados en una red de polígonos contiguos; 2) agrega pequeñas correcciones a las componentes de cada vector para obtener una figura plana cerrada y 3) calcula las coordenadas y alturas de todos los puntos.

Modem

Dispositivo modulador/demodulador.

MSL = mean sea level = nivel medio del mar

Multicanal

Tipo de receptor continuo, de canales paralelos, dispone de 4, 6, 8 hasta 12 canales según el modelo, a cada uno de los cuales se le asigna un satélite en particular.

Multipath = Multicamino = Multitrayectoria

Es un fenómeno de interferencia causado por señales GPS reflejadas en estructuras o superficies reflectoras las cuales, habiendo recorrido mayor distancia que la correcta, inducen errores de posición.

Multiplexador

Es una clase de receptor que utiliza uno o pocos canales para el seguimiento rápido de varios satélites en tiempo compartido.

NAD-83

Datum norteamericano 1983.

Nanosegundo

Fracción de tiempo igual a un milmillonésimo de segundo (10^{-9} s).

Narrow lane

Suma de observaciones de fase sobre L1 y L2 para la cual $\lambda = 10,7$ cm.

NAVSTAR

Acrónimo de *Navigation Satellite Timing and Ranging* es el nombre de los satélites del sistema GPS.

NANU

Acrónimo de *Notice Advisory to NAVSTAR Users* es un boletín periódico que alerta a los usuarios de GPS sobre cambios en la performance de los satélites, altas y bajas de operatividad.

NAVDATA = Mensaje de navegación

Nivel de confianza

La estimación estadística de un error tiene un nivel de confianza asociado con él que indica la probabilidad de que el valor verdadero (desconocido) se encuentre dentro de un rango generado al restar y sumar el error estimado al valor medido. Por ejemplo: si una medida de 100,00m tiene un error estándar de 0,01m se puede asegurar con un nivel de confianza del 68% que el valor correcto se encuentra entre 99,99 y 100,01. Igualmente, con un nivel de confianza del 95 %, que el mismo es mayor o igual que 99,98 y menor o igual que 100,02.

Observable

En medición GPS es el nombre general dado a los datos crudos que están siendo colectados por el receptor.

Ondulación del geoide = separación geoide-elipsoide

Diferencia entre la altura elipsóidica y la altura ortométrica de un punto de la superficie terrestre. Suele también denominarse *altura del geoide*.

Origen Internacional Convencional = CIO

Posición media del eje de rotación terrestre durante los años 1900 a 1905.

OTF = On the fly

Técnica de tiempo real que resuelve las ambigüedades de fase sin requerir que el receptor GPS permanezca estacionario.

Outage

Breve período de tiempo durante el cual el GPS no puede ser usado para computar una posición por problemas de número o de geometría.

Outlier

Una observación identificada estadísticamente como portadora de un residuo muy grande.

PDOP

Es el DOP referido a la posición 3D de un punto (latitud, longitud y altura). El mismo está relacionado con los DOP horizontal y vertical a través de:

$$PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$$

POSGAR

Acrónimo de Posiciones Geodésicas Argentinas .

POSGAR 94: sistema cercano a WGS84 materializado a partir de una campaña GPS en 127 puntos distribuidos a lo largo del país (56 comunes con Campo Inchauspe 69), cuyas coordenadas tienen una precisión media estimada de 1 ppm.

POSGAR 98: Coordenadas de 136 puntos que surgen de un recálculo de las anteriores y su compatibilización con el sistema SIRGAS.

Posicionamiento autónomo o puntual

Posicionamiento que se realiza con un único receptor, sin ningún tipo de procesamiento diferencial. Es la técnica de menor grado de exactitud, habitualmente realizada con receptores sencillos, y se la conoce también como

posicionamiento simple.

Posicionamiento cinemático = Medición cinemática

Posicionamiento diferencial

Procedimiento en el que se corrigen los datos GPS colectados en un punto de coordenadas incógnitas con datos colectados simultáneamente en una estación base ubicada en la misma área de trabajo. Existen dos maneras de aplicarlo: en tiempo real y por postproceso.

Posicionamiento estático = Medición estática

Posicionamiento relativo

Técnica diferencial para determinar la diferencia de coordenadas entre dos marcas del terreno. Se coloca una antena sobre cada una de los puntos y se observan simultánea y sincrónicamente los mismos satélites. Esta técnica permite, a través del proceso de cálculo, la cancelación de los errores comunes a ambas observaciones.

Postproceso

Procedimiento de corrección y cálculo de las coordenadas de los puntos posterior a la medición.

ppm = partes por millón

Expresión del error relativo usado frecuentemente para referirse al error en la determinación de distancias.

PPS = Precise Positioning Service

Es el más alto nivel de servicio ofrecido por el sistema GPS, con acceso a ambas frecuencias, código P y eliminación de la S.A. Es prácticamente de uso militar exclusivo o para usuarios autorizados por el DoD.

Probabilidad

Porcentaje estadístico que expresa que porción de un número hipotético de observaciones caerá dentro de límites que han sido definidos.

Procesamiento diferencial

Las medidas GPS pueden diferenciarse entre receptores, satélites y épocas. Si bien son posibles distintas combinaciones lineales corrientemente se comienza sustrayendo medidas de fase GPS entre receptores (simples diferencias), luego éstas entre satélites (dobles diferencias) y a continuación se restan las últimas para dos épocas distintas (triples diferencias).

Pseudorange = Pseudodistancia

Una distancia medida entre el satélite y el receptor que no ha sido corregida de los errores de sincronización entre los relojes de ambos.

PRN = Pseudo Random Noise (Ver Código C/A)

Raw data = Datos crudos

Recording interval = Intervalo de registro

Receptor GPS

Es el conjunto de piezas del hardware cuya misión es captar las señales emitidas por los satélites.

Real-Time Kinematic = RTK

Técnica cinemática por la cual las correcciones de fase son transmitidas desde una estación de referencia a un receptor móvil, tan rápido como son colectadas. Requiere radioenlaces entre base y rover.

Relojes atómicos

Son relojes de altísima precisión, osciladores, basados en el comportamiento de elementos tales como cesio, hidrógeno y rubidio. Los satélites GPS llevan a bordo relojes atómicos que les permiten mantener una escala de tiempo prácticamente perfecta.

Remote = Remoto

Es el receptor GPS que se mueve de un punto a otro durante un posicionamiento relativo, o a lo largo de una trayectoria si se aplica técnica cinemática.

Retardo ionosférico

Demora que experimenta una señal GPS al atravesar la ionosfera. La misma es un medio dispersivo no homogéneo en espacio y tiempo por lo que el retardo de fase depende de la densidad de electrones en dicha zona y afecta las portadoras. En tanto el retardo de grupo se relaciona con la dispersión y afecta a la modulación de la señal (los códigos). Ambos son de igual magnitud y signos opuestos.

Retardo troposférico

Es el error que introduce el paso de la señal por la troposfera. Dicha zona es un medio no dispersivo para las ondas de radio, por lo tanto sus efectos refractivos son independientes de la frecuencia y depende sólo de los parámetros meteorológicos y de la longitud del recorrido.

RINEX

Acrónimo de *Receiver Independent Exchange Format* es un conjunto de formatos y definiciones para tiempo, fase y distancia que permite intercambiar y procesar datos provenientes de receptores GPS de diferentes características, marcas y modelos.

RMS = EMC

Rover = Remoto

SA = Selective Availability = Disponibilidad Selectiva

Satélite GPS o NAVSTAR

Vehículo espacial de la familia GPS.

Satellite message = Mensaje del satélite

Segmento de control

Una red mundial de estaciones GPS que se ocupan del monitoreo y control de los satélites.

Segmento del usuario

El conjunto de elementos constituido por todos los equipos receptores con sus periféricos, softwares y desarrollos tecnológicos, utilizados para la recepción de las señales provenientes de los satélites, que permiten determinar las posiciones 3D de las estaciones y la medida del tiempo.

Segmento espacial

Parte del Sistema GPS localizada en el espacio, es decir, los satélites y sus componentes. Su propietario y administrador es el DoD.

Semana GPS

Número de semanas enteras desde que el Tiempo GPS fue cero a medianoche del sábado al domingo del 6 de enero de 1980. Se mide según módulo 1024 por lo que la cuenta se recicló el 22 de agosto de 1999, volviendo la misma a 0.

SEP = Spherical Error Probable = Error probable esférico

Sesión

Es el conjunto de datos crudos colectados simultáneamente con dos o más receptores durante el curso de un proyecto GPS determinado.

SAGA

Acrónimo de *South American Geodynamic Activities*, es el nombre de una red GPS a gran escala, sudamericana, que cubre parte de Argentina y Chile con dos sitios en las islas Robinson Crusoe y San Félix, respectivamente, que fueron observados con cerca de otros 100 en el continente durante extensas campañas desarrolladas en marzo de 1994 y noviembre/diciembre de 1996. La misma fue realizada por el GeoForschungsZentrum de Potsdam, Alemania, en colaboración con instituciones argentinas y chilenas.

SIRGAS

Acrónimo de *Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur*, fue creado con el objetivo de definir un sistema de referencia para Sudamérica, establecer y mantener una red de referencia y determinar un dato geocéntrico.

Dicha red está integrada por unas 57 estaciones diseminadas por el continente, de las cuales 10 en territorio argentino, 6 de ellas pertenecientes a la Red POSGAR y otras 2 vinculadas a la misma. El sistema de referencia SIRGAS es ITRF y a él se han asimilado el POSGAR 98 y otros sistemas provinciales de reciente definición.

Sitio

Lugar o punto donde se colectan datos GPS.

SNR = Relación señal-ruido

También llamado "nivel de señal", es una medida de cuánto afecta el ruido la fidelidad de la señal GPS y se define como el cociente: *potencia de la señal / potencia del ruido* por lo tanto, más pura será la información cuanto mayor resulte el SNR, así como en la medida que la razón decrece la señal se pierde en el ruido y la medida resulta inexacta.

Solución flotante y solución fija

Una solución *flotante* o *libre* es la que se produce para el número de la ambigüedad, N, en una etapa del procesamiento de un vector GPS, sin lograr un valor específico entero, manteniéndose "flotando" como un número real. Una solución *fija* es por el contrario aquella para la cual se ha podido determinar correctamente el entero N, el cual permanece fijo.

SPS = Standar Position Service

Servicio normal ofrecido por el sistema GPS a los usuarios civiles a través de una sola frecuencia y el código C/A. Con la SA activada garantiza un error menor a 100m en una posición horizontal (2D) el 95% de las veces usando la técnica de posicionamiento autónomo.

Stop and go = Método semi-cinemático.

Método de posicionamiento relativo en el cual el receptor rover permanece estacionario por varios segundos sobre cada punto y mantiene el contacto con los satélites mientras se desplaza.

Survey = Medición

SV = Vehículo espacial = Satélite artificial

Vehículo espacial que orbita la Tierra impulsado exclusivamente por la atracción gravitacional.

TDOP

DOP correspondiente a la determinación del tiempo.

Test Tau = Tau Test

Es una prueba de control de calidad que se realiza sobre vectores GPS ajustados a fin de detectar posibles errores groseros.

Tiempo GPS

En el sistema GPS el tiempo es mantenido internamente según una escala continua propia denominada *Tiempo GPS* dado por un reloj compuesto que comprende los relojes de todas las estaciones monitoras en operación y la frecuencia estándar de los satélites. El mismo está referido al Reloj Principal (Master Clock) del Observatorio Naval de los Estados Unidos de Norteamérica (USNO) y adaptado a las fracciones del Tiempo Universal Coordinado con un grado de coincidencia básica del orden de algunas centenas de nanosegundos, pero como el tiempo GPS no es corregido con los "leap seconds" la diferencia con el UTC va incrementándose paulatinamente, aunque ambos sean atómicos.

3D = Tridimensional

Posición geodésica de un punto dada por la terna (X, Y, Z) o (ϕ , λ , h).

Triple diferencia = Diferencia Triple

Troposfera

Capa atmosférica de unos 40km de espesor, en contacto con la superficie terrestre, dentro de la cual se presentan los distintos fenómenos meteorológicos. La propagación de la señal depende fundamentalmente del vapor de

agua contenido y de la temperatura de los sucesivos estratos.

UERE

Acrónimo de *User Equivalent Range Error* es el efecto combinado de la indeterminación de las efemérides, errores de propagación, errores de reloj y tiempo y ruido del receptor, proyectado sobre la línea observador-satélite.

URA

Es una predicción del máximo UERE total (menos el error ionosférico) que transmite el mensaje de navegación de cada satélite.

UTC

El Tiempo Universal Coordinado es un tiempo atómico notablemente exacto y estable que mediante la inserción de saltos de un segundo (leap second) se mantiene muy próximo al tiempo universal corregido de las variaciones estacionales de la rotación terrestre.

UTM = Mercator Transversa Universal

Es un caso especial de la proyección Mercator Transversa la cual consiste en dividir el elipsoide terrestre en 60 zonas norte-sur de 6° de amplitud en longitud cada una, numeradas de 0 a 60 hacia el Este, a partir del antemeridiano de Greenwich, con meridianos centrales en las longitudes 177°, 171°, etc. Aunque parecida a la Gauss-Krüger las diferencias entre ambas son importantes: 1) El ancho de faja es 6°. 2) En UTM el cilindro auxiliar es secante y la deformación para el meridiano central es $k = 0,9996$ mientras que las líneas de $k = 1$ se hallan a 1° 37' de aquél. 3) Un punto se determina por el par N,E (Norte, Este) y no X,Y. 4) En el hemisferio Sur la coordenada Norte (N) tiene como origen un punto ubicado a 10.000.000m del ecuador -valor conocido como "falso norte"- el cual no coincide con el polo. 5) El sistema de abscisas y ordenadas es el mismo para las 60 zonas por lo que es preciso al presentar las coordenadas de un punto agregar el número de zona correspondiente.

Varianza o variancia

Indicador estadístico de la calidad de una medición igual al cuadrado del

error estándar.

VDOP

DOP para el posicionamiento vertical. (Ver PDOP)

Vector

Segmento de recta entre dos puntos, descrito por sus componentes 3D, el cual resulta como producto del procesamiento de los datos colectados en aquéllos simultáneamente.

Vertical

Recta cuya dirección es perpendicular al geoide en todos sus puntos, por lo tanto se la puede materializar con el hilo de la plomada. Generalmente no coincide con la normal al elipsoide, formando ambas un ángulo denominado "desviación de la vertical".

Waypoint

Un waypoint es, corrientemente, un par de coordenadas, latitud y longitud, o norte y este, con un nombre y número asignado, que representa un punto geográfico de interés.

WGS72

Predecesor del WGS 84. Usado hasta 1986 sus parámetros eran:

$$a = 6378135\text{m} \quad 1/f = 298.26$$

WGS 84 = World Geodetic System 1984

Es el sistema mundial de uso más extendido. Definido y mantenido por la Defense Mapping Agency (DMA) de los Estados Unidos, es el datum al cual se relaciona toda la información del posicionamiento GPS por utilizarlo justamente para sus mensajes de navegación. La materialización del mismo es un catálogo de coordenadas de más de 1500 estaciones geodésicas distribuidas por todo el mundo. La DMA ha mejorado la definición original recalculando en dos ocasiones, 1994 y 1996, las coordenadas de las estaciones de rastreo GPS. En la última oportunidad se determinó el actual sistema de referencia

designado como WGS84 (G873) vigente desde el 29 de enero de 1997, consistente con el ITRF94 a nivel de unos pocos cm.

Wide lane

Combinación lineal igual a la diferencia entre las dos portadora L1 y L2, a la cual le corresponde una longitud de onda de 86,2cm.

World datum

Datum global, o mundial.

Y code

Código P encriptado. (Ver AS).

Zenith delay

Efecto de la atmósfera neutral (no ionizada) sobre una señal GPS si la misma se propagara en la dirección de la vertical del lugar.

ANEXO B

Lista de sitios WEB

LISTA DE SITIOS WEB

GPS

Aplicaciones GPS - <http://gpshome.ssc.nasa.gov/>

Ashtech Inc. - <http://www.ashtech.com>

Asociación Internacional de Geodesia (IAG) -
<http://www.gfy.ku.dk/~iag/>

AUSLIG: Australian Surveying and Land Information Group
<http://www.auslig.gov.au/>

Australian New Zealand Land Information Council (ANZLIC)
<http://www.anzlic.org.au/>

Bureau des Longitudes, Paris - <http://www.bdl.fr/>

Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS)
http://cddisa.gsfc.nasa.gov/cddis_welcome.html

Datums geodésicos, síntesis por Peter H. Dana
<http://wwwhost.cc.utexas.edu/ftp/pub/grg/gcraft/notes/datum/datum.html>

Department of Defense (DoD) - <http://www.defenselink.mil/>

Equipamiento - <http://gauss.gge.unb.ca/manufact.htm>

Estaciones de referencia de operación continua (CORS)
<http://www.ngs.noaa.gov/CORS>

Geodetic Survey of Canada - <http://www.geod.emr.ca/>

Georreferenciación Satelitaria, Fac. de C. A. y G. U. N. de La Plata
<http://tolkien.fcaglp.unlp.edu.ar/>

GIBS: GPS Information Bulletin Board System
<http://gibs.leipzig.ifag.de>

Anexo B

- Global Positioning System** - <http://www.navcen.uscg.mil/gps/>
- GPS Actividades** - <http://www.grdl.noaa.gov/GRD/>
- GPS Group** - <http://scec.ess.ucla.edu/uclagps.html>
- GPS GLONASS Geodesy** por Alfred Leick Univ. Of Maine
(MUY BUENO , en inglés)
<http://www.spatial.maine.edu/~leick/gpshome.htm>
- GPS Papers** - <http://www.navsys.com/Papers.htm>
- GPS, Órbitas Precisas**
<http://www.ngs.noaa.gov/GPS/GPS.html>
- GPS – Sitios en Internet**
<http://www.cla.sc.edu/geog/rslab/gps.html>
- IERS Standards, etc** - <http://maia.usno.navy.mil/>
- Institut Géographique National (LAREG)**
<ftp://schubert.ign.fr/CIAG/index.CIAG.html>
- Institute of Navigation** - <http://www.ion.org/>
- Inter-governmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM)** - <http://www.auslig.gov.au>
- Introduction to GPS**
<http://www.aero.org/publications/GPSPRIMER/index.html>
- Leica Navigation and Positioning**
<http://www.leica-geosystems.com/es/index.htm>
- NASA Jet Propulsion Laboratory** <http://www.jpl.nasa.gov/>
- National Imagery and Mapping Agency (NIMA) - antes Defense Mapping Agency (DMA)** - <http://164.214.2.59/>
- Navstar GPS** - <http://www.laafb.af.mil/SMC/CZ/homepage/>
- NAVSTAR-GPS Tutorial (técnico), por Jesús A. Del Pozo Domínguez**
(¡EN ESPAÑOL!, recomendado)
<http://miranda.tel.uva.es/~jpozdom/telecomunicaciones/portadagps.html>

Nueva señal civil

<http://206.65.196.30/gps/issues/dotgpspressreleases.htm>

Observaciones Geodésicas VLBI - <http://www.oso.chalmers.se/>

Ohio State Univ. Center For Mapping

<http://www.cfm.ohio-state.edu/>

Posiciones de los satélites

<http://tycho.usno.navy.mil/gps-altaz.html>

<http://sirius.chinalake.navy.mil/satpred/>

Proyecto Mercator: GPS-Geodesia

http://nivel.euitto.upm.es/mercator/htmls/c_gpsx.html

Satellite Geodetic Observatory, Penc, Hungary

<http://www.sgo.fomi.hu/>

Sistemas de coordenadas, síntesis por Peter H. Dana

<http://wwwhost.cc.utexas.edu/ftp/pub/grg/gcraft/notes/coordsys/coordsys.html>

Sistema Mundial de Localización (GPS) por: Evelio Martínez

<http://www.praxistelecom.com/articulos/gps.html> (¡ESPAÑOL!)

Sokkia - <http://www.sokkia.com/products/gps/index.htm>

Southern California Integrated GPS Networks

<http://milhouse.jpl.nasa.gov/>

Tablas de contenidos en Geodesia

<http://www.geod.emr.ca/~craymer/tcg/>

Tiempo - USNO Master Clock

<http://tycho.usno.navy.mil/mc0.html>

Trimble Navigation - <http://www.trimble.com/>

Univ. NAVSTAR Consortium (UNAVCO)

<http://www.unavco.ucar.edu/>

Univ. of Texas, Center for Space Res. (CSR)

http://www.csr.utexas.edu/home_page.html

US Naval Observatory WWW server

<http://www.usno.navy.mil/>

US Geological Survey (Inst. Geográfico estadounidense)

<http://www.usgs.gov/>

WWW Server - <http://www.gfy.ku.dk/~iag/>

Cartografía y Fotogrametría

EPF Lausanne - <http://dgrwww.epfl.ch/PHOT/index.en.html>

Fotogrametría y mapas

<http://www.lsl.co.uk/papers/isprs98.htm>

Institute of Geodesy and Photogram, Chair of Photogrammetry

http://www.p.igp.ethz.ch/p02/start_p02.html

Institute of Geodesy and Photogrammetry, Karlsruhe

<http://ipfr.bau-verm.uni-karlsruhe.de/>

ISPRS <http://www.isprs.org/isprs.html>

Map Projections by Peter H. Dana

[http://www.host.cc.utexas.edu/ftp/pub/grg/gcraft/notes/mapproj/
mapproj.html](http://www.host.cc.utexas.edu/ftp/pub/grg/gcraft/notes/mapproj/mapproj.html)

Ohio State Univ. Center For Mapping

<http://www.cfm.ohio-state.edu/>

Papers - <http://www.lsl.co.uk/papers/index.htm>

University of Nottingham

<http://www.ccc.nottingham.ac.uk/~iszwww>

WWWVL: Cartography Resources

<http://geog.gmu.edu/gess/jwc/cartogrefs.html>

INDICE ALFABÉTICO

A

Ajuste	122
almanaque	48, 112
altura elipsoidal	22
altura elipsoidal	24
altura ortométrica	22
ambigüedad	85
Análisis datos y resultados	120
Antena	50
Anti-Spoofing	48
AS	48
Ascensión Recta	31

B

barrido de antenas	96
BIBLIOGRAFÍA	127
Block I, II, IIA, IIR y I	41

C

Cambio de datum	26
Características de los sitios	105
características del GPS	33
Carga de datos	119
CEP	79
Chi Cuadrado	123
Choke ring o Planar ring	52
Ciclos perdidos (Cycle slip)	70
cierre de los polígonos	123
Cinemático OTF (On-the-fly)	97
Cinemático Puro	94
CIS	20
coarse acquisition, C/A	46
código P	47
código Y	48

códigos	45
Combinaciones lineales de observaciones	86
Componentes del GPS	37
Configuración geométrica	72
control de calidad	122
Coordenadas Cartesianas	15
Coordenadas geográficas elipsoidales	23
CTS	20

D

data link	68
Datum	20
Declinación	31
Desplazamiento del centro de fase de la antena	72
desviación estándar	121
desvío estándar	77
Diferencia doble	88
Diferencia Simple	87
Diferencias triples	90
Diseño del proyecto	102
Disponibilidad selectiva	63, 65
DOP	72

E

efemérides post-procesada	63
efemérides radiodifundida	63
El Tiempo GPS	44
elipses de error	79
elipsoide de rev. aplastado	21
elipsoides de error	79

Error de reloj del receptor.....	65	L	
Error de reloj del satélite	64	La Señal GPS	45
Error en las coordenadas de la		latitud elipsoidal.....	24
Estación de Referencia	65	leap-frog	103
error medio cuadrático	77	longitud elipsoidal.....	24
error probable	79	M	
Errores accidentales	69	magnitud del error.....	78
Errores sistemáticos	60	marcas y puntos de control ...	108
Exactitud	75	mediciones de código	83
F		mensaje de navegación.....	48
factor de escala	26	Método Cinemático Continuo ...	94
factor varianza	121	Método Estático Rápido	93
Fases o diferencias de fase	84	Método Semicinemático	92
Fuente de alimentación	54	Métodos de posicionamiento ...	91
Fuentes de errores.....	59	Microstrip o patch	51, 52
G		Microcentrada	52
G873.....	29	Monopolo / dipolo	51, 52
GDOP	73	Multicamino (Multipath)	71
geoide.....	21	N	
GLONASS	14	NAVSTAR.....	12
GPS	12, 33	O	
GPS Week Roll Over	44	OBSERVABLES GPS	81
gráfico de residuos	121	ondulación del geoide.....	21
Gran Normal.....	25	On-the-fly	97
H		Operaciones de campo	116
HDOP	73	Oscilador de precisión.....	53
Hélice cuadrifilar o voluta ..	51, 52	P	
Hélices espirales	52	PDOP.....	73
I		Planeamiento y preparación	99
IERS	28	POSGAR	30
Inexactitud de las Efemérides ...	60	posición.....	11
Informe final.....	124	posicionamiento absoluto	11
Inicialización	94	posicionamiento autónomo o	
Instrumental y personal.....	109	puntual	55
Intercambio de antenas	86	posicionamiento cinemático	57
ITRF	28	posicionamiento diferencial.....	59
		Posicionamiento estático	57

posicionamiento relativo	11, 55	SEP	79
post-proceso o diferido	58	Siete Parámetros	26
PPS	44	SIRGAS	29
preamplificador	50	Sistema de Referencia Inercial	
precisión	75	Convencional	30
Principio del posicionamiento		Sistemas de referencia	15
GPS	34	Sistemas de Referencia Geod. ...	19
PRN	46	Sistemas de Ref. globales	28
Procesamiento de datos	118	sitios a ocupar	101
Programa de observaciones	112	Sky-plot	113
prueba o criterio Tau	123	solución fija	120
Pseudocinemático	93	solución flotante	120
Pseudo Random Noise	46	SPS	44
Pseudodistancias por código	83	Stop and Go	92
pseudorange	83		
R		T	
Radio-Frecuencia	53	TDOP	73
ratio	121	Tiempo real diferenciado	58
Receptor multicanal, continuo o		Tiempo Sidéreo de Greenwich ..	32
de canales paralelos	53	Tipos de Datos	81
Receptor multiplexador	53	Tipos de posicionamiento	55
Receptor secuencial	53	Transformación de Helmert	26
Reconocimiento	105	Transformación de un sistema a	
Relación entre los Sistemas		otro	16
Elipsóidico y Cartesiano	24	U	
requerimientos logísticos	108	UERE	42
resolución ambigüedades	120	Unidad de control o interfase ..	53
Retardo ionosférico	66	Unidad de memoria/almacenaje	
Retardo troposférico	67	de datos.....	54
RINEX	118	V	
RTK	98	Validación	110
S		varianza	77
SA	47	varianza de referencia	121
SAGA	30	VDOP	73
Segmento de Control	49	ventajas del GPS	13
Segmento del usuario	50	ventanas	113
Segmento espacial	38	W	
segmentos del GPS	37	WGS84	28
Selective Availability	47		

