



Fundamentos del sistema GPS



Fortop Topografía, S.L.
C/ María Castaña, nº5 Bajo
27002 Lugo
www.fortop.es

José Manuel Vázquez Castaño
Ing. Téc. Mecanización y Construcciones Rurales



FUNDAMENTOS DEL SISTEMA GPS



ÍNDICE

TEMA I. FUNDAMENTOS SOBRE EL SISTEMA.

1.1 EVOLUCION Y GENERALIDADES.

1.2 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL POR SATÉLITE.

1.3 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.

TEMA II. ¿QUÉ ES EL GPS?

2.1. INTRODUCCIÓN.

2.2. SECTORES GPS

2.2.1. Sector espacial

2.2.1.1 Constelación de Satélites

2.2.1.2. Satélites

2.2.1.3. Escala de Tiempo

2.2.1.4. Señal de los Satélites

2.2.1.5. Disponibilidad Selectiva

2.2.2. Sector de control

2.2.3. Sector usuario

2.3. ¿CÓMO FUNCIONA EL GPS?

2.4. MEDIDA DE DISTANCIAS A SATÉLITES.

2.5. FUENTES DE ERROR.

2.6. NAVEGACIÓN

2.7. DGPS

2.8. GPS DIFERENCIAL DE FASE.

2.9. ASPECTOS GEODÉSICOS.



TEMA III. TIPOS DE INSTRUMENTOS GPS.

- 3.1. INTRODUCCIÓN.**
- 3.2. NAVEGADORES.**
- 3.3 SUBMÉTRICOS.**
- 3.4. MONOFRECUENCIA DE CÓDIGO Y FASE.**
- 3.5. DOBLE FRECUENCIA.**

TEMA IV. LEVANTAMIENTOS CON GPS. MÉTODOS Y APLICACIONES.

- 4.1. INTRODUCCIÓN.**
- 4.2. POSICIONAMIENTO ABSOLUTO.**
- 4.3. POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL.**
 - 4.3.1. Estático.**
 - 4.3.2. Cinemático.**
 - 4.3.3. RTK.**
 - 4.3.4. RTDGPS.**
- 4.4. ELECCIÓN DE UN TIPO DE LEVANTAMIENTO.**

TEMA V. PLANIFICACIÓN DE UNA OBSERVACIÓN.

- 5.1. CONSIDERACIONES GENERALES.**
- 5.2. PLANIFICACIÓN DE UNA MISIÓN.**
- 5.3. OBSERVACIONES DE CAMPO.**
- 5.4. PARÁMETROS DE PROCESO DE DATOS.**

APÉNDICES.

- A) SISTEMA DE POSICIONAMIENTO RUSO: GLONASS.**
- B) SISTEMA DE POSICIONAMIENTO EUROPEO: GALILEO.**
- C) ASPECTOS GEODÉSICOS .SISTEMA DE REFERENCIA GPS Y SISTEMAS LOCALES DE REFERENCIA..**
- D) ALGORITMOS DE CÁLCULO.**
- E) GLOSARIO DE TÉRMINOS.**
- F) BIBLIOGRAFÍA.**



TEMA I:

FUNDAMENTOS SOBRE EL SISTEMA.



1.1. EVOLUCIÓN Y GENERALIDADES.

La geodesia espacial es la ciencia que se encarga de la recepción y observación de las señales procedentes de elementos que no estén ligados directamente a la superficie terrestre.

Esta ciencia utiliza directamente los satélites artificiales.

Antiguamente los geodestas se veían limitados a distancias no superiores a 200 Km debido a la visibilidad entre puntos.

Por esta razón se utilizaba observaciones a las estrellas para obtener una posición absoluta del punto, cuando por razones de visibilidad no se podía realizar diferencialmente.

Esta posición conseguida iba aumentando a medida que iba aumentando la precisión de los relojes.

Las redes geodésicas observadas eran lo bastante precisas, pero no así, las redes no intervisibles.

En un simposium científico celebrado en Toronto a finales de septiembre de 1957, se presentó la posibilidad de utilizar unos hipotéticos satélites artificiales con aplicaciones geodésicas. Esta idea se contempló desde el escepticismo y la ironía de los asistentes, dado lo absurdo de la idea en aquellas circunstancias de aquel año.

Precisamente, aquel año, el 4 de Octubre de 1957, la URSS pone en órbita el primer satélite artificial de la tierra: el SPUTNIK I.

Desde aquel momento la Historia de la geodesia espacial comenzó. Desde ese momento se han lanzado más de 11.000 satélites artificiales, y los geodestas han sacado provecho, de todos los satélites aunque no estuviese previsto la utilización de este satélite con fines geodésicos, porque pronto pudieron observar que, analizando la cuenta Doppler de las señales radiodifundidas desde el Sputnik I y recibidas en estaciones de posición conocida, era posible establecer la órbita del satélite. Evidentemente esto se podía realizar a la inversa y obtener la posición del receptor, después de la recepción y análisis de las señales recibidas durante diferentes y suficientes pasos del satélite.

Este sistema no daba una precisión idónea pero ponía de manifiesto la viabilidad de la aplicación, viabilidad que quedó demostrada con los sistemas de navegación que posteriormente fueron apareciendo y que hoy están ampliamente difundidos y con grandes mejoras en la precisión.

El primer sistema de navegación basado en satélites fue el TRANSIT, que entró en servicio en 1965.

Al principio de los 60 los departamentos de defensa, transporte y la agencia espacial norteamericanas (DoD, DoT y NASA respectivamente) tomaron interés en desarrollar un sistema para determinar la posición basado en satélites.

El sistema debía cumplir los requisitos de globalidad, abarcando toda la superficie del globo; continuidad, funcionamiento continuo sin afectarle las condiciones atmosféricas; altamente dinámico, para posibilitar su uso en aviación y precisión.

Esto llevó a producir diferentes experimentos como el Timation y el sistema 621B en desiertos simulando diferentes comportamientos.

El sistema TRANSIT estaba constituido por una constelación de seis satélites en órbita polar baja, a una altura de 1074 Km. Tal configuración conseguía una cobertura



mundial pero no constante. La posibilidad de posicionarse era intermitente, pudiéndose acceder a los satélites cada 1.5 h. El cálculo de la posición requería estar siguiendo al satélite durante quince minutos continuamente.

TRANSIT trabajaba con dos señales en dos frecuencias, para evitar los errores debidos a la perturbación ionosférica. El cálculo de la posición se basaba en la medida continua de la desviación de frecuencia Doppler de la señal recibida y su posterior comparación con tablas y gráficos.

El error de TRANSIT estaba en torno a los 250 m. Su gran aplicación fue la navegación de submarinos y de barcos.

TRANSIT tenía muchos problemas. La entonces URSS tenía un sistema igual que el TRANSIT, de nombre TSICADA. Había que dar un gran salto. La guerra fría fomentaba invertir unos cuantos millones de euros en un revolucionario sistema de navegación, que dejara a la URSS definitivamente atrás.

Se concibió un sistema formado por 24 satélites en órbita media, que diera cobertura global y continua, naciendo así la idea del sistema de posicionamiento global del NAVSTAR (NAVigation System with Time And Ranging - Sistema de Navegación de Tiempo y Distancia.-) que daría lugar al GPS.

El primer satélite se lanzó en 1978, y se planificó tener la constelación completa ocho años después. En diciembre de 1983 se declaró la fase operativa inicial del sistema GPS. El objetivo del sistema GPS era ofrecer a las fuerzas de los EE.UU. la posibilidad de posicionarse (disponer de la posición geográfica) de forma autónoma o individual, de vehículos o de armamento, con un coste relativamente bajo, con disponibilidad global y sin restricciones temporales. La iniciativa, financiación y explotación corrieron a cargo del Departamento de Defensa de los EE.UU. (DoD), el GPS se concibió como un sistema militar estratégico.

En 1984 un vuelo civil de Korean Airlines fue derribado por la Unión Soviética al invadir por error su espacio aéreo. Ello llevó a la administración Reagan a ofrecer a los usuarios civiles cierto nivel de uso de GPS, llegando finalmente a ceder el uso global y sin restricciones temporales, de esta forma se conseguía un retorno a la economía de los EE.UU. inimaginables unos años atrás. Además suponía un gran liderazgo tecnológico originando un vertiginoso mercado de aplicaciones.

Desde 1984, con muy pocos satélites en órbita, aparecieron tímidamente fabricantes de receptores GPS destinados al mundo civil (Texas Instruments y Trimble Navigation).

Hoy en día el GPS supone un éxito para la administración y economía americana no interesando a nadie que se reduzca la inversión en el sistema, sino todo lo contrario. La política de la administración de EE.UU. es mantener coste 0 para el usuario el sistema GPS, potenciar sus aplicaciones civiles a la vez que se mantiene el carácter militar.

Las aplicaciones disponibles se orientan principalmente a sistemas de navegación y aplicaciones cartográficas: topografía, cartografía, geodesia, sistema de información geográfica (GIS), mercado de recreo (deportes de montaña, náutica, expediciones de todo tipo, etc.), patrones de tiempo y sistemas de sincronización, aplicaciones diferenciales que requieran mayor precisión además de las aplicaciones militares y espaciales.

En cuanto al reparto del mercado los más importantes son la navegación marítima, la aérea y la terrestre.



Con una flota de 46 millones embarcaciones en todo el mundo, de los que el 98% son de recreo, la navegación marítima supone un mercado nada despreciable. Recreo, pesqueros, mercantes, petroleros, dragados y plataformas petrolíferas son perfectos candidatos al uso del GPS.

En cuanto a la navegación aérea con unos 300.000 aviones en todo el mundo. El equipamiento de GPS para navegación intercontinental o entre aeropuertos tiene una penetración anual del 5% (aproximadamente unas 15.000 unidades). Sin embargo en aproximación el GPS no tiene la suficiente integridad y precisión por lo que se creó el WAAS (*Wide Area Augmentation System*) que refuerza el sistema GPS y será útil para aproximaciones de clase I (en EE.UU).

Pero el auténtico mercado del GPS en el mundo es la navegación terrestre. Con 435 millones de turismos y 135 millones de camiones es el más amplio mercado potencial de las aplicaciones comerciales del GPS. De hecho el crecimiento de equipamiento de GPS mundial es en torno a los 2.000 millones de dólares anuales, lo que lleva a una penetración del 4% en el año 2001. Entre las aplicaciones con más desarrollo contamos con sistemas de navegación independiente, sistemas de seguimiento automático, control de flotas, administración de servicios, etc. Solo en los EE.UU existen 25.000 autobuses equipados con GPS y en Japón hay ya un millón y medio de vehículos privados que cuentan con sistema GPS en su equipamiento.

En España el mercado del GPS está en plena expansión habiendo alcanzado en 1998 las 200 unidades para aplicaciones topográficas y geodésicas, unas 300 para aeronáutica, más de 3.500 para la náutica y alrededor de 4.000 unidades OEM para aplicaciones terrestres.

1.2. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL POR SATÉLITE.

SLR (Satellite Laser Ranging).

Es un sistema de medida directa de distancias por pulso láser a satélites provistos de prismas de reflexión total.

VLBI (Very Long Baseline Interferometry).

Es una técnica que permite calcular con precisión centimétrica la distancia entre los centros radioeléctricos de dos o más telescopios. Se observan cuásares extragalácticos en períodos simultáneos, comparándose interferométricamente las señales recibidas.

DOPPLER.

Se basa en la medición de la variación de distancias a satélites mediante la cuenta DOPPLER de la frecuencia de las señales recibidas.



GPS (Global Positioning System).

Es un sistema que puede trabajar con medida directa de distancias, en sistema Doppler, o en medida de fase que veremos en capítulos siguientes. A diferencia de los otros sistemas, este es un sistema que tiene cobertura en cualquier parte del mundo y a cualquier hora, ya sea por el día o por la noche.

GLONASS.

El sistema de posicionamiento global ruso. La operación de este sistema es similar al sistema americano, sin embargo no tiene la disponibilidad selectiva (que le adiciona error). A pesar de ello, requiere la corrección diferencial para lograr precisión suficiente.

GALILEO.

Sistema de posicionamiento europeo apoyado por la política de la UE y la Agencia Espacial Europea (ESA) que será operativo según las previsiones a partir del 2008.

Es un sistema de navegación de radio basado en la constelación de 30 satélites y las estaciones terrestres que proporcionan información referente a la localización del usuario, mejorando la precisión estándar del sistema GPS americano y asegurando la complementariedad con este sistema.

La navegación de radio se basa en la emisión por los satélites de las señales que indican el tiempo extremadamente exacto. Esto permite al individuo determinar su posición o la localización de cualquier objeto móvil o inmóvil.

1.3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.

Hasta el momento hemos estado hablando de sistemas para conocer la posición de un punto móvil o fijo sobre la superficie de la tierra, pero ¿en qué se basa el funcionamiento de estos sistemas?.

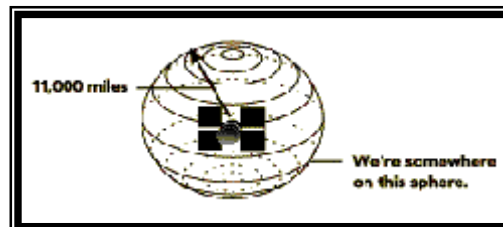
Los sistemas de navegación por satélites se basan en la emisión de ondas electromagnéticas por parte del satélite y la recepción de éstas por parte de estaciones terrestres, de forma que conociendo la velocidad de propagación de la onda y el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción de ésta, se conoce la distancia entre emisor y receptor. Basándose en el principio de la trilateración, si poseemos diversos emisores que transmiten a un mismo punto fijo y conocido, tendremos ubicados constantemente los emisores y gracias a ello podremos conocer la posición de otros puntos cualesquiera, ya sean fijos o móviles.

La gran idea, geoméricamente, es:



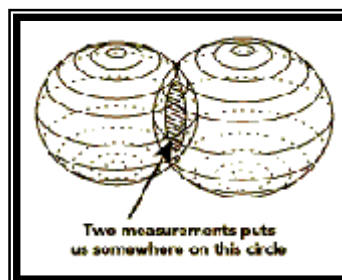
Supongamos que medimos nuestra distancia al primer satélite y resulta ser de 11.000 millas (20.000 Km).

Sabiendo que estamos a 11.000 millas de un satélite determinado, no podemos por lo tanto estar en cualquier punto del universo sino que esto limita nuestra posición a la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es de 11.000 millas.

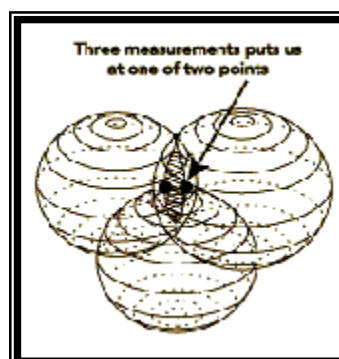


A continuación medimos nuestra distancia a un segundo satélite y descubrimos que estamos a 12.000 millas del mismo.

Esto nos dice que no estamos solamente en la primer esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 12.000 millas del segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.



Si ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite y descubrimos que estamos a 13.000 millas del mismo, esto limita nuestra posición aún mas, a los dos puntos en los cuales la esfera de 13.000 millas corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas.



O sea, que midiendo nuestra distancia a tres satélites limitamos nuestro posicionamiento a solo dos puntos posibles.



Para decidir cual de ellos es nuestra posición verdadera, podríamos efectuar una nueva medición a un cuarto satélite. Pero normalmente uno de los dos puntos posibles resulta ser muy improbable por su ubicación demasiado lejana de la superficie terrestre y puede ser descartado sin necesidad de mediciones posteriores.

Una cuarta medición, de todos modos es muy conveniente por otra razón que veremos mas adelante.

Este método de posicionamiento en principio parece ideal y exacto, pero hay que tener en cuenta que una onda electromagnética que provenga del espacio debe atravesar tres zonas características antes de alcanzar un receptor estacionado sobre la superficie terrestre: el vacío, la ionosfera y la troposfera.

Ante esto, hay que introducir aquí el término “*retardo*”, que es el incremento que sufre el tiempo de propagación de una señal electromagnética entre dos puntos al efectuarse el tránsito por un medio que no sea el vacío, en vez de hacerlo por el vacío.

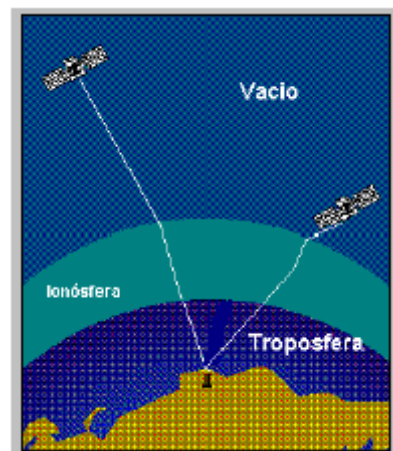
Este retardo se debe a dos factores: la velocidad de propagación es menor y la trayectoria aumenta su longitud al curvarse por refracción y ser envolvente de la recta que une los puntos origen y destino de la señal.

En el **vacío**, el retardo es inexistente, siendo el tiempo de propagación perfectamente determinable al ser proporcional a la distancia en función de la luz, sea cual sea la frecuencia de la onda considerada.

En la **ionosfera**, que está entre 100 y 1000 Km. de altitud, las radiaciones ultravioleta, solar y otras, ionizan una porción de las moléculas gaseosas liberando electrones. El número de electrones libres contenidos en un metro cúbico puede oscilar entre 10^{16} y 10^{19} , según la radiación solar, la actividad de las manchas solares y otros fenómenos, como los geomagnéticos.

El retardo es proporcional al número total de electrones libres encontrados por la señal en su camino y está en función del inverso del cuadrado de la frecuencia de la onda, a igualdad de circunstancias. Varía para cada punto en concreto de recepción según su latitud, la dirección y el momento de observación. El retardo puede variar en el cenit entre 2 ns. y 50 ns. para frecuencias de la banda L, llegando hasta 2,5 el factor por inclinación de la trayectoria, y siendo hasta 5 veces mayor el efecto al mediodía que entre medianoche y el amanecer.

Para resolver el problema, en lo que se refiere a la recepción proveniente de un satélite, se emplea el artificio de utilizar dos frecuencias diferentes y razonablemente separadas dentro de la banda de trabajo. Como el retardo es proporcional a la longitud de onda, y por lo tanto distinto para cada frecuencia, podremos observar un retardo diferencial entre ambos, tanto mayor cuanto mayor sea el retardo ionosférico sufrido, siendo por tanto éste deducible indirectamente, con una precisión ya aceptable.





La **troposfera** es la última zona que se debe atravesar junto con otras regiones de atmósfera superior. Aunque llegan hasta 80 Km., sólo en los 40 km. más bajos se causan retardos significativos. Este retardo equivale a incrementos de camino del orden de 1m. en el cenit y de hasta 30m. a 5° de elevación.

Éste es básicamente el funcionamiento de los sistemas de posicionamiento por satélite y algunos de los aspectos a tener en cuenta.

En el tema siguiente nos adentramos más profundamente en el funcionamiento de este sistema, describiendo la forma de operar del sistema más difundido que es el GPS.



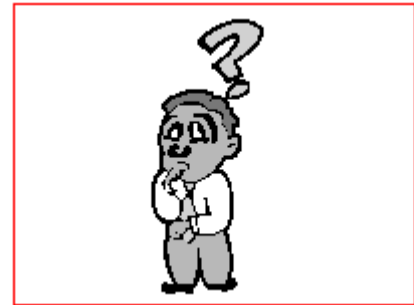
TEMA II:

¿QUÉ ES EL GPS?

2.1. INTRODUCCIÓN.

GPS significa Global Positioning System, es decir, Sistema de Posicionamiento Global.

Este sistema, puesto en funcionamiento desde 1973, se desarrolló a partir de los satélites de la constelación NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging), fue llevado a cabo por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD), que lanzó el primer satélite el 22 de Febrero de 1978.



Este sistema fue desarrollado para mejorar el sistema, de medición de distancias DOPPLER, TRANSIT en servicio civil desde 1967. Por razones militares, necesitaban un sistema que tuviese cobertura global, a cualquier hora del día y que funcionase en cualquier medio, ya sea, mar, aire o tierra.

Se tenía la necesidad, además, que el sistema fuese pasivo, es decir, el usuario no tenía que emitir señal de ningún tipo para no ser delatada su posición.

El sistema está pensado para sustituir todos los sistemas de precisión media de navegación civil, Decca, Loran C, Omega, Transit, Tacan, ILS, Radiofaros, etc..



El sistema se ha declarado oficialmente operativo, por el DoD, en enero de 1994.

La constelación proyectada en principio consistente en 8 satélites por cada plano orbital de los tres previstos, fue modificado por motivos presupuestarios, siendo en la actualidad seis órbitas casi circulares con cuatro satélites por cada una.

La altitud de los satélites es de unos 20.180 km. cuando están en el Zenit del lugar.

Completando cada uno de ellos dos vueltas por cada rotación de 360° a la tierra, es decir el periodo es de 12 horas sidéreas por lo que la configuración de un instante se repite el día anterior debido a la aceleración

de las fijes o diferentes entre día sidéreo y el día solar medio.

Los seis planos orbitales se suelen definir con las letras A,B,C,D,E,F y dentro de cada órbita cada uno de los satélites con los números 1,2,3,4. Hay otros sistemas de identificarlo, como puede ser por su PRN característico, por número de catálogo de la NASA, fecha de lanzamiento, etc.

Además de los satélites lógicamente se ha de disponer de un receptor de la señal enviada por los satélites en tierra, y de algún sistema de control sobre ellos. De ahí el motivo de hablar de tres sectores fundamentales que constituyen el sistema:

- 1.- Sector Espacial.
- 2.- Sector de Control
- 3.- Sector Usuario



2.2. SECTORES GPS.

El sistema GPS comprende como comentamos tres segmentos diferentes:

- El segmento Espacial: que son los satélites que giran en órbitas alrededor de la Tierra.
- El segmento de Control: formado por estaciones ubicadas cerca del ecuador terrestre para controlar a los satélites.
- El segmento de Usuarios: cualquiera que reciba y utilice las señales GPS.

En los puntos sucesivos se hace un desglose más pormenorizado de los diferentes sectores.

2.2.1. Sector espacial.

Compuesto por la constelación de satélites **NAVSTAR** que transmiten señales de tiempos sincronizadas, parámetros de posición de los satélites e información adicional del estado de salud de los satélites sobre las dos portadoras.

2.2.1.1. Constelación de satélites.

La constelación propuesta inicialmente, consistía en 3 planos orbitales, con ocho satélites por órbita, luego se redujeron a seis por órbita, por motivos de recorte presupuestario, y más tarde, se decidió distribuir los dieciocho satélites en seis planos orbitales.

La constelación final, operativa desde Enero de 1994, consta de seis órbitas (casi circulares) con cuatro satélites por cada una de ellas. Los planos orbitales están equidistantes a 60° e inclinados unos 15° con respecto al plano ecuatorial. Esta disposición permite que desde cualquier punto de la superficie terrestre sean visibles entre cinco y ocho satélites.

Los satélites están aproximadamente a 20.180 Km. de la superficie terrestre, con una velocidad angular de 12 horas sidéreas (14500 Km/h). Cuando un satélite en su órbita pasa por el cenit del lugar, le tendremos sobre el horizonte durante unas cinco horas.

Las órbitas son casi circulares y se repite el mismo recorrido sobre la superficie terrestre (mientras la Tierra rota a su vez sobre si misma) de esta forma en prácticamente un día (24 horas menos 4 minutos) un satélite vuelve a pasar sobre el mismo punto de la Tierra.

La constelación está pensada para dar cobertura a cualquier hora del día y en cualquier parte del mundo.

Se planificaron tres generaciones de satélites compuestas por los siguientes bloques:



Bloque I:

Los satélites de este bloque están actualmente inoperativos. Ofrecieron un servicio parcialmente y experimental. Estos satélites fueron lanzados desde la base de Vandenburg (California) entre los años 1978 y 1985.

Bloque II:

El bloque II se puso en órbita mediante transbordadores espaciales llevando tres satélites en cada viaje. Consta de 9 satélites que fueron lanzados entre 1989 y 1990 y posteriormente se lanzaron 19 más hasta 1997.

Bloque III:

El bloque III se sustituyó por el modelo II-R evolución de los del bloque II y consta de un satélite lanzado en 1998.

**HISTORIAL Y ESTADO DE LA CONSTELACION GPS
(SITUACION EN ENERO DE 1999)**

SVN	PRN	LANZA	ÓRBITA	OPER	OPE/OUT	RAZÓN DEL FALLO	MESES ACTIVO
1	4	22/02/78	**	29/03/78	25/01/80	RELOJ	21.9
2	7	13/05/78	**	14/07/78	30/07/80	RELOJ	25.5
3	6	06/10/78	**	09/11/78	19/04/92	RELOJ	161.3
4	8	11/12/78	**	08/01/79	27/10/86	RELOJ	93.6
5	5	09/02/80	**	27/02/80	28/11/83	RELOJ	45
6	9	26/04/80	**	16/05/80	10/12/90	OUT ORB	126.8
7		18/12/81	**	**	**	OUT ORB	0
8	11	14/07/83	**	10/08/83	04/05/93	+TENSIO	116.8
9	13	13/06/84	**	19//07/84	28/02/94	EFE DEGR	115.6
10	12	08/09/84	**	03/10/84	18/11/95	RELOJ	133.5
11	3	09/10/85	**	30/10/85	27/02/94	RELOJ	99.9
14	14	14/02/89	E1	14/04/89	OPERAT	TT&C	101.6
13	2	10/06/89	B3	12/07/89	OPERAT		
16	16	17/08/89	E5	13/09/89	OPERAT		
19	19	21/10/89	A4	14/11/89	OPERAT		
17	17	11/11/89	D3	11/01/90	OPERAT		
18	18	24/01/90	F3	14/02/90	OPERAT		
20	20	25/03/90	B5	19/04/90	OPERAT		
21	21	02/08/90	E2	31/08/90	OPERAT		
15	15	01/10/90	D2	20/10/0	OPERAT		
23	23	26/11/90	E4	10/12/90	OPERAT		
24	24	03/07/91	D1	30/08/91	OPERAT		
25	25	23/02/92	A2	24/03/92	OPERAT		
28	28	10/04/92	C2	25/04/92	05/05/97	HWARE	60.7
26	26	07/07/92	F2	23/07/92	OPERAT		
27	27	09/09/92	A3	30/09/92	OPERAT		
32	1	22/11/92	F1	11/12/92	OPERAT		
29	29	18/12/92	F4	05/01/93	OPERAT		
22	22	03/02/93	B1	04/04/93	OPERAT		
31	31	13/05/93	C3	13/04/93	OPERAT		
37	7	26/06/93	C4	12/06/93	OPERAT		
39	9	30/08/93	A1	21/07/93	OPERAT		
35	5	30/08/93	B4	20/08/93	OPERAT		
34	4	26/10/93	D4	01/12/93	OPERAT		
36	6	10/03/94	C1	28/03/94	OPERAT		
33	3	28/03/96	C2	09/04/96	OPERAT		
40	10	16/07/96	E3	15/08/96	OPERAT		
30	30	12/08/96	B2	01/10/96	OPERAT		
		1998		1998	OPERAT		

2.2.1.2 Satélites.

Los satélites del bloque I pesaban sobre unos 400 Kg. con paneles solares de 400 vatios de potencia. Cuatro satélites llevan osciladores de cuarzo, tres con relojes atómicos de rubidio, tres con osciladores atómicos de cesio de los diez puestos en órbita. Estos relojes operan en una frecuencia de fundamental de 10.23MHz, la cual se emplea para generar las señales transmitidas por el satélite. La vida media de estos satélites son de cinco años.



Los del bloque II pesaban aproximadamente el doble que los del bloque I, y más pesados aún si iban provistos de los detectores de explosiones atómicas NUDET.

Estos llevan todos osciladores atómicos y paneles de 700 vatios de potencia.

Hasta el momento todos los satélites están fabricados por Rockwell International.

Todos los satélites llevan paneles solares para la energía mientras pasa por la zona de sombra de la Tierra.

Estos satélites poseen una serie de antenas emisoras que funcionan en la banda L del espectro. Estas señales son las que recibiremos en nuestro receptor.

- 1- Por el número NAVSTAR (SVN). Es el número de lanzamiento del satélite.
- 2- Por el número de órbita.
- 3- Por la posición que ocupa en la órbita.
- 4- Por el número de catálogo NASA.
- 5- Por la identificación internacional constituida por el año de lanzamiento. el número de lanzamiento en el año y una letra según el tipo.
- 6- Por el número IRON. Número aleatorio asignado por la NORAD (Junta de Defensa Norteamericana de Estados Unidos y Canadá).

Pero la forma generalizada de llamarlos es por PRN o número pseudo-aleatorio (Pseudo-Random-Number), que es característico de cada satélite NAVSTAR.

Los últimos satélites son mucho más fiables que los de la primera generación. Los actuales tienen sistemas alternativos computables desde tierra.

Un satélite queda fuera de servicio por avería o envejecimiento de los paneles solares, falta la capacidad de los acumuladores, averías no conmutables en los sistemas electrónicos, o agotamiento del combustible de maniobra y recuperación de órbita.



2.2.1.3 Escala de tiempo.

Para definir el tiempo usado en el sistema GPS se empezará por la definición del Tiempo Universal (UT). El UT es el tiempo solar medio referido al meridiano de Greenwich.

El UT0 es el tiempo universal deducido directamente a partir de observaciones estelares y considerando la diferencia entre día universal y sidéreo de 3 minutos 56,555 segundos.

El UT1 es el UT0 corregido de la componente rotacional inducida por el movimiento del polo.

El UT2 es el UT1 corregido por variaciones periódicas y estacionales en la velocidad de rotación de la Tierra. Esta escala es equivalente a la Greenwich Mean Time (GMT).

El tiempo universal coordinado UTC es un tiempo atómico uniforme, cuya unidad es el segundo atómico. Es básicamente igual al UT2, al que se aproxima muchísimo mediante correcciones llamadas segundos intercalares (leap second) que son sucesivos incrementos de un segundo, motivados por la variación de la velocidad de rotación de la Tierra.

El US Naval Observatory establece una escala de tiempo atómico, que llama GPS Time, cuya unidad es el segundo atómico Internacional.

El origen de la escala GPS se ha fijado como coincidente con el UTC a las 0 horas del 6 de Enero de 1980.

2.2.1.4 Señal de los satélites.

Una de las características más importantes del Sistema GPS, es la medida precisa del tiempo, por esta razón, cada satélite contiene varios osciladores de alta precisión, con estabilizadores muy precisos dando medidas de tiempo del orden de 10^{14} .

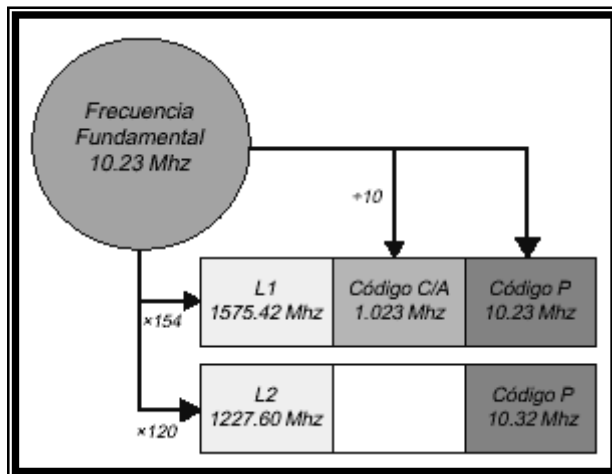
Los satélites transmiten constantemente en dos ondas portadoras. Estas ondas portadoras se encuentran en la banda L (utilizada para transmisiones de radio y que abarcan desde 1GHz hasta 2GHz) y viajan a la Tierra a la velocidad de la luz. Dichas ondas portadoras se derivan de la frecuencia fundamental, generada por un reloj atómico muy preciso.

El oscilador de alta precisión del satélite tiene una frecuencia fundamental de 10.23 MHz.. Todas las otras frecuencias (L1, L2) están derivadas de ésta, obteniendo:

La portadora L1 emite en una frecuencia de 1575,42 MHz (10.23×154) y una longitud de onda de 19,05 cm.;

La portadora L2 utiliza la frecuencia 1.227,60 MHz (10.23×120) y una longitud de onda de 24,45 cm..

El motivo de usar las dos frecuencias es porque nos permite, por comparación de sus retardos diferentes, conocer el retardo ionosférico.



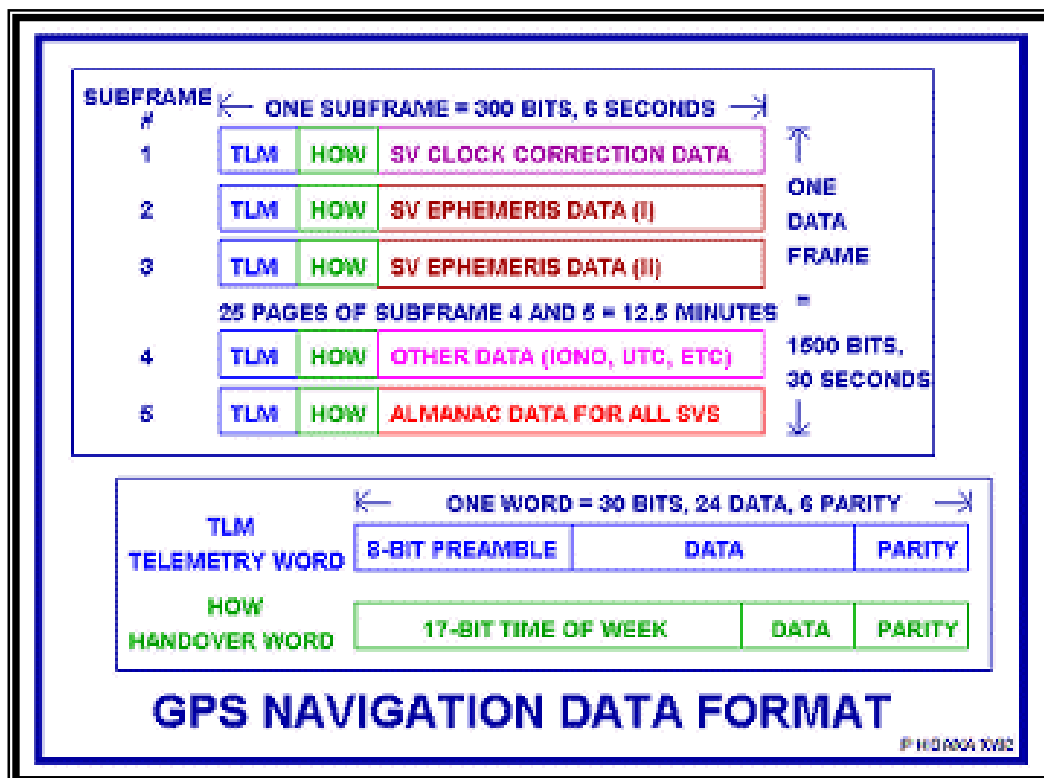
Sobre las portadoras L1 y L2 se envían por modulación dos códigos y un mensaje, cuya base también es la frecuencia fundamental 10.23 MHz. El primer código llamado C/A (Course Acquisition) es una moduladora usando la frecuencia fundamental dividida entre 10. El segundo código llamado P (Precise) modula directamente con la fundamental de 10.23 MHz.

Los códigos sirven fundamentalmente para posicionamientos absolutos y son usados principalmente para navegación.

El código C/A ofrece precisiones nominales decamétricas.

El P ofrece precisiones nominales métricas.

El mensaje de navegación del GPS consiste en unas tramas temporizadas de datos que marcan el tiempo de transmisión de cada subparte del mensaje en el momento en que son transmitidas por el satélite. Una trama de datos ocupa 1500 bits divididos en subpartes de 300 bits. Las tramas se transmiten cada 30 segundos (50 bit/s). Tres subpartes de 6 segundos contienen datos orbitales y temporales. Las correcciones del reloj son transmitidas en la primera subparte y en la segunda y tercera se transmiten datos de información orbital (efemérides). La cuarta contiene información del estado del satélite y otros parámetros de navegación y la quinta se usa para transmitir el almanaque de un satélite. Cada 12 minutos y medio se retransmite toda la información completando 25 tramas completas.





SUBTRAMA 1: Parámetros de desfase del reloj y un modelo de retardo ionosférico para usuarios de equipos monofrecuencia.

SUBTRAMA 2 Y 3: Contiene información sobre las efemérides de los satélites.

SUBTRAMA 4 :Está reservado para mensajes alfanuméricos para futuras aplicaciones.

SUBTRAMA 5: Contiene datos de almanaque por cada satélite. El almanaque completo se recibe completo en el receptor después de 12,5 minutos de observación.

Los parámetros de reloj describen la relación entre el reloj de satélite y del sistema GPS. Los datos de efemérides definen de forma muy precisa la posición de un satélite en un instante dado (18 parámetros acerca de la órbita del satélite). Normalmente los receptores renuevan su información de efemérides cada hora, pero pueden utilizar los datos de efemérides hasta 4 horas sin demasiado error. Los parámetros de efemérides se utilizan con un algoritmo que calcula la posición del satélite para cada instante dentro de la porción de órbita descrita en el conjunto de datos de efemérides.

El almanaque es un conjunto de parámetros orbitales aproximados de todos los satélites. Diez parámetros describen la órbita de cada satélite para largos periodos de tiempo (pueden ser utilizados durante varios meses en la mayoría de los casos). Son enviados por cada satélite cada 12 minutos y medio (25 tramas de datos) como mínimo. El tiempo de adquisición de señal en el arranque de un receptor GPS puede ser mejorado significativamente si dispone del almanaque actualizado.

Los datos de aproximación orbital se usan para ajustar en el receptor la posición aproximada del satélite y la frecuencia Doppler de la portadora (desplazamiento de frecuencia causada por el movimiento del satélite) en cada satélite de la constelación.

Cada conjunto de datos de satélite completo incluye un modelo ionosférico que se usa en el receptor para aproximar el retardo de fase por la ionosfera en cada punto e instante.

También se envía la desviación del reloj del sistema GPS respecto al UTC (Universal Time Coordinated), esta corrección se usa en el receptor para fijar la hora UTC con un error menor de 100 ns. Otros parámetros y banderas de estado se envían para informar detalles del sistema.

2.2.1.5 Disponibilidad selectiva.

En un principio se pensó que el sistema GPS ofrecería precisiones de 10 a 20 metros en el posicionamiento preciso (PPS), en tiempo real. Después se descubrió que estas precisiones eran alcanzables en el posicionamiento estándar (SPS) destinado a usuarios civiles.

Para preservar los intereses militares se ideó degradar a 100 metros la precisión en el SPS mediante la disponibilidad selectiva (Selective Availability - SA).

Existían por lo tanto dos servicios de posicionamiento:



Servicio de posicionamiento preciso (PPS)

Únicamente algunos usuarios autorizados y equipados con dispositivos criptográficos, llaves y receptores especiales utilizan el sistema de posicionamiento preciso. Este sistema estaba reservado para los ejércitos de los EE.UU. y sus aliados, ciertas agencias estatales del gobierno estadounidense, y algunos civiles selectos especialmente aprobados por el gobierno de los EE.UU.

La precisión estimada del sistema PPS es de 22 metros en sentido horizontal, 27.7 metros en sentido vertical y 100 nanosegundos de precisión temporal

Servicio de posicionamiento standard (SPS)

Los usuarios civiles de todo el mundo utilizaban el SPS sin cargo ni restricciones. La precisión del sistema SPS era degradada de forma intencionada por el departamento de defensa estadounidense mediante la llamada disponibilidad selectiva.

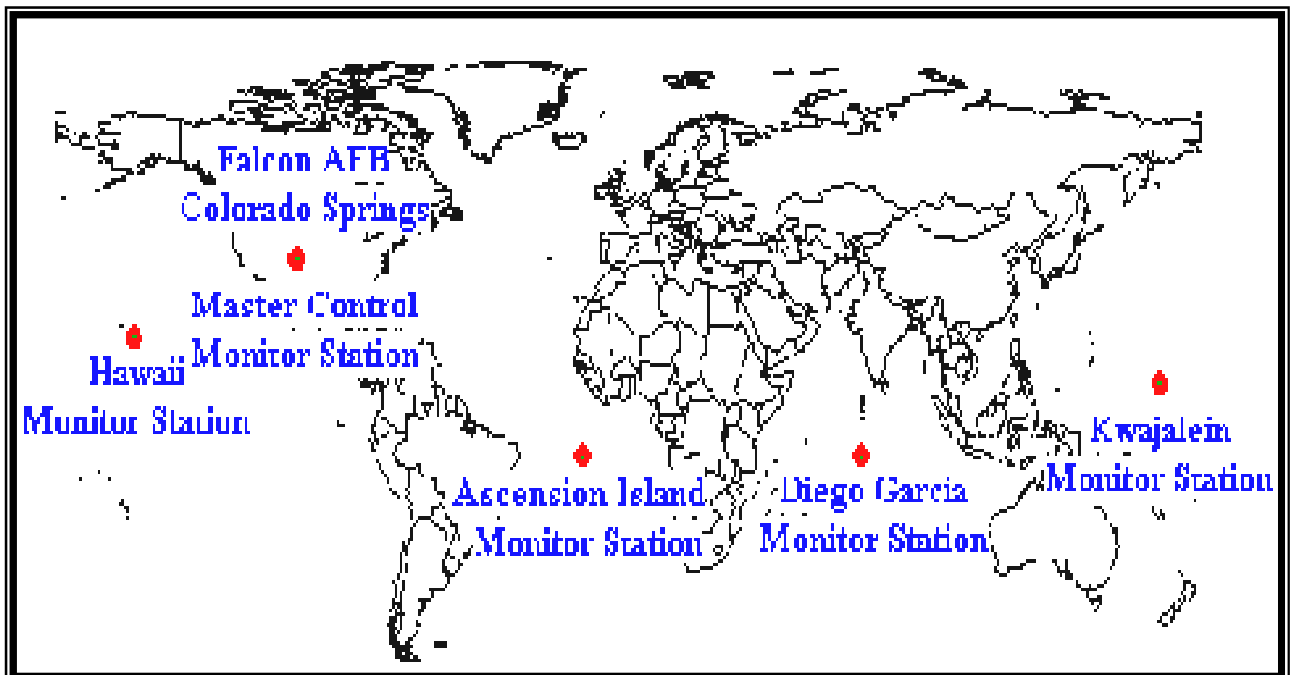
- La precisión estimada del SPS es de 100 metros en el plano horizontal, 156 metros en el eje vertical y 340 nanosegundos de precisión temporal.
- Estas precisiones derivan del plan federal de radionavegación de 1994. Las predicciones se cumplen en un 95% de los casos y expresan el valor de dos desviaciones el error radial desde la posición real de la antena hacia una serie de estimaciones de posición resultantes del ángulo de elevación de los satélites (5 grados) y las llamadas condiciones PDOP (Position Dilution of Precision, menos de 6).
- Para precisión horizontal una figura de un 95% equivale 2 dmrs (distancia RMS) o dos veces el error de desviación radial. Para vertical y errores temporales el 95% es el valor de dos desviaciones standard de error vertical o temporal.
- Los fabricantes de receptores suelen utilizar otras medidas de precisión. El error RMS es el valor de una desviación típica (68%) del error en una, dos o tres dimensiones. El error circular probable (CEP) es el valor del radio de un círculo centrado en la posición real que contiene un 50% de las posiciones estimadas. El error esférico probable (SEP) es el equivalente esférico del CEP, es decir, el radio de una esfera centrado en la posición real que contiene el 50% de las estimaciones de posición en tres dimensiones. Al contrario que 2dmrs, dmrs o RMS, CEP y SEP no se ven afectadas por grandes errores espurios haciendo de ellos unas medidas de precisión bastante optimistas.
- Algunas tablas de características de receptores de GPS expresan la precisión horizontal en RMS o CEP sin tener en cuenta la Disponibilidad Selectiva haciendo parecer sus receptores como más precisos que los de otros fabricantes más conservadores con sus medidas.

Esta distorsión en la recepción de las ondas fue dada de baja en mayo del año 2000 por la DoD, aún así siguen existiendo los dos servicios, puesto que existen formas de encriptar los mensajes por parte del ejército (A/S) siendo necesario para algunos casos el recurrir a métodos de post-procesado de datos.

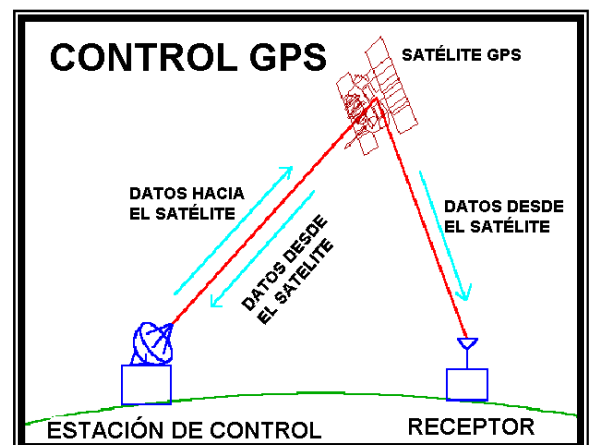
2.2.2. Sector de control.

Este segmento tiene la función de realizar el seguimiento continuo de los satélites, calcular su posición precisa, transmisión de datos y la supervisión necesaria para el control diario de todos los satélites del sistema NAVSTAR.

Existen cinco estaciones de seguimiento; una principal en Colorado Springs (estación maestra de control – MCS), y otras cuatro distribuidas en longitud, homogéneamente por todo el mundo, próximas al ecuador terrestre. En el gráfico podemos observar la distribución de éstas.



Las estaciones de control miden las señales procedentes de los satélites y son incorporadas en modelos orbitales para cada satélite. Los modelos calculan datos de ajuste de órbita (efemérides) y correcciones de los relojes de cada satélite. La estación maestra envía las efemérides y correcciones de reloj a cada satélite. Cada satélite envía posteriormente subconjuntos de estas informaciones a los receptores de GPS mediante señales de radio.



2.2.3. Sector usuario.

El segmento de usuarios comprende a cualquiera que reciba las señales GPS con un receptor, determinando su posición, tiempo y velocidad, siendo necesarias las señales de cuatro satélites para el cálculo de la posición en cuatro dimensiones X, Y, Z y tiempo, mientras que con sólo tres se puede conseguir la posición planimétrica conociendo así sólo las coordenadas X e Y.

Algunas aplicaciones típicas dentro del segmento usuarios son: la navegación en tierra para excursionistas, ubicación de vehículos, topografía, navegación marítima y aérea, control de maquinaria, gestión de parques de maquinaria, agricultura de precisión, etc.

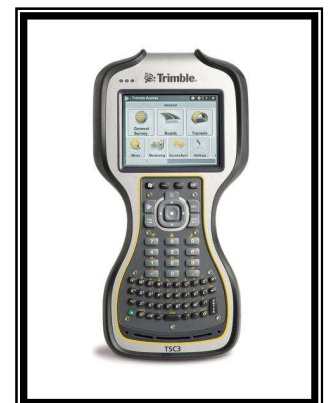
Hablando de la utilización del GPS como instrumento topográfico este segmento comprende los siguientes elementos:

El equipo de campo estaría compuesto de los siguientes elementos:

- Antena: Componente que se encarga de recibir y amplificar la señal recibida por los satélites.



- Receptor: Recibe la señal recogida por la antena y decodifica esta para convertirla en información legible.



- Terminal GPS o Unidad de Control: Ordenador de campo que muestra la información transmitida por los satélites y recoge todos datos útiles para su posterior cálculo, de aplicaciones Topográficas.

En aplicaciones de navegación o de observaciones en modo absoluto (recepción de señal con un solo receptor), por lo general, estos tres elementos irán unidos para formar una sola unidad.



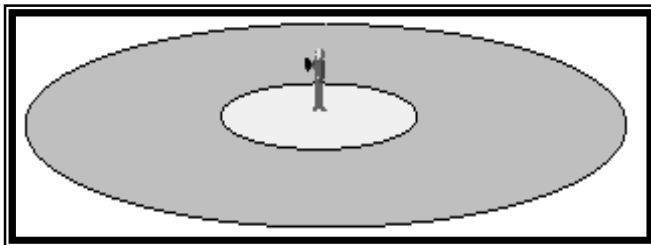
- Equipo de gabinete: Este lo utilizaremos cuando queramos conseguir una gran precisión utilizando el GPS en modo diferencial.



- Software de gestión y cálculo de datos: Por lo general son programas que funcionan en el entorno Windows.

2.3. ¿CÓMO FUNCIONA EL GPS?

Existen diferentes métodos para obtener una posición empleando el GPS. El método a utilizar depende de la precisión requerida por el usuario y el tipo de receptor disponible. En un sentido amplio de la palabra, estas técnicas pueden ser clasificadas básicamente en tres clases:



- **Navegación Autónoma:** empleando sólo un receptor simple. Utilizado por excursionistas, barcos en alta mar y las fuerzas armadas. La precisión oscila de 15-100m.

- **Posicionamiento Diferencial Corregido:** más comúnmente conocido como DGPS, el cual proporciona precisiones del orden de 0.5-5m. Utilizado para navegación costera, adquisición de datos para SIG (Sistemas de Información Geográfica - GIS), agricultura automatizada, etc.

- **Posicionamiento Diferencial de Fase:** ofrece una precisión de 0.5-20mm. Utilizado para diversos trabajos de topografía, control de maquinaria, etc.

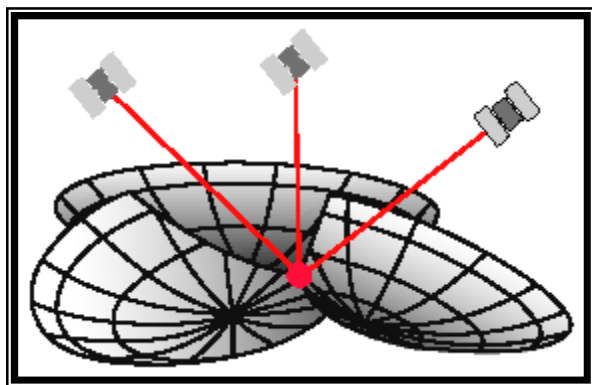
Estos métodos son descritos más ampliamente en puntos posteriores.

2.4. MEDIDA DE DISTANCIAS A SATÉLITES.

Antes de entrar a abordar los métodos de obtención de posiciones con los receptores, conviene conocer como se consiguen estas posiciones.

Todas las posiciones GPS están basadas en la medición de la distancia desde los satélites hasta el receptor GPS en Tierra. Esta distancia hacia cada satélite puede ser determinada por el receptor GPS de dos formas diferentes: por medida de pseudodistancias y/o por medición de distancias con medidas de fase.

En cuanto a la **medición por pseudodistancias**, la idea básica es la de una intersección inversa, la cual es utilizada por los topógrafos en su trabajo diario. Si se conoce la distancia hacia tres puntos en relación a una posición, entonces se puede determinar la posición relativa a esos tres puntos. A partir de la distancia hacia un satélite, sabemos que la posición del receptor debe estar en algún punto sobre la superficie de una esfera imaginaria cuyo origen es el satélite mismo. La posición del receptor se podrá determinar al intersecar tres esferas imaginarias.



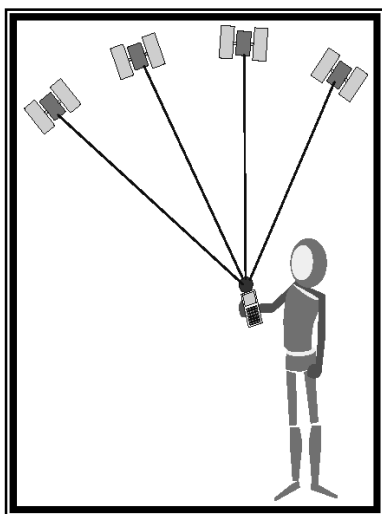
El problema con el GPS es que sólo se pueden determinar las pseudodistancias y el tiempo que llegan las señales al receptor.

De este modo existen cuatro incógnitas a determinar: posición (X, Y, Z) y el tiempo que tarda en viajar la señal.

Observando a cuatro satélites se generan cuatro ecuaciones que se cancelan.

Para calcular la distancia a cada satélite, se utiliza una de las leyes del movimiento:

$$\text{Distancia} = \text{Velocidad} \times \text{Tiempo}$$



Por ejemplo, es posible calcular la distancia que un tren ha viajado si se conoce la velocidad de desplazamiento y el tiempo que ha venido desplazándose a esa velocidad.

El GPS requiere que el receptor calcule la distancia del receptor al satélite.

La velocidad es la velocidad de las señales de radio. Las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, a 290000 Km por segundo (186 000 millas por segundo).

El tiempo es aquel que le toma a una señal de radio en viajar desde el satélite al receptor GPS. Esto es un poco difícil de calcular, ya que se necesita conocer el momento en que la señal de radio salió del satélite (a) y el momento en que llegó al receptor (b).

Para medir el tiempo de propagación se utilizan los códigos C/A o P.

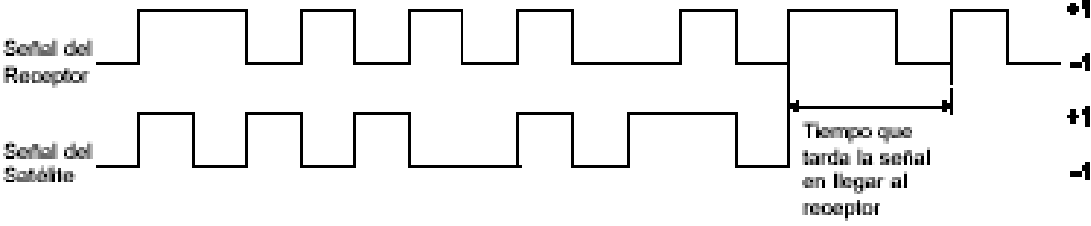
Simplificando se puede representar como sigue:

el satélite transmite un impulso (código), el cual contiene como información adicional el instante de la emisión (a). En el receptor se mide el momento de llegada (b) del impulso y se lee la información contenida sobre el instante de emisión. La diferencia de tiempo (b-a) multiplicada por la velocidad de propagación de la señal da la distancia, siempre que el reloj del satélite y del receptor estén perfectamente sincronizados. Ya que normalmente éste no es el caso, se obtiene una distancia falsa proporcional a la diferencia de relojes.

Cálculo del Tiempo

La señal del satélite es modulada por dos códigos, el Código C/A y el Código P. El código C/A está basado en el tiempo marcado por un reloj atómico de alta precisión. El receptor cuenta también con un reloj que se utiliza para generar un código C/A coincidente con el del satélite.

De esta forma, el receptor GPS puede "hacer coincidir" o correlacionar el código que recibe del satélite con el generado por el receptor.



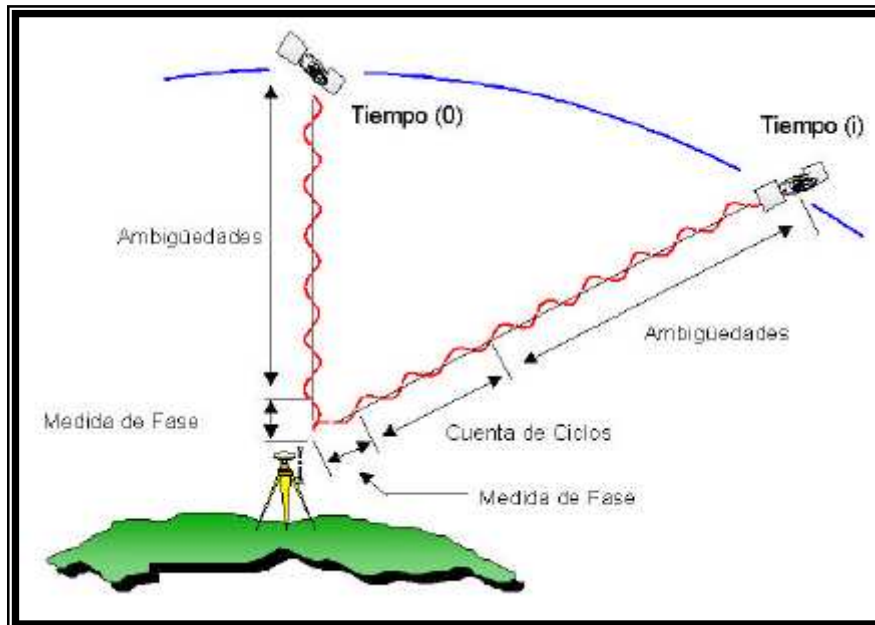
El código C/A es un código digital que es 'seudo aleatorio', o que aparenta ser aleatorio. En realidad no lo es, sino que se repite mil veces por segundo.

De esta forma es como se calcula el tiempo que tarda en viajar la señal de radio desde el satélite hasta el receptor GPS.

En cuanto a la **medición con medidas de fase**, aquí se mide el desfase de la onda portadora, contrariamente a la pseudodistancia, en la que se mide el tiempo de propagación con ayuda de los códigos modulados C/A o P como vimos.

La fase de la señal llegada del satélite es comparada con la fase de una señal de referencia generada en el receptor.

Del desfase se obtiene una parte de la distancia como parte de la longitud de onda; esto significa en la medición hecha en la frecuencia L1, una parte de la distancia comprendida en 19 cm; en la frecuencia L2, en 24 cm, y esto con resolución en el ámbito submilimétrico.



En principio, el número de longitudes de ondas completas en la distancia satélite - Receptor-, permanece desconocido. Por ello, el programa de cálculo tiene que estar en condiciones de determinar el número de longitudes de onda desconocidas, para poder calcular las coordenadas de la estación.

2.5. FUENTES DE ERROR.

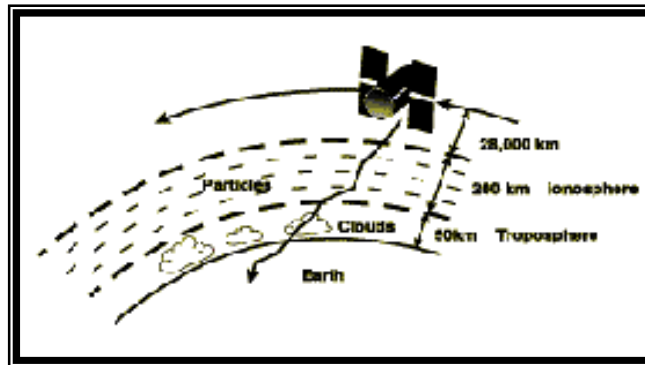
Hasta ahora hemos estado tratando los cálculos del sistema GPS de manera muy abstracta, como si todo el proceso ocurriera en el vacío. Pero en el mundo real hay muchas cosas que le pueden suceder a una señal de GPS para transformarla en algo menos que matemáticamente perfecta.

Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema un buen receptor de GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles. Veamos que es lo que debemos enfrentar.

Un Rudo Viaje a través de la atmósfera

En primer lugar, una de las presunciones básicas que hemos estado usando a lo largo de este trabajo no es exactamente cierta. Hemos estado afirmando que podemos calcular la distancia a un satélite multiplicando el tiempo de viaje de su señal por la velocidad de la luz. Pero la velocidad de la luz sólo es constante en el vacío.

Una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.



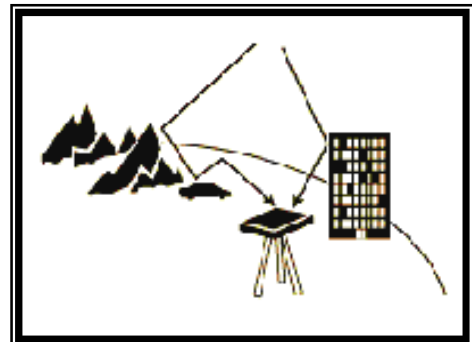
Hay un par de maneras de minimizar este tipo de error. Por un lado, podríamos predecir cual sería el error tipo de un día promedio. A esto se lo llama modelación y nos puede ayudar pero, por supuesto, las condiciones atmosféricas raramente se ajustan exactamente el promedio previsto.

Otra manera de manejar los errores inducidos por la atmósfera es comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y sólo es posible en receptores GPS muy avanzados.

Un Rudo Viaje sobre la tierra

Los problemas para la señal de GPS no terminan cuando llega a la tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por nuestro receptor GPS.

Este error, denominado *MULTIPATH* o *MULTITRAYECTORIA* o *MULTICAMINO* es similar al de las señales fantasma que podemos ver en la recepción de televisión. Los buenos receptores GPS utilizan sofisticados sistemas de rechazo para minimizar este problema.



Problemas en el satélite.

Aún siendo los satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores en el sistema.

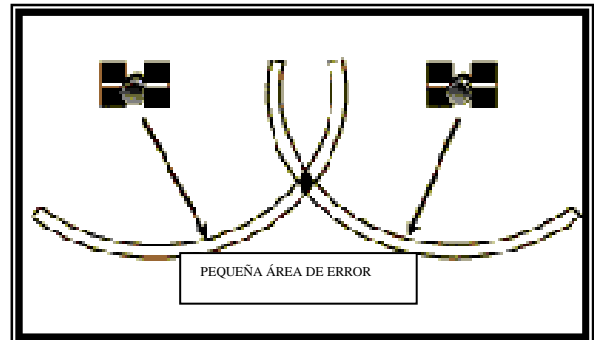
Los relojes atómicos que utilizan son muy, pero que muy, precisos, pero no son perfectos. Pueden ocurrir minúsculas discrepancias que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales. Y, aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco pueden ser controlados a cada segundo. De esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo.

Algunos ángulos son mejores que otros.

La geometría básica por si misma puede magnificar estos errores mediante un principio denominado "Dilución Geométrica de la Precisión", o DGDP

Suena complicado pero el principio es simple.

En la realidad suele haber más satélites disponibles que los que el receptor GPS necesita para fijar una posición, de manera que el receptor toma algunos e ignora al resto. Si el receptor toma satélites que están muy juntos en el cielo, las circunferencias de intersección que definen la posición se cruzarán a ángulos con muy escasa diferencia entre sí. Esto incrementa el área gris o margen de error acerca de una posición.

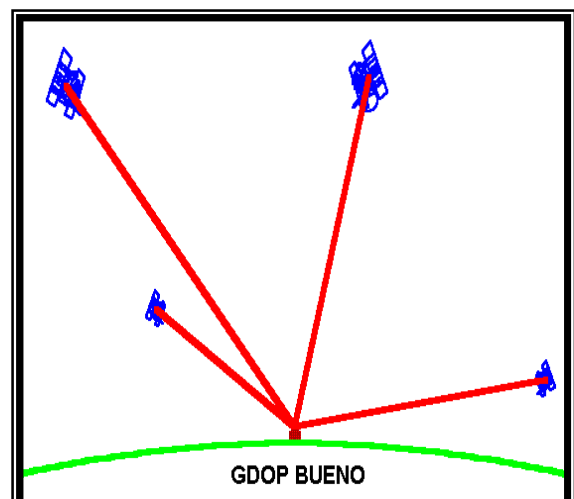
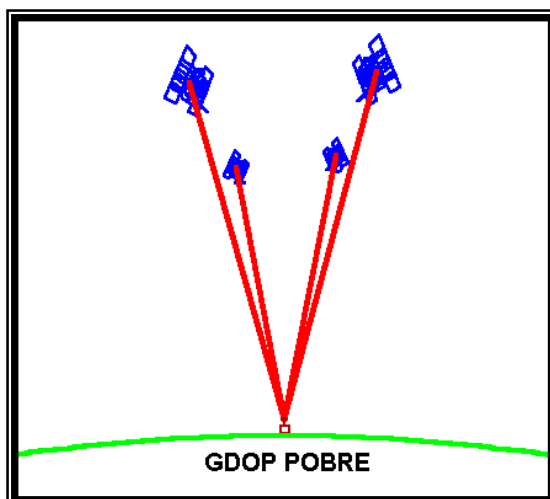


Si el receptor toma satélites que están ampliamente separados, las circunferencias intersecan a ángulos prácticamente rectos y ello minimiza el margen de error.

Los buenos receptores son capaces de determinar cuales son los satélites que dan el menor error por Dilución Geométrica de la Precisión.

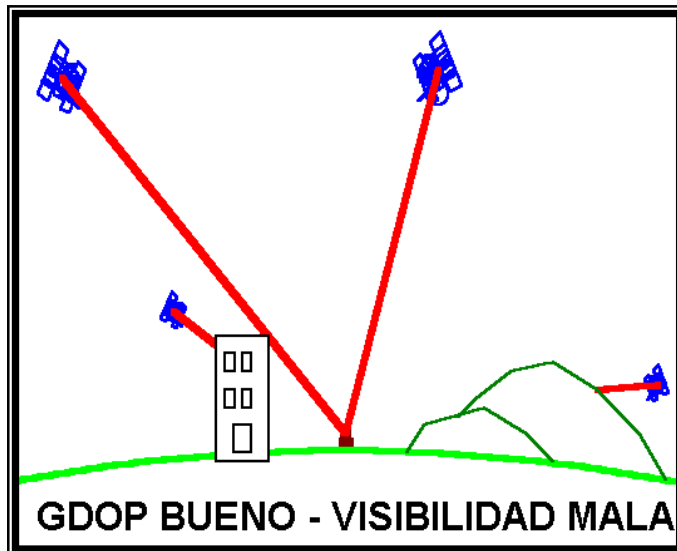
Por lo tanto, los errores del GPS se ven incrementados por las diferencias de los vectores entre el receptor y los satélites. El volumen del prisma descrito por los vectores desde el receptor a los satélites utilizados en el cálculo de la posición es inversamente proporcional a la GDOP.

Un GDOP pobre (con un valor alto) representando un volumen pequeño del prisma, aparece cuando los ángulos desde el receptor a los distintos satélites utilizados en el cálculo son similares.



Un GDOP bueno, un valor pequeño representando un volumen del prisma grande, se consigue cuando los ángulos desde el receptor a los distintos satélites son distintos.

El GDOP es calculado a partir de las relaciones geométricas entre el receptor y los satélites que el receptor utiliza para la navegación. Para propósitos de planificación a menudo se calcula el GDOP a partir del almanaque y de la posición estimada del receptor. Sin embargo, el GDOP no tiene en cuenta los objetos que puedan bloquear la señal que los satélites transmiten al receptor. El GDOP estimado no puede ser utilizado en la práctica.



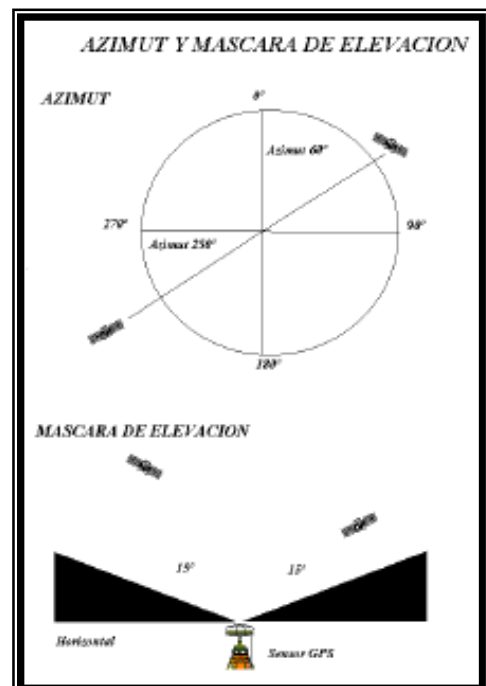
Para evitar la oclusión de las señales, la GDOP se calcula utilizando los satélites que realmente son visibles.

En general los errores de rango de las señales de los satélites se ven multiplicados por el valor de GDOP para estimar la posición resultante o el error en el tiempo. El valor GDOP (ECEF XYZ DOP) puede ser rotado en un sistema Norte-Este-Abajo (NED North-East-Down) para producir valores de dilución de la posición en los planos vertical y horizontal.

Componentes GDOP	
PDOP	Position Dilution of Precision (3-D), a menudo la DOP esférica.
HDOP	Horizontal Dilution of Precision (Latitud, Longitud).
VDOP	Vertical Dilution of Precision (Altura).
TDOP	Time Dilution of Precision (Tiempo)

Mientras que cada uno de estos componentes GDOP puede ser calculado individualmente, ellos son calculados a partir del mismo GDOP y no son independientes entre sí. Por ejemplo un TDOP muy alto causará errores en el reloj que finalmente puede causar errores en la posición.

Cabe destacar en este punto también la mención del parámetro *MÁSCARA DE ELEVACIÓN*, que es el ángulo de elevación mínimo que tendrán los satélites para que recibamos señal de estos. Este ángulo es configurable y se considera como el mínimo ideal de 15° de elevación, ya que por debajo de este ángulo, la señal recibida de los satélites, está muy influenciada por la refracción atmosférica.





Ruido en las señales.

El funcionamiento de un receptor es determinado por su capacidad de medir exactamente el pseudo rango y la fase portadora, que dependen del ruido ligado a las señales que siguen la pista del receptor.

Podemos definir el ruido como la distorsión en las señales electromagnéticas.

La calidad de la señal en presencia del ruido es medida por el SNR (Signal Noise Ratio). Cuanto más grande es el cociente, más fuerte la señal es.

Éstos son dependientes en el diseño de la antena, el método usado para conversión a digital análoga, los procesos de la correlación, y los lazos y las anchuras de banda que siguen (Pratt, 1992). El ruido dentro de las medidas del pseudorange se puede reducir por un factor del 50% combinando con las observaciones más exactas de la fase del portador (Goad, 1990).

¡Errores Intencionales!

Aunque resulte difícil de creer, el mismo Gobierno que pudo gastar 12.000 millones de dólares para desarrollar el sistema de navegación más exacto del mundo, estuvo degradando intencionalmente su exactitud. Dicha política se denomina "Disponibilidad Selectiva" (SA) y pretendió asegurar que ninguna fuerza hostil o grupo terrorista pudiera utilizar el GPS para fabricar armas certeras.

Básicamente, el Departamento de Defensa (DoD) introdujo cierto "ruido" en los datos del reloj satelital, lo que a su vez se traducía en errores en los cálculos de posición. El Departamento de Defensa también podía enviar datos orbitales ligeramente erróneos a los satélites que estos reenviaban a los receptores GPS como parte de la señal que emiten.

Afortunadamente todos esos errores debidos a la distorsión en la recepción de las ondas fue dada de baja en mayo del año 2000 por la DoD.

Sin embargo aún existe el "*Anti Spoofing (AS)*", que es otra técnica mediante la cual el DoD puede convertir el código P, utilizado para el posicionamiento preciso (PPS), en código Y. Éste último consiste en una combinación del código P con otro código secreto, el W. De esta forma, en un determinado momento, puede restringirse por completo el acceso al código P, salvo a determinados centros militares autorizados.

En Resumen:

1. La ionosfera y la troposfera causan demoras en la señal de GPS que se traducen en errores de posicionamiento.
2. Algunos errores se pueden corregir mediante modelación y correcciones matemáticas.
3. La configuración de los satélites en el cielo puede magnificar otros errores.
4. El GPS Diferencial puede eliminar casi todos los errores



Resumen de las fuentes de error del sistema GPS
Errores típicos, en Metros (Por cada satélite)

Fuentes de Error	GPS Standard	GPS Diferencial
Reloj del Satélite	1.5	0
Errores Orbitales	2.5	0
Ionosfera	5.0	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Ruido en el Receptor	0.3	0.3
Señal Fantasma	0.6	0.6
Disponibilidad Selectiva	30	0
Exactitud Promedio de Posición		
Horizontal	50	1.3
Vertical	78	2.0
3-D	93	2.8

Además de estos errores propios del sistema, hay que tener en cuenta los debidos al manejo por parte del usuario, de forma que hay que considerar la configuración inicial del aparato GPS respecto al sistema de coordenadas, datum, geoide, etc., manejo que puede dar lugar a grandes errores de posicionamiento.

2.6. NAVEGACIÓN.

Esta es la técnica más sencilla empleada por los receptores GPS para proporcionar instantáneamente al usuario, la posición y altura y/o tiempo. La precisión obtenida es mejor que 100m, por lo general entre 15 y 30m para usuarios civiles y 5-15m para usuarios militares.

Los receptores utilizados para este tipo de aplicación, son por lo general unidades pequeñas, portátiles y de bajo costo.

Los receptores militares son más precisos porque no utilizan el código C/A para calcular el tiempo que tarda en llegar la señal desde el satélite al receptor GPS. Únicamente emplean el código P. El código P modula a la portadora con una frecuencia de 10.23 Hz., mientras que el código C/A lo hace a 1.023 Hz. Las distancias se pueden calcular con mayor precisión empleando el código P, ya que este se transmite 10 veces más por segundo que el código C/A. Sin embargo, como se describió en la sección anterior, muy a menudo el código P se ve afectado por el Anti-Spoofing (A/S). Esto significa que, únicamente las fuerzas militares (equipadas con receptores GPS especiales), pueden descifrar el código P encriptado, también conocido como código Y. Por todas estas razones, los usuarios de receptores GPS militares generalmente obtendrán precisiones del orden de 5 metros, mientras que los usuarios de equipos GPS civiles equivalentes únicamente alcanzarán precisiones de 15 a 100 metros.

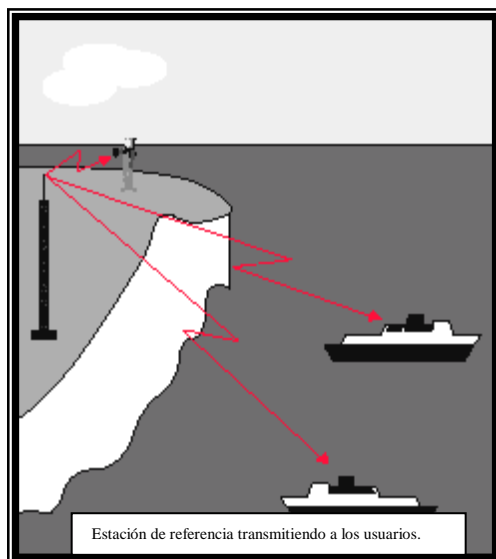
2.7. DGPS.

Muchos de los errores que afectan la medición de distancia a los satélites, pueden ser completamente eliminados o reducidos significativamente utilizando técnicas de medición diferenciales. Se considera a éstas como técnicas de corrección.

La técnica DGPS, *Differential GPS*, permite a los usuarios civiles incrementar la precisión de la posición de 100m a 2-3m o menos, haciéndolo más útil para muchas aplicaciones civiles.

Para ello se necesita el uso de dos receptores, de forma que uno actuará como receptor de referencia, que permanecerá estático y el segundo será el receptor móvil con el que se trabajará.

EL RECEPTOR DE REFERENCIA:



La antena del receptor de referencia es montada en un punto medido previamente con coordenadas conocidas. Al receptor que se coloca en este punto se le conoce como Receptor de Referencia o Estación Base.

Se enciende el receptor y comienza a rastrear satélites. Puede calcular una posición autónoma utilizando las técnicas descritas en la sección.

Debido a que el receptor se encuentra en un punto conocido, el receptor de referencia puede estimar en forma muy precisa la distancia a cada uno de los satélites.

De esta forma, este receptor puede calcular muy fácilmente cual es la diferencia entre la posición calculada y la posición medida. Estas diferencias son conocidas como correcciones.

Generalmente, el receptor de referencia está conectado a un radio enlace de datos, el cual se utiliza para transmitir las correcciones.

EL RECEPTOR MÓVIL:

El receptor móvil está al otro lado de estas correcciones. El receptor móvil cuenta con un radio enlace de datos conectado para recibir las correcciones transmitidas por el receptor de referencia.

El receptor móvil también calcula las distancias hacia los satélites. Luego aplica las correcciones de distancia recibidas de la referencia. Esto le permite calcular una posición mucho más precisa de lo que sería posible si se utilizaran las distancias no corregidas.



Utilizando esta técnica, las fuentes de error son minimizadas, de aquí que se obtiene un posición más precisa.

Cabe mencionar que múltiples receptores móviles pueden recibir correcciones de una sola referencia.

En la práctica, la técnica DGPS resulta un poco más compleja. Hay que tener en consideración el radio enlace. Existen muchos tipos de radio enlaces que pueden transmitir en diferentes rangos de frecuencias y distancias. El desempeño del radio enlace dependerá de varios factores, incluyendo:

- La frecuencia del radio
- La potencia del radio
- El tipo y la "ganancia" de la antena de radio
- La posición de la antena.

Se han establecido redes de receptores GPS y poderosos transmisores de radio, para transmitir en una frecuencia de seguridad "marítima solamente". Estos son conocidos como "radio faros" (Beacon Transmitters). Los usuarios de este servicio (mayormente barcos navegando cerca de la costa), sólo necesitan adquirir un receptor móvil que pueda recibir la señal del Radio Faro.

Tales sistemas han sido instalados a lo largo de las costas de muchos países. Otros dispositivos, tales como teléfonos celulares (o móviles), pueden ser utilizados para la transmisión de datos. Además de los sistemas de Radio Faros, también existen otros sistemas que proveen cobertura sobre extensas áreas y que son operados por compañías comerciales privadas. Existen también propuestas para sistemas de propiedad del gobierno, tales como el sistema basado en satélites de la Autoridad Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos, se trata del WAAS (Wide Area Augmentation System), el Sistema de la Agencia Espacial Europea (ESA), EGNOS y el sistema propuesto por el gobierno japonés, MSAS. Existe un formato estándar para la transmisión de datos GPS. Se denomina el formato RTCM (por sus siglas en inglés Radio Technical Comisión Maritime Services), una organización sin fines de lucro auspiciada por la industria. Este formato se usa en forma común alrededor de todo el mundo.

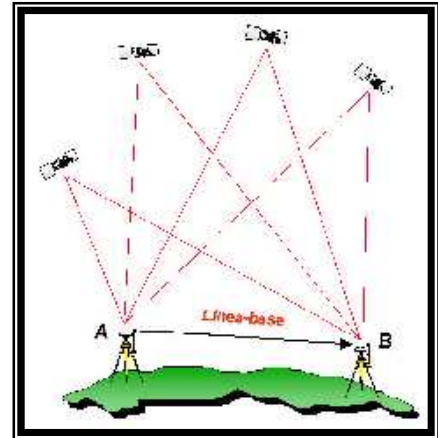
2.8. GPS DIFERENCIAL DE FASE.

El GPS Diferencial de Fase es utilizado principalmente en la topografía y trabajos relacionados para alcanzar precisiones en posición del orden de 5-50mm. (0.25-2.5 in.). La técnica utilizada difiere de la descrita previamente e involucra un intenso análisis estadístico.

Como técnica diferencial significa que un mínimo de dos receptores GPS deben ser siempre utilizados en forma simultánea. Esta es una de las similitudes con el método de Corrección Diferencial de Código (DGPS). El receptor de Referencia está siempre

ubicado en un punto fijo o de coordenadas conocidas. El otro (o los otros) receptores están libres para moverse alrededor. Estos son conocidos como receptores móviles. Se calcula, entonces, la(s) línea(s) base entre la Referencia y los móviles. La técnica básica es igual a las descritas previamente, es decir la medición de distancias a cuatro satélites y la determinación de la posición a partir de esas distancias. La diferencia radica en la forma en que se calculan esas distancias.

Con este método se anulan hasta un cierto grado errores inevitables como la imprecisión de la órbita del satélite y se obtiene con ello una mayor precisión que con la determinación de un punto aislado. Se utiliza aquí el método de medición de fase que da una mayor precisión que el de la medida de la pseudodistancia. Evidentemente es necesario restituir en un ordenador los puntos medidos en distintas estación.



Llegados a este punto, es importante recordar lo visto en el punto 2.2.1.4. *Señales de los satélites*, de forma que definimos:

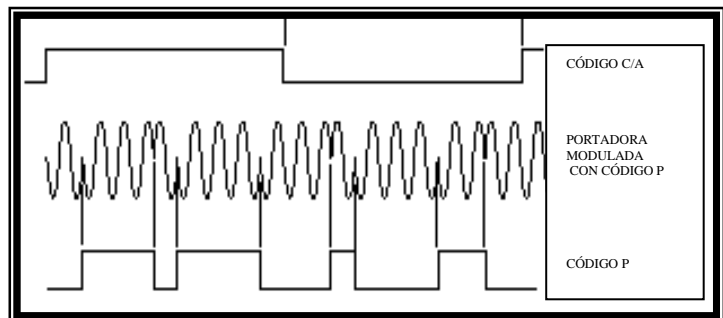
Fase Portadora. Es la onda sinusoidal de la señal de L1 o L2 creada por el satélite. La portadora L1 es generada a 1575.42 MHz, la portadora de L2 a 1227.6 MHz.

Código C/A. Es el Código de Adquisición Gruesa. Modula la portadora L1 a 1.023 MHz.

Código P. El código preciso. Modula a las portadoras L1 y L2 a 10.23 MHz.

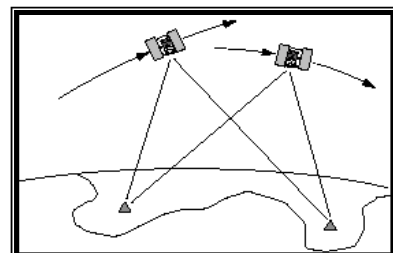
¿Qué significa modulación?: las ondas portadoras están diseñadas para llevar los códigos binarios C/A y P en un proceso conocido como modulación.

Modulación significa que los códigos están superpuestos sobre la onda portadora. Los códigos son códigos binarios. Esto significa que sólo pueden tener dos valores -1 y +1. Cada vez que el valor cambia, hay un cambio en la fase de la portadora.



Se utiliza la fase portadora porque esta puede proporcionar una medida hacia el satélite mucho más precisa que la que se consigue utilizando el código C/A o el código P. La onda portadora de L1 tiene una longitud de 19.4cm. Si se pudiera medir el número de longitudes de onda (completas y fraccionarias) que existen entre el satélite y el receptor, se obtendría una distancia muy precisa al satélite.

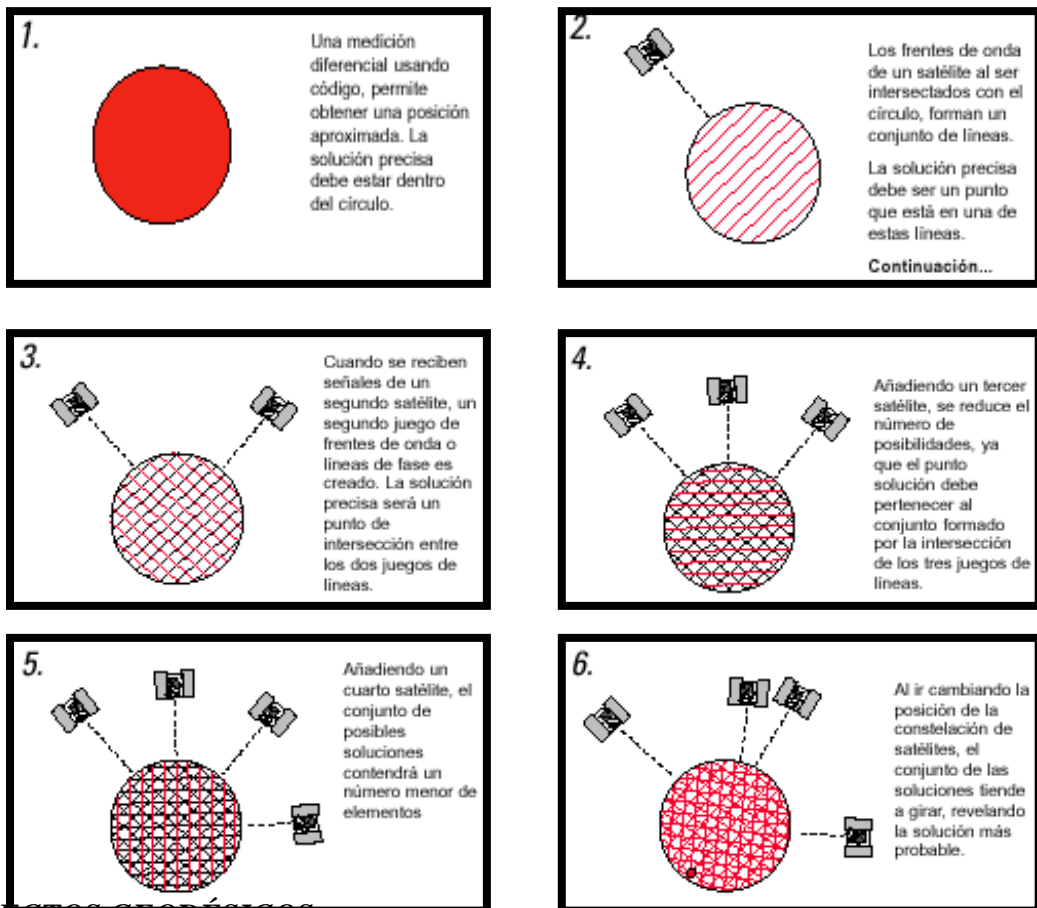
La gran parte del error en el que se incurre cuando se realiza una medición



autónoma, es producido por las imperfecciones en los relojes del satélite y el receptor. Una manera de evitar este error es utilizar una técnica conocida como **Diferencia Doble**. Si dos receptores GPS realizan mediciones a dos satélites diferentes, las diferencias de tiempo entre los receptores y los satélites se cancelan, eliminando cualquier fuente de error que pudieran introducir a la ecuación.

Después de eliminar los errores del reloj con el método de las dobles diferencias, se puede determinar el número entero de longitudes de onda más la fracción de longitud de onda entre el satélite y la antena del receptor. El problema radica en la existencia de muchos "juegos" posibles de longitudes de onda enteras para cada satélite, de aquí que la solución sea ambigua. Mediante procesos estadísticos se puede resolver esta ambigüedad y determinar la solución más probable.

La siguiente es, a grandes rasgos, una explicación de cómo funciona el proceso de resolución de ambigüedades. Muchos factores que complican la situación no son cubiertos en esta explicación, pero aún así, se presentan los principios básicos del mismo.



2.9. ASPECTOS GEODÉSICOS.

Desde que el GPS se convirtió en un instrumento, cada vez más popular, para la topografía y la navegación, los topógrafos y navegantes se ven en la necesidad de comprender los fundamentos de cómo las posiciones GPS están relacionadas con los sistemas cartográficos comunes.

Una de las causas más comunes de errores en los levantamientos con GPS resulta de una comprensión incorrecta de estas relaciones.



La determinación de una posición con GPS consigue un objetivo fundamental de la Geodesia: la determinación absoluta de una posición con precisión uniforme en todos los puntos sobre la superficie de La Tierra. Utilizando la geodesia clásica y técnicas topográficas, la determinación de la posición es siempre relativa a los puntos de partida del levantamiento, la precisión obtenida es dependiente de la distancia a este punto. Por lo tanto, el GPS ofrece ventajas sobre las técnicas convencionales.

La ciencia de la geodesia es fundamental para el GPS y, a la inversa, el GPS se ha convertido en la herramienta principal de la geodesia. Esto se hace evidente si recordamos los objetivos de la Geodesia:

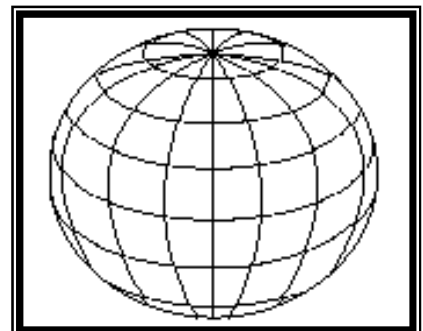
1. Establecer y mantener las redes de control geodésico tridimensionales nacionales y globales en tierra, tomando en cuenta la naturaleza cambiante de estas redes debido al movimiento de las placas tectónicas.
2. Medición y representación de fenómenos geofísicos (movimiento de los polos, mareas terrestres y movimiento de la corteza).
3. Determinación del campo gravitacional de La Tierra, incluyendo las variaciones temporales.

Aunque la mayoría de usuarios nunca llevan a cabo las tareas mencionadas, es esencial que los usuarios de equipo GPS tengan un conocimiento general de la geodesia.

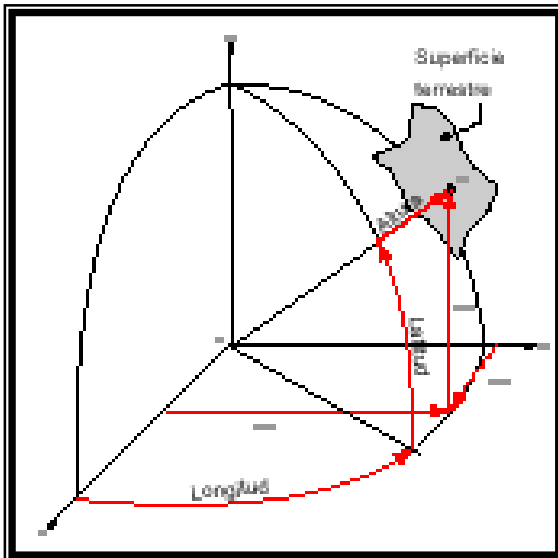
Aunque la Tierra parezca ser una esfera uniforme cuando se la observa desde el espacio, su superficie dista mucho de ser uniforme. Debido al hecho de que el GPS debe proporcionar coordenadas en cualquier lugar de la superficie terrestre, éste utiliza un sistema de coordenadas geodésico basado en un elipsoide. Un elipsoide (también conocido como esferoide) es una esfera aplanada o achatada.

El elipsoide elegido será aquel que se ajuste más exactamente a la forma de la Tierra.

Este elipsoide no tiene una superficie física, sino que es una superficie definida matemáticamente. Actualmente existen diversos elipsoides o lo que es lo mismo, diferentes definiciones matemáticas de la superficie de la Tierra. El elipsoide utilizado por el GPS



es conocido como WGS84 o Sistema Geodésico Mundial 1984 (por sus siglas en inglés World Geodetic System 1984).



Un punto sobre la superficie de La Tierra (esta no es la superficie del elipsoide), puede ser definido utilizando su Latitud, su Longitud y su Altura Elipsoidal.

El sistema convencional de referencia terrestre (CTRS) adoptado para el posicionamiento GPS es el denominado *World Geodetic System 1984 (WGS84)*, definido por:

- Origen en el geocentro.
- Eje Z paralelo a la dirección del Origen Convencional Internacional (C.I.O), posición del polo medio en 1903.
- El eje X es la intersección del plano meridiano de referencia y el plano del ecuador astronómico medio.
- El eje Y, situado en este plano, constituye con X,Z un sistema coordenado rectangular dextrorsum.

Los valores de las constantes son:

- a = 6378137 metros (semieje mayor)
- b = 6356752,3 metros (semieje menor)
- u = $3986005 * 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$ (cte gravitacional)
- w = $7292115 * 10^{-11} \text{ rd/s}$ (velocidad de rotación)

Un método alternativo para definir la posición de un punto es utilizando el sistema de Coordenadas Cartesiano, empleando las distancias sobre los ejes X, Y y Z desde el origen o centro del esferoide.

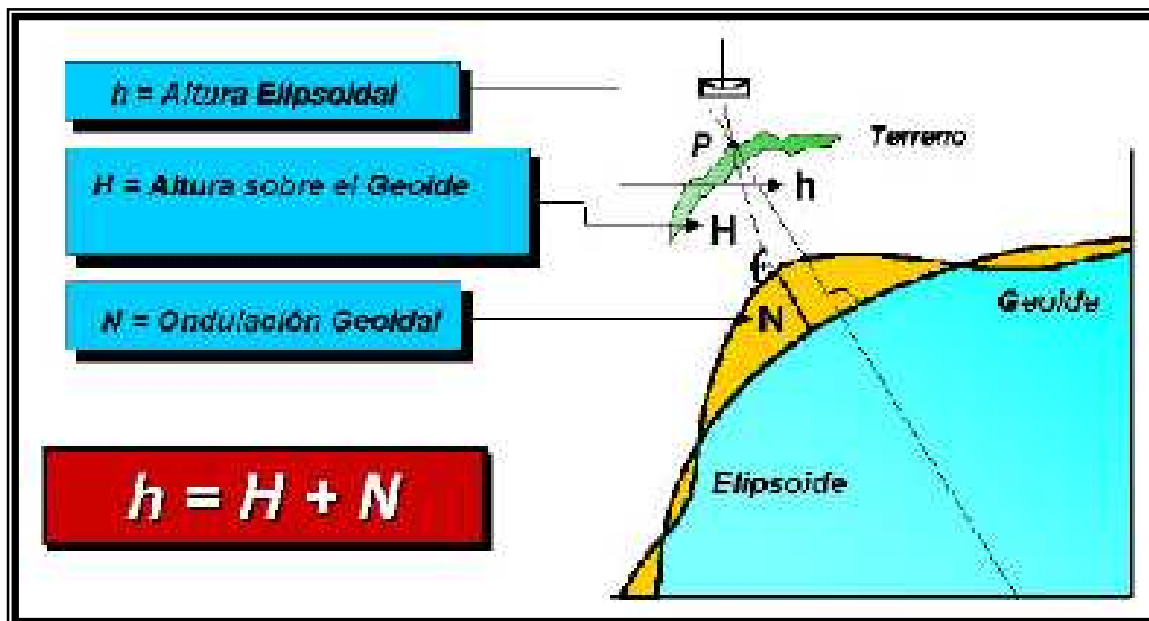
De la misma manera que con las coordenadas GPS, las coordenadas locales o lo que es lo mismo las coordenadas utilizadas en la cartografía de un país en particular, están basadas en un elipsoide local, diseñado para coincidir con el geoide del área. Usualmente, estas coordenadas serán proyectadas sobre la superficie de un plano para proporcionar coordenadas de cuadrícula.

Los elipsoides utilizados en la mayoría de los sistemas de coordenadas locales alrededor del mundo fueron definidos por primera vez hace muchos años, antes de la aparición de las técnicas espaciales.

Estos elipsoides tienden a acomodarse lo mejor posible al área de interés, pero no podrían ser utilizados en otras zonas de la Tierra. De aquí que cada país definiera un sistema cartográfico, marco de referencia basado en un elipsoide local. Cuando se utiliza GPS, las coordenadas de las posiciones calculadas están basadas en el elipsoide WGS84. Generalmente, las coordenadas existentes están en el sistema de coordenadas locales, por lo que las coordenadas GPS deben ser transformadas a este sistema local.

La naturaleza del sistema GPS también afecta la medición de la altura. Todas las alturas medidas con GPS están dadas con relación a la superficie del elipsoide WGS84. Estas son conocidas como Alturas Elipsoidales. Las alturas existentes son alturas ortométricas medidas en relación con el nivel medio del mar. El nivel medio del mar corresponde a una superficie conocida como geoide. El Geoide puede ser definido como una superficie equipotencial, lo que significa que la fuerza de la gravedad es constante en cualquier punto sobre el geoide.

El geoide tiene una forma irregular y no corresponde a ningún elipsoide. La densidad de La Tierra tiene, sin embargo, un efecto sobre el geoide, provocando que éste se eleve en las regiones más densas y caiga en las regiones menos densas. La relación entre el geoide, el elipsoide y la superficie de la Tierra, se muestra en la siguiente ilustración.



Debido a que la mayoría de los mapas existentes muestran las alturas ortométricas (relativas al geoide), la mayoría de usuarios de GPS requieren que las alturas sean también ortométricas

Este problema es resuelto mediante el uso de modelos geoidales para convertir las alturas elipsoidales en alturas ortométricas. En áreas relativamente planas, el geoide puede ser considerado como constante. En tales áreas, el empleo de ciertas técnicas de



transformación puede crear un modelo de alturas y las alturas geoidales pueden ser interpoladas a partir de los datos existentes.

Todas las redes geodésicas están calculadas sobre un sistema de referencia local definido por:

- Elipsoide de referencia.
- Punto fundamental (donde coinciden la vertical astronómica y geodésica).
- Origen de longitudes.
- Origen de altitudes.

Para poder utilizar las observaciones GPS deberemos pasar del sistema WGS84 al sistema geodésico local. En el caso de España este sistema es el ED50 definido por:

- 1- Elipsoide de Hayford
- 2- Punto fundamental Postdam
- 3- Longitudes referidas al meridiano de Greenwich
- 4- Altitudes referidas al geoide (datum en Alicante)

El primer problema se plantea entre las altitudes, al estar el WGS84 referido al elipsoide y el ED50 al geoide.

Así, para pasar de uno a otro deberemos conocer la ondulación del geoide N respecto al elipsoide medido sobre la normal al elipsoide.

Para pasar de las coordenadas de un sistema a otro, se utilizan las “transformaciones”

El propósito de éstas es el de transformar coordenadas de un sistema a otro. Se han propuesto diferentes métodos para llevar a cabo las transformaciones. La elección de alguno de ellos dependerá de los resultados requeridos. El procedimiento básico de campo para la determinación de los parámetros de transformación es el mismo, independientemente del método a emplear. Primero, se debe contar con coordenadas en ambos sistemas de coordenadas (por ejemplo en WGS84 y en el sistema local) para tener por lo menos tres puntos comunes. A mayor cantidad de puntos comunes incluidos en la transformación, se tendrá mayor oportunidad de tener redundancia y se podrán verificar los errores. Se consiguen puntos comunes midiendo los puntos con GPS, donde las coordenadas y las alturas ortométricas sean conocidas en el sistema local. (Por ejemplo, en los puntos de control existentes). De esta forma se pueden calcular los parámetros de transformación, utilizando alguno de los métodos de transformación.

Es importante notar que la transformación sólo se deberá aplicar a los puntos que se encuentren en el área delimitada por los puntos comunes en ambos sistemas. Los puntos fuera de esta área no deberán ser transformados utilizando los parámetros calculados sino que deberán formar parte de una nueva área de transformación.

En los apéndices se puede encontrar más información sobre las proyecciones, datums, geoides, elipsoides y transformaciones entre ellos.





TEMA III:

TIPOS DE INSTRUMENTOS GPS



3.1. INTRODUCCIÓN.

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

Los receptores GPS cubren las más diversas posibilidades de aplicación de este sistema. Así, una clasificación de estos se podría hacer en función del tipo de usuarios (Seeber, 1993):

- Receptores militares**
- Receptores civiles**
- Receptores para navegación**
- Receptores geodésicos.**

Una segunda clasificación podría ser en función de los canales que soporta el receptor obteniendo así:

- . **Receptor secuencial** (sólo cuenta con un canal).
- . **Receptor continuo o multicanal** (disponen de al menos 4 canales).

Otra posible clasificación sería ordenándolos de menor a mayor prestación, obteniendo así:

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

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

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



R4 Receptores geodésicos de medición de fase L1: trabajan con la onda portadora L1 de la señal GPS, acumulando información que, una vez procesada, permite obtener precisiones relativas centimétricas.

R5 Receptores geodésicos de doble frecuencia: agregan a las características anteriores la medición de fase de la portadora L2, lo que les otorga la posibilidad de disminuir la incidencia de ciertos errores sistemáticos, particularmente los debidos a la propagación de la señal en la ionosfera. Los mejores permiten obtener precisiones subcentimétricas.

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

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

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

Esta es una clasificación muy amplia que se ve simplificada por otros autores de forma que se obtienen según la precisión que alcanzan los receptores la siguiente tabla:

MÉTODO	FRECUENCIA	OBSERVABLE	PRECISIÓN	APLICACIÓN	CLASIFICACIÓN
ABSOLUTO	L1	CÓDIGO C/A	±100m	NAVEGACIÓN	NAVEGADORES
DIFERENCIAL	L1	CÓDIGO C/A	1-2m	CARTO/GIS	SUBMÉTRICOS
	L1	C/A y FASE	1cm ± 2ppm	TOPO	MONOFRECUENCIA DE CÓDIGO Y FASE
	L1 y L2	C/A, P y FASE	5mm ± 1ppm	TOPO/GEO	DOBLE FRECUENCIA

En los puntos siguientes se tratarán cada uno de los receptores nombrados en esta última clasificación.

3.2. NAVEGADORES.

Sólo reciben datos de código C/A por la portadora L1. Los equipos para navegación son receptores GPS muy sencillos y de bajo precio. Son equipos que funcionan autónomamente, no necesitan descargar datos para conseguir la precisión menor de los 100m. Son muy sencillos de manejar, con Firmware específicos para la navegación. Suelen tener accesorios para la colocación de antenas.



3.3. SUBMÉTRICOS.

Son receptores GPS con recepción de las mismas observables que los anteriores, es decir, sólo código C/A en la fase L1.



La gran diferencia con los anteriores es que ya trabajan diferencialmente, es decir, un equipo de referencia, grabando datos continuamente y el equipo móvil tomando los puntos que deseamos levantar ya sea de modo estático o bien cinemático.

Las precisiones que se pueden conseguir oscilan desde los 30 cm hasta los 10 m, dependiendo del tipo de equipo que tome los datos y el programa que los procese.

Las aplicaciones de estos equipos se encuadran en la cartografía y GIS.

3.4. MONOFRECUENCIA DE CÓDIGO Y FASE.

Estos receptores al igual que los anteriores toman todas sus observables de la portadora L1, pero con la diferencia de que además de tomar medidas de código C/A también realizan medida de fase. También trabajan en modo diferencial, es decir, se necesitan dos receptores tomando medidas simultáneamente, referencia y móvil. La principal ventaja es el aumento de la precisión en el levantamiento de puntos. Con estos equipos se pueden realizar posicionamientos Estáticos, Estático Rápido, Stop&go, cinemático y también es posible trabajar en Tiempo Real con la precisión que proporciona la medida de código. La precisiones nominales para estos equipos son 1cm+2ppm, esto nos permite el utilizarlos para aplicaciones Topográficas.

3.5. DOBLE FRECUENCIA.

Se trata de los equipos de mayor precisión y son los equipos por excelencia para Topografía y Geodesia.

Toman observables de ambas portadoras emitidas por los satélites L1 y L2, realizando medidas de Código C/A y P en L1, de Código P en L2 y medidas de fase en L1 y L2.

Como se puede apreciar, estos equipos incluyen a todos los anteriores añadiendo las medidas sobre la portadora L2.

Los posicionamientos posibles con estos equipos son: Estático, Estático Rápido,

Stop&Go, Cinemático y KOF como métodos de postproceso y además la posibilidad de realizar todos éstos en Tiempo Real. La principal ventaja con respecto a los equipos monofrecuencia con medida de fase es un aumento en la precisión hasta 5mm+1ppm y sobre todo una enorme disminución en los tiempos de observación. Las aplicaciones de estos equipos abarcan el mundo de la Topografía y la Geodesia.







TEMA IV:

***LEVANTAMIENTOS CON GPS.
MÉTODOS Y APLICACIONES.***



4.1. INTRODUCCIÓN.

Debido a sus numerosas ventajas en materia de precisión, rapidez, polivalencia y productividad, el sistema GPS se está empleando cada vez más en topografía. No obstante, debe tenerse en cuenta que las técnicas empleadas son muy diferentes a los de métodos clásicos.

Siempre que se respeten determinadas reglas fundamentales, las medidas GPS no presentan dificultades y ofrecen buenos resultados. Desde el punto de vista práctico, sin duda es más importante conocer las reglas de base relativas a la planificación, la observación y los cálculos GPS, antes que disponer de conocimientos teóricos profundos sobre el sistema de posicionamiento global.

Como cualquier herramienta, el GPS será tan bueno como su operador. Un planeamiento adecuado y una buena preparación son los ingredientes esenciales para un trabajo exitoso, así como el conocimiento de las posibilidades y limitaciones del sistema.

Ante este planteamiento cabe destacar como ventajas en la utilización del GPS sobre los métodos de topografía tradicionales, entre otras, las siguientes:

1. No se requiere visibilidad entre los puntos.
2. Puede ser usado en cualquier momento del día o de la noche y bajo cualquier condición climática.
3. Se obtienen resultados con precisión geodésica.
4. Se puede completar más trabajo en menos tiempo y con menos gente.

Sin embargo, este sistema de medición también posee sus limitaciones, de forma que para poder trabajar con GPS es importante que la antena GPS tenga visibilidad, sin obstáculos, hacia por lo menos cuatro satélites. Algunas veces las señales de los satélites se ven bloqueadas por edificios altos, árboles, etc. Debido a esto, el GPS no puede ser utilizado en interiores. También es difícil emplear el GPS en los centros de las ciudades o entre árboles. Debido a esta limitación, en algunas aplicaciones topográficas se puede recomendar el uso de una estación total óptica o combinar ésta con un GPS.

Una vez hecha esta pequeña introducción sobre las ventajas e inconvenientes de los levantamientos con GPS, veamos ahora los distintos métodos de posicionamiento en los puntos siguientes de este tema.

4.2. POSICIONAMIENTO ABSOLUTO.

Decimos que un posicionamiento es absoluto, cuando se calcula la posición del punto utilizando las medidas de pseudodistancia ya sea procedentes del código C/A, o código P. Se utiliza para ello un solo receptor GPS.

Dependiendo del código que utilicemos y de la disponibilidad selectiva obtendremos una precisión que variará de 15 a 100 m.

Este tipo de posicionamiento es utilizado por los equipos llamados navegadores. Gracias a los últimos avances tecnológicos, y la desaparición de la disponibilidad selectiva,



existen en el mercado receptores que alcanzan precisiones de 2-5 m en tiempo real.



Este tipo de posicionamiento permite dos modalidades de medición que son la estática y la cinemática.

El posicionamiento estático absoluto es usado cuando se desea el posicionamiento de puntos de exactitud moderada, en el orden de 5m a 10m. En este caso el modo de cálculo es realizado posteriormente.

El posicionamiento cinemática absoluto es generalmente usado para la determinación de la trayectoria de vehículos en espacio y tiempo con una exactitud de 10m a 100m.

4.3. POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL.

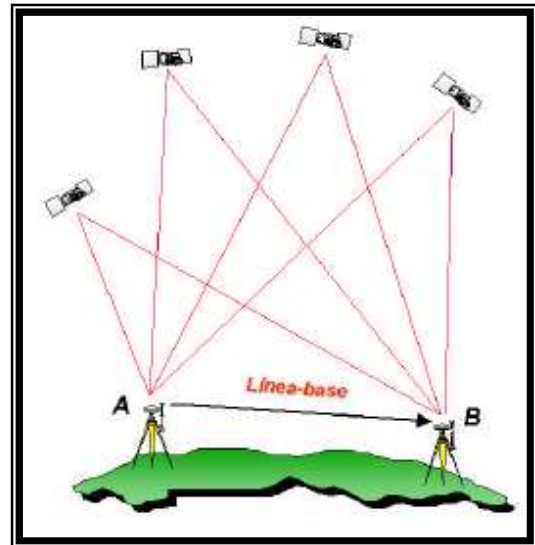
Llamamos posicionamiento diferencial cuando están involucrados dos o más instrumentos GPS, con el fin de eliminar los errores propios del sistema GPS, calculando los incrementos de coordenadas desde el equipo de referencia al móvil.

Este incremento de coordenadas vendrá dado en el sistema geocéntrico de coordenadas.

La gran ventaja de este método es que los errores de posicionamiento muy similares o comunes en ambos puntos, no tienen ninguna influencia en los incrementos de coordenadas.

Recordamos los errores que eliminaba:

- **Disponibilidad selectiva (SA)**
- **Retardo ionosférico.**
- **Retardo troposférico.**
- **Error en las efemérides.**
- **Error reloj satélite.**



Dentro del método diferencial y atendiendo al tipo de aplicación, tendríamos que hacer una nueva distinción:

- ☛ *Método diferencial con Código* (precisiones de 0,3 m. a 5 m.)
 - Estáticos: entidades puntuales y nodos de entidades lineales y de áreas.
 - Cinemáticos: levantamientos de entidades lineales y de área sin nodos intencionados, es decir levantados por tiempo de manera automática.
- ☛ *Método diferencial con medidas de fase* (precisiones de 5 mm. a 30 mm.).

Veamos a continuación cada uno de los diferentes métodos diferenciales de medida que hay.

4.3.1. Estático.

Dentro de este método podemos distinguir tres soluciones diferentes:

A) MÉTODO ESTÁTICO.

Este fue el primer método en ser desarrollado para levantamientos con GPS. Puede ser utilizado para la medición de líneas base largas (generalmente 20km -16 millas - o más).

Se coloca un receptor en un punto cuyas coordenadas son conocidas con precisión en el sistema de coordenadas WGS84. Este es conocido como el Receptor de Referencia. El otro receptor es colocado en el otro extremo de la línea base y es conocido como el Receptor Móvil.

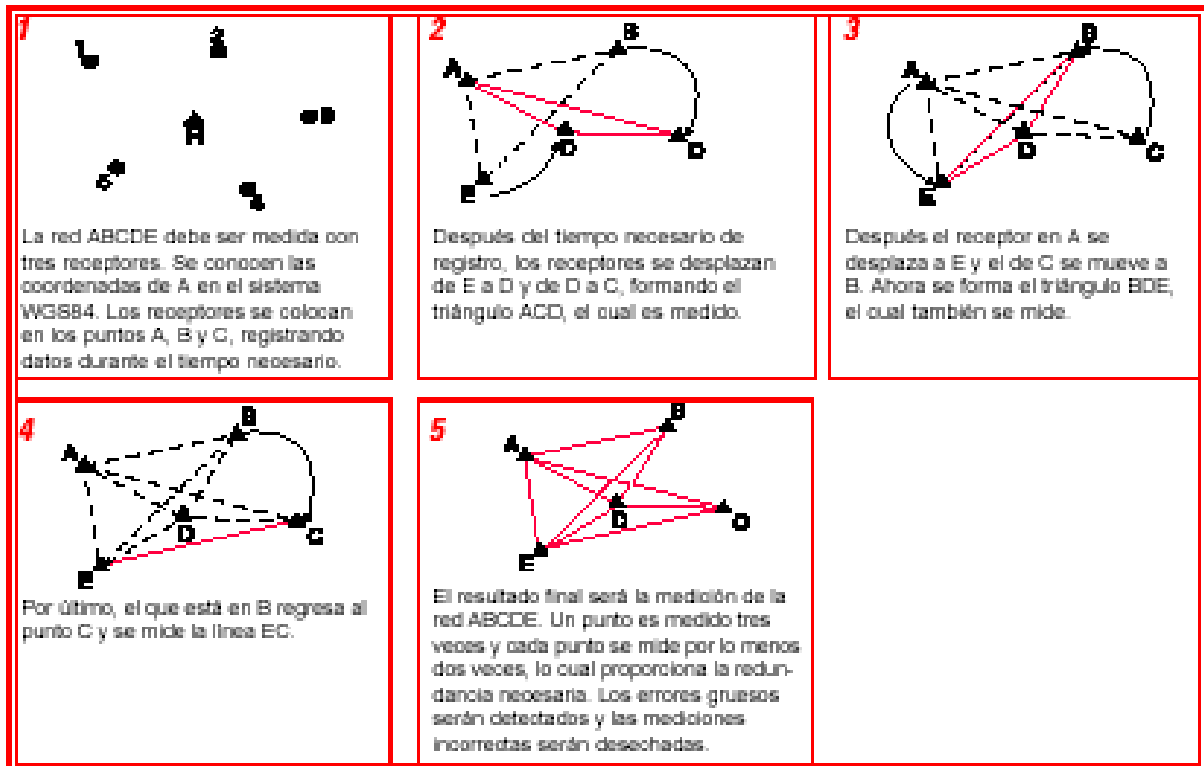


Los datos son registrados en ambas estaciones en forma simultánea. Es importante que los datos sean registrados con la misma frecuencia en cada estación. El intervalo de registro de datos puede ser establecido en 15, 30 ó 60 segundos. Los receptores deben registrar datos durante un cierto periodo de tiempo. El tiempo de observación dependerá de la longitud de la línea, el número de satélites observados y la geometría (Dilución de la Precisión o DOP). Como regla general, el tiempo de observación deberá ser por lo menos de una hora para una línea de 20km. con 5 satélites y un GDOP prevaeciente de 8. Líneas más largas requieren tiempos de observación más largos.

Una vez que se ha registrado suficiente información, los receptores se apagan. El Móvil se puede desplazar para medir la siguiente línea base y volver a comenzar la medición.

Es muy importante que exista redundancia en la red que está siendo medida. Esto significa que los puntos se deben medir por lo menos dos veces, con lo cual se pueden revisar para evitar problemas que de otra manera, pasarían desapercibidos.

Un gran incremento en la productividad se puede conseguir añadiendo un receptor Móvil adicional. Se necesita una buena coordinación entre las diferentes brigadas de topografía para aprovechar la disponibilidad de tres receptores. En el gráfico de la página siguiente se muestra un ejemplo:



Aplicaciones:

- * Control Geodésico.
- * Redes Nacionales e internacionales.
- * Control de movimientos tectónicos.
- * Control de deformaciones en diques y estructuras.

Ventajas:

- * Más preciso, eficiente y económico que los métodos topográficos tradicionales.
- * Sustituye al método clásico de triangulación.

B) MÉTODO ESTÁTICO RÁPIDO.

En los levantamientos Estático Rápidos, se elige un punto de Referencia y uno o más Móviles operan con respecto a él.

Típicamente se utiliza el método Estático Rápido para aumentar la densidad de redes existentes, para establecer control, etc.

Cuando se inicia el trabajo donde no se ha llevado a cabo ningún levantamiento con GPS, la primera tarea es la de observar un cierto número de puntos cuyas coordenadas sean conocidas con precisión en el sistema de coordenadas locales.. Esto permitirá calcular la transformación y de allí todos los puntos medidos con GPS pueden ser convertidos con facilidad al sistema local. Se deben observar por lo menos 4 puntos en el perímetro del área de interés. La transformación calculada será válida para el área incluida entre esos puntos.

El Receptor de Referencia se ubica por lo general sobre un punto conocido y puede ser incluido en los cálculos de los parámetros de transformación. Si no se conoce ningún punto, puede ser ubicado en cualquier lugar de la red.

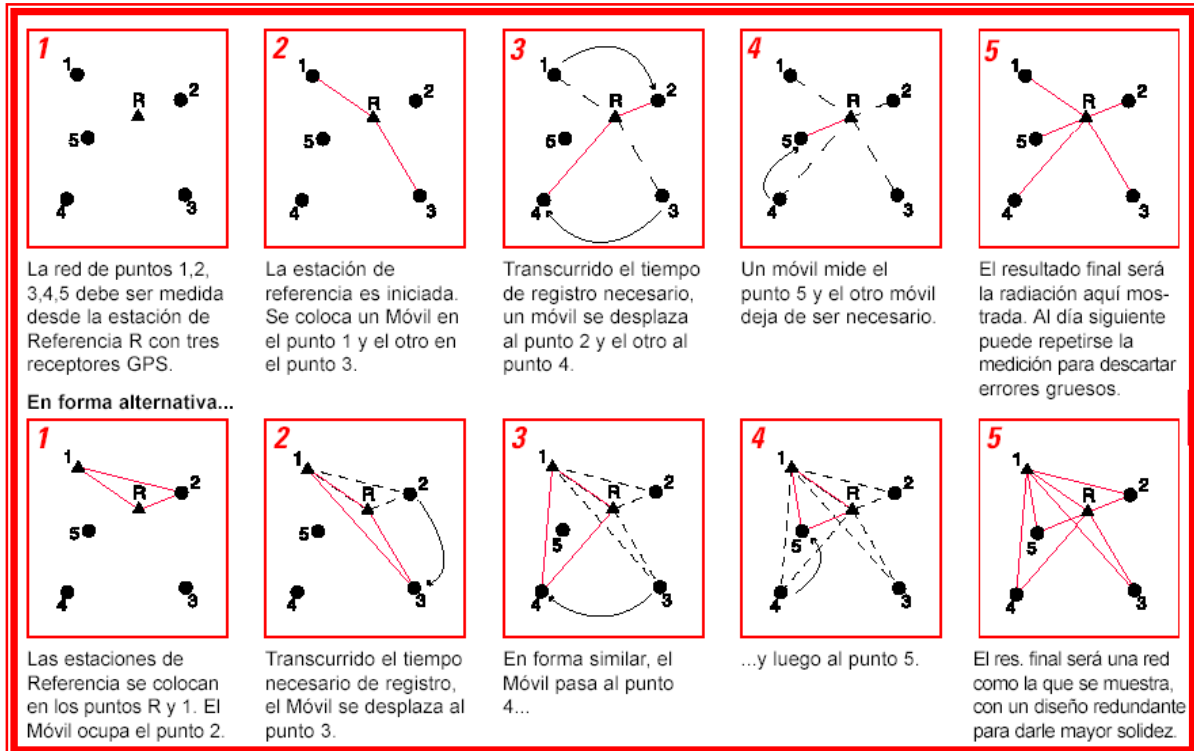


El Receptor (o los Receptores) Móvil (es), serán colocados entonces en cada punto conocido. El periodo de tiempo que los Móviles deberán observar en cada punto, depende de la longitud de la línea base desde la Referencia y del GDOP.

Los datos son registrados y luego son procesados en la oficina. Se deben efectuar verificaciones para asegurarse que no se presentan errores gruesos en las mediciones. Esto se puede hacer midiendo los puntos nuevamente en un momento diferente del día.

Cuando se trabaja con dos o más Móviles, es necesario asegurarse que todos los receptores están operando simultáneamente sobre cada punto ocupado. Esto permite que los datos de cada estación puedan ser utilizados como Referencia o como Móvil. Esta es la manera más eficiente de trabajar, pero también la más difícil de sincronizar.

Otra manera de conseguir redundancia es colocando dos estaciones de referencia y utilizar un móvil para ocupar los puntos, tal como se muestra en el gráfico adjunto:





Aplicaciones:

- * Levantamientos de control, densificación.
- * Sustituye a la método clásico de poligonación.
- * Determinación de puntos de control, ingeniería civil, bases de replanteo.
- * Levantamiento de detalles y deslindes.
- * Cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos.
- * Apoyos fotogramétricos.

Ventajas:

- * Sencillo, rápido y eficiente comparado con los métodos clásicos
- * No requiere mantener el contacto con los satélites entre estaciones.
- * Se apaga y se lleva al siguiente punto.
- * Reducido consumo de energía.
- * Ideal para un control local.
- * No existe transmisión de errores ya que cada punto se mide independientemente.

Inconvenientes:

No se puede utilizar en zonas de población, cerca de edificios, debido al efecto multipath y en general en zonas que nos impidan recibir cuatro o más satélites.

Este método de posicionamiento se puede utilizar simultáneamente con el estático, realizando la triangulación con método estático y la densificación con el estático rápido, tal como se muestra en la figura.

El tiempo de observación depende de los siguientes factores:

- Longitud de la línea- base.
- Numero de satélites.
- Geometría de los satélites. GDOP.
- Ionosfera. Depende de los disturbios de la ionosfera, día/noche,
- Mes, año, posición sobre la tierra.

<i>Nº de satélites GDOP</i> <i><= 8</i>	<i>Longitud de la línea</i> <i>base</i>	<i>Tiempo de observación</i> <i>DIA</i>	<i>Tiempo de observación</i> <i>NOCHE</i>
<i>ESTAT. RAPIDO</i>			
<i>4 ó 5</i>	<i>menos de 5 Km.</i>	<i>de 5 a 10 min.</i>	<i>5 min.</i>
<i>4 ó 5</i>	<i>de 5 a 10 Km.</i>	<i>de 10 a 20 min.</i>	<i>de 5 a 10 min.</i>
<i>4 ó 5</i>	<i>de 10 a 15 Km.</i>	<i>alrededor de 30</i>	<i>de 5 a 20 min.</i>
<i>ESTATICO</i>			
<i>4 ó 5</i>	<i>de 15 a 30 Km.</i>	<i>de 1 a 2 horas</i>	<i>1 hora</i>
<i>4 ó 5</i>	<i>más de 30 Km.</i>	<i>de 2 a 3 horas</i>	<i>2 horas</i>



C) MÉTODO DE REOCUPACIÓN.

Este método se utiliza cuando la situación para la observación no es del todo idónea, es decir, no tenemos 4 satélites como mínimo, o bien, el GDOP es superior al permitido 8.

Este método es muy útil cuando el método estático rápido no es posible realizarlo.

Se realiza de la misma manera que el estático rápido pero estacionando en el punto dos veces, con una diferencia en el estacionamiento en el punto de una hora. La razón de hacerlo con una hora de diferencia es porque de esta manera aseguramos que vamos a recibir al menos 3 satélites distintos. Lo que hace el software es sumar la información de una y otra observación y lo calcula como si fuese una sola observación.

Alta precisión en dos pasos.

- * Estación de referencia temporal: rastrea continuamente.
- * Receptor móvil: ocupa cada punto por breves minutos.
- * Reocupación después de al menos 1 hora de espera.
- * El software SKI combina las observaciones.
- * Precisión de una línea -base: 5 a 10 mm. + 1 ppm. (EMC).

Aplicaciones:

- * Las mismas que el rápido estático.

Ventajas:

- * La precisión depende menos de la constelación de satélites que en el modo estático rápido.
- * Buenos resultados con solo 3 Satélites.
- * Método ideal cuando las condiciones dadas no son adecuadas para el estático rápido o cuando por obstrucciones se reduce el número de satélites disponibles.

4.3.2. Cinemático.

El receptor de referencia se estaciona siempre en posicionamiento estático, el que se mueve es el receptor móvil.

En este sistema hay varias posibilidades de posicionamiento, entre las que están:

A) MÉTODO CINEMÁTICO.

La técnica cinemática se utiliza generalmente para levantamiento de detalle, registro de trayectorias, etc., aunque con la implementación del RTK su popularidad ha disminuido.

Como hemos dicho anteriormente, el de referencia siempre estará estático. El móvil se inicializará de dos formas, con estático rápido, o bien partiendo de un punto conocido.



La iniciación en forma de estático rápido es lo mismo que medir un punto con este método, de forma que permite al programa de post-proceso resolver las ambigüedades cuando se regresa a la oficina. La Referencia y el Móvil se activan y permanecen absolutamente estáticos por 5-20 minutos, registrando datos. (El tiempo depende de la longitud de la línea base desde la Referencia y del número de satélites observados). Después de este periodo, el Móvil se puede mover libremente. El usuario puede registrar posiciones con un intervalo de tiempo predeterminado, puede registrar otras posiciones, o una combinación de las dos. Esta parte de la medición se conoce comúnmente como la cadena cinemática.

Las épocas a cadencia de toma de datos se realizará en función a la cantidad de puntos que queramos levantar.

Se dice que el mínimo de satélites que tenemos que tener sobre el horizonte es de 5, ya que de esta forma podremos perder un satélite en el transcurso de la operación de medición. El valor del GDOP nunca debe de exceder 8, aunque para obtener una buena precisión el valor debería ser 5 ó menos.

Medición de trayectorias y de objetos en movimiento.

- Estación de referencia temporal: Rastrea continuamente.
- Estación móvil en un vehículo, embarcación, plataforma, etc.
- Antes de desplazarlo, algunos minutos de observación estática en el punto inicial para determinar las coordenadas de salida u ocupar un punto de coordenadas conocidas durante 2 segundos.
- Mediciones en intervalos preseleccionados, por ejemplo: 1, 2, 5 seg. etc.
- Precisión de una línea -base:
 - 1 a 3 cm. + 1 ppm. (EMC) posición.
 - 2 a 3 cm. + 1 ppm. Altimetría.

Aplicaciones:

- Determinación de la trayectoria de objetos en movimiento.
- Levantamientos de ejes de carreteras y ferrocarriles.
- Medición de perfiles transversales.
- Levantamientos hidrográficos, batimetría.

Ventajas:

- Mediciones continuas rápidas y económicas.
- Debe mantenerse el contacto con los satélites.

B) MÉTODO STOP AND GO.

Es un tipo de estacionamiento muy parecido al cinemático, la diferencia principal es que aquí realizaremos una parada para levantar el punto en cuestión, nos detendremos



durante 2 épocas (10 segundos por lo normal) almacenaremos la información del punto (nombre atributo, etc.) y seguiremos sin perder señal de los satélites, hacia el siguiente punto.

El método para inicializar este posicionamiento es igual que para el cinemático. Bien con un punto conocido, o partir de un punto con un estático rápido, luego mantendremos durante la observación el seguimiento sobre los satélites.

La antena ha de ir lo más vertical posible con el fin de no perder la señal de los satélites. En el caso de perder señal de los satélites deberemos comenzar una nueva cadena. Es el método ideal para levantamientos.

Se necesita una estación de referencia temporal colocando esta en un punto fijo y recibiendo datos cada 5 segundos con método estático.

En cuanto al receptor móvil se comenzará con la inicialización de la cadena con pocos minutos de observación (de 5 a 10 minutos, si no conocemos las coordenadas del punto y 30 segundos si ya se ha observado previamente el punto). Durante el cambio de estación debe mantenerse el contacto con los satélites. Se para solo dos épocas (10 segundos) en los puntos 2, 3, 4...n..

Se obtienen precisiones de línea- base del orden de 1 a 2 cm. + 1 ppm. (EMC).

Aplicaciones:

- Levantamientos de detalles e ingeniería civil.
- Levantamientos de carreteras, conductos, fronteras.
- Modelos digitales del terreno.
- Medición de puntos situados en un espacio reducido.

Ventajas:

- Rápido y económico.
- El método más rápido para levantar puntos de detalle con GPS.
- Puede emplearse mientras se camina o se desplaza en vehículo.

C) MÉTODO OTF.

El método cinemático OTF (On The Fly) es una variable de la técnica cinemática, en la cual no es necesaria la iniciación y la iniciación subsecuente cuando el número de satélites observados desciende a menos de cuatro.

El método cinemático OTF es un método de procesamiento que se aplica a la medición durante el post-proceso. Al inicio de la medición el operador puede comenzar a caminar con el receptor móvil y registrar datos. Si camina bajo un árbol y pierde la señal de los satélites, el sistema se volverá a iniciar automáticamente al momento de tener suficiente cobertura de satélites. Esto es posible porque se hace la resolución de ambigüedades en movimiento.

También recibe el nombre de KOF (Cinemático con resolución de ambigüedades en movimiento).

4.3.3. RTK (Real Time Kinematic).

Esta es la última innovación en las técnicas de medida GPS. Consiste en obtener coordenadas en tiempo real en el sistema de referencia adoptado previamente.

En la actualidad, la topografía con métodos de medición GPS está cada vez más arraigada y comienza a sustituir a los métodos clásicos de medición, como por ejemplo redes locales, triangulaciones apoyos fotogramétricos, bases de replanteo, etc. Debido a que la constelación de se ha completado con 24 satélites es posible llevar a cabo posicionamientos en los que las condiciones de cobertura son más estrictas, de esta manera tenemos una cobertura de 24 horas al día en cualquier parte del mundo.

Todos los avances tecnológicos efectuados en las técnicas de medición GPS se dirigen hacia estar el menor tiempo posible en la toma del punto y tener el resultado en el propio campo. Hasta ahora este tipo de trabajo quedaba reservado a los métodos clásicos (Estaciones Totales). Sin embargo mediante el Tiempo Real en el GPS, podremos utilizar éste de manera similar a una Estación Total: obtención de coordenadas al instante con precisión de $1 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$. Esto quiere decir que podremos utilizar nuestro equipo GPS para métodos de replanteo.

RTK: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El RTK es un método cinemático al vuelo efectuado en tiempo real, gracias al envío de datos vía radio, que necesita de una estación de referencia y de un receptor móvil.

Dejando a buen recaudo el equipo de referencia, podremos decir que es un sistema que necesita un solo operador. Con la gran ventaja añadida de poder trabajar a grandes distancias de la referencia, es decir, tan lejos como la cobertura de radio nos permita. Y por lo tanto, evitar perder tiempo en la tediosa tarea de los cambios de estación, propio de un método de medición clásica, en el que la intervisibilidad es imprescindible.

Por otra parte, debemos de tener en cuenta, que es posible trabajar en el mismo área, simultáneamente y de forma independiente, varias estaciones móviles, apoyándose de esta manera sobre la misma referencia.



La técnica GPS en tiempo Real resulta particularmente atractiva en aplicaciones donde se han de medir y replantear cientos o miles de puntos en áreas relativamente pequeñas y abiertas.

Equipo GPS de Referencia:

- El receptor de referencia captará todos los satélites a la vista.
- El receptor envía los datos observados al Radio- módem.
- El radio- módem transmitirá todos los datos observados al equipo/s móvil/es.



Receptor Móvil



- El Radio- Módem recibirá los datos enviados por equipo de referencia.
- El receptor móvil buscará todos los satélites a la vista.
- El receptor trabaja y calcula con los datos de su posición más la información recibida de la referencia.
- Fija las ambigüedades de todos los satélites comunes. Con las técnicas actuales, este proceso no supera los 10 segundos.
- El receptor calcula las coordenadas de

su posición y las muestra con un control de calidad asociado. A partir de fijar las ambigüedades, el equipo proporciona posición precisa a un intervalo de hasta 0,1 segundos.



Características y peculiaridades del sistema.

Es conveniente tener en cuenta varias características para poder evaluar las posibilidades de un receptor GPS RTK. Al igual que en el apartado anterior vamos a desglosarlo en receptores Referencia y Móvil.

Receptor de Referencia RTK.

Como ya hemos comentado, el funcionamiento del sistema RTK está basado en un radioenlace entre equipo de Referencia y Móvil, si este no se produce, simplemente no hay RTK. El receptor de referencia va equipado con un radiomodem que se encarga de esta función. Este radiomodem debe cumplir la siguientes características:

- Suficiente potencia de emisión, de forma estándar suele oscilar entre 0,5 y 1 W.
- Es fundamental el tipo de antena con la que se trabaje, ésta debe estar calibrada adecuadamente a la frecuencia de trabajo y ofrecer la mayor ganancia posible, todo ello redundará en el alcance y por lo tanto en una mayor área de cobertura.
- Homologación del mismo por la administración correspondiente (p.ej: Dirección General de Telecomunicaciones).

Es importante también considerar meticulosamente la ubicación de la estación de referencia. Básicamente hay dos premisas a cumplir:

- Horizonte completamente despejado, libre de obstrucciones físicas y evitando en lo posible la cercanía a radiotransmisores potentes.
- Elevación, una estación de referencia RTK conviene que esté lo más alta posible, intentando que domine el área de trabajo. Esta es la condición más importante para asegurar el mayor alcance de nuestro radioenlace.

Alternativamente, existen receptores GPS que pueden realizar este radioenlace mediante telefonía móvil GSM. Es decir, en vez de utilizar radiomodem, éste se sustituye por un teléfono móvil que nos asegurará la conexión con la referencia, mientras haya cobertura por el operador de telefonía. E incluso existen receptores GPS que pueden combinar ambas tecnologías simultáneamente, el usuario deja configurado el receptor de referencia con ambos sistemas, y es en el equipo móvil donde elegiremos el tipo de comunicación (radiomodem o GSM) según las condiciones de cobertura.

Conseguir una cobertura completa del radioenlace, no siempre es posible, sobre todo si nuestro trabajo consiste en levantamientos a lo largo de obras lineales de muchos Kilómetros; este sería el caso de un apoyo o de un levantamiento de bases de replanteo para una carretera. En esta situación la única alternativa, es la implantación de estaciones de referencia temporales, en donde la estación de referencia se va trasladando a puntos a lo largo del levantamiento, que cumplan las condiciones antes descritas para una estación de referencia. En estos casos resulta particularmente útil la reversibilidad de función de equipo de referencia y equipo móvil. Es decir, la capacidad de funcionar todos los receptores GPS de un sistema, tanto como estación de referencia como estación móvil. De este modo es posible el trasladar la equipo de referencia directamente a la siguiente estación, sin haber calculado previamente su posición. Y una vez estacionado allí, calcular

la posición como si fuese un equipo móvil (temporalmente), recibiendo las correcciones del equipo móvil que está estacionado en la última estación levantada, funcionando como equipo de referencia (temporalmente). Esta capacidad, nos puede hacer ahorrar mucho tiempo en desplazamientos.

Receptor móvil RTK.

Un receptor móvil RTK, al igual que el receptor de referencia, estará dotado de un radiomodem. La función del mismo será recibir los datos emitidos por la estación de referencia, con el fin de procesarlos junto con los datos correspondientes a su situación, y de este modo calcular con precisión su posición.

En un receptor móvil consideraremos las siguientes características que influirán directamente en su productividad:

1. Radiomodem.

Se encargará de recibir y proporcionar al GPS los datos emitidos de la referencia. Deberá tener la mayor capacidad de recepción posible, así como un bajo peso y consumo, ya que forma parte del sistema que el usuario a de transportar continuamente. Si el consumo es bajo, será necesaria menos batería y por lo tanto menor peso a igual autonomía. También es importante que disponga de la función de emisor y de receptor, esto nos posibilitará la reversibilidad de función como referencia o como equipo móvil indistintamente. Esta última característica también proporciona, en el caso de trabajar con tres receptores (1 referencia + 2 móviles) la posibilidad de sustituir al equipo de referencia ante una hipotética avería. Esto puede ser muy importante en instalaciones en las que existe un receptor de referencia dando servicio a varios receptores móviles, si se produce una avería en el equipo de referencia, todos los equipos móviles quedarían inutilizados.

2. Antena de radiomodem.

Será fundamental trabajar con antenas de la mayor ganancia posible, pues esto redundará en una mayor distancia de trabajo con respecto a la referencia.

3. Actualización de la posición y Latencia.

El receptor móvil nos proporcionará posición precisa, pero es muy importante tener en cuenta dos características, la actualización y la latencia. La actualización consiste en el número de posiciones por segundo que calcula el receptor, pero el cálculo de esa posición necesita un tiempo, lo que se traduce en un retardo denominado Latencia. A efectos prácticos, la





Latencia sería el tiempo que tarda el receptor en informarnos de que nuestra posición ha cambiado. Por ejemplo, si estamos realizando el último tanteo en el replanteo de un punto, estaremos a pocos centímetros del mismo, y siguiendo las indicaciones del equipo nos moveremos en la dirección adecuada para llegar a ese punto. Pues bien, desde que iniciamos ese último movimiento hasta que el equipo detecta el movimiento y nos informa del mismo, lo denominamos Latencia, y lógicamente va a influir en la velocidad de replanteo. El valor de la latencia varía según la tecnología de la que disponga el sistema; en los primeros receptores RTK que salieron al mercado, la latencia llegaba a ser de 2 o 3 segundos, y tenían una actualización de 1 posición por segundo. Hoy en día, existen en el mercado receptores con actualizaciones de 10 Hz (10 posiciones por segundo) y con latencias de 0.05 segundos (la percepción del usuario es de posición instantánea).

Los tipos de posicionamientos RTK no son distintos a los disponibles en postproceso, vamos a realizar una comparativa de su modo de funcionamiento en un sistema y en otro:

ESTÁTICO: En teoría, sería un posicionamiento que se podría realizar tanto en tiempo real como en postproceso, ya que los datos con los que se trabaja son exactamente los mismos. Sin embargo en realidad no es un posicionamiento que se utilice en RTK, esto es debido a que las distancias a las que se trabaja son muy grandes y a posibilidad de un radioenlace es complicada. El tratamiento de los datos en este tipo de posicionamiento, está basado en varias horas de captura de datos de forma continua y sin cortes ni pérdidas de paquetes de datos, que podrían ocurrir en una transmisión por radio. El modo de cálculo es tipo RED, en la que todos los receptores están triangulando, y por lo tanto funcionado como referencia y como móvil simultáneamente. Y quizá lo que es más importante, al menos con la tecnología actual, no incrementaría la productividad.

ESTÁTICO RÁPIDO: El modo RTK se adapta perfectamente a este tipo de posicionamiento, de hecho podemos decir, que el estático rápido en modo RTK proporciona unos niveles de productividad, rendimiento y fiabilidad sensiblemente más altos que el estático Rápido en postproceso. Rendimiento: Un estático rápido en postproceso implica un tiempo de estacionamiento no inferior a 5 minutos, en tiempo real conseguimos lo mismo en 10 segundos. Fiabilidad: Si queremos obtener soluciones completamente independientes, con una constelación diferente (técnica idónea para localizar un posible multipath), necesitaríamos hacer dos estacionamientos de 5 minutos; en tiempo real serían 2 de 10 segundos. Seguridad: en un posicionamiento en postproceso solo tendremos el 100% de certeza de que nuestra observación a sido adecuada, cuando volcamos y postprocesamos los datos en gabinete (eso si no se ha quedado sin batería la referencia, o algún amigo de lo ajeno ha decidido fijarla como objetivo). En RTK disponemos de un control continuo del estado de funcionamiento de la referencia (nivel de batería, coordenadas, recepción satélites), y además disponemos de solución en el campo, desapareciendo el postproceso en gabinete.

CINEMÁTICOS: El tipo de posicionamiento por excelencia cuando se trabaja en RTK es un Cinemático, para ser más exactos un OTF (Cinemático con Inicialización en movimiento). Es decir, un receptor GPS RTK por defecto y sin mayor interacción del usuario, comienza a trabajar en OTF. Fijará las ambigüedades en movimiento y en un



breve instante nos dará nuestra posición con precisión y con un control de calidad asociado. A partir de disponer de la posición, no tiene sentido hablar de tipos de posicionamientos cinemáticos. Simplemente utilizaremos esa posición como mejor nos venga a nuestras necesidades de trabajo.

Si queremos levantar una línea o una trayectoria, activaremos en el equipo la captura automática de posiciones atendiendo al criterio que mejor se adapte, por ejemplo levantamiento de puntos a un determinado tiempo, o a una determinada distancia, o a una determinada variación de cota.

Si queremos hacer un taquimétrico, levantaremos cada punto en el instante y posición que necesitemos y lo etiquetaremos con la numeración y codificación pertinente. Podemos replantear cualquier punto o entidad que nuestro receptor pueda gestionar o convertir en coordenadas,

Podemos levantar y sincronizar en Tiempo Real con cualquier otro tipo de sistema externo de medición, como puede ser una Ecosonda para una batimetría, una Cámara aérea al mismo tiempo que el sistema nos ayuda a navegar por la entidad a levantar.

Como podemos ver las posibilidades son enormes, y cada día se van incorporando a más aplicaciones.

4.3.4. RTDGPS (Real Time Differential GPS).

Estas siglas significan Real Time Differential GPS (GPS Diferencial en Tiempo Real).

Se puede obtener en tiempo real una precisión que ronda el metro de precisión o superior precisión. La diferencia con el RT-SKI es que en este método GPS solo hacemos una corrección de la pseudodistancia y no de medida de fase como el RT-SKI.

Para realizar esta corrección de la pseudodistancia será necesario conocer las coordenadas del receptor de referencia, que debe tener un horizonte amplio y sin obstrucciones por encima de 5° de elevación. Este receptor de referencia calculará unas correcciones (RTCM, Radio Technical Commission for Maritime Services) y las enviará por radio-módem a cualquier receptor que esté trabajando en la zona con un radio- módem de la misma frecuencia que el de referencia. El receptor móvil calcula una nueva posición corrigiendo la posición de navegación por medio de las correcciones RTCM.

Existen bandas de UHF, VHF y HF.

Existe un mensaje para la sincronización con instrumentos externos (por ejemplo la ecosonda), el mensaje NMEA, dentro de este mensaje existen varios en función de las necesidades que tengamos. Entre ellos podremos encontrarlos por ejemplo, el mensaje ZDA, en el que nos proporciona UTC de la posición, día, mes, año, y descripción de la zona. Otros mensajes son el GGA, GLL, VTG, GPK, GPK, etc. (para más información consultar manual para RT-SKI).



4.4. ELECCIÓN DE UN TIPO DE LEVANTAMIENTO.

Antes de comenzar un trabajo con GPS habrá que decidir que tipo de levantamiento se adapta mejor al proyecto. Para ello nos podemos hacer las siguientes preguntas antes de la elección:

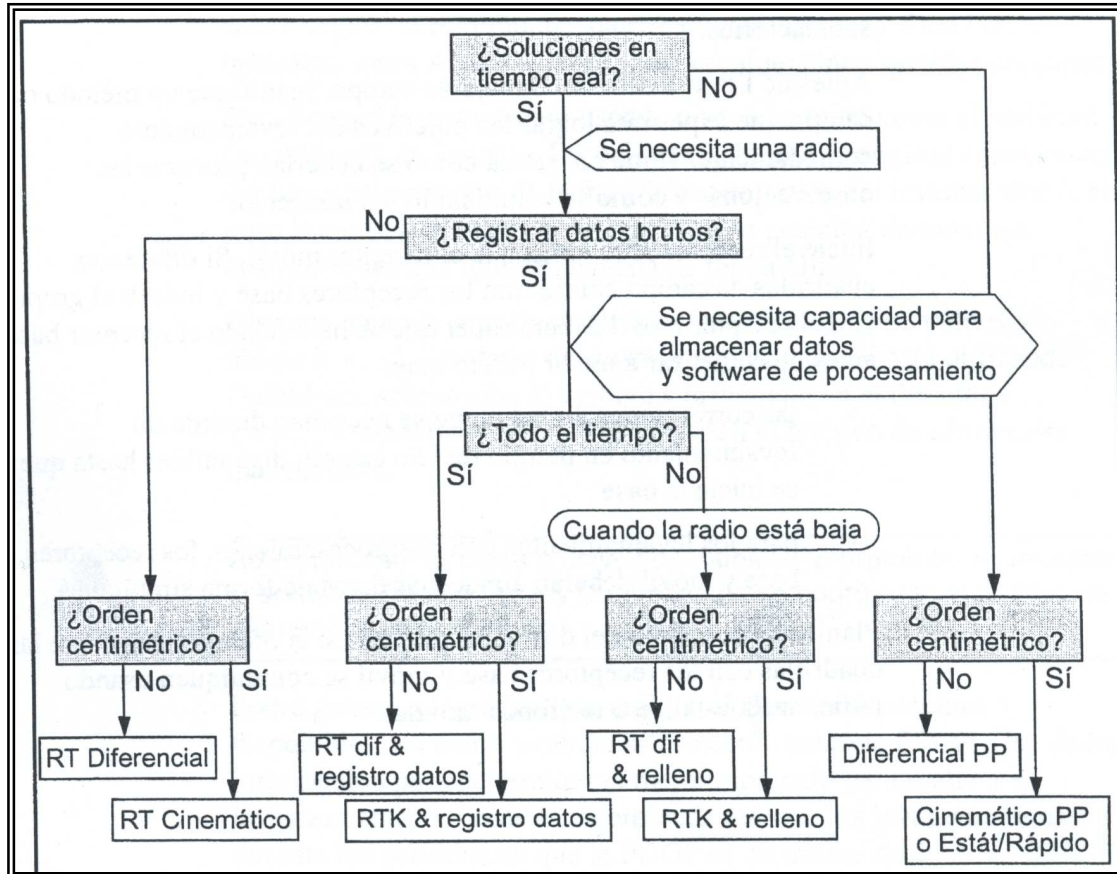
- ¿Qué nivel de precisión se requiere?
Para una precisión de orden centimétrico, use las técnicas cinemática o EstátRápida. Si una precisión submétrica es suficiente, los métodos diferenciales son satisfactorios.
- ¿Se requieren resultados en tiempo real?
Para resultados en tiempo real, use un sistema de radio y seleccione la técnica en tiempo real adecuada (cinemática o diferencial, según la precisión necesaria). El replanteo y la navegación de orden centimétrico son dos actividades que requieren soluciones en tiempo real.
- ¿Se tendrán que registrar datos brutos?
Con las técnicas con posprocesamiento los datos brutos se deben registrar en la base y en el móvil para la duración del levantamiento.

Nota — Si el receptor soporta el uso de señales del Sistema de Ampliación de Area Extendida (Wide Area Augmentation System) (WAAS), se podrán usar estas señales para proporcionar posiciones corregidas diferencialmente en un levantamiento en tiempo real cuando el enlace de radio no funciona.

Para los métodos en tiempo real ‘puros’ (RTK y RT diferencial) por lo general no tendrá que almacenar datos brutos. Sin embargo, algunos contratos pueden incluir una cláusula de control de calidad que estipula que los datos brutos se tendrán que capturar para toda la duración del levantamiento.

Los datos brutos se deberán capturar simultáneamente en la base y en el móvil. Se tendrá que considerar la capacidad de la memoria del receptor base y el móvil.

Siguiendo este gráfico se puede llegar a una rápida elección del método a seguir:







TEMA V:

PLANIFICACIÓN DE UNA OBSERVACIÓN.



5.1. PREPARACIÓN DEL LEVANTAMIENTO.

Antes de salir al campo, el topógrafo necesita preparar el trabajo. Los siguientes aspectos deben ser considerados:

1. Licencias de Radio.
2. Baterías cargadas.
3. Cables de repuesto.
4. Comunicación entre los miembros de la brigada.
5. Coordenadas de la Estación de Referencia.
6. Tarjetas de Memoria, con suficiente capacidad.
7. Programa de Observación. El principal objetivo debe ser contar con suficiente información para determinar los parámetros de transformación y obtener redundancia de las observaciones.

Se aconseja para levantamientos Estáticos y Estático Rápidos, completar una hoja de registro por cada punto medido. En estos levantamientos es muy importante medir la altura de la antena de manera correcta. Éste es uno de los errores más comunes cuando se llevan a cabo levantamientos GPS. Se recomienda medir la altura de la antena al inicio y al final de una sesión de medición. En los levantamientos cinemáticos y RTK, la antena se monta en un bastón, el cual tiene altura constante.

Durante los levantamientos estáticos y estático rápidos, la antena GPS debe permanecer totalmente inmóvil. Esta práctica se aplica también al periodo de inicio Estático Rápido de los levantamientos Cinemáticos (pero no a los cinemáticos OTF ni RTK). Cualquier movimiento o vibración de la antena puede afectar negativamente al resultado.

5.2. CONSIDERACIONES GENERALES.

- Longitud de las Líneas- Base

El receptor GPS mide la fase entrante de las señales difundidas por el satélite con precisión de 1 mm, pero las señales se propagan a través de la atmósfera, considerada como ionosfera y troposfera. Las turbulencias atmosféricas degradan la precisión de las observaciones.

La observación GPS es un método diferencial. Una línea base se observa y calcula entre dos receptores. Cuando ambos receptores observan al mismo conjunto de satélites, simultáneamente, la mayoría de los efectos atmosféricos se cancelan. Cuanto más corta sea la línea base, más se verificará esto, pues la atmósfera que atraviesan las señales recibidas por los receptores respectivos tenderá a ser idéntica.

La observación Estática Rápida implica tiempos de recepción cortos. Para este método es de especial interés que las anomalías atmosféricas sean lo más similares posibles para ambos lugares de observación. Aunque minimizar las longitudes de las líneas



bases es un criterio aplicable a todos los tipos de observación GPS, en el caso del método Estático Rápido es una premisa a tener muy en cuenta.

- Estaciones de Referencia Temporales

Sabemos que el tiempo de observación y la precisión están en función, principalmente, de la longitud de las líneas bases. Por tanto se recomienda minimizarla. Dependiendo del área y del número de puntos a observar, hay que considerar la posibilidad de establecer estaciones de referencia temporales desde las cuales se radien puntos.

Las Líneas bases radiadas desde una referencia temporal pueden ser de varios Km., pero también hay que tener en cuenta la premisa de minimización de longitudes.

En orden a la precisión y a la productividad es más ventajoso medir líneas bases cortas (5Km) desde varias estaciones temporales, que medir largas (15 Km) desde una sola estación de referencia.

- Comprobación de los Puntos Observados

Hay que tener cuidado especial al fijar estaciones de referencia, y al radiar desde ellas, con tiempos cortos de observación.

Si la geometría de la constelación es mala (valores altos de GDOP), o si las turbulencias ionosféricas son agudas, puede ocurrir que el software de post-proceso no resuelva ambigüedades, o si las resuelve, que los resultados rebasen las especificaciones de precisión establecidas a las que se ajustarían los resultados en condiciones favorables.

Dependiendo de la precisión requerida, el usuario debe estar preparado para comprobar los puntos observados. Esto es fundamental, obviamente, si los tiempos de recepción han sido recortados al mínimo y no se han tenido especialmente en cuenta las recomendaciones relativas a los valores del GDOP en los instantes de observación.

Para una comprobación independiente y completa valen las siguientes sugerencias:

- Observar los puntos una segunda vez en una ventana diferente. Esto proporcionaría una solución alternativa con condiciones atmosféricas y geometría diferentes.

- Cerrar un itinerario con una medición de la línea base desde el último punto observado hasta el punto de inicio.

- Medir líneas bases independientes desde varios puntos de una red de estaciones temporales.

Se puede obtener comprobación parcial usando dos estaciones de referencia, en lugar de una, haciendo bisección. Así tendremos fijación doble para cada punto, pero cada una estará basada en las mismas observaciones del receptor itinerante y en la misma configuración de la constelación observada.

- Observaciones Diurnas y Nocturnas. Medida de líneas bases largas

La ionosfera se activa por la radiación solar. De día las turbulencias son mayores. Como resultado de esto, el rango de longitud mensurable se duplica en observaciones nocturnas y por tanto, de noche, podemos recortar el tiempo de observación a la mitad del que fuera necesario de día.

En 1992 la actividad ionosférica ha alcanzado un máximo. El ciclo completo es de 11 años. A medida que nos alejamos de las épocas de máxima actividad, podremos reducir los tiempos de observación, al menos en los requerimientos atmosféricos. Para líneas bases de hasta 20 km se puede intentar el cálculo basado en el algoritmo FARA. Para mayores



longitudes, lo aconsejable es aplicar el observable L3, que elimina en gran parte las influencias ionosféricas, a pesar de destruir la naturaleza entera de las ambigüedades.

- Mejores Tiempos de Observación

Al planificar una campaña con un software que muestre las evoluciones del GDOP y el número de satélites observables a lo largo de la jornada de trabajo, podemos ver hay varias ventanas buenas distribuidas a lo largo de un período de 24 horas. Como el método Estático Rápido sólo es aplicable con buenas ventanas de recepción, hay que planificar las observaciones con cuidado.

De todas formas es imposible planificar observaciones al minuto. Mucho mejor que observar el máximo número de puntos, ajustándose a los baremos mínimos requeridos, es medir menos puntos, pero con algunos minutos de más. Sobre todo para trabajos precisos interesa ser conservadores.

- Consideraciones a la Transformación a Coordenadas Locales

Para la mayoría de los proyectos será necesario transformar las coordenadas obtenidas (WGS-84) al Sistema Local, que tendrá su Elipsoide Local.

Para poder calcular y efectuar esta transformación será necesario incluir en la red de observación puntos de coordenadas conocidas en el Sistema Local. Así comprobaremos la consistencia del Sistema Local y calcularemos los parámetros de transformación.

Estos puntos han de estar esparcidos en el área del proyecto, y han de ser, al menos, 3, pero es aconsejable usar 4 o más.

5.3. PLANIFICACIÓN DE UNA MISIÓN.

- GDOP.

Ayuda a valorar la geometría de la constelación de satélites. La precisión alcanzable es tanto mayor cuanto menor sea el valor del GDOP.

Se puede comparar un valor del GDOP desfavorable con el círculo peligroso de la Trisección Inversa. Se producirán soluciones "débiles". Para el método Estático Rápido lo ideal es que esté en torno a un valor de 5 y en ningún caso ha de exceder de 8.

- Selección de Ventanas de Observación Favorables.

Usando un software de planificación, estudiaremos la jornada de trabajo y buscaremos ventanas en las que, sin tener en cuenta los satélites que estén por debajo de 15° , cuyas señales van a llegar muy afectadas por la refracción atmosférica, el valor del GDOP no exceda de 8.

El GDOP tiene altibajos a cada lado de una buena ventana (orto y ocaso de satélites). Hay que evitar emplear Estático Rápido en estos momentos en que el GDOP cambia rápidamente.

Las ventanas pobres sólo han de usarse como puentes entre ventanas buenas.

Hay que tener en cuenta los obstáculos que rodeen los puntos donde observar, pues



pueden causar la pérdida de la señal de algún satélite en concreto o generar efectos multicamino. En caso de que exista esta posibilidad, tendremos en cuenta, en la planificación, la posibilidad de no recibir la señal del satélite en cuestión.

- Tiempos de observación y longitud de las líneas-base

El tiempo de observación, para alcanzar un resultado preciso en post-proceso, depende fundamentalmente de la longitud de la base, del número de satélites observados, del valor del GDOP, y del estado de la ionosfera.

Como sólo se hará Estático Rápido con GDOP menor 8, el tiempo de observación necesario para alcanzar cierta precisión, sólo es función de la línea base y de las turbulencias ionosféricas.

Como hemos dicho, las anomalías ionosféricas varían con la hora y la posición sobre la superficie terrestre. Por la noche el efecto se reduce a la mitad, con lo cual podríamos reducir también los tiempos de observación. Esto puede ser particularmente interesante para medir líneas bases de 10 a 20 km.

A menos de ser extremadamente restrictivo, es imposible asignar tiempos de observación con garantía total.

Considerando que la actividad ionosférica acaba de pasar por un máximo (1992), siguiendo un ciclo de 11 años, es de esperar que a medida que ésta decrezca, se puedan reducir los tiempos de observación, o, aumentar las distancias observables.

La actividad ionosférica también depende de la posición sobre la superficie de la Tierra. Su influencia es menor en latitudes medias, que en zonas polares.

Las líneas de unos 15 km, de día, o 20 km, de noche, han de ser observadas durante, al menos, una hora, con buena cobertura. Para bases de 30 km, o más, se debe observar durante al menos 2 horas, para alcanzar una precisión de 5 mm + 1 ppm.

También hay que tener en cuenta que los satélites que estén a distancias horizontales bajas, su recepción estará más afectada por los efectos atmosféricos. Para el método Estático Rápido sería interesante aumentar los tiempos de observación si, por ejemplo, dos de los cuatro satélites mínimos están por debajo de 25°.

5.4. OBSERVACIONES DE CAMPO.

Una vez seguidos los consejos anteriores y preparados para empezar, habrá que tener en cuenta a la hora de hacer las observaciones de campo los siguientes puntos:

- Estación de Referencia

La Topografía GPS es una técnica diferencial, que implica cálculo de líneas- bases entre el receptor referencia, y el receptor itinerante. Como habrá muchas líneas bases medidas desde cada estación de referencia, la elección de estas estaciones es de particular importancia.

Los lugares para las estaciones han de ser elegidos en orden a que se ajusten a observaciones GPS. Un buen emplazamiento debe cumplir las siguientes características:



- No deben existir obstrucciones por encima de 15° sobre el horizonte.
- No deben haber en los alrededores superficies que puedan reflejar y producir efectos multicamino.
- Deben estar alejadas de lugares de tránsito, si es necesario se debería poder dejar el receptor sólo y desatendido.
- No deben encontrarse en los alrededores emisores potentes (antenas TV, radio, etc).

Los resultados para todos los puntos itinerantes dependerán de la coyuntura en la que se encuentre el receptor de referencia. Por tanto éste debe tener el funcionamiento asegurado.

- Asegurado el suministro de energía
- Asegurada la capacidad de almacenamiento de información
- Asegurada la posición de la antena
- Asegurada la configuración y parámetros de recepción del receptor, coincidentes con los del los receptores itinerantes.

Hay que señalar que el receptor no tiene por qué estar situado en un punto conocido. Es preferible usar Estaciones de Referencia que cumplan las condiciones técnicas expuestas antes que usar vértices conocidos con condiciones deficientes.

Los puntos para calcular la transformación de WGS-84 al Sistema Local han de ser incluidos en la red de trabajo, y pueden ser observados con los receptores itinerantes.

- Necesidad de Conocer un Punto WGS-84

El cálculo de una línea base requiere conocer las coordenadas de un punto de referencia perfectamente. Las coordenadas del otro punto (Rover) se calculan relativas al punto fijado como referencia.

Para que el software de post-proceso pueda resolver correctamente las ambigüedades, las coordenadas WGS-84 de la referencia han de conocerse con un margen de 50 m, si fuera posible con 20 m, para no introducir errores de escala de 1 a 3 ppm.

En caso de no ser disponibles las coordenadas WGS-84 de algún o algunos puntos, se puede usar el Posicionamiento de Navegación, pero hay que tener cuidado, pues unas condiciones técnicas deficientes y la posibilidad de que esté activa la Disponibilidad Selectiva pueden degradar las coordenadas obtenidas. Una posibilidad puede ser usar el Posicionamiento de Navegación en Intervalos de 15 minutos.

- Observación de Puntos con el Receptor Itinerante

Es de particular importancia para Estático Rápido asegurar ciertas condiciones:

- Asegurar que los parámetros de la misión han sido correctamente establecidos, y coinciden con los del receptor itinerante.
- Comprobar la altura de la antena.
- Prestar atención al GDOP cuando se observe durante poco tiempo. Para obtener precisiones de 5-10 mm +- 1 ppm sólo observar con GDOP menor 8. También hay que evitar observar en las ventanas en las que GDOP cambia rápidamente, pues indican cortos y ocasos de satélites e implican pérdidas de cuenta de ciclos. Es mejor esperar a que GDOP se estabilice y medir entonces.
- Es interesante rellenar hojas de campo de cada punto observado con parámetros y



comentarios que faciliten la detección e identificación de posibles errores en gabinete.

Como resumen de este y los anteriores puntos podríamos sugerir las siguientes pautas para la medición con GPS:

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



- verificación de la duración efectiva de las sesiones, del PDOP y de la cantidad de satélites disponibles durante la medición,
- verificación de los resultados de la solución "doble diferencia flotante", y eventualmente "doble diferencia fija" en la resolución de ambigüedades,
- revisión de los valores estadísticos de la precisión de cada vector,
- cálculo del valor ppm (partes por millón) a partir de los sigmas y de la longitud del vector,
- análisis de los residuos de cálculo,
- cierre de figuras (triángulos y polígonos) mediante la suma de las componentes cartesianas del vector,
- compensación libre (sin condicionamiento de puntos de orden superior) por sectores (unos 20 puntos) para detectar posibles vectores deficientes.

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

5.5. PARÁMETROS DE PROCESO DE DATOS.

A) PROCESAMIENTO GENERALIDADES.

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

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

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

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

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

Cuando uno de esos receptores es una estación activa los valores calculados por el receptor remoto pueden aceptarse sin más trámite si la precisión deseada está entre 1 y 5 metros. El margen de precisión depende de la compatibilidad entre la estación activa y la remota. El usuario puede verificarlo permaneciendo cierto tiempo en un punto y observando la variación de las coordenadas entregadas por su receptor. Como el objetivo



de este tipo de configuración es obtener coordenadas en el tiempo mínimo posible se aconseja el uso de 3 s como estimador de error.

Salvo el caso citado en el que se emplee una estación activa, en toda otra situación en la que se desee una precisión mejor que 100 metros es necesario un cálculo en gabinete en el que se analicen las observaciones simultáneas de por lo menos dos receptores.

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

B) CÁLCULO DE OBSERVACIONES PROVENIENTES DE DIFERENTES MARCAS DE RECEPTORES.

Los datos de un receptor tienen una expresión binaria que se ajusta a las normas que el productor considera mejores para su producto. En general los datos de una marca de receptores no pueden ser leídos por los programas de cálculo de otra. Esto ha llevado al establecimiento de normas comunes para todas las marcas y tipos de observaciones conocidas como Formato de intercambio de datos independiente de los receptores RINEX.

Al adquirirse un equipo es importante, entonces, saber si su software contiene un programa que transforme los datos correspondientes al formato de la firma en formato RINEX. Esto permitirá que los datos que observa este receptor puedan ser compatibilizados con otros equipos o transferidos a otros usuarios o ser calculados con programas científicos que se basan en el formato RINEX.

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

C) DATOS PARA EL CÁLCULO DE LAS OBSERVACIONES GPS.

La información básica para el cálculo puede dividirse en:

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

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

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

- Coordenadas: los receptores más sencillos sólo almacenan las coordenadas de los puntos medidos o las coordenadas obtenidas según algún patrón de medición en el tiempo.

En los que admiten corrección diferencial (DGPS) en tiempo real, ese almacenamiento ya está afectado al aceptar como fijas las coordenadas de la estación base.

D) GESTIÓN DE LOS DATOS.

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

Los receptores GPS poseen en general una memoria interna que les permite conservar temporalmente una cierta cantidad de información. Como cualquiera sea el tamaño de esta memoria, ella siempre es limitada, es fundamental establecer claramente cada cuanto



tiempo, o cada cuantas mediciones debe bajarse esos datos a una computadora. Los programas de bajada de datos deben formar parte del software que acompaña a los equipos.

E) CARACTERÍSTICAS DEL ANÁLISIS DE LAS OBSERVACIONES SEGÚN EL TIPO DE RECEPTOR UTILIZADO.

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

- Receptores que registran sólo observaciones de pseudo distancias: los programas comerciales de los fabricantes de equipos permiten precisiones entre 1 y 5 metros. Tanto en este caso como en el anterior no son aconsejables los receptores que sólo permiten captar 4 satélites ya que únicamente en gabinete se descubre que la constelación realmente medida por ambos receptores haya sido diferente y en este caso es imposible realizar una estimación de la precisión del resultado y en algunos casos obtenerlo.

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



Las dos últimas categorías sólo son cumplidas simultáneamente por programas científicos. Estos últimos permiten además introducir diversas incógnitas complementarias, como el efecto ionosférico o troposférico cenital, retardos instrumentales, manejar eficazmente el peso relativo de sesiones, etc. También admiten una depuración del cálculo de ambigüedades. Los receptores que sólo registran la fase de L1 operan satisfactoriamente en distancias inferiores a 30 km . En estas condiciones la solución óptima se encuentra cuando el programa es capaz de calcular como número entero todas las ambigüedades involucradas.

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

Una garantía adicional en la definición de los puntos puede obtenerse si se conserva una planilla en la que conste la hora e intervalo de medición de cada punto.

- Receptores que registran las fases de L1 y L2: admiten diferentes estrategias de cálculo. Las dos fases pueden combinarse de distinta forma tanto para facilitar la determinación de ambigüedades como para tener en cuenta el efecto ionosférico. Una diferencia importante entre los programas de cálculo es la posibilidad, o no, de aplicar estas alternativas en forma sucesiva aprovechando las ventajas de una dada combinación para determinar las ambigüedades que luego pueden utilizarse para calcular una solución libre de ionosfera, o determinar las ambigüedades como números enteros. En el caso en que los programas sólo permitan la adopción sucesiva de estas combinaciones y cuando las distancias sean superiores a los 30 km es aconsejable emplear la combinación libre de ionosfera.

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

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

Estos receptores permiten resolver vectores de mil kilómetros o mayores.

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

F) COMPENSACIÓN.

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



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

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

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

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

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



APÉNDICES





APÉNDICE A

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO RUSO: GLONASS.



CONSTELACIÓN DE SATELITES GLONASS.

La antigua Unión Soviética inició, a principios de los años 80, el desarrollo de un sistema de navegación por satélites llamados GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System).

En el año 1993, oficialmente el Gobierno Ruso colocó el programa GLONASS en manos de Fuerzas Espaciales Militares Rusas (RSF). Este organismo es el responsable del desarrollo de satélites GLONASS, de su mantenimiento y puesta en órbita. Este organismo Militar, trabaja en colaboración con el CSIC (Coordinational Scientific Information Center), el cual publica la información sobre la constelación GLONASS.

Durante los 80, la información acerca de GLONASS era escasa. No se sabía mucho de las órbitas de los satélites ni de las señales usadas para transmisión de las señales de navegación. Pero actualmente, gracias a estudios e investigaciones sobre este sistema, se dispone ya de gran cantidad de información acerca GLONASS. Los rusos, a través del RSF y del CSIC publican el documento ICD (Interface Control Document). Este documento es similar en estructura al Segmento Espacial del sistema NAVSTAR GPS, donde se describe el sistema, sus componentes, estructura de la señal y el mensaje de navegación para uso civil.

Los canales de información son:

- ✎ El **Channel of Standard Accuracy (CSA)**, similar al Standar Positioning Service (SPS) del Sistema GPS, disponible para uso civil.
- ✎ El **Channel of High Accuracy (CHA)**, similar al Precise Positioning Service (PPS) del Sistema GPS, disponible sólo para usuarios autorizados.

Al igual que el GPS, GLONASS está constituido por tres sectores fundamentales: el espacial, el de control y el usuario. Una vez completado, el sector espacial consistirá en 24 satélites distribuidos en tres planos orbitales con ocho satélites en cada planos.

Un usuario equipado con un receptor adecuado, puede recibir unas señales, extraer de ellas el mensaje de navegación que contienen y llevar a cabo mediciones unidireccionales de distancia (pseudodistancia). Con está información dicho usuario puede calcular su posición con una precisión de unos 100 m.

Debido al carácter unidireccional de las medidas de distancia a los satélites GLONASS, un receptor necesita medidas de 4 satélites para poder calcular su posición: 3 incógnitas son procedentes de la posición (X,Y,Z) y la 4ª es debido a la falta de sincronización entre el reloj del receptor y la escala del tiempo del sistema.



ESTADO DE LA CONSTELACIÓN GLONASS.

Desde que el sistema Glonass fue completado en 1996 sólo en 40 días estuvieron disponibles los 24 satélites. Tres satélites que fallaron en 1996 no han sido remplazados por lo que actualmente sólo hay 21 satélites activos de los 70 que han sido lanzados.

Además el sistema acusa serios problemas con la calidad de las señales transmitidas, se han observado errores de medida de algunos kilómetros que causan resultados de navegación erróneos.

El problema es que se toman medidas de satélites supuestamente sanos que pueden no serlo ya que no se envían avisos de problemas que puedan tener los satélites a bordo. Es fácil detectar errores muy grandes pero cuando éstos son del orden de metros no lo es tanto.

Otro problema es que el sistema carece de una red de sector de control con lo que no es posible el seguimiento continuo y la detección de errores en las señales puede no ser detectados en horas durante las cuales los satélites están transmitiendo señales erróneas. Pero el mayor problema es la incapacidad de lo rusos de mantener la constelación completa así como de mandar nuevos satélites, lo que, teniendo en cuenta su corta vida, proporcionará una cobertura insuficiente para posicionamiento, aún en combinación con el GPS.

FRECUENCIAS EN GLONASS.

Cada satélite GLONASS transmite en diferente frecuencia. Por ello algunas de las frecuencias en las que emite el sistema GLONASS interferirán con el sistema IRIDIUM de Motorola que será llevado a cabo en los siguientes años. Para evitar estas interferencias los rusos han accedido a cambiar sus frecuencias a otra zona del espectro, lo que requiere mandar nuevos satélites ya que es imposible cambiar la frecuencia de los ya enviados, con la consiguiente inversión financiera.

Si ya supone un problema para los rusos mantener la constelación actual, es cuestionable que puedan llevar a cabo esta modificación del sistema.

NAVEGACIÓN CONTRA TOPOGRAFÍA.

La Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO) aceptó formalmente en Julio 1996, el uso de GLONASS/CSA para uso en aviación civil, como ya se hizo en 1994 con el GPS/SPS.

El interés de usar GPS más GLONASS viene principalmente de las empresas de navegación. Si el GPS pudiera ser combinado con el GLONASS, la navegación aérea comercial podría basarse en dos sistemas independientes con dos veces más satélites. El



riesgo de accidente sería menor y los márgenes de seguridad se incrementarían.

Para Topografía es totalmente diferente, los topógrafos requieren precisiones centimétricas pero no son responsables de 400 vidas. Un avión no puede parar y esperar ha que haya suficientes satélites, pero el topógrafo si puede observar más tiempo en un punto o volver de nuevo.

Aunque podría haber ventajas para los topógrafos con la combinación si se pudieran obtener precisiones centimétricas, la necesidad es menor que en el caso de navegación, por lo cual los receptores de GPS/GLONASS construidos hasta hoy son para navegación.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GLONASS.

El Sistema GLONASS, al igual que el Sistema GPS, está formado por tres sectores fundamentales: el Sector de Control, el Sector Espacial y el Sector Usuario.

· SECTOR DE CONTROL:

El Sector de Control está formado por un Sistema Central de Control (SCC) en la región de Moscú (Golitsyno-2) y una red de estaciones de seguimiento y control (Command Tracking Stations, CTS), emplazadas por todo el área alrededor de Rusia. El Sector de Control GLONASS, al igual que el de GPS debe seguir y vigilar el estado de sus satélites, determinar las efemérides y errores de los relojes de los satélites, es decir, la diferencia entre el tiempo GLONASS y la escala de tiempo UTC(SU). Además también deben actualizar los datos de navegación de los satélites. Estas actualizaciones se realizan dos veces al día.

Las estaciones de control (CTSS) realizan el seguimiento de los satélites y almacenan los datos de distancias y telemetría a partir de las señales de los satélites. La información obtenida en las CTSs es procesada en el Sistema Central de Control (SCC) para determinar los estados de las órbitas y relojes de los satélites, y para actualizar el mensaje de navegación de cada satélite. Esta información es enviada a cada satélite por medio de las CTSs. Las CTSs calibran periódicamente los datos de distancias a los satélites mediante láser. Para ello, los satélites GLONASS van provistos de unos reflectores especiales.

La sincronización de todos estos procesos en el Sistema GLONASS es muy importante.

Para conseguir esta sincronización, se dispone de un reloj atómico de hidrógeno de alta precisión, el cual determina la escala de tiempo GLONASS. Los satélites GLONASS llevan a bordo un reloj de cesio y se sincronizan respecto a la State Etalon UTC(CIS) en Mendeleevo, a través de la escala de tiempo del sistema GLONASS.

A todas estas estaciones de control debemos añadir otras estaciones de seguimiento que se utilizan para obtener los parámetros de transformación del Sistema GLONASS PZ-90 al Sistema GPS WGS-84, además de la determinación de las órbitas y observación y



análisis de las anomalías de los satélites. Estos parámetros de transformación se aplican cuando se trabaja con el sistema combinado GPS/GLONASS. Estas estaciones están repartidas por todo el mundo y utilizan técnicas láser, radar y ópticas. Estos parámetros son calculados por mínimos cuadrados utilizando 9 días de datos de seguimiento.

La calidad de las posiciones estimadas obtenidas a partir de GLONASS es comparable a la que se obtiene con GPS cuando la Disponibilidad Selectiva está desactivada. El valor del rms (URE) en la determinación de las órbitas para GLONASS es de aproximadamente 10 m.

El Gobierno de la Federación Rusa ha declarado que GLONASS proporciona a los usuarios civiles una precisión en toda la Tierra para el posicionamiento absoluto en tiempo real basado en medidas de código de unos 60 m en horizontal (99.7%) y de unos 75 m en vertical (99.7%). Los rusos han anunciado que no tienen previsto introducir ninguna medida intencionada de degradación de la precisión del sistema.

· SECTOR ESPACIAL.

El Sector Espacial está formado por la constelación de satélites. La constelación completa se compone 24 satélites en tres planos orbitales, cuyo nodo ascendente es de 120° y argumento de latitud de 15° . Cada plano contiene 8 satélites espaciados regularmente, con argumento de latitud de 45° . Los planos están inclinados $64,8^\circ$ respecto al Ecuador.

Los satélites GLONASS se encuentran a una distancia de aproximadamente 19100 Km y se sitúan en órbitas casi circulares con semieje mayor de aproximadamente 25510 Km, siendo el periodo orbital de 675,8 minutos, es decir, 11 horas y 15 minutos. Esto garantiza, con la constelación completa, (Circunstancia que no ha ocurrido todavía) la visibilidad de un mínimo de 5 satélites en todo el mundo con adecuada geometría, es decir, la constelación GLONASS proporciona una cobertura de navegación continua y global para la ejecución satisfactoria de observaciones de navegación. Cada satélite transmite una señal de navegación de radiofrecuencia, conteniendo un mensaje de navegación para los usuarios.

Los planos se numeran del 1 al 3. Cada satélite, según el plano en el que esté, 1, 2 ó 3, se numera del 1 al 8, del 9 al 16 y del 17 al 24 respectivamente.

El primer satélite se lanzó el 12 de Octubre de 1982, y el último el 14 de Diciembre de 1995.

En este periodo de tiempo se han realizado un total de 27 lanzamientos (dos de ellos fallidos con fecha 24-4-1987 y 17-2-1988), poniendo en órbita un total de 73 satélites.

Cada satélite GLONASS dispone de un pequeño reflector, que es usado para el seguimiento de los satélites por láser desde las estaciones de control. Existen 4 prototipos o modelos de satélite. El primer prototipo lo componen un total de 10 satélites que forman el Bloque I, lanzados entre Octubre-82 y May-85. Otros 6 satélites del segundo prototipo forman el Bloque IIa, lanzados entre Mayo-85 y Septiembre-86. Un total de 12 satélites forman el Bloque IIb del tercer prototipo, lanzados entre Abril-87 y Mayo-88, de los cuales seis se perdieron en los dos fallos anteriormente reseñados por fallo del vehículo de lanzamiento. El cuarto prototipo forma el Bloque IIv, constituido por 43 satélites, de los cuales se han lanzado la totalidad de ellos hasta la fecha de 14 de Diciembre de 1995.



Cada subsiguiente generación de satélites contiene equipamientos más modernos y tienen un mayor periodo de vida.

Los satélites GLONASS llevan a bordo relojes de atómicos de Cesio con un oscilador de frecuencia fundamental de 5 MHz. A partir de esta frecuencia fundamental se pueden obtener o modular los códigos C/A y P, de frecuencias 0.511 MHz y 5.11 MHz respectivamente. En la señal también se introduce un mensaje de 50 bits por segundo. La **banda L1** funciona en la frecuencia $1602 + 0.5625 \cdot k$ MHz, donde k es el canal (0-24), lo genera un rango de frecuencias que van desde 1602 - 1615.5 MHz. La **banda L2** funciona en la frecuencia $1246 + 0.4375 \cdot k$ MHz, lo que genera un rango de frecuencias que van desde 1246 - 1256.5 MHz.

El mensaje de navegación se transmite con una velocidad de 50 bit/s y se modula junto con los códigos C/A y P. El mensaje de navegación GLONASS del código C/A divide los datos en datos operacionales o inmediatos y datos no operacionales o no inmediatos. Los **datos operacionales** son las efemérides, los parámetros de reloj y época del reloj del satélite. Las efemérides de los satélites se dan en términos de posición, velocidad, y vector de aceleración de la época de referencia. Los **datos no operacionales** comprenden el almanaque (o efemérides aproximadas) de la constelación, junto con los estados de salud de todos los satélites GLONASS. Los datos de salud de los satélites no tienen tiempo de actualización. Además, en los datos no operacionales hay un parámetro que indica la diferencia entre el sistema de tiempo GLONASS y el UTC.

Las efemérides GLONASS están referidas al Datum Geodésico Parametry Zemli 1990 o PZ-90, o en su traducción Parámetros de la Tierra 1990 o PE-90. Este sistema reemplazó al SGS-85, usado por GLONASS hasta 1993.

El sistema PZ-90 es un sistema de referencia terrestre con coordenadas definidas de la misma forma que el Sistema de Referencia Internacional Terrestre (ITRF). Las constantes y parámetros del PZ-90 se muestran en la siguiente tabla:

PARAMETROS DATUM PZ-90

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Rotación de la Tierra</i>	$72.92115 \cdot 10^{-8} \text{ rad/s}$
<i>Constante Gravitacional</i>	$398600.44 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}^2$
<i>Constante Gravitacional de la atmósfera</i>	$0.35 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{s}^2$
<i>Velocidad de la luz</i>	299792458 m/s
<i>Semieje mayor del elipsoide</i>	6378136 m
<i>Aplanamiento del elipsoide</i>	1 / 298.257839303
<i>Aceleración de la gravedad en el Ecuador</i>	978032.8 mgal

La realización del Sistema PZ-90 por medio de la adopción de coordenadas de estaciones de referencia ha dado como resultado el desfase en el origen y orientación de los ejes, así como la diferencia en escala con respecto al ITRF y al Sistema WGS-84 también.



· SECTOR USUARIO.

Un equipo de recepción de señales GLONASS, al igual que uno de GPS, está formado por una antena y un receptor, así como terminal o colector de datos. La antena suele llevar un plano de tierra para evitar el efecto multipath. Los receptores disponen de un reloj para sincronizar las señales recibidas. Lo normal y aplicado para Topografía es encontrar un receptor combinada GPS/GLONASS.





APÉNDICE B

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO EUROPEO: GALILEO.



INTRODUCCIÓN.

El GALILEO se postula como el futuro sistema europeo de navegación por satélite (www.esa.int/navigation/pages/gnss/intro.htm). Su filosofía es similar a la del GPS, incorporando, entre otras mejoras, las técnicas asociadas a los sistemas extendidos, el uso de 4 señales de “navegación”, un transponder para servicios de salvamento y una optimización de las órbitas para mantener la precisión hasta latitudes de 70° N. Su despliegue está previsto para el año 2008.

Dejando aparte los aspectos estratégicos, las principales diferencias entre el GALILEO y el GPS no son de carácter tecnológico sino conceptuales: se ha diseñado con criterios estrictamente civiles, optimizando los servicios suministrados y garantizando su interoperabilidad con el GPS y el GLONASS.

El sistema es la respuesta europea a la enorme ventaja de Estados Unidos en el campo y constituirá el elemento sobre la que se desarrollará su sector aeroespacial. El proyecto pretende implementar todos los segmentos, incluyendo el mantenimiento de una constelación de 30 satélites, un segmento de control con 14 estaciones monitoras y el desarrollo de diferentes equipos de usuario. Todo ello con un coste de 2.900 millones de euros, que serán financiados inicialmente por la Unión Europea y la Agencia Espacial Europea y posteriormente por el sector privado en base a la utilización de los servicios suministrados.

ESTRATEGIA EUROPEA.

La existencia del GPS norteamericano, y en menor medida el GLONASS ruso, siempre supuso para los Estados europeos una toma de conciencia de su debilidad estratégica y tecnológica en este campo.

A mediados los años ochenta, la Agencia Espacial Europea (ESA) da carpetazo a sus propias ilusiones de desarrollar un sistema propio de navegación por satélite, en el que había empezado a trabajar, conocido como NAVSAT. La ESA prosigue su desigual batalla preparando a la industria europea mediante pequeños contratos tecnológicos, sin recursos para lanzarse por el momento al sueño de desarrollar y desplegar una constelación propia. No obstante, la idea y la necesidad estaban ya presentes en muchas mentes de la Unión Europea, que se iba perfilando, cada vez con mayor claridad, una potencia mundial.

El principio de los noventa supuso un paso intermedio en la forma de una aproximación menos ambiciosa, que se concreta con la creación del Grupo Tripartito (UE, ESA y Eurocontrol) en el año 1994 para poner en marcha lo que se conocerá más tarde como EGNOS que, aprovechándose de la existencia de una señal GPS libre (Standard Positioning Service), intenta mejorar las prestaciones ofrecidas, sobre todo introduciendo lo que se llama el canal de integridad.

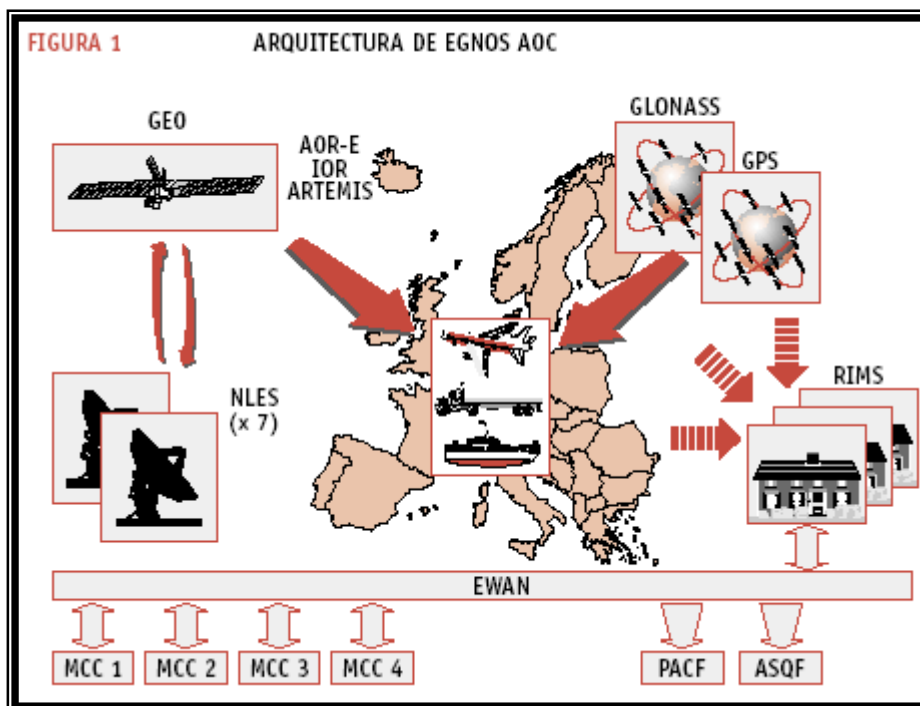
EGNOS supone también la respuesta competitiva europea al desarrollo del Wide Area Augmentation Service (WAAS) en Estados Unidos –destinado al área geográfica de América– y del MSAS en Japón –destinado a Asia–. Así, Europa desarrolla y fabrica su

propio sistema, interoperable con WAAS y MSAS. En 2002 entró parcialmente en servicio el WAAS y está prevista la entrada en servicio del MSAS en el 2008.

Aunque EGNOS es una pieza clave por lo que supone de experiencia en un sistema de navegación, la Unión Europea vuelve con el cambio de siglo (cada década parece resurgir el interés) a lo que es realmente un sistema europeo autónomo de navegación satélite, que se bautiza con el nombre de GALILEO.

Por fin parece que Europa se agrupa uniendo para este proyecto su Institución política, la Comisión Europea (CE) y su Agencia Espacial (ESA). Ambas organizaciones acuerdan lanzar el programa de forma preliminar en 1999, a través de resoluciones aprobadas al más alto nivel.

Durante 2000 y 2001 se realizan estudios básicos de viabilidad y definición para finalmente el 5 de abril de 2001 la Comisión de Transportes de la UE, aprueba (con algunas acciones que habrán de ser cumplimentadas antes de fin de 2001) la fase de desarrollo del programa GALILEO, a comenzar en 2002.



EL PROGRAMA EGNOS.

El programa EGNOS consiste en desarrollar un complejo sistema para complementar las señales ya existentes y disponibles de GPS y, en su caso GLONASS, de forma que se puedan cumplir requisitos de usuario muy exigentes no sólo en cuanto a precisión sino también desde el punto de vista de seguridad, como los que solicita la aviación civil. Y además, se tiene igualmente en cuenta que otros usuarios menos exigentes



puedan beneficiarse de sus mejores prestaciones, por lo que tendrá un impacto indudable también en el transporte por tierra y por mar.

El programa EGNOS se propone mejorar los siguientes parámetros:

- Precisión.
- Integridad.
- Disponibilidad del servicio.
- Continuidad del servicio.

Los principales requisitos de EGNOS se incluyen en el cuadro adjunto. La precisión debe llegar hasta los 4 metros en horizontal. La integridad, o capacidad del sistema de ofrecer una comprobación independiente de la validez y precisión de la señal de cada satélite, debe proporcionar tiempos de alerta mejores que 6 segundos y el servicio debe estar disponible, al menos, el 99% del tiempo.

Los sistemas GPS y GLONASS tienen las limitaciones inherentes a estar controlados por los gobiernos de Estados Unidos y Rusia y con aplicaciones militares prioritarias, en vez de estar bajo control de un organismo civil internacional. En estos aspectos, EGNOS introduce algunas mejoras: por ejemplo, reduce el error (“Selective Availability” o SA) que intencionadamente se introducía hasta hace poco tiempo en la señal GPS disponible para usuarios civiles.

Resumiendo un sistema muy complejo, el EGNOS desarrolla tres funciones de mejora principales: de medida de distancia, de integridad y de corrección diferencial de área amplia.

Esto se lleva a cabo mediante los elementos de la figura. Se refuerza la constelación GPS y GLONASS con cargas de pago en tres satélites GEO, dos de Inmarsat y el Artemis de ESA, que simulan satélites GPS adicionales y además difunden las señales de corrección y de integridad a los receptores de los usuarios. Se dispone una red de estaciones de tierra (RIMS) que reciben las señales de los satélites GPS/GLONASS y las envían, mediante la red de telecomunicaciones EWAN, a los Centros Principales de Control (MCC) donde se calculan las correcciones para mejorar la precisión así como establecer la integridad. Las estaciones terrenas NLES generan las señales y las envían a los satélites GEO.

Ya está disponible la señal EGNOS pre-operacional (ESTB), con los objetivos de probar el propio sistema y demostrarlo a los usuarios potenciales. Para el año 2004 está previsto que EGNOS entre en servicio en fase operativa avanzada (AOC), mejorándose posteriormente en términos de disponibilidad y continuidad hasta llegar a la capacidad operativa total (FOC).

TABLA 1 REQUISITOS DE EGNOS		
	GPS-RECEIVER	GPS-EGNOS RECEIVER
Accuracy	20m*	7,7m vertical / 4m horizontal
Availability	58-97% (RAIM)	99% - 99,999%
Integrity (Time to Alert)	RAIM only Not specified	RAIM + EGNOS Integrity Channel better than 6 sec.
Continuity	1/10.000 hours	1/10.000.000 hours
Timing (UTC)	300 nsec	10 nsec

* Precisión sin error intencionado (SA). Con SA activo típico, pasa a 100 m.



EL PROGRAMA GALILEO.

Galileo se define como un programa europeo, civil, independiente, de cobertura mundial e interoperable con el GPS norteamericano. Proporcionará distintos servicios de navegación, desde un servicio gratuito, equivalente al existente con GPS, hasta servicios tarificables de acceso controlado y prestaciones garantizadas y, finalmente, servicios de uso gubernamental.

Galileo incorpora algunas novedades importantes, que le configuran como un auténtico servicio: ofrece un canal de integridad que no posee GPS, y como se ha visto es la aportación fundamental de EGNOS y WAAS. Y servicios de tipo humanitario: servicios de salvamento (SAR); diseminación de datos relacionados con la navegación (datos meteorológicos, información sobre alertas de tráfico y accidentes, etc.).

GALILEO se está diseñando para proporcionar tres niveles distintos de servicio:

- Nivel 1: Un sistema de acceso abierto ("O.A.S: Open Access Service") similar al GPS standard actual, principalmente dedicado a las aplicaciones para el mercado de masas.
- Nivel 2: Un servicio de acceso restringido ("C.A.S 1: Controlled Access Service 1"), dedicado a aplicaciones comerciales y profesionales que requieren un nivel de servicio más elevado (en términos de prestaciones, garantías de servicio,...).
- Nivel 3: un servicio de acceso restringido ("C.A.S 2: Controlled Access Service"), dedicado a aplicaciones exigiendo un nivel de seguridad crítica que no pueden tolerar una interrupción o perturbación (caso de la aviación civil).

Además de estos servicios de posicionamiento, GALILEO proveerá un servicio de "Tiempo Preciso" en todo el mundo, con una escala de diferentes niveles de precisión y garantías.

El programa GALILEO es un programa complejo que consiste en:

- Constelación de 30 satélites (27 activos + 3), en tres planos de 56 grados de inclinación y orbitando a 23.616 km de altitud.
- Segmento tierra para controlar los satélites, las funciones de navegación, orbitografía, sincronismo, integridad global, enlace ascendente, etc. Los complementos de este segmento a nivel regional y local proporcionan las prestaciones más exigentes.
- Los equipos principales que cada satélite embarca son: cuatro relojes atómicos (2xH-Maser y 2xRb), la carga de pago de navegación que transmite cuatro portadoras moduladas con los códigos y datos, un transpondedor para SAR y una antena fija que apunta constantemente a la Tierra.

En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2000 de Estambul (WRC 2000) se reservó espectro para Galileo, en bandas L y C.

El calendario de desarrollo prevé que a finales de 2005 una mini-constelación con 4 satélites estará operativa y garantizará la funcionalidad técnica del programa. El despliegue total de Galileo será en 2008. A partir de 2005, la infraestructura de EGNOS se integrará en Galileo. Los costes estimados para la puesta en marcha del sistema alcanzan los 3.250 M. € y los de operación hasta 2020 se estiman en 2640 M. €. Se está en negociaciones para incorporar financiación privada.



Galileo, además de sus aspectos estratégicos, posibilita la creación de un sin número de aplicaciones para la aviación y el transporte en general y el uso de su base de tiempo para múltiples aplicaciones de sincronización. Los estudios de mercado predicen 700 millones de usuarios de Galileo en 2020. Los análisis coste-beneficio estiman beneficios económicos comerciales directos de 62.000 M. € a los que hay que añadir 12.000 M. € en beneficios para la sociedad (menor duración de viajes, menor contaminación, etc.) hasta el año 2020, para el mencionado coste de alrededor de 6.000 millones de €.

TABLA 2 REQUISITOS DE GALILEO

GALILEO Services	General-Purpose	Commercial		Public-Utility	
Coverage	Global	Global	Local	Global	Local
Accuracy	15-30m (single frequency) 5-10m (dual frequency)	5-10m (dual frequency)	<10cm-1m (local augmentation signals)	4-6m (dual frequency)	1m (local augmentation signals)
Availability	99%	99%	99%	99%-99,9%*	99%-99,9%*
Integrity	Not generally required	Value-added service		Mandatory requirement	
Alert limit	—	20-45m	2-3m	<15m	3-5m
Time to Alert	—	10 seconds	1 second	6 seconds	1 second
Integrity Risk	—	10^{-7} /hour	10^{-7} /hour	2×10^{-7} /150 sec.	2×10^{-9} /150 sec.
Continuity Risk	—	10^{-4} /hour	10^{-4} /hour	8×10^{-5} /15 sec.	5×10^{-6} /15 sec.
Timing Accuracy w.r.t. to UTC/TAI	50 nsec	<50 nsec		50 nsec	
Access Control	Free Open access	Controlled access of value-added Data	Controlled access of Local Correction Data	Controlled access of Navigation Code value-added Data	Controlled access of Local Correction Data
Certification and Service Guarantees	No	Guarantee of Service possible		Build for Certification, Guarantee of Service possible	

* Higher availability subject to confirmation.



APÉNDICE C

ASPECTOS GEODÉSICOS. SISTEMA DE REFERENCIA GPS Y SISTEMAS LOCALES DE REFERENCIA.



INTRODUCCIÓN.

Como vimos en el apartado *ASPECTOS GEODÉSICOS* del tema II, la tierra aunque parece ser una esfera uniforme, su superficie dista mucho de ser uniforme. Debido al hecho de que el GPS debe proporcionar coordenadas en cualquier punto de la superficie terrestre, este utiliza un sistema de coordenadas geodésico basado en un elipsoide.

El elipsoide elegido será aquel que se ajuste más exactamente a la forma de la Tierra.

Este elipsoide no tiene una superficie física, sino que es una superficie definida matemáticamente. Actualmente existen diversos elipsoides, por lo que convendrá conocer cual se debe utilizar en cada momento. Además, con la aparición del sistema GPS, surgió la necesidad de utilizar un solo elipsoide que se adaptara lo máximo a la forma de la Tierra. Éste es el conocido como WGS84 o Sistema Geodésico Mundial 1984 (por sus siglas en inglés World Geodetic System 1984), a partir del cual podremos conocer las coordenadas en los demás elipsoides por medio de transformaciones matemáticas.

EL GEOIDE.

Se define *geoide* como la superficie teórica de la Tierra que une todos los puntos que tienen igual gravedad. La forma así creada supone la continuación por debajo de la superficie de los continentes, de la superficie de los océanos y mares suponiendo la ausencia de mareas, con la superficie de los océanos en calma y sin ninguna perturbación exterior. Como perturbaciones exteriores se encuentra la atracción de la luna, (mareas) y las interacciones de todo el sistema solar.

Lejos de lo que se podría imaginar, esta superficie no es uniforme, sino que presenta una serie de irregularidades causadas por la distinta composición mineral del interior de la Tierra y de sus distintas densidades, lo que implica que para cada punto de la superficie terrestre exista una distancia distinta desde el centro de la Tierra al punto del geoide.

EL ELIPSOIDE.

Como se sabe, la Tierra no es redonda, y su figura se asemeja a una naranja o esfera achatada en los polos, y no existe forma geométrica alguna que la represente, debido fundamentalmente a las irregularidades existentes.



Estas irregularidades de la Tierra son detectables y no extrapolables a todos los puntos simétricos de la Tierra, ya que no existe un único modelo matemático que represente toda la superficie de la Tierra, para lo que cada nación, continente, etc. emplean un modelo matemático distinto, de forma que se adapte mejor a la forma de la zona a cartografiar.

Este elemento de representación de la Tierra se le denomina ELIPSOIDE. Este elipsoide es el resultado de revolucionar una elipse sobre su eje.

Esta entidad matemática se define en función de los siguientes parámetros:

- semi eje mayor (a) y semi eje menor (b) del elipsoide;
- aplastamiento del elipsoide [$\alpha = 1/f = a/(a-b)$]. Este parámetro suele tener como valores 296, 297, etc.

También pueden ser necesarios los datos de excentricidad ($e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = \sqrt{2f - f^2}$) o la segunda excentricidad ($e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$)

El geoide no coincide con el elipsoide, dada la desigual distribución de la gravedad superficial, y de lo local de las perturbaciones, causa que existan zonas de la Tierra por encima del geoide y por debajo de éste.

Estas diferencias gravitatorias son causadas por la composición terrestre y la presencia de una gran masa de agua en los océanos, que causa una menor atracción, y hace que, por lo general, el geoide quede por encima del elipsoide en la zona continental y por debajo en la zona oceánica.

EL DATUM.

Se define *datum* como el punto tangente al elipsoide y al geoide, donde ambos son coincidentes.

Cada datum está compuesto por:

- a) un elipsoide, definido por “a”, “b” y aplastamiento.
- b) Un punto llamado fundamental en el que el elipsoide y la Tierra son tangentes. Este punto fundamental se le define por sus coordenadas geográficas (longitud y latitud), además del azimut de una dirección con origen en el punto fundamental. Esta desviación se denomina:

η \Rightarrow desviación en la vertical;

ξ \Rightarrow desviación en el meridiano.

En el punto fundamental coincide el elipsoide con la superficie real de la Tierra así como en este punto las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la Tierra).

Estas dos desviaciones definidas son debidas al no coincidir la vertical perpendicular al geoide, trazada por el punto fundamental, con la vertical perpendicular el elipsoide. Quedando el sistema definido al estar definidos estos ángulos en el datum.

DESVIACIONES DE LOS ÁNGULOS FUNDAMENTALES DEL DATUM.

Definido el datum, ya se puede elaborar la cartografía de a cada lugar, pues se tienen unos parámetros de referencia que relacionan el punto origen del geoide y del elipsoide con su localización geográfica, así como la dirección del sistema.

Desviación de la vertical (eta).

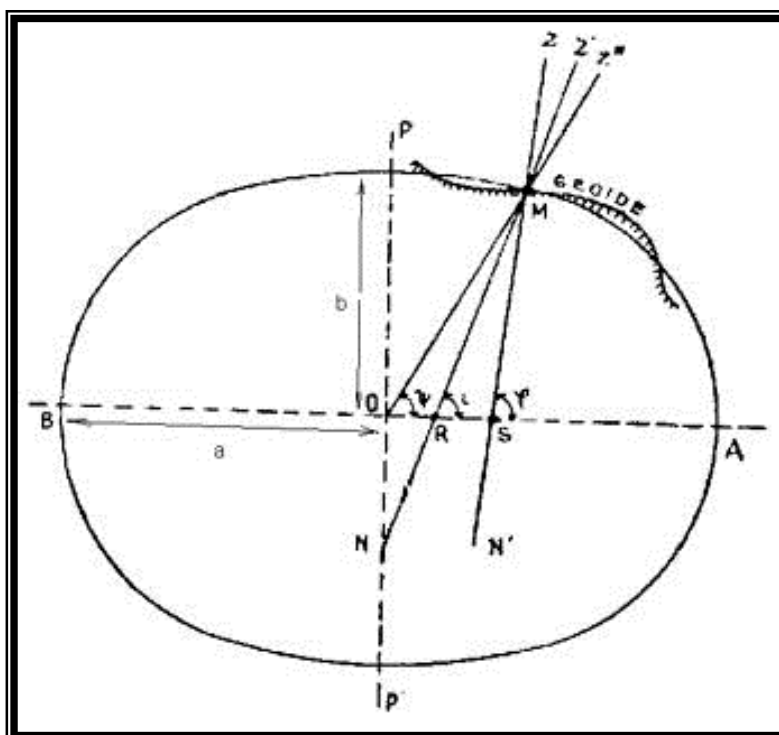
Esta desviación viene dada al no coincidir la vertical en el geoide con la vertical en el elipsoide, no pasando la perpendicular al elipsoide por el centro de la elipse de revolución que genera al elipsoide.

Desviación sobre el meridiano (xi).

La desviación sobre la vertical hace que la latitud, al realizar su medición angular, no pase por el centro (0,0,0), originando un punto ficticio “S”, que puede no estar situado en el eje “polo Norte-Sur”.

Si ese punto está situado en el eje “polo Norte- Sur”, la desviación sobre el meridiano será 0° .

Hay que recordar que tanto la desviación sobre el meridiano como la desviación de la vertical, únicamente es evaluada para el punto fundamental y no para la totalidad de las posiciones geográficas del sistema, sistema para el que independientemente en su desviación toma su origen de meridianos en Greenwich, Inglaterra 0° .





ELIPSOIDES DE EMPLEO USUAL.

Existe una gran variedad de elipsoides, que se van mejorando matemáticamente para que tengan una mejor aproximación al geoide, o que las desviaciones encontradas con el geoide sean las menores posibles, aunque para cada zona de la tierra se suele emplear un elipsoide distinto de manera que se adapte mejor a las desviaciones locales del geoide. Los elipsoides más empleados son los siguientes:

Elipsoide	Eje mayor	1/f
Airy 1830,	6377563.396	299.3249646
Modified Airy	6377340.189	299.3249646
Australian National	6378160	298.25
Bessel 1841 (Namibia)	6377483.865	299.1528128
Bessel 1841	6377397.155	299.1528128
Clarke 1866,	6378206.4	294.9786982
Clarke 1880,	6378249.145	293.465
Everest (India 1830)"	6377276.345	300.8017
Everest (Sabah Sarawak)	6377298.556	300.8017
Everest (India 1956)	6377301.243	300.8017
Everest (Malaysia 1969)	6377295.664	300.8017
Everest (Malay. & Sing)	6377304.063	300.8017
Everest (Pakistan)	6377309.613	300.8017
Modified Fischer 1960	6378155	298.3
Helmert 1906	6378200	298.3
Hough 1960	6378270	297
Indonesian 1974	6378160	298.247
International 1924	6378388	297
Krassovsky 1940	6378245	298.3
GRS 80	6378137	298.257222101
South American 1969	6378160	298.25
WGS 72	6378135	298.26
WGS 84	6378137	298.257223563

DATUMS DE EMPLEO USUAL.

Existe un gran número de datums. Se detallan a continuación una serie de ellos, así como los parámetros de transformación para cada uno de ellos:

(d = delta en metros; e = error estimado en metros; #S = número de estaciones satelitales consideradas)

Datum	Elipsoide	dX	dY	dZ	Útil en:	eX	eY	eZ	#S
Adindan	Clarke 1880	-118	-14	218	Burkina Faso	25	25	25	1
Adindan	Clarke 1880	-134	-2	210	Cameroon	25	25	25	1
Adindan	Clarke 1880	-165	-11	206	Ethiopia	3	3	3	8
Adindan	Clarke 1880	-123	-20	220	Mali	25	25	25	1
Adindan	Clarke 1880	-166	-15	204	Media para: Ethiopia;Sudan	5	5	3	22
Adindan	Clarke 1880	-128	-18	224	Senegal	25	25	25	2
Adindan	Clarke 1880	-161	-14	205	Sudan	3	5	3	14
Afgooye	Krassovsky 1940	-43	-163	45	Somalia	25	25	25	1
Ain el Abd 1970	International 1924	-150	-250	-1	Bahrain	25	25	25	2
Ain el Abd 1970	International 1924	-143	-236	7	Saudi Arabia	10	10	10	9
American Samoa 1962	Clarke 1866	-115	118	426	American Samoa Islands	25	25	25	2
Anna 1 Astro 1965	Australian National	-491	-22	435	Cocos Islands	25	25	25	1
Antigua Island Astro 1943	Clarke 1880	-270	13	62	Antigua (Leeward Islands)	25	25	25	1
Arc 1950	Clarke 1880	-138	-105	-289	Botswana	3	5	3	9
Arc 1950	Clarke 1880	-153	-5	-292	Burundi	20	20	20	3
Arc 1950	Clarke 1880	-125	-108	-295	Lesotho	3	3	8	5
Arc 1950	Clarke 1880	-161	-73	-317	Malawi	9	24	8	6
Arc 1950	Clarke 1880	-143	-90	-294	Media para: Botswana; Lesotho; Malawi; Swaziland; Zaire; Zambia; Zimbabwe	20	33	20	41
Arc 1950	Clarke 1880	-134	-105	-295	Swaziland	15	15	15	4
Arc 1950	Clarke 1880	-169	-19	-278	Zaire	25	25	25	2
Arc 1950	Clarke 1880	-147	-74	-283	Zambia	21	21	27	5
Arc 1950	Clarke 1880	-142	-96	-293	Zimbabwe	5	8	11	10
Arc 1960	Clarke 1880	-160	-6	-302	Media para: Kenya; Tanzania	20	20	20	25
Arc 1960	Clarke 1880	-157	-2	-299	Kenya	4	3	3	24
Arc 1960	Clarke 1880	-175	-23	-303	Tanzania	6	9	10	12
Ascension Island 1958	International 1924	-205	107	53	Ascension Island	25	25	25	2
Astro Beacon E 1945	International 1924	145	75	-272	Iwo Jima	25	25	25	1
Astro DOS 71/4	International 1924	-320	550	-494	St Helena Island	25	25	25	1
Astro Tern Island (FRIG) 1961	International 1924	114	-116	-333	Tern Island	25	25	25	1
Astronomical Station 1952	International 1924	124	-234	-25	Marcus Island	25	25	25	1
Australian Geodetic	Australian	-133	-48	148	Australia;	3	3	3	105

1966	National				Tasmania				
Australian Geodetic 1984	Australian National	-134	-48	149	Australia; Tasmania	2	2	2	90
Ayabelle Lighthouse	Clarke 1880	-79	-129	145	Djibouti	25	25	25	1
Bellevue (IGN)	International 1924	-127	-769	472	Efate & Erromango Islands	20	20	20	3
Bermuda 1957	Clarke 1866	-73	213	296	Bermuda	20	20	20	3
Bissau	International 1924	-173	253	27	Guinea-Bissau	25	25	25	2
Bogota Observatory	International 1924	307	304	-318	Colombia	6	5	6	7
Bukit Rimpah	Bessel 1841	-384	664	-48	Indonesia (Bangka & Belitung Ids)	-1	-1	-1	0
Camp Area Astro	International 1924	-104	-129	239	Antarctica (McMurdo Camp Area)	-1	-1	-1	0
Campo Inchauspe	International 1924	-148	136	90	Argentina	5	5	5	20
Canton Astro 1966	International 1924	298	-304	-375	Phoenix Islands	15	15	15	4
Cape	Clarke 1880	-136	-108	-292	South Africa	3	6	6	5
Cape Canaveral	Clarke 1866	-2	151	181	Bahamas; Florida	3	3	3	19
Carthage	Clarke 1880	-263	6	431	Tunisia	6	9	8	5
Chatham Island Astro 1971	International 1924	175	-38	113	New Zealand (Chatham Island)	15	15	15	4
Chua Astro	International 1924	-134	229	-29	Paraguay	6	9	5	6
Corrego Alegre	International 1924	-206	172	-6	Brazil	5	3	5	17
Dabola	Clarke 1880	-83	37	124	Guinea	15	15	15	4
Deception Island	Clarke 1880	260	12	-147	Deception Island; Antarctica	20	20	20	3
Djakarta (Batavia)	Bessel 1841	-377	681	-50	Indonesia (Sumatra)	3	3	3	5
DOS 1968	International 1924	230	-199	-752	New Georgia Islands (Gizo Island)	25	25	25	1
Easter Island 1967	International 1924	211	147	111	Easter Island	25	25	25	1
Estonia; Coordinate System 1937	Bessel 1841	374	150	588	Estonia	2	3	3	19
European 1950	International 1924	-104	-101	-140	Cyprus	15	15	15	4
European 1950	International 1924	-130	-117	-151	Egypt	6	8	8	14
European 1950	International 1924	-86	-96	-120	England; Channel Islands; Scotland; Shetland Islands	3	3	3	40
European 1950	International 1924	-86	-96	-120	England; Ireland; Scotland; Shetland Islands	3	3	3	47
European 1950	International 1924	-87	-95	-120	Finland; Norway	3	5	3	20

European 1950	International 1924	-84	-95	-130	Greece	25	25	25	2
European 1950	International 1924	-117	-132	-164	Iran	9	12	11	27
European 1950	International 1924	-97	-103	-120	Italy (Sardinia)	25	25	25	2
European 1950	International 1924	-97	-88	-135	Italy (Sicily)	20	20	20	3
European 1950	International 1924	-107	-88	-149	Malta	25	25	25	1
European 1950	International 1924	-87	-98	-121	Media para: Austria; Belgium; Denmark; Finland; France; W Germany; Gibraltar; Greece; Italy; Luxembourg; Netherlands; Norway; Portugal; Spain; Sweden; Switzerland	3	8	5	85
European 1950	International 1924	-87	-96	-120	Media para: Austria; Denmark; France; W Germany; Netherlands; Switzerland	3	3	3	52
European 1950	International 1924	-103	-106	-141	Media para: Iraq; Israel; Jordan; Lebanon; Kuwait; Saudi Arabia; Syria	-1	-1	-1	0
European 1950	International 1924	-84	-107	-120	Portugal; Spain	5	6	3	18
European 1950	International 1924	-112	-77	-145	Tunisia	25	25	25	4
European 1979	International 1924	-86	-98	-119	Media para: Austria; Finland; Netherlands; Norway; Spain; Sweden; Switzerland	3	3	3	22
Fort Thomas 1955	Clarke 1880	-7	215	225	Nevis; St. Kitts (Leeward Islands)	25	25	25	2
Gan 1970	International 1924	-133	-321	50	Republic of Maldives	25	25	25	1
Geodetic Datum 1949	International 1924	84	-22	209	New Zealand	5	3	5	14
Graciosa Base SW 1948	International 1924	-104	167	-38	Azores (Faial; Graciosa; Pico; Sao Jorge; Terceira)	3	3	3	5
Guam 1963	Clarke 1866	-100	-248	259	Guam	3	3	3	5
Gunung Segara	Bessel 1841	-403	684	41	Indonesia (Kalimantan)	-1	-1	-1	0
GUX 1 Astro	International 1924	252	-209	-751	Guadalcanal Island	25	25	25	1
Herat North	International 1924	-333	-222	114	Afghanistan	-1	-1	-1	0
Hermannskogel Datum	Bessel 1841 (Namibia)	653	-212	449	Croatia - Serbia, Bosnia- Herzegovina	-1	-1	-1	0
Hjorsey 1955	International 1924	-73	46	-86	Iceland	3	3	6	6
Hong Kong 1963	International 1924	-156	-271	-189	Hong Kong	25	25	25	2
Hu-Tzu-Shan	International 1924	-637	-549	-203	Taiwan	15	15	15	4
Indian	Everest (India 1830)	282	726	254	Bangladesh	10	8	12	6
Indian	Everest (India 1956)	295	736	257	India; Nepal	12	10	15	7

Indian	Everest (Pakistan)	283	682	231	Pakistan	-1	-1	-1	0
Indian 1954	Everest (India 1830)	217	823	299	Thailand	15	6	12	11
Indian 1960	Everest (India 1830)	182	915	344	Vietnam (Con Son Island)	25	25	25	1
Indian 1960	Everest (India 1830)	198	881	317	Vietnam (Near 16°N)	25	25	25	2
Indian 1975	Everest (India 1830)	210	814	289	Thailand	3	2	3	62
Indonesian 1974	Indonesian 1974	-24	-15	5	Indonesia	25	25	25	1
Ireland 1965	Modified Airy	506	-122	611	Ireland	3	3	3	7
ISTS 061 Astro 1968	International 1924	-794	119	-298	South Georgia Islands	25	25	25	1
ISTS 073 Astro 1969	International 1924	208	-435	-229	Diego Garcia	25	25	25	2
Johnston Island 1961	International 1924	189	-79	-202	Johnston Island	25	25	25	1
Kandawala	Everest (India 1830)	-97	787	86	Sri Lanka	20	20	20	3
Kerguelen Island 1949	International 1924	145	-187	103	Kerguelen Island	25	25	25	1
Kertau 1948	Everest (Malay. & Sing)	-11	851	5	West Malaysia & Singapore	10	8	6	6
Kusaie Astro 1951	International 1924	647	1777	-1124	Caroline Islands	25	25	25	1
Korean Geodetic System	GRS 80	0	0	0	South Korea	2	2	2	12
L. C. 5 Astro 1961	Clarke 1866	42	124	147	Cayman Brac Island	25	25	25	1
Leigon	Clarke 1880	-130	29	364	Ghana	2	3	2	8
Liberia 1964	Clarke 1880	-90	40	88	Liberia	15	15	15	4
Luzon	Clarke 1866	-133	-77	-51	Philippines (Excluding Mindanao)	8	11	9	6
Luzon	Clarke 1866	-133	-79	-72	Philippines (Mindanao)	25	25	25	1
M'Poraloko	Clarke 1880	-74	-130	42	Gabon	25	25	25	1
Mahe 1971	Clarke 1880	41	-220	-134	Mahe Island	25	25	25	1
Massawa	Bessel 1841	639	405	60	Ethiopia (Eritrea)	25	25	25	1
Merchich	Clarke 1880	31	146	47	Morocco	5	3	3	9
Midway Astro 1961	International 1924	912	-58	1227	Midway Islands	25	25	25	1
Minna	Clarke 1880	-81	-84	115	Cameroon	25	25	25	2
Minna	Clarke 1880	-92	-93	122	Nigeria	3	6	5	6
Montserrat Island Astro 1958	Clarke 1880	174	359	365	Montserrat (Leeward Islands)	25	25	25	1
Nahrwan	Clarke 1880	-247	-148	369	Oman (Masirah Island)	25	25	25	2
Nahrwan	Clarke 1880	-243	-192	477	Saudi Arabia	20	20	20	3
Nahrwan	Clarke 1880	-249	-156	381	United Arab Emirates	25	25	25	2
Naparima BWI	International 1924	-10	375	165	Trinidad & Tobago	15	15	15	4
North American 1927	Clarke 1866	-5	135	172	Alaska (Excluding	5	9	5	47

						Aleutian Ids)				
North 1927	American	Clarke 1866	-2	152	149	Alaska (Aleutian Ids East of 180°W)	6	8	10	6
North 1927	American	Clarke 1866	2	204	105	Alaska (Aleutian Ids West of 180°W)	10	10	10	5
North 1927	American	Clarke 1866	-4	154	178	Bahamas (Except San Salvador Id)	5	3	5	11
North 1927	American	Clarke 1866	1	140	165	Bahamas (San Salvador Island)	25	25	25	1
North 1927	American	Clarke 1866	-7	162	188	Canada (Alberta; British Columbia)	8	8	6	25
North 1927	American	Clarke 1866	-9	157	184	Canada (Manitoba; Ontario)	9	5	5	25
North 1927	American	Clarke 1866	-22	160	190	Canada (New Brunswick; Newfoundland; Nova Scotia; Quebec)	6	6	3	37
North 1927	American	Clarke 1866	4	159	188	Canada (Northwest Territories; Saskatchewan)	5	5	3	17
North 1927	American	Clarke 1866	-7	139	181	Canada (Yukon)	5	8	3	8
North 1927	American	Clarke 1866	0	125	201	Canal Zone	20	20	20	3
North 1927	American	Clarke 1866	-9	152	178	Cuba	25	25	25	1
North 1927	American	Clarke 1866	11	114	195	Greenland (Hayes Peninsula)	25	25	25	2
North 1927	American	Clarke 1866	-3	142	183	Media para: Antigua; Barbados; Barbuda; Caicos Islands; Cuba; Dominican Republic; Grand Cayman; Jamaica; Turks Islands	3	9	12	15
North 1927	American	Clarke 1866	0	125	194	Media para: Belize; Costa Rica; El Salvador; Guatemala; Honduras; Nicaragua	8	3	5	19
North 1927	American	Clarke 1866	-10	158	187	Media para: Canada	15	11	6	112
North 1927	American	Clarke 1866	-8	160	176	Media para: CONUS	5	5	6	405
North 1927	American	Clarke 1866	-9	161	179	Media para: CONUS (East of Mississippi River Including Louisiana; Missouri; Minnesota)	5	5	8	129
North 1927	American	Clarke 1866	-8	159	175	Media para: CONUS (West of Mississippi River Excluding Louisiana; Minnesota; Missouri)	5	3	3	276
North 1927	American	Clarke 1866	-12	130	190	Mexico	8	6	6	22
North	American	GRS 80	0	0	0	Alaska	2	2	2	42

1983						(Excluding Aleutian Ids)				
North American 1983	GRS 80	-2	0	4		Aleutian Ids	5	2	5	4
North American 1983	GRS 80	0	0	0		Canada	2	2	2	96
North American 1983	GRS 80	0	0	0		CONUS	2	2	2	216
North American 1983	GRS 80	1	1	-1		Hawaii	2	2	2	6
North American 1983	GRS 80	0	0	0		Mexico; Central America	2	2	2	25
North Sahara 1959	Clarke 1880	-186	-93	310		Algeria	25	25	25	3
Observatorio Meteorologico 1939	International 1924	-425	-169	81		Azores (Corvo & Flores Islands)	20	20	20	3
Old Egyptian 1907	Helmert 1906	-130	110	-13		Egypt	3	6	8	14
Old Hawaiian	Clarke 1866	89	-279	-183		Hawaii	25	25	25	2
Old Hawaiian	Clarke 1866	45	-290	-172		Kauai	20	20	20	3
Old Hawaiian	Clarke 1866	65	-290	-190		Maui	25	25	25	2
Old Hawaiian	Clarke 1866	61	-285	-181		Media para: Hawaii; Kauai; Maui; Oahu	25	20	20	15
Old Hawaiian	Clarke 1866	58	-283	-182		Oahu	10	6	6	8
Oman	Clarke 1880	-346	-1	224		Oman	3	3	9	7
Ordnance Survey Great Britain 1936	Airy 1830	371	-112	434		England	5	5	6	21
Ordnance Survey Great Britain 1936	Airy 1830	371	-111	434		England; Isle of Man; Wales	10	10	15	25
Ordnance Survey Great Britain 1936	Airy 1830	375	-111	431		Media para: England; Isle of Man; Shetland Islands; Wales	10	10	15	38
Ordnance Survey Great Britain 1936	Airy 1830	384	-111	425		Scotland; Shetland Islands	10	10	10	13
Ordnance Survey Great Britain 1936	Airy 1830	370	-108	434		Wales	20	20	20	3
Pico de las Nieves	International 1924	-307	-92	127		Canary Islands	25	25	25	1
Pitcairn Astro 1967	International 1924	185	165	42		Pitcairn Island	25	25	25	1
Point 58	Clarke 1880	-106	-129	165		Media para: Burkina Faso & Niger	25	25	25	1
Pointe Noire 1948	Clarke 1880	-148	51	-291		Congo	25	25	25	1
Porto Santo 1936	International 1924	-499	-249	314		Porto Santo; Madeira Islands	25	25	25	2
Provisional South American 1956	International 1924	-270	188	-388		Bolivia	5	11	14	5
Provisional South American 1956	International 1924	-270	183	-390		Chile (Northern; Near 19°S)	25	25	25	1
Provisional South American 1956	International 1924	-305	243	-442		Chile (Southern; Near 43°S)	20	20	20	3

Provisional South American 1956	International 1924	-282	169	-371	Colombia	15	15	15	4
Provisional South American 1956	International 1924	-278	171	-367	Ecuador	3	5	3	11
Provisional South American 1956	International 1924	-298	159	-369	Guyana	6	14	5	9
Provisional South American 1956	International 1924	-288	175	-376	Media para: Bolivia; Chile; Colombia; Ecuador; Guyana; Peru; Venezuela	17	27	27	63
Provisional South American 1956	International 1924	-279	175	-379	Peru	6	8	12	6
Provisional South American 1956	International 1924	-295	173	-371	Venezuela	9	14	15	24
Provisional Chilean 1963	International 1924	16	196	93	Chile (Near 53ºS) (Hito XVIII)	25	25	25	2
Puerto Rico	Clarke 1866	11	72	-101	Puerto Rico; Virgin Islands	3	3	3	11
Pulkovo 1942	Krassovsky 1940	28	-130	-95	Russia	-1	-1	-1	0
Qatar National	International 1924	-128	-283	22	Qatar	20	20	20	3
Qornoq	International 1924	164	138	-189	Greenland (South)	25	25	32	2
Reunion	International 1924	94	-948	-1262	Mascarene Islands	25	25	25	1
Rome 1940	International 1924	-225	-65	9	Italy (Sardinia)	25	25	25	1
S-42 (Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	28	-121	-77	Hungary	2	2	2	5
S-42 (Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	23	-124	-82	Poland	4	2	4	11
S-42 (Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	26	-121	-78	Czechoslovakia	3	3	2	6
S-42 (Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	24	-124	-82	Latvia	2	2	2	5
S-42 (Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	15	-130	-84	Kazakhstan	25	25	25	2
S-42 (Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	24	-130	-92	Albania	3	3	3	7
S-42 (Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	28	-121	-77	Romania	3	5	3	4
S-JTSK	Bessel 1841	589	76	480	Czechoslovakia (Prior 1 JAN 1993)	4	2	3	6
Santo (DOS) 1965	International 1924	170	42	84	Espirito Santo Island	25	25	25	1
Sao Braz	International 1924	-203	141	53	Azores (Sao Miguel; Santa Maria Ids)	25	25	25	2
Sapper Hill 1943	International 1924	-355	21	72	East Falkland Island	1	1	1	5
Schwarzeck	Bessel 1841 (Namibia)	616	97	-251	Namibia	20	20	20	3
Selvagem Grande 1938	International 1924	-289	-124	60	Salvage Islands	25	25	25	1
Sierra Leone 1960	Clarke 1880	-88	4	101	Sierra Leone	15	15	15	8
South American 1969	South American 1969	-62	-1	-37	Argentina	5	5	5	10
South American 1969	South American 1969	-61	2	-48	Bolivia	15	15	15	4
South American 1969	South American 1969	-60	-2	-41	Brazil	3	5	5	22
South American	South American	-75	-1	-44	Chile	15	8	11	9

1969	1969									
South American 1969	South American 1969	-44	6	-36	Colombia	6	6	5	7	
South American 1969	South American 1969	-48	3	-44	Ecuador	3	3	3	11	
South American 1969	South American 1969	-47	26	-42	Ecuador (Bañra; Galapagos)	25	25	25	1	
South American 1969	South American 1969	-53	3	-47	Guyana	9	5	5	5	
South American 1969	South American 1969	-57	1	-41	Media para: Argentina; Bolivia; Brazil; Chile; Colombia; Ecuador; Guyana; Paraguay; Peru; Trinidad & Tobago; Venezuela	15	6	9	84	
South American 1969	South American 1969	-61	2	-33	Paraguay	15	15	15	4	
South American 1969	South American 1969	-58	0	-44	Peru	5	5	5	6	
South American 1969	South American 1969	-45	12	-33	Trinidad & Tobago	25	25	25	1	
South American 1969	South American 1969	-45	8	-33	Venezuela	3	6	3	5	
South Asia	Modified Fischer 1960	7	-10	-26	Singapore	25	25	25	1	
Tananarive Observatory 1925	International 1924	-189	-242	-91	Madagascar	-1	-1	-1	0	
Timbalai 1948	Everest (Sabah Sarawak)	-679	669	-48	Brunei; E. Malaysia (Sabah Sarawak)	10	10	12	8	
Tokyo	Bessel 1841	-148	507	685	Japan	8	5	8	16	
Tokyo	Bessel 1841	-148	507	685	Media para: Japan; South Korea; Okinawa	20	5	20	31	
Tokyo	Bessel 1841	-158	507	676	Okinawa	20	5	20	3	
Tokyo	Bessel 1841	-147	506	687	South Korea	2	2	2	29	
Tristan Astro 1968	International 1924	-632	438	-609	Tristan da Cunha	25	25	25	1	
Viti Levu 1916	Clarke 1880	51	391	-36	Fiji (Viti Levu Island)	25	25	25	1	
Voirol 1960	Clarke 1880	-123	-206	219	Algeria	25	25	25	2	
Wake Island Astro 1952	International 1924	276	-57	149	Wake Atoll	25	25	25	2	
Wake-Eniwetok 1960	Hough 1960	102	52	-38	Marshall Islands	3	3	3	10	
WGS 1972	WGS 72	0	0	0	Global Definition	-1	-1	-1	0	
WGS 1984	WGS 84	0	0	0	Global Definition	-1	-1	-1	0	
Yacare	International 1924	-155	171	37	Uruguay	-1	-1	-1	0	
Zanderij	International 1924	-265	120	-358	Suriname	5	5	8	5	

COORDENADAS GEODÉSICAS Y COORDENADAS GEOCÉNTRICAS.

El origen de medición de las coordenadas geográficas puede coincidir, o no, con el centro de gravedad de la Tierra, creándose dos coordenadas geográficas distintas:

- coordenadas geodésicas; aquellas que están referidas al elipsoide;
- coordenadas geocéntricas; aquellas que están definidas con respecto al centro de gravedad de la Tierra.

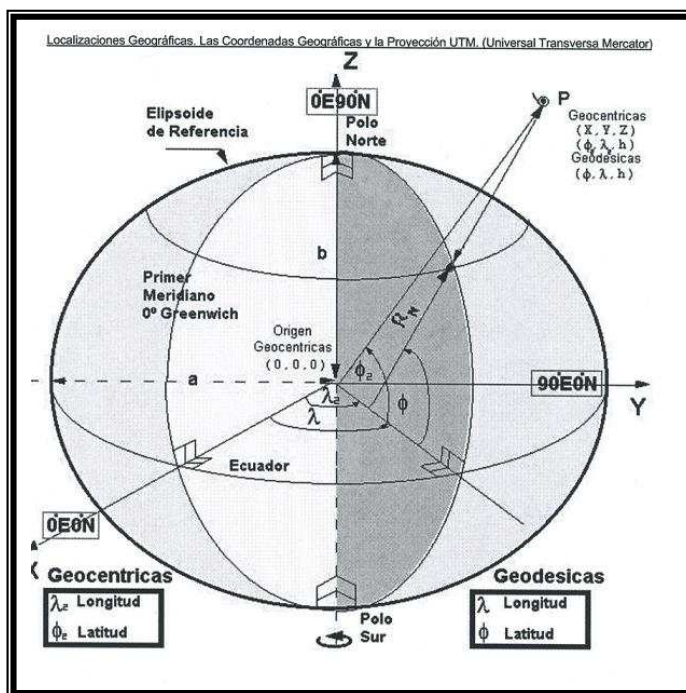
Las geodésicas calculan la latitud trazando la normal al elipsoide de referencia y las geocéntricas uniendo el punto objeto con el centro de la Tierra.

Por lo general, siempre que no se especifique lo contrario, todo lo que tenga formato 6° 30'12"N, 14° 22'13.3"W, se refiere a coordenadas geodésicas, medidas sobre el elipsoide.

En cambio las coordenadas geocéntricas toman el formato (X,Y,Z) o bien, también son expresadas con el formato longitud, latitud y altura, referidas al centro de la Tierra.

Pero no todas las coordenadas en formato (ϕ, λ, h) son geodésicas y a menudo se confunden con las geocéntricas, por ejemplo *el elipsoide WGS84, elipsoide de referencia del sistema GPS, es un elipsoide que toma su origen en el centro de gravedad de la Tierra, luego las coordenadas geográficas referidas a él no son geodésicas, sino geocéntricas, aunque habitualmente se tomen como geodésicas ya que tienen el formato común de éstas.*

Las coordenadas geodésicas, generalmente están referidas a un origen del elipsoide y este puede no coincidir con el resto de los elipsoides, al no coincidir sus dimensiones, su desviación con la vertical y su desviación en el meridiano, de modo que un punto tiene coordenadas geográficas distintas en función del datum de referencia.



DATUM WGS-84. SISTEMA GPS.

Con el empleo de nuevas técnicas de posicionamiento, en especial la constelación GPS, se hace necesario disponer de un sistema para posicionar una situación geográfica con referencia a un datum universal con cobertura en toda la superficie terrestre, evitándose así la “territorialidad” del resto de los datum existentes.

Para ello fue creado el sistema WGS, (World Geodetic System).

Las coordenadas que se obtienen de la constelación de satélites pueden ser cartesianas en el espacio respecto al centro de masas de la Tierra (X,Y,Z) o geodésicas (ϕ , λ , h). El sistema de referencia tiene las siguientes características:

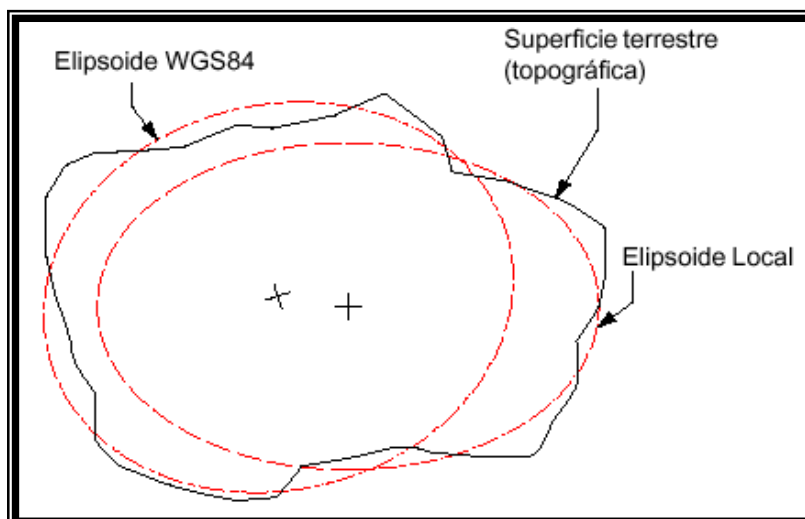
Origen (0,0,0)	Centro de masas de la Tierra
Eje Z	Paralelo al polo medio
Eje X	Intersección del meridiano de Greenwich y el plano del ecuador
Eje Y	Perpendicular a los ejes Z y X, y coincidente con ellos en el centro de masas terrestre

Las coordenadas geodésicas están referidas a un elipsoide de revolución con las siguientes características:

Semi eje mayor (a)	6.378.137m
Inversa del aplanamiento (1/f)*	298,257223563
Velocidad angular de rotación (ω)	$7.292.115 \times 10^{-11}$ rad/s

* $f = 1 - b/a$

Esta constelación es empleada en métodos de captura de datos topográficos y sobre todo en navegación aérea y marítima. Por ello es usual encontrarse en la cartografía la correspondencia entre el datum WGS84 y el empleado





en nuestra zona, European Datum 1950 (ED50).

LA COORDENADA Z.

Hasta el momento solamente se ha hablado de las posiciones geográficas latitud, longitud y de la posición UTM (X,Y) de los sistemas de referencia cuadrículados (“grid”), pero no se ha hablado de la coordenada Z, con la que el punto queda definido.

La medición de la Z de un punto implica que ésta deba de ser referenciada a uno de los sistemas geodésicos empleado.

Así se puede referenciar Z a la distancia existente entre el punto objeto a medir su cota, en cuyo caso hablamos de “altitud” del punto, o bien referirla al Nivel Medio del Mar, en cuyo caso hablamos de cota del punto.

Estas dos alturas, que por lo general no son coincidentes, se notan como:

HAE.- altura sobre el elipsoide (Height Above Ellipsoid)

HMM.- altura sobre el nivel del mar (MSL Height)

Para España, la altura sobre el nivel del mar se toma en Alicante, punto sobre el cual se encuentra nivelada la red geodésica principal española.

DIFERENCIAS OCASIONADAS AL EMPLEAR DATUMS DISTINTOS.

Para España, la mayor parte de la cartografía perteneciente al “Instituto Geográfico Nacional” y el “Servicio Cartográfico del Ejército” se encuentra georreferenciada con el European Datum 1950 (ED50). Bajo este datum se localiza la península Ibérica, el archipiélago Balear y las Plazas españolas del norte de África (Ceuta y Melilla). Este datum toma como referencia el elipsoide internacional, también llamado elipsoide de Hayford con base en Postdam, Helmertturm, (Alemania).

Existe otro datum empleado en España como el European Datum 1979 y el European Datum 1987, aunque el empleo de estos está menos extendido. A pesar de ello no es el único datum empleado en España, ya que para el archipiélago canario se emplea como referencia el datum “Pico de las Nieves”, situado en la isla de Gran Canaria, en la localidad de San Bartolomé de Tirajana.

Las localizaciones de un punto en coordenadas UTM hace necesario la inclusión del datum de referencia ya que el no incluir este dato trae consigo que, además de producir una indeterminación en la situación geográfica del punto, y suceda que en el replanteo de los puntos, el punto replanteado, no sea el punto buscado.

Pero no es solo necesario especificar el datum para localizar una coordenada UTM, sino que para definir mejor el sistema de referencia es común especificar el



datum/elipsoide de referencia. En el cuadro siguiente se toma como ejemplo dos coordenadas dadas en cuatro datums y elipsoides distintos y su resultado en la coordenada UTM:

DATUM/ELIPSOIDE	LATITUD			LONGITUD			UTM	
	°	'	“	°	'	“	X	Y
Datum ED50/Internacional	42	10	20N	5	30	20W	293040.2	4672020.2
WGS72/WGS72	42	10	20N	5	30	20W	293049.8	4671935.8
WGS84/WGS84	42	10	20N	5	30	20W	293049.7	4671937.1
NAD27/Clarke 1866	42	10	20N	5	30	20W	293044.0	4671937.3
NAD 83/Grs80	42	10	20N	5	30	20W	293049.7	4671937.1





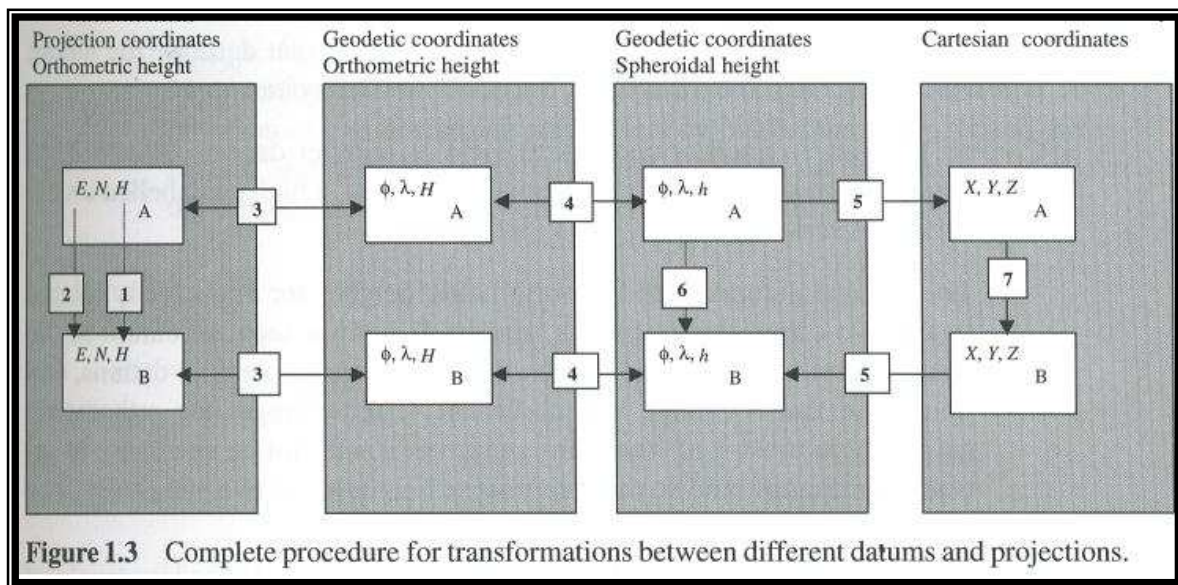
APÉNDICE D

ALGORITMOS DE CÁLCULO.

INTRODUCCIÓN.

Como vimos en puntos anteriores, podemos obtener coordenadas en diferentes sistemas y con diferentes valores según utilicemos un datum u otro. Para pasar de un sistema a otro se utilizan las denominadas *transformaciones*, operaciones que son abordadas en este apéndice.

En el gráfico adjunto se aprecia el proceso de cambio entre diferentes sistemas de coordenadas:



El propósito de éstas es pues, el de transformar coordenadas de un sistema a otro.

Para ello se han propuesto diferentes métodos. La elección de alguno de ellos dependerá de los resultados requeridos.

TRANSFORMACIÓN ENTRE SISTEMAS DE COORDENADAS.

La transformación de coordenadas provee parámetros para que un conjunto de coordenadas pueda estar representado con respecto a otro.

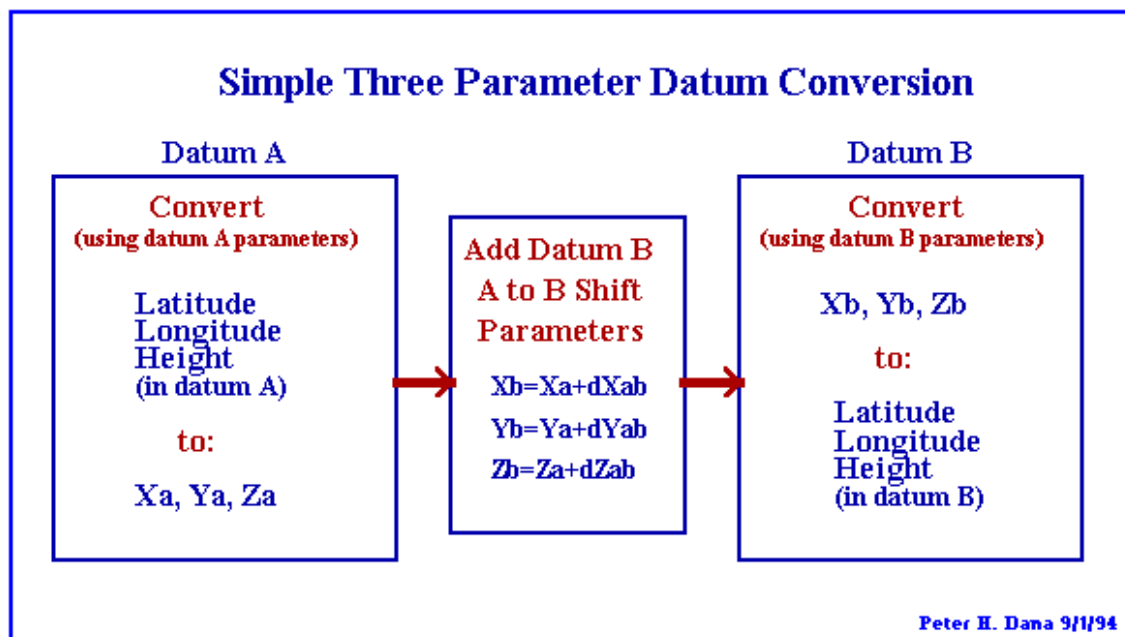
Esta sección proporciona una consideración general de la administración y aplicación de las transformaciones de coordenadas. La misma describe la forma de aplicar una transformación de datum y proyección de mapa y los ajustes horizontal y vertical. También describe cómo crear una proyección del plano.



Se necesita un proceso de calibración en el campo para definir los parámetros de transformación derivados de un conjunto de puntos. Dicho conjunto de puntos se coordina con respecto a dos sistemas:

- Coordenadas geodésicas WGS-84 Latitud, Longitud, Altura (LLH).
- Un sistema local con coordenadas de la cuadrícula Norte, Este, Elevación (NEE) específicas del proyecto.

El procedimiento básico de campo para la determinación de los parámetros de transformación es el mismo, independientemente del método a emplear. Primero, se debe contar con coordenadas en ambos sistemas de coordenadas (por ejemplo en WGS84 y en el sistema local) para tener por lo menos tres puntos comunes, aunque es preferible tener cuatro como mínimo. A mayor cantidad de puntos comunes incluidos en la transformación, se tendrá mayor oportunidad de tener redundancia y se podrán verificar los errores. Se consiguen puntos comunes midiendo los puntos con GPS, donde las coordenadas y las alturas ortométricas sean conocidas en el sistema local. (Por ejemplo, en los puntos de control existentes). De esta forma se pueden calcular los parámetros de transformación, utilizando alguno de los métodos de transformación.



Es importante notar que la transformación sólo se deberá aplicar a los puntos que se encuentren en el área delimitada por los puntos comunes en ambos sistemas. Los puntos fuera de esta área no deberán ser transformados utilizando los parámetros calculados, sino que deberán formar parte de una nueva área de transformación.

En los puntos siguientes se entra a ver algunos de los métodos de transformación.



TRANSFORMACIÓN DE ECEF WGS-84 A LLH WGS-84.

Cuando un receptor procesa las señales GPS, se producen las coordenadas con centro en la Tierra, fijadas en la Tierra (X , Y , Z). Luego es necesario transformarlas a coordenadas geodésicas más representativas (ϕ , λ , H).

Aquí ϕ representa la latitud geodésica, λ es la longitud y H es la altura perpendicular sobre el elipsoide WGS-84.

Primero definimos:

$$e^2 = 2f - f^2 \quad (1)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \phi}} \quad (2)$$

en donde f es el valor del achatamiento para la elipse de origen y a es el semi-eje mayor de dicha elipse y N es el radio elipsoidal u ondulación del elipsoide.

Los valores de las coordenadas ECEF son:

$$X = (N + H) \cdot \cos \phi \cdot \cos \lambda \quad (3)$$

$$Y = (N + H) \cdot \cos \phi \cdot \text{sen} \lambda \quad (4)$$

$$Z = [N \cdot (1 - e^2) + H] \cdot \text{sen} \phi \quad (5)$$

El problema inverso, el de transformar coordenadas ECEF a (ϕ , λ , H) se resuelve usando un proceso iterativo. Los valores de e^2 y N ahora usan los valores del achatamiento del elipsoide de destino y el semi-eje mayor:

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} (1 - e^2) \right] \quad (6)$$

luego itere:

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{Z + e^2 \cdot N \cdot \text{sen} \phi}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right] \quad (7)$$



$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (8)$$

si $45^{\circ}\text{S} < \phi < 45^{\circ}\text{N}$

$$H = \frac{\sqrt{X^2 - Y^2}}{\cos \phi} - N \quad (9)$$

o si $\phi > 45^{\circ}\text{N}$ ó $\phi < 45^{\circ}\text{S}$

$$H = \frac{Z}{\text{sen} \phi} - N \cdot (1 + e^2) \quad (10)$$

TRANSFORMACIÓN DE DATUM.

Una transformación de datum provee los parámetros necesarios para la conversión de un sistema de coordenadas geodésico a otro.

Se pueden aplicar diferentes tipos de transformaciones (de tres parámetros, siete, etc).

El cálculo de una transformación de datum de siete parámetros, viene dada por la expresión:

$$X = T + k \cdot R \cdot X' \quad (11)$$

en donde X' es una matriz de coordenadas ECEF Cartesianas 3-D o coordenadas locales Cartesianas, T es una matriz de parámetros de traslación, k es una matriz escalar y R de rotación.

En la mayoría de los casos, se mide X' y T , k y R se definen por el usuario.

Para calcular una transformación de datum de tres parámetros, se necesitarán pares de coordenadas LLH WGS-84 y L'L'H' local.

En el caso común de un punto, los tres parámetros de traslación son solamente los componentes del vector del vector ECEF que conecta el par ECEF derivado de LLH WGS-84 y L'L'H' local.

En el caso poco común, los parámetros de traslación son los componentes del vector promedio. Éste está representado como:

$$AX + W = 0 \quad (12)$$



donde la solución:

$$X = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$W = \begin{bmatrix} X_1 - X'_1 \\ Y_1 - Y'_1 \\ Z_1 - Z'_1 \\ X_2 - X'_2 \\ Y_2 - Y'_2 \\ \dots \end{bmatrix} \quad (14)$$

en donde X_n es el valor de la coordenada ECEF derivada de la L'L'H' local del punto n 3D en la lista y X'_n , es el valor X de la coordenada ECEF derivada de la LLH WGS-84 del punto n 3D y:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \dots \end{bmatrix} \quad (15)$$

se denomina la matriz de Molodensky.

Consulte más información en: *Mediciones de satélites GPS (GPS Satellite Surveying) por A. Leick (John Wiley & Sons, 1995).*

PROYECCIÓN DEL MAPA.



Una proyección del mapa define la relación entre la superficie del elipsoide local ($L'L'H'$) y un plano. Generalmente, los parámetros de proyección del mapa se basan en un modelo cartográfico conformal local.

Consulte más información sobre las proyecciones del mapa en: *Proyecciones del mapa —Un manual de trabajo (Map projections —A Working Manual)* por J.P. Snyder (U.S. Geological Survey Professional Paper 1295, U.S. Government Printing Office, Washington, 1987).

PROYECCIÓN PLANA.

La definición de una proyección plana se realiza conociendo los siguientes parámetros:

- Latitud, Longitud y Altura del punto de origen.
- Norte, Este y Elevación del punto de origen.
- Factor de escala.
- Rotación.
- Radio del elipsoide de la proyección.
- Achatamiento del elipsoide de la proyección.

Antes de que comience la transformación de las coordenadas elipsoidales a coordenadas planas, la altura elipsoidal en el punto de origen se sustituye por la altura del punto. La conversión de las coordenadas elipsoidales a coordenadas ECEF puede entonces tener lugar.

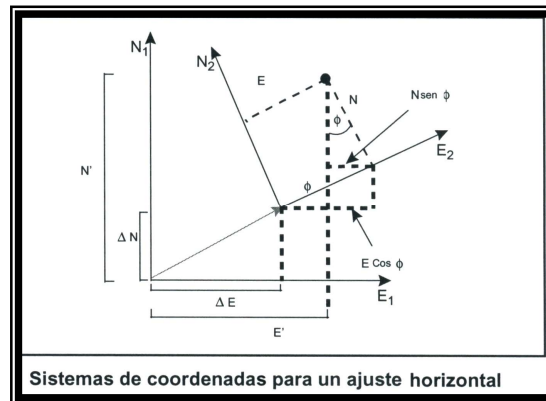
El punto de origen también se coordina con respecto al marco de referencia del ECEF, por lo tanto se podrá calcular un vector ECEF entre el punto de origen y el punto en cuestión. Una escala de proyección y rotación relativa al punto de origen se aplicará al vector dX, dY, dZ . Esto resultará en valores dX', dY', dZ' transformados. Este nuevo vector se añade al NEE del punto de origen. El residual entre la altura LLH del punto y la altura LLH del origen ajustará la elevación del NEE resultante.

AJUSTE HORIZONTAL.

Quizá sea necesario minimizar la discrepancia entre las coordenadas de control fijo locales ($NE_{control}$) y las coordenadas de la cuadrícula proyectadas ($N'E'$). El ajuste horizontal resuelve las traslaciones de los parámetros en el Norte y Este ($\Delta N, \Delta E$), una rotación ϕ y un factor de escala k usando dos conjuntos de coordenadas planas: uno

convertido de medidas en el campo y el otro de una lista de control.

La figura adjunta muestra la transformación entre dos sistemas de coordenadas:



En el caso común de un punto, los parámetros de traslación son solamente los componentes Norte y Este del vector entre los dos valores coordinados. El factor de escala es de uno y el valor de rotación es de cero.

Para dos o más puntos, el cálculo del ajuste horizontal usa una transformación sencilla de cuatro parámetros. Esto se resuelve por medio de dos traslaciones (ΔN , ΔE), una rotación (ϕ) y un factor de escala (k) entre los pares de coordenadas.

La geometría entre los dos sistemas de coordenadas resulta en dos ecuaciones de transformación:

$$N' = aN + bE + \Delta N \quad (16)$$

$$E' = -bN + aE + \Delta E \quad (17)$$

en donde $a = k \cdot \cos\phi$ y $b = k \cdot \sin\phi$ se usan para simplificar la representación de la matriz y ΔN y ΔE representan los cambios de los ejes N y E en el sistema N' y E'.

Los puntos comunes en ambos sistemas de coordenadas se utilizan en un ajuste por cuadrados mínimos para resolver los cuatro parámetros desconocidos (a , b , ΔE y ΔN).

Una vez que las estimaciones de a y b se han determinado, la rotación y escala entre los dos sistemas se calculará por la expresión:

$$\phi = \tan^{-1}(a/b) \quad (18)$$

$$k = \sqrt{a^2 + b^2}$$



Consulte más información sobre el ajuste horizontal en: *Observaciones y cuadrados mínimos (Observations and Least Squares)* por E. Mikhail (John Wiley & Sons, 1982).

AJUSTE VERTICAL.

El ajuste vertical se puede realizar por mínimos cuadrados. Este ajuste requiere alturas WGS-84 medidas y elevaciones de control.

En el caso común de un punto, el ajuste consiste en un cambio de altura constante solamente. Para dos o más puntos, también se calculará una inclinación en el Norte y Este.

Los parámetros del plano inclinado se determinarán resolviendo la ecuación de la matriz:

$$A \cdot X = B \quad (19)$$

en donde:

$$X = \begin{bmatrix} \Delta H \\ \Delta E \\ \Delta N \end{bmatrix} \quad (20)$$

siendo los componentes el cambio de altura constante y la inclinación Este y Norte (con relación a un cambio de altura por unidad distancia Este o Norte) y la matriz del diseño:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & E_1 - E_1 & N_1 - N_1 \\ 1 & E_2 - E_1 & N_2 - N_1 \\ & \dots & \\ 1 & E_n - E_1 & N_n - N_1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

en donde E_n N_n son las coordenadas del punto n como fuera derivado del conjunto de datos WGS-84.

E_1 N_1 son las coordenadas del punto de origen del ajuste (El punto de origen puede ser cualquiera de los puntos n .)

$$B = \begin{bmatrix} H'_1 - H_1 \\ H'_2 - H_2 \\ \dots \\ H'_n - H_n \end{bmatrix} \quad (22)$$

donde $H'_n - H_n$ es la diferencia en elevación entre el valor para el punto n y el valor derivado del conjunto de datos WGS-84.



FACTOR DE ESCALA DE LA PROYECCIÓN.

El factor de escala de la proyección se calcula de la siguiente forma:

$$FE = \frac{N + h}{N}$$

Siendo:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \phi}}$$

FE = factor de escala de la proyección.

N = radio elipsoidal.

h = elevación media (elevación de referencia).

a = semieje mayor.

e^2 = excentricidad².

ϕ = latitud de origen de la proyección.



APÉNDICE E

GLOSARIO DE TÉRMINOS.



A

ACHATAMIENTO

Razón entre la diferencia de semieje mayor y semieje menor de una elipse, y el semieje mayor de la elipse.

$$f = (a - b)/a = 1 - e^2 \text{ donde}$$

a = Semieje mayor

b = Semieje menor

e = Excentricidad

ACIMUT

Ángulo horizontal, medido en el sentido de las manecillas del reloj, a partir de una dirección (como el Norte).

AJUSTE

El ajuste de observaciones de medición es el proceso de corregir observaciones para producir los mejores valores finales de los valores desconocidos. No se puede realizar un ajuste a menos que una serie de observaciones siendo ajustadas contengan redundancia. El proceso de ajuste también ayuda a encontrar y eliminar errores en las observaciones y produce indeterminaciones estadísticas que se pueden usar para estimar la precisión final de la medición realizada.

Ajuste con restricción mínima

Al realizar un ajuste por mínimos cuadrados de los datos GPS, las matemáticas requieren que las coordenadas horizontales de al menos un punto y las coordenadas verticales de al menos un punto (puede o no ser el mismo punto) se mantengan fijas (restricciones) con valores conocidos o arbitrarios. Una posición horizontal y una posición vertical es un set de restricción mínima. Se entiende por ajuste con restricción mínima, un ajuste realizado manteniendo fijo un set de coordenadas. Ajuste con restricción parcial En un ajuste con restricción parcial, el número de restricciones aplicadas está entre lo que se requiere para un ajuste con restricción mínima y lo que se necesita para un ajuste con restricción completa. Un ejemplo sería una red que contenga dos puntos de control horizontal y sólo un punto de control vertical. Restringir estos puntos daría como resultado un ajuste parcialmente restringido, donde no se podrían determinar los parámetros de transformación de Dátum.

Ajuste con restricción total

Un ajuste con restricción total es aquél cuando se ha restringido un control suficiente para permitir la solución para todos los parámetros de Dátum. Si todos los parámetros de Dátum se resuelven para 2 puntos de control horizontal y 3 puntos de control vertical, es suficiente para producir un ajuste totalmente restringido.

Almanaque

Datos transmitidos por un satélite GPS los cuales incluyen información de la órbita de todos los satélites, corrección de reloj y parámetros de retraso atmosférico. Estos datos se



usan para facilitar un rastreo rápido de satélites. La información de órbita es una sub serie de efemérides con precisión reducida.

ALMANAQUE, DATOS

El satélite GPS transmite como parte del mensaje, información referente a las órbitas de los satélites, la cual actualizada continuamente, nos permite conocer de antemano la geometría de la constelación. Dicha información constituye el Almanaque.

ALTURA ELIPSOIDAL

Distancia vertical por sobre un elipsoide de referencia para un punto específico. Los receptores GPS calculan las alturas elipsoidales sobre el elipsoide de referencia WGS84. Altura geodésica (altura elipsoidal).

ALTURA GEOIDAL

Véase Ondulación Geoidal

ALTURA ORTOMETRICA

Distancia de un punto sobre el geoide medido a lo largo de la línea de la plomada a través de dicho punto (altura sobre el nivel del mar). Véase también ELEVACIÓN

ALTURA INCLINADA

Distancia desde la marca de medición al extremo del plano de la antena. Al usar la altura inclinada y el radio de la antena GPS, se puede determinar la altura vertical real o la altura de la antena. La altura del instrumento se usa en el procesamiento para determinar la ubicación de la marca de medición en el suelo.

AMBIGDOP

Cantidad calculada usada para determinar la capacidad del postproceso de calcular las ambigüedades enteras.

AMBIGÜEDAD

Número entero de ciclos desconocido de la fase portadora reconstruida contenido en un set intacto de mediciones, desde el paso de un satélite en un receptor. También conocido como ambigüedad de entero.

ANCHO DE BANDA

Medida del ancho del espectro de la señal expresada en Hz.

ANGULO DE CORTE DE ELEVACIÓN (MÁSCARA DE ELEVACIÓN)

Característica ajustable de los receptores GPS que especifica que un satélite debe estar a un número específico de grados por sobre el horizonte, antes que las señales emitidas por el satélite se puedan usar. Los satélites en ángulos de baja elevación (cinco grados o menos),



tienen menor fuerza en su señal y son más propensos a perder enlaces, causando así soluciones ruidosas.

ANTENA

La antena es el componente de un sistema GPS que graba una señal análoga del satélite GPS y la envía al receptor GPS para su procesamiento. Existe una variedad de antena GPS, desde los aparatos de microbandas más simples a las antenas de anillos concéntricos (choke ring) que mitigan los efectos de rebote de señal.

ANTI-SPOOFING (AS)

Encriptación del código P. La forma de encriptarlo es sumando un código W secreto para convertirse en un código Y.

ARCHIVOB

Archivo binario de datos generado por el receptor que contiene fase portadora, fase de código y posición calculada del receptor para cada época, junto con señales de salud que indican la confiabilidad de las mediciones.

ARCHIVOD

Archivos descriptor de ASCII que contiene datos de características y atributos bajados desde el receptor. Este archivo da el tiempo en segundos de la semana (medido desde la medianoche del día sábado).

ARCHIVOE

Archivo binario de efemérides bajado desde un receptor. A diferencia de un archivo de almanaque, el cual proporciona información de los satélites, un archivo de efemérides se aplica sólo a los satélites que enviaron datos de efemérides. El archivo es un registro de un mensaje de emisión que comprende parámetros de órbita exactos y correcciones de tiempo de todos los satélites rastreados durante el período de grabación de datos. Esta información se usa para calcular la posición satelital. Los datos de efemérides son descifrados y configurados en una estructura legible.

ARGUMENTO DEL LATITUD

Es la suma de la anomalía verdadera y del argumento del perigeo.

ARGUMENTO DEL PERIGEO

Es el ángulo medido sobre el plano de la órbita desde el nodo ascendente hasta punto del perigeo.

ASCII

American Standard Code for **Information** Interchange. Set de caracteres (letras, números, símbolos) usados para desplegar y transferir datos digitales en el formato inglés estándar.



B

BANDA L

La banda de la frecuencia de radio se extiende desde 390 Mhz. a 1550 Mhz. La frecuencia portadora de L1 y L2 son transmitidas en esta banda.

BAUDIO

Unidad de velocidad de transferencia de datos desde un dispositivo digital binario a otro, utilizada al describir las comunicaciones en serie; por lo general, un bit por segundo.

C

CADENA

El término cadena puede aplicarse a posicionamientos estáticos, STOP&GO y cinemáticos. Una cadena contiene el conjunto de datos suficiente de la observación para calcular las ambigüedades

CANAL

Hardware de un receptor que permite al receptor detectar, rastrear y enlazar continuamente la señal de un satélite. Mientras más canales disponibles tiene el receptor, más grande es el número de señales satelitales que un receptor puede rastrear y enlazar simultáneamente.

CENTRO DE LA FASE

El centro de la fase de una antena GPS es la ubicación física de la antena, donde se observan las señales GPS. Esta es la ubicación física donde se determinará la posición calculada. Las antenas GPS son manufacturadas para ubicar el centro de la fase lo más cerca posible del centro físico de la cubierta de la antena. Para determinar la posición de una marca de medición en el suelo, la antena GPS (y así el centro de la fase), se centra sobre la marca y se mide la altura del instrumento hasta la marca de medición para usar durante el procesamiento.

CHIP

Intervalo de tiempo entre un cero o un uno en código de pulso binario.

CHIP RATE

Numero de chips por segundo.

CINEMÁTICO, LEVANTAMIENTO

En este tipo de Levantamiento, se coloca un receptor en un punto fijo denominado estación de referencia, y justo después de una operación denominada Calibración que toma un par de minutos, un receptor móvil denominado Rover, mide las coordenadas relativas al punto de referencia con sólo varios segundos de observación, por lo que constituye un método de alto rendimiento.

**CIERRE**

Ver Error de Cierre.

CÍRCULO MÁXIMO

Término empleado en navegación. Es la forma más corta de conectar dos puntos.

CLOCK OFFSET

Diferencia constante en el tiempo de lectura de dos relojes.

CMR

Registro de Medida Compacto (Compact Measurement Record). Un mensaje de medida del satélite que el receptor base transmite y que los levantamientos RTK utilizan para calcular un vector de línea base preciso desde la base al móvil.

CÓDIGO.

Es un sistema utilizado para la comunicación en el cual cadenas de ceros y unos, arbitrariamente seleccionadas, son asignados para definir mensajes.

CÓDIGO C/A

Coarse/Acquisition (o Clear/Acquisition), código modulado en la señal GPS L1. Este código es una secuencia de 1023 modulaciones de doble fase binarias pseudoaleatorias a razón de 1.023 MHz, teniendo así un período de repetición de código de un milisegundo. Este código fue seleccionado para proporcionar buenas propiedades de rastreo.

CÓDIGO P

Código protegido o preciso, usado en las portadoras L1 y L2. Este código se hará disponible por medio del DOD, sólo para usuarios especializados. El código P es una secuencia muy larga de modulaciones bifásicas binarias pseudoaleatorias en el portador GPS, a un rango de 10.23 MHz, lo cual no se repite por alrededor de 38 semanas. Cada satélite usa un segmento de una semana de este código, el cual es único para cada satélite GPS y es reconfigurado cada semana

CÓDIGO Y

Versión encriptada del código P, que se transmite mediante un satélite GPS al activarse el modo anti-spoofing. $P + W = Y$ (secreto).

COMPARACIÓN DEL RETRASO

Técnica mediante la cual el código recibido (generado por el reloj del satélite) se compara con el código interno (generado por el reloj del receptor) y este último se adapta en tiempo hasta que se igualen los dos códigos.

CONFIGURACIÓN DE LOS SATÉLITES

Estado o condición de la constelación de satélites en un momento determinado, con relación a un usuario o a un grupo de usuarios.



CÓNICA CONFORME DE LAMBERT

Uno de las proyecciones de mapas más ampliamente usadas. Proyección muy popular para las áreas que están principalmente en extensión esteoeste. Retiene conformidad (la escala es la misma en todas las direcciones en cualquier punto del mapa) . Las distancias son reales sólo a lo largo de uno (caso tangencial) o dos paralelos estándar (caso secante). Razonablemente exacto en otras parte en regiones limitadas. Las direcciones son razonablemente exactas. Las distorsiones en formas y áreas son mínimas cerca de los paralelos estándar, pero aumentan al alejarse de ellos. Las formas en mapas de escala de áreas pequeñas son esencialmente reales. La distorsión es más pequeña para las latitudes medias. En los Estados Unidos, la proyección Cónica Conforme de Lambert es la base que se usa en el Sistema de Coordenadas Planas del Estado (SPCS) para estados con extensión este oeste predominante.

CONSTELACIÓN

Conjunto de satélites GPS en órbita. La constelación GPS consiste en 24 satélites en órbitas circulares de 12 horas a una altitud de 20.200 kilómetros. En la constelación nominal, cuatro satélites están interlineados en cada uno de los seis planos orbitales. La constelación fue seleccionada para provocar una alta probabilidad de cobertura satelital.

CONTROL

Al realizar una medición donde una red de puntos recientemente instalada debe unirse a una red local, regional o nacional, se debe incorporar los puntos de control de esta red a la medición. El objetivo es restringir las coordenadas conocidas de estos puntos de control en el ajuste para determinar la posición de nuevos puntos en referencia a la red de control. Si por alguna razón las coordenadas de uno de los puntos de control están incorrectas (error en el ingreso o límite distorsionado), el ajuste se distorsionará al restringir este punto. Para evitar esto, se debiera revisar la exactitud relativa de los puntos de control antes de restringirlos en el ajuste. El control es el proceso que se usa para revisar la exactitud relativa de los puntos de control.

CIO (CONVENTIONAL INTERNATIONAL ORIGIN)

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

COORDENADA DE CONTROL

Al procesar los datos GPS grabados simultáneamente entre dos puntos se requiere que las coordenadas de uno de los dos puntos estén fijos. Normalmente, estas son las coordenadas conocidas de uno de los dos puntos. Estas coordenadas se denominan coordenadas de control.

COORDENADAS CARTESIANAS

Valores que representan la ubicación de un punto en un plano, en relación con tres ejes de coordenadas mutuamente perpendiculares, las cuales intersectan un punto u origen en común. El punto se localiza al medir su distancia desde cada eje a lo largo de un paralelo.

COORDENADAS CARTESIANAS GEOCÉNTRICAS

Coordenadas x, y, z que definen la posición de un punto con respecto al centro de la tierra.



COORDENADAS DE GRILLA

Coordenadas de un punto en la tierra física basado en un sistema de grilla de dos dimensiones. Normalmente se nombra estas coordenadas como Este y Norte.

COORDENADAS DE GRILLA LOCAL

Coordenadas de un punto en la tierra física basadas en un sistema de grilla de dos dimensiones definido arbitrariamente. Estas coordenadas normalmente se nombran como Este y Norte.

COORDENADAS GEODÉSICAS

Sistema de coordenadas donde la posición de un punto se define usando los elementos latitud, longitud y altura geodésica.

D

DATOS COMPACTADOS

Datos crudos compactados cada determinado intervalo de tiempo (tiempo de compactación) para formar una sola observación (medición), para su posterior registro.

DATOS CRUDOS

Datos GPS que no han sido procesados o diferencialmente corregidos.

DÁTUM

Ver Dátum Geodésico.

DÁTUM GEODÉSICO

Cantidad numérica o geométrica o serie de cantidades que sirven como referencia o base para otras cantidades. En la medición, se debe considerar dos tipos de dátum: dátum horizontal, el cual forma la base para los cálculos de posiciones horizontales que consideran la curvatura de la tierra. Y dátum vertical, al cual se refieren las elevaciones. Históricamente, los dátum horizontales eran definidos por un elipsoide y la relación entre el elipsoide y un punto en la superficie topográfica establecido como origen del dátum. Generalmente (pero no necesariamente), esta relación se puede definir por cinco cantidades: latitud geodésica, longitud y altura del origen, los dos componentes de la desviación del dátum vertical en el origen y el acimut geodésico de una línea, desde el origen hasta algún punto. El sistema GPS usa WGS84 el cual, como en los dátum más recientes, es geocéntrico y fijo a la Tierra (ECEF).

DATUM LOCAL

El Sistema Geodésico que se usa oficialmente en una región. Emplea una elipsoide determinada que por un punto específico del cual se conocen con exactitud su deflección astronómica y su gravedad. Debido a que el centro de masas del modelo Local, no coincide



con el centro de masas de la tierra cómo en el WGS-84, las coordenadas en Datum Local requerirán de transformaciones para convertirlas a WGS-84.

DETECCIÓN DE ERROR

Método o series de métodos que detectan errores automáticamente.

DESLIZAMIENTO DE CICLO O CYCLE SLIP

Cuando la señal proveniente del satélite se pierde en forma momentánea, también se pierde el control de fase y puede en ocasiones invalidar una medición. Existen receptores que integran dispositivos de detección y corrección de los deslizamientos de ciclo. Ver Dilución de Precisión.

DÍA SIDÉREO

Intervalo de tiempo entre dos tránsitos superiores sucesivos del equinoccio Vernal.

DÍA SOLAR

Intervalo de tiempo entre dos tránsitos superiores sucesivos del sol.

DILUCIÓN DE PRECISIÓN (DOP)

La geometría de los satélites visibles es un factor importante para obtener resultados de alta calidad. La geometría cambia con el tiempo debido al movimiento relativo de los satélites. La medición de la geometría es el factor Dilución de Precisión (DOP).

DOP es una descripción del efecto de la geometría satelital en los cálculos de tiempo y posición. Los valores considerados 'buenos' son pequeños, p.ej. 3. Los valores mayores que 7 se consideran pobres. Así, un DOP pequeño se asocia a los satélites ampliamente separados.

Los términos estándar DOP incluyen:

Dilución de Precisión en Posición (PDOP)

Ver Dilución de Precisión.

Dilución de Precisión en Tiempo (TDOP)

Vea Dilución de Precisión.

Dilución de Precisión Geométrica (GDOP)

Ver Dilución de Precisión

GDOP

Dilución de Precisión Geométrica. GDOP es una medición compuesta que refleja los efectos de la geometría satelital en los cálculos de posición y tiempo.

PDOP

Dilución de Precisión en Posición PDOP refleja los efectos de la geometría satelital en los cálculos de posición.

HDOP

Dilución de Precisión Horizontal HDOP refleja los efectos de la geometría satelital en el componente horizontal de los cálculos de posición.

VDOP

Precisión de Precisión Vertical VDOP refleja los efectos de la geometría satelital en el componente vertical del cálculo de posición.



TDOP

Dilución de Precisión de Tiempo TDOP refleja los efectos de la geometría satelital en los cálculos de tiempo.

DISPONIBILIDAD SELECTIVA (SA)

Degradación de la precisión de la posición del satélite para usuarios civiles por el DoD.

DOPPLER:

Es el cambio en la frecuencia de una señal de radio debido al movimiento relativo del transmisor al receptor. El efecto doppler es lo que hace cambiar el tono agudo del silbato de un tren al aproximarse y al alejarse de nosotros.

E

ECEF

(ECEF) Sistema de coordenadas cartesianas a mano derecha, donde el eje X pasa a través de la intersección del primer meridiano (Greenwich) con el ecuador, el eje Z es coincidente con la posición intermedia del eje rotatorio y el eje Y es ortogonal con los ejes X y Z.

ECUATORIAL DE MERCATOR

Proyección de Mercator en el cual los meridianos aparecen como líneas verticales igualmente espaciadas y los paralelos dibujados como líneas horizontales más distantes con el aumento de latitud. Así es como se mantiene la relación correcta entre escalas de latitud y longitud.

Se usa en la navegación y los mapas de regiones ecuatoriales. Las distancias sólo son reales a lo largo del ecuador pero son razonablemente correctas dentro de 15 grados del ecuador. En forma alternativa, dos paralelos particulares se pueden corregir en escala, en vez del ecuador. Las áreas y las formas de áreas grandes se distorsionan, aumentando al alejarse del ecuador y es extremo en las regiones polares. Sin embargo es una proyección conforme.

EFEMÉRIDES

Lista de posiciones o ubicaciones de un objeto celestial como una función de tiempo. Disponible como “efemérides transmitidas” o como “efemérides precisas” postprocesadas.

EFEMÉRIDES, DATOS

Los Datos del Efemérides constituyen la información de la órbita de un satélite particular, transmitidos por el propio satélite.

EGM96

El modelo de geoide EGM96 es un modelo global en una grilla de 0.25 x 0.25 grados. Fue creado desde el modelo armónico esférico EGM96 completo hasta grado y orden 360.



ELEMENTOS ORBITALES KEPLERIANOS

Permiten la descripción de cualquier órbita astronómica:

a: semi-eje mayor

e: excentricidad

w: argumento de perigeo

W: ascensión recta del nodo ascendente

i: inclinación

n: anomalía verdadera

ELEVACIÓN

Altura sobre un dátum de referencia. El dátum de referencia puede ser un elipsoide (elevación elipsoidal), un geoide (elevación ortométrica), sobre el nivel del mar o sobre un plano de referencia definido localmente.

ELEVACIÓN ORTOMÉTRICA

Altura de un punto sobre el geoide. Elevación ortométrica a menudo es considerada idéntico a elevación al nivel del mar.

Elipse de error (absoluto y relativo) Todas las mediciones contienen error. La posición calculada de un punto jamás es la posición real, ya que las mediciones usadas para determinar la posición contienen error. Una elipse de error es una estimación estadística de la precisión de la posición de un punto. Más específicamente, es una región con forma elíptica alrededor de un punto que representa el área dentro de la cual hay cierta probabilidad que la posición real del punto sea localizada. Por ejemplo, una elipse de error con un 95% de nivel de confianza define el área dentro de la cual la posición real del punto tiene un 95% de probabilidad.

ELIPSOIDE

En la geodesia, a menos que se especifique de otra forma, es una cifra matemática formada al girar una elipse alrededor de su eje menor. A menudo se usa intercambiamente con un esferoide. Dos cantidades definen un elipsoide; estas son normalmente proporcionadas como la longitud del semieje mayor, a , y el achatamiento, $f = (a - b)/a$, donde b es la longitud del semieje menor.

ENTEROS

Ver Ambigüedad

ÉPOCA

Marca de tiempo para un intervalo de medición o frecuencia de datos, por ejemplo, 10 segundos.

Es una muestra o medición básica de la señal. El contador de épocas, cuenta la cantidad de veces que se tomado una medición. El tiempo entre época suele variar desde 1 a 99 segundos. Siendo de 15 segundos el más frecuente en la modalidad estática de 5 segundos para la Cinemática y de 1 segundo para RTK.

ERROR

Error causado por confusión, falta de cuidado o ignorancia, incluyendo, pero no limitado a:



transposición de números al escribirlos en HI o al leer el HI incorrectamente, ocupando el punto equivocado.

ERROR DE CIERRE

Al cerrar una línea transversal o un circuito de nivel en el punto inicial, un error en las observaciones siempre producirá dos posiciones diferentes para el punto inicial, la posición original y la posición calculada usando las medidas de la medición. Por ejemplo, si la elevación del punto inicial para una ejecución de nivel es 100.000 metros, la elevación final del circuito debiera ser 100.000 metros si el circuito finaliza en el punto inicial. Sin embargo, debido al error de medición, la elevación final puede ser 100.060 metros. La diferencia entre las dos elevaciones es el error del cierre. A menudo este error también se refiere al cierre.

ERROR DE MULTITRAYECTORIA

Error de posicionamiento GPS que es el resultado del uso de señales satelitales reflejadas (multitrayectoria) en el cálculo de posición.

Error Medio Cuadrático (RMS)

Medida estadística de la dispersión de posiciones calculadas acerca de una solución de posición de un “mejor ajuste”. Se puede aplicar el RMS a cualquier variable casual.

ERRORES ALEATORIOS

Errores normalmente pequeños, impredecibles causados por imperfecciones en el equipamiento u operadores.

Error Estándar (desviación estándar) El objetivo de cualquier medición es encontrar el valor real. Debido a que todas las mediciones contienen error, jamás se observa el valor real. Para calificar las mediciones, se deriva una estimación de error para cada una de ellas. Una estimación de error estándar indica que hay un 66% de probabilidad de que el valor real de una medición esté dentro del rango generado al sustraer y añadir la estimación del error para el valor medido. Por ejemplo, si una medición de 50.5 metros tiene un 95% de error de ± 0.1 metros, entonces hay un 95% de probabilidad de que el valor real esté entre 50.4 50.6 metros. El valor 66% se deriva de una distribución normal. Para una variable normalmente distribuida, el error estándar es el límite dentro del cual están el 66% de las muestras de las variables.

ESFEROIDE

Ver elipsoide.

ESTACIÓN

Ubicación o punto de la medición donde se graban los datos GPS.

ESTACIÓN BASE

En posicionamiento diferencial, extremo de la línea base que se asume conocido y su posición fija.

ESTACIÓN DE REFERENCIA

Punto (estación) donde la estabilidad de la corteza



o los constreñimientos actuales de la marea, se
 Glosario8 Guía de Usuario del Procesador Locust han determinado a través de observaciones precisas. Entonces se usa como un estándar de comparación de observaciones simultáneas en una o más estaciones subordinadas. Algunas de estas se conocen como Estaciones de Referencia de Operación Continua (CORS), y transmiten datos de referencia en una base de 24 horas. Los datos de estas estaciones están disponibles para el uso público y se pueden recuperar en aumentos de una hora desde internet: http://www.ngs.noaa.gov/cors/cors_data.html.

ESTE

Distancia hacia el este desde la línea de grilla nortesur que pasa a través del origen de cada sistema de grilla.

ESTEREOGRÁFICA OBLICUA

Proyección estereográfica con el origen centrado a una latitud diferente al norte o sur de un polo.

ESTEREOGRÁFICA POLAR

Proyección de puntos en una superficie de una esfera tangente al plano en uno de sus polos. La proyección de mapa más común usada para áreas polares de la tierra. Usada para hacer mapas de áreas de gran tamaño del continente de similar extensión en todas las direcciones. El aspecto usado para mapas topográficos en latitudes sobre 80 grados. Las direcciones son reales sólo desde el punto central de la proyección. Las escalas aumentan desde el punto central. Cualquier línea recta que pase a través del punto central es un gran círculo. La distorsión de las áreas y las formas grandes aumentan desde el centro. El mapa es conforme y perspectivo, pero no igual al área o al equidistante.

EXACTITUD RELATIVA

Exactitud estimada de la posición de un punto en relación a otro punto. La exactitud de las mediciones a menudo se determina al examinar la exactitud relativa de puntos establecidos por las mediciones. Por ejemplo, una especificación de exactitud de 1 parte en 100.000 es una especificación de exactitud relativa. Esta especificación de exactitud define el error permitido entre dos puntos, basada en la distancia que hay entre ellos.

EXACTITUD RELATIVA HORIZONTAL

Componente horizontal de la exactitud relativa entre dos puntos. Ver Exactitud Relativa.

EXACTITUD RELATIVA VERTICAL

Componente vertical de la exactitud relativa entre dos puntos. Ver Exactitud Relativa.

EXCENTRICIDAD

Distancia desde el centro de una elipse hacia el foco de su semi-eje mayor.

$$e = (1 - b^2/a^2)^{1/2}$$

donde a y b son el semi-eje mayor y semi-eje menor, respectivamente, de la elipse.



F

FACTOR DE ELEVACIÓN (FACTOR NIVEL DEL MAR)

El factor de elevación es un ajuste de escala aplicado a las mediciones de distancias para reducirlas a la superficie del elipsoide. Este es el primer paso para la conversión de distancias medidas a distancias de grilla. Después que se reduce la distancia medida a una distancia elipsoidal, es puesta en escala nuevamente por el factor grilla, para producir una distancia de grilla.

FACTOR DE ESCALA

El factor de escala es un ajuste de escala aplicado a distancias elipsoidales para reducir las distancias a distancias de grilla. Este es el segundo y último paso para convertir distancias medidas en distancias de grilla. El primer paso es reducir las distancias medidas a distancias elipsoidales aplicando el factor de elevación.

FASE

Reconstrucción de la fase portadora.

FASE DE CÓDIGO

Término usado en referencia a los datos C/A o al *Código P*.

FASE DEL PORTADOR

La fase del portador L1 o L2 de una señal GPS, medida por un receptor mientras enlaza la señal (también conocido como Doppler integrado).

FECHA DEL CALENDARIO JULIANO

Número de días que han transcurrido desde el primero de enero de 4713 A. C. en el calendario juliano. La hora GPS cero, es 2,444,244.5.

FIRMWARE

Centro electrónico de un receptor en el cual, instrucciones codificadas referentes a la función del receptor y (a veces) algoritmos de procesamiento de datos, son incrustados como porciones del sistema de circuitos interno.

FRECUENCIA BATIDA

Es la frecuencia obtenida a partir de la mezcla de dos frecuencias adicionales. La frecuencia batida es igual a la suma o a la diferencia de las frecuencias originales.

FRECUENCIA DEL PORTADOR

Hardware de un receptor que permite al receptor detectar, enlazar y rastrear continuamente la señal de un satélite. Mientras más canales disponibles tenga el receptor, mayor es el número de señales satelitales que puede rastrear y enlazar simultáneamente.

FRECUENCIA FUNDAMENTAL

Oscilación de alta precisión generada en el oscilador del satélite. Esta frecuencia



fundamental es de 10,23 MHz.

FRECUENCIA DOBLE

Un tipo de receptor que utiliza señales L1 y L2 de los satélites GPS. Un receptor de doble frecuencia puede calcular fijos de posición de mayor precisión en función de mayores distancias y bajo condiciones más adversas puesto que compensa los retrasos ionosféricas.

FRECUENCIA SIMPLE

Tipo de receptor que sólo utiliza la señal GPS L1. no hay compensación de los efectos ionosféricas.

G

GDOP (GEOMETRIC DILUTION OF PRECISION)

Este es un factor que indica la calidad de la medición al instante de realizarse. Menor el factor, mejor la calidad de la medida. El factor está asociado al volumen de un tetraedro formado desde el receptor a cuatro satélites. Mayor el Volumen, menor el factor y mejor la precisión.

GEOCÉNTRICO

Relacionado con el centro de la Tierra.

GEODESIA

Ciencia que estudia el tamaño y la forma de la Tierra.

GEOIDE

Superficie basada en la gravedad, usada para representar de la mejor forma la superficie física de la tierra. El centro del geoide coincide con el centro real de la tierra y su superficie es una superficie equipotencial, que significa que en cualquier punto el geoide es perpendicular a la dirección de la gravedad. Se puede visualizar el geoide al imaginar que la tierra está completamente cubierta de agua. Esta superficie de agua es una superficie equipotencial, ya que el agua fluye para compensar cualquier diferencia que ocurra.

GEOIDE96

Modelo de geoide más actual que cubre los Estados Unidos, Puerto Rico y las Islas Vírgenes. El modelo GEOIDE96 se calculó en Octubre de 1996 usando más de 1.8 millones de valores de gravedad terrestre y marina. El resultado es una grilla de altura de geoide gravimétrica con 2' x 2' en latitud y longitud. El modelo GEOIDE96 fue desarrollado para apoyar la conversión directa entre las alturas elipsoidales del sistema GPS NAD83 y las alturas ortométricas del sistema GPS NAVD88.

GPS DIFERENCIAL (DGPS)

Técnica por medio de la cual los datos de un receptor en una ubicación conocida se usan para corregir los datos de un receptor ubicado en una posición desconocida. Las correcciones diferenciales se pueden aplicar en tiempo real o por postproceso. Debido a que la mayoría de los errores en el sistema GPS son comunes para los usuarios en un área



extensa, la solución corregida DGPS es significativamente más exacta que una solución autónoma normal.

GRADÍCULA

Cuadrícula plana que representan las líneas de Latitud y Longitud de un elipsoide.

GREENWICH MEAN TIME (GMT)

El tiempo de referencia para todo el mundo.

GSD95

GSD95 es el modelo de geoide canadiense más reciente. Es un mejoramiento del modelo anterior, GSD91, pero continúa usando el mismo formato, el mismo espaciado de grilla y el elipsoide de referencia GRS80 (usado para definir el dátum NAD83). El modelo GSD95 fue desarrollado para apoyar la conversión directa entre las alturas elipsoidales GPS NAD83 y las alturas ortométricas CVD28.

H

HARN

Red de Referencia de Alta Exactitud (High Accuracy Reference Network).

HORA GPS

Sistema horario bajo el cual está basado GPS. La hora GPS es un sistema horario atómico y está relacionado con el Tiempo Atómico Internacional de la siguiente forma:

Tiempo Atómico Internacional (IAT) = GPS + 19.000 seg Hora media de Greenwich (GMT) Hora basada en el Meridiano de Greenwich como referencia. En distinción de la hora basada en un meridiano local o del meridiano de una zona horaria.

HORA LOCAL

La hora local es igual al tiempo medio de Greenwich + huso horario.

HUSO HORARIO

Huso Horario = Hora Local – Tiempo medio de Greenwich (GMT). Nótese que el Tiempo medio de Greenwich es aproximadamente el mismo que el Tiempo GPS.

I

IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN

Identificador alfanumérico de un punto de medición de cuatro caracteres. Cada punto de medición debe tener una Identificación de Estación única. De otra forma, el procesamiento tendrá problemas al determinar a qué punto corresponden ciertas observaciones.



INCLINACION

Angulo entre el plano orbital de un objeto y otro plano de referencia.

INICIALIZACIÓN CINEMÁTICA

Metal adjunto de longitud fija (0.2 metros) usado para facilitar el proceso de inicialización de una medición cinemática. Se adjuntan dos receptores Locus, uno de ellos en una ubicación conocida. Ellos actúan como una línea base fija y permiten que los receptores se inicialicen (resolución de ambigüedades enteras) más rápido que si hubiesen sido inicializados a través de una línea base de una longitud desconocida.

INTERVALO DE GRABACIÓN

Intervalo de tiempo de la grabación de datos GPS en la memoria del receptor GPS. Por ejemplo, un intervalo de grabación de 10 segundos indica que los datos GPS se guardarán en la memoria del receptor cada 10 segundos.

IONÓSFERA

Capas de aire ionizado en la atmósfera, que se extienden desde 70 a 700 kilómetros y más. Dependiendo de la frecuencia, la ionósfera puede bloquear señales de radio por completo o cambiar la velocidad de propagación. Las señales GPS penetran la ionósfera pero se retrasan. Este retraso induce al error en las mediciones GPS y puede producir resultados de medición pobres. La mayoría de los receptores/software de procesamiento GPS modelan la ionósfera para minimizar sus efectos. También los efectos de la ionósfera casi pueden ser eliminados al usar receptores de frecuencia dual la cual calcula el retraso causado por la ionósfera.

L

L1

Señal de banda L principal emitida por cada satélite NAVSTAR en 1575.42 MHz. La guía L1 es modulada con los códigos C/A y P y con el mensaje NAV.

L2

Señal de banda L emitida por cada satélite NAVSTAR en 1227.60 MHz y es modulada con el código P y con el mensaje NAV.

LATITUD

Angulo generado por la intersección del semieje mayor del elipsoide de referencia del dátum y el elipsoide normal (línea perpendicular a la superficie del elipsoide) en el punto de interés. Al definir las coordenadas geodésicas de un punto, la latitud es uno de los elementos posicionales.



LÍNEA BASE

Distancia tridimensional del vector entre un par de estaciones para las cuales se han grabado datos GPS simultáneos y procesado con técnicas diferenciales. Es el resultado GPS más exacto.

LONGITUD

Longitud del arco o porción del ecuador de la tierra entre el meridiano de un lugar dado y el primer meridiano expresado en grados este u oeste del primer meridiano, hasta un máximo de 180 grados.

M

MÁSCARA DE ELEVACIÓN

El ángulo debajo del cual no se recomienda seguir a los satélites, para evitar la interferencia de los edificios y árboles, así como los errores de trayectoria múltiple.

MEDICIÓN CINEMÁTICA

Forma de medición diferencial continua con fase portadora, que requiere de períodos cortos de observación. Las restricciones operacionales incluyen el inicio o determinación de una línea base y rastrear un mínimo de cuatro satélites en forma continua. Un receptor se ubica estático en un punto de control, mientras otros receptores se desplazan por los puntos a medir.

MEDICION DE FASE

Medición del desfase de la onda portadora. La fase de la señal llegada del satélite es comparada con la fase de una señal de referencia generada en el receptor.

MEDICION DE SEUDODISTANCIA

Para obtener coordenadas de la antena solo es necesario hacer tres mediciones de este tipo a los satélites. La posición de la antena viene dada por la intersección de tres esferas, con la posición de los satélites como centro, y las distancias medidas como radios.

MEDICIONES DIFERENCIALES

Las mediciones GPS se pueden diferenciar entre receptores, entre satélites o a lo largo de un cierto tiempo. Aunque existen varias combinaciones posibles, por convención las mediciones de fase GPS se diferencian en el orden aquí descrito: primero entre los receptores, después entre los satélites y por último a lo largo del tiempo. Una medición de una diferencia (entre receptores) consiste en la diferencia instantánea de fase de la señal recibida, medida simultáneamente, por dos receptores que observan el mismo satélite. Una medición de doble diferencia (entre receptores y satélites) se obtiene al hacer la diferencia entre la medición de una diferencia para un satélite con respecto a la correspondiente medición de una diferencia del satélite de referencia elegido. Una medición de triple diferencia (entre receptores, satélites y tiempo) se obtiene al hacer la diferencia entre una medición de doble diferencia en una época y la misma medición en una época distinta.



MEDICIÓN ESTÁTICA

Método de medición GPS que involucra observaciones simultáneas entre receptores estacionarios. El postproceso calcula el vector que está entre los puntos.

MENSAJES DE NAVEGACIÓN (NAVIGATION DATA)

Una variedad de información que envía continuamente el satélite. Esta información incluye datos efemérides, coeficientes correctores del tiempo, coeficientes para corrección meteorológica, salud y datos de almanaque.

MISION

El método de trabajo utilizado en campo para realizar el levantamiento de puntos.

MULTITRAYECTORIA

Recepción de una señal satelital a lo largo de una ruta directa y a lo largo de una o más rutas reflejadas. Las señales reflejadas son causadas por las superficies reflectantes cerca de la antena GPS. Resultados de la señal en una medición de pseudodistancia incorrecta. Ejemplo clásico de multitrayectoria es el espectro que aparece en la televisión cuando un avión pasa sobre el lugar.

N

NAD27

Dátum de América del Norte, 1927 (North American Datum, 1927).

NAD83

Dátum de América del Norte, 1983 (North American Datum, 1983).

NAVSTAR

Nombre de los satélites GPS construidos por Rockwell International, el cual es una sigla formada desde el Sistema de Navegación de Tiempo y Distancia.

NIVEL DE CONFIANZA

El objetivo de cualquier medición es encontrar el valor real. Debido a que toda medición contiene error, jamás se observa el valor real. Para calificar las mediciones, la estimación de un error deriva estadísticamente para cada medición. El error estimado tiene un nivel de confianza asociado con él, lo cual da la probabilidad que el valor real de una medición esté dentro de rango generado al sustraer y añadir el error estimado al valor medido. Por ejemplo, si una medición de 50.5 metros tiene un error estimado de ± 0.1 metros en un nivel de confianza de 95%, hay un 95% de probabilidad que el valor real esté entre los 50.4 50.6 metros.

NMEA



Del Inglés: National Marine Electronics Association. que define señales eléctricas, protocolos de transmisión de datos, tiempos y formatos de frases para transmitir datos de navegación entre diversos instrumentos de navegación marítima. Es el formato estándar de salida para datos de tiempo y posición de equipos GPS, el cual se emplea en diversas aplicaciones.

NODO ASCENDENTE

Es la intersección de la orbita de un objeto con el plano de referencia donde la latitud se incrementa

NORTE

Distancia hacia el norte, desde una línea este oeste que pasa a través del origen de una grilla.

NÚMERO PRN

Número de identificación del satélite.

O

OBLICUA DE MERCATOR

Proyección de Mercator con el origen centrado al norte o al sur del ecuador. Usado para mostrar regiones a lo largo de un gran círculo diferente al ecuador o al meridiano. Este tipo de mapas se puede hacer para mostrar cómo una línea recta es la distancia más corta entre dos puntos preseleccionados en este gran círculo seleccionado. Las distancias son reales sólo a lo largo de dos líneas paralelas a él. Las distancias, direcciones, formas y áreas son exactas dentro de 15 grados del gran círculo. En la proyección conforme, las líneas de rumbo son curvas.

OBSERVABLE

En la medición GPS, observable es otro nombre

OBSERVACIÓN

Acto de grabar los datos (GPS) en una estación. Un ejemplo del uso de este término sería 'La observación en el punto 0001 duró 1 hora'. Observación es normalmente intercambiable con el término ocupación.

OBSTRUCCIÓN

Característica física que bloquea la línea directa del satélite desde el punto de observación. Las señales GPS son muy débiles. Se pueden bloquear alcanzando la antena GPS con objetos que estén entre la antena y los satélites. Los clásicos ejemplos de obstrucciones son los árboles y los edificios.



OCUPACIÓN

Período de datos grabados en una estación. Por ejemplo, un período de datos de 1 hora de grabación en un punto de medición se considera una ocupación. Ocupación normalmente es intercambiable con el término observación.

ONDULACIÓN GEOIDAL

Distancia de la superficie del elipsoide de referencia al geoide, medida a lo largo de la normal al elipsoide.

OSU91A

OSU91A es un modelo de geoide global. Técnicamente, es un modelo armónico esférico de alta resolución (360 grados). Los errores en el geoide definidos por este modelo, son estimados a ± 28 cm RMS sobre los océanos y a ± 46 cm RMS sobre los continentes. Este modelo fue desarrollado por Richard Rapp y sus colegas en la Universidad del Estado de Ohio.

P

PAR DE ESTACIONES

Dos puntos de medición entre los cuales existe un vector GPS. El término Par de Estaciones se usa al analizar la calidad y exactitud de las mediciones entre puntos.

Parámetros de Transformación de Dátum La relación entre dos datums se define mejor como una serie de 7 parámetros de transformación. Estos parámetros definen cómo se cambian las coordenadas de referencia de un punto en un dátum, para determinar las coordenadas del mismo punto en el otro dátum. Al realizar un ajuste por mínimos cuadrados, estos parámetros se pueden estimar como parte del proceso de ajuste. Parámetros de transformación de dátum es el término normalmente usado para referirse a los parámetros de transformación estimados a través del proceso de mínimos cuadrados.

PARIDAD

Una forma de comprobación de errores utilizada en la transferencia y almacenamiento de datos digitales binarios.

PERDIDA DE CICLO

Es una discontinuidad en el número integrado de ciclos medidos en la fase portadora debido a la temporal pérdida de señal del satélite.

POSICIÓN AJUSTADA

Posición final del punto de medición derivado de un ajuste de mediciones usadas para deducir la posición.

POSICIÓN AUTÓNOMA

También conocida como puntual o absoluta. Posición que se deriva de un solo receptor sin usar ninguna corrección diferencial. Este es el método menos exacto de posicionamiento.



POSICIONAMIENTO CINEMATICO

Método que permite conocer las coordenadas de los puntos de la trayectoria de un receptor en movimiento.

POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL

Determinación de coordenadas relativas de dos o más receptores, los cuales han rastreado simultáneamente los mismos satélites. El posicionamiento diferencial dinámico es una técnica de calibración en tiempo real obtenida al enviar correcciones al usuario del receptor móvil desde una o más estaciones de referencia. La medición estática diferencial GPS involucra determinar los vectores de la línea base entre pares de receptores, comunes en ambas estaciones, tales como errores en el reloj satelital, retraso de propagación, etc.

POSICIÓN POSTPROCESADA

Posición de un punto de medición obtenida del procesamiento de datos GPS observados simultáneamente entre este punto y otro punto con posición conocida.

POSICIONAMIENTO PUNTUAL

Denota el proceso de obtener la posición de un punto con un sólo receptor y al menos cuatro satélites. La precisión en ésta modalidad es de algunas docenas de metros.

POSTPROCESO

Reducción y procesamiento de datos GPS después que los datos fueron grabados en terreno. El postproceso es normalmente llevado a cabo en un computador en ambiente de oficina donde se usa el software apropiado para conseguir soluciones de posición óptimas.

PPM

Partes por millón.

PROCESO DIFERENCIAL

Las mediciones GPS se pueden diferenciar entre receptores, satélites y épocas. Aunque muchas combinaciones son factibles, la presente convención para el proceso diferencial de las mediciones de fase GPS es sustraer diferencias entre receptores (diferencia única), luego entre satélites (diferencia doble), y luego entre épocas de mediciones (diferencia triple). Una medición de diferencia única entre receptores, es la diferencia instantánea en la fase de la señal del mismo satélite, medida por dos receptores a la vez.

Una medición de diferencia doble se obtiene al diferenciar la diferencia única de un satélite con respecto a la diferencia única correspondiente a un satélite de referencia seleccionado.

Una medición de diferencia triple es la diferencia entre una diferencia doble en una época de tiempo y la misma diferencia doble en la época de tiempo anterior.

PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA

Cualquier método sistemático de representar la totalidad o parte de la superficie curva de la tierra bajo otra superficie, usualmente plana.



PRN

Número Pseudoaleatorio (PseudoRandom Number), una secuencia de 1s y 0s digitales que parecen estar aleatoriamente distribuidos como el ruido, pero que pueden reproducirse de forma exacta.

PSEUDODISTANCIA

Medición del tiempo de propagación aparente desde el satélite a la antena del receptor, expresado como distancia. La pseudodistancia se obtiene al multiplicar el tiempo de la señal de propagación aparente por la velocidad de la luz. La pseudodistancia difiere de la distancia real porque los relojes del satélite y del usuario no están perfectamente sincronizados, por el retraso de la propagación y otros errores. El tiempo de propagación aparente se determina por medio del cambio de tiempo requerido para alinear (correlativo) una réplica del código GPS generado en el receptor con el código GPS recibido. El cambio de tiempo es la diferencia entre el tiempo de la recepción de la señal (medido en el marco de tiempo del receptor) y el tiempo de emisión (medido en el marco de tiempo satelital).

PUNTO CONOCIDO

Punto también denominado de Referencia, del cual se conocen sus coordenadas en forma precisa.

Q

QA

Certificación de Calidad (Quality Assurance). El software de postproceso GPS a menudo tiene un número de diferentes test QA para asegurar que se están usando datos de calidad.

R

RANGO

Término empleado en navegación para referirse a la longitud de la trayectoria entre dos puntos. Normalmente, esta trayectoria es el círculo máximo o la línea de rumbo.

RANGO DE ERROR DEL USUARIO (UERE)

Contribución al rango de medición del error de una fuente individual de error, convertida en unidades del rango, asumiendo que la fuente de error no está relacionada con el resto de las fuentes de error.

RASTREO

Proceso por medio del cual un receptor GPS encuentra y enlaza un satélite GPS. Una vez que un receptor GPS ha rastreado 4 o más satélites, puede comenzar a calcular posiciones.

REOCUPACION



Técnica de medida GPS en la que cada estación se ocupa varias veces. Entre cada ocupación debe de haber más de una hora con el fin de cambiar la geometría de los satélites. Este método se utiliza cuando las condiciones mínimas requeridas no se cumplen debido a obstrucciones.

RESIDUO

Diferencia entre el valor observado y el valor calculado. En un ajuste de mínimos cuadrados de datos GPS, los vectores GPS se ajustan para hallar el mejor ajuste para todos los vectores. El ajuste de cada vector produce un residuo para cada vector. El residuo es el monto en que fue ajustado el vector con respecto a todos los otros vectores. Los valores residuales se analizan para determinar si hay un problema potencial con un vector(es) en el ajuste.

Residuo normalizado (Residuo estandarizado) Residuo de un vector GPS ajustado dividido por el error estimado. Al normalizar un residuo, se puede determinar la posición dentro de una distribución normal. Un residuo normalizado de 0 indica las caídas residuales en el medio de la distribución normal. Un residuo normalizado de 3 o más indica que el residuo cae fuera del extremo de la distribución. Debido a que sólo un pequeño porcentaje de residuos cae normalmente fuera de los extremos, a menudo es probable que un residuo normalizado de esta magnitud pueda pertenecer a una medición que contiene un error.

RESTRICCIONES

Una restricción es una condición en una incógnita de un ajuste. Una incógnita puede tener una restricción que no permite que el valor de la incógnita sea ajustado o no permite que el valor de la incógnita se ajuste ni siquiera levemente. Por ejemplo, las coordenadas de los puntos de medición son desconocidas al realizar un ajuste. Las coordenadas son las que la persona que realiza el ajuste, está buscando. Si uno de los puntos de medición contenido en los datos, es un punto de control, no se debería ajustar sus coordenadas puesto que ya se conocen. Para impedir que el ajuste calcule nuevas coordenadas para este punto de control, las coordenadas están restringidas para sus valores conocidos. (otro término normalmente usado es fijo).

RETRASO ATMOSFERICO

Tiempo de retardo que afecta a la señal del satélite debido a las capas de la ionosfera y troposfera.

RETRASO IONOSFÉRICO

Propagación de onda a través de la ionósfera, el cual es un medio no homogéneo y dispersivo. El retraso de la fase depende del contenido de electrones y afecta las señales portadoras. El retraso del grupo en la dispersión en la ionósfera, también afecta la modulación de la señal (códigos). El retraso de la fase y del grupo, son de la misma magnitud pero de señal opuesta.

RMS O MEDIA CUADRÁTICA

En los programas de posproceso, en general, se mide la precisión de la observación de fase por medio de la Media Cuadrática de los residuos.



RS-232 C

El nombre de la interface serial estandar en el EIA (Electronic Industries Association).

RINEX

Formato de Cambio Independiente del Receptor (Receiver INdependent EXchange format). Serie de definiciones estándar para promover los cambios libres de datos GPS y facilitar el uso de los datos desde cualquier receptor GPS con cualquier software. El formato incluye definiciones para tres observables GPS fundamentales: tiempo, fase y distancia. Una descripción completa del formato RINEX se halla en el “Boletín GPS” Mayo/Junio, 1989 de la VIII Comisión Internacional de las Técnicas Espaciales para Geodesia y Geodinámica.

RTCM

Siglas de Radio Technical Commission for Maritime services. Comisión establecida para definir un radio enlace diferencial de datos para retransmitir mensajes de corrección GPS a partir de una estación de control a los usuarios en campo.

RUMBO (BEARING)

Termino usado en navegación para describir el ángulo entre una dirección de referencia (Norte magnético, norte geográfico o norte de la cuadrícula) y una dirección determinada.

S

SALTO DE CICLO

Pérdida de la cuenta de los ciclos del portador al medirlos con un receptor GPS. La pérdida de señal, de interferencia ionosférica, de obstrucciones y de otras formas de interferencia, causan el salto de ciclos (ver fase del portador). Para calcular en forma apropiada un vector entre los datos reunidos por dos receptores GPS, se debe corregir todos los saltos de ciclos.

Normalmente el software realiza esta labor. En ocasiones, el salto de ciclo no será detectado por el software, dando como resultado una determinación incorrecta del vector.

SEMANA GPS

Tiempo GPS iniciado la media noche del Sábado/Domingo 6 de enero de 1980. La semana GPS es el número de semanas completas desde la hora GPS cero.

SEMIEJE MAYOR

Una mitad del eje mayor de una elipse.

SEMIEJE MENOR

Una mitad del eje menor de un elipse.



SEPARACIÓN GEOIDAL

Diferencia de altura entre la altura elipsoidal y la altura ortométrica en un punto dado de la superficie de la tierra. En otras palabras, es la separación que existe entre la superficie del geoide y la superficie del elipsoide en un punto dado de la superficie de la tierra.

SERVICIO DE POSICIONAMIENTO ESTÁNDAR (SPS)

Nivel de precisión en el posicionamiento de un punto obtenido con GPS, basado en el código C/A de una frecuencia.

SERVICIO DE POSICIONAMIENTO PRECISO (PPS)

Es el más alto nivel de precisión en el posicionamiento de un punto proporcionado por el Sistema GPS. Se consigue mediante receptores de doble frecuencia y código P.

SESIÓN

Una sesión es un grupo de datos GPS grabados simultáneamente. Por ejemplo, si 4 receptores GPS grabaron datos simultáneamente en 4 puntos, el set completo de datos se considera una sesión. Dentro de una sesión, se pueden calcular los vectores GPS entre todos los puntos.

SEUDOLITE

Estación GPS terrena diferencial que transmite una señal con estructura similar a la de un satélite GPS.

SINGULARIDAD

Singularidad es una condición que causa que la operación inversa de una matriz resulte errada. La inversión de la matriz es una operación importante en los ajustes por mínimos cuadrados. Si no se puede realizar la inversión de la matriz debido a una singularidad, no habrá ajuste. Una situación que causará una singularidad es intentar ajustar los vectores GPS en una red donde partes de la red GPS no están conectadas a las otras, por ejemplo dos o más sets de puntos que no tienen conexión con todas las otras partes, o bien, dos o más sets de puntos que no tienen conexión con cada uno de los otros.

SISTEMA DE GRILLA

Un sistema de grilla es un set definido de parámetros que, junto con una proyección cartográfica, se usan para convertir coordenadas geodésicas (superficie curva) a coordenadas de grilla (superficie plana).

SISTEMA DE GRILLA LOCAL

Sistema de coordenadas del plano local usualmente definido para usarlo en un proyecto de medición pequeño. Los parámetros de definición del sistema, normalmente son un origen con coordenadas horizontales determinadas arbitrariamente (tales como 0,0 o 1000,1000) y una dirección arbitraria (línea límite o visual hacia otro punto). El sistema local normalmente permanece en sí mismo, sin una relación conocida con algún otro sistema de coordenadas definido. Esta relación se puede determinar si las coordenadas de un número



suficiente de puntos pueden ser determinadas en ambos sistemas, entre los cuales se busca una relación.

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Sistema de navegación basado en satélites, su misión principal es el proporcionar posicionamiento/navegación global para operaciones terrestres, marítimas y aéreas.

El sistema GPS consiste en

- un segmento espacial (hasta 24 satélites NAVSTAR en 6 órbitas diferentes)
- el segmento de control (5 estaciones monitoras, 1 estación de control master y 3 estaciones de carga)
- el segmento del usuario (receptores GPS)

Los satélites NAVSTAR llevan relojes atómicos extremadamente precisos y emiten señales coherentes simultáneas.

SOLUCIÓN FIJA

Procesar vectores GPS produce muchas soluciones para el vector en diferentes épocas del procesamiento. Uno de los parámetros que está siendo solucionado durante el proceso corresponde a las ambigüedades enteras. Una solución fija es una solución del vector donde las ambigüedades enteras se han determinado correctamente y se han mantenido fijas. La solución fija para un vector es a menudo la mejor solución. Si por alguna razón las ambigüedades no pudieran tener solución, la solución final para el vector será la solución flotante.

SOLUCIÓN FLOTANTE

El procesamiento de los vectores produce muchas soluciones para el vector en diferentes épocas del procesamiento. Uno de los parámetros que está siendo solucionado durante el procesamiento corresponde a las ambigüedades enteras. Una solución flotante es una solución del vector donde los valores enteros de las ambigüedades podrían no ser determinados, por lo tanto, no son fijos para un valor entero específico (queda como un valor de punto flotante).

SV

Vehículo Satelital o vehículo espacial.

T

TEST TAU

El test tau es un test QA de detección de error realizado en mediciones ajustadas (vectores GPS). El test examina el tamaño de los residuos de la medición y los compara estadísticamente con una distribución esperada. Si el residuo es mayor que lo esperado, se señala la indicación como error potencial.

TIEMPO GPS



Un tiempo de referencia usado por los satélites GPS. Los satélites continuamente están transmitiendo el tiempo GPS, el cual está varios segundos adelantado con relación al Tiempo Coordinado Universal (UTC).

TRANSFORMACIÓN

Proceso de transformar coordenadas de un sistema a otro.

TRASLOCACIÓN

Método en el que se emplean datos simultáneos de estaciones separadas para determinar la posición relativa de una estación con respecto a otra. Véase Posicionamiento Diferencial.

TRANSVERSAL MERCATOR

Proyección de Mercator girado a 90º en acimut. El meridiano central se representa por una línea recta que corresponde a la línea que representa el ecuador en la proyección del regular de Mercator. En los Estados Unidos, la Transversa de Mercator es la base que se usa en el Sistema de Coordenadas Planas del Estado (State Plane Coordinate System, SPCS) para los estados que tienen extensiones nortesur predominantes. Proyección popular para áreas que son principalmente de extensión nortesur. Las distancias son verdaderas sólo a lo largo del meridiano central (caso tangencial) o a lo largo de dos líneas paralelas a ella (caso secante) pero todas las distancias, direcciones, formas y áreas son razonablemente exactas dentro de 15 grados del meridiano central. La distorsión de distancias, direcciones y tamaños de áreas aumenta rápidamente fuera de la banda de 15 grados. Debido a la conformidad, sin embargo, las formas y ángulos dentro de un área pequeña son esencialmente reales.

U

UTC

Hora mantenida por el Observatorio Naval de los Estados Unidos. Debido a las variaciones en la rotación de la tierra, a veces se ajusta la hora UTC por medio de un segundo entero. La acumulación de estos ajustes comparados con la hora GPS, la cual avanza continuamente, ha dado como resultado una desviación de 11 segundos entre la hora GPS y la hora UTC a principios del año 1996. Después de responder por los saltos de segundos y usar el ajuste contenido en el mensaje de navegación, la hora GPS se puede relacionar con la hora UTC dentro de 20 nanosegundos o mejor que eso.

UTM

Proyección Cartográfica Universal Transversa de Mercator. (Universal Transverse Mercator). Caso especial de la proyección Transversa de Mercator. Abreviado como la Grilla UTM, consiste en 60 zonas, cada una tiene 6 grados de amplitud en longitud.



V

VARIANZA DEL PESO UNITARIO

Indicador de calidad estadístico de una red ajustada por mínimos cuadrados. El valor esperado de la varianza del peso unitario es 1. Un valor inferior a 1 es un índice que las indeterminaciones asignadas a las mediciones son demasiado optimistas. Un valor mayor que 1 es un índice que las indeterminaciones asignadas a las mediciones son demasiado pesimistas o que hay uno o más errores en el set de datos ajustados.

VECTOR

Línea espacial descrita por componentes tridimensionales entre dos puntos. En las mediciones GPS, un vector es el producto del procesamiento de datos crudos grabados en dos puntos simultáneamente

W

WGS84

WGS84 es el datum con que se denomina a las posiciones GPS y a los vectores. Este datum es básicamente equivalente al datum NAD83 usado en los Estados Unidos. La diferencia es muy pequeña para tener algún impacto en las posiciones GPS y en los vectores.

Z

Z-TRACKING

La empresa ASHTECH creó en el comienzo de los años noventa un sistema especial de proceso de la señal GPS que resultó en al menos 13db de ventaja en relación señal ruido, sobre cualquier equipo competitivo. El Z-Tracking, los receptores equipados con Z-Tracking en el campo del RTK continúan siendo los más rápidos en fijar ambigüedad y solución milimétrica.





APÉNDICE F

BIBLIOGRAFÍA.



- * *THE WM GPS PREMIER*, René Scherrer WILD Heerbrugg. Switzerland.
- * *GPS SATELLITE SURVEYING*, Alfred Leick.
- * *GUIDE TO GPS POSITIONING*, David Wells, Canadian GPS Assocites.
- * *SATELLITE GEODESY - FOUNDATIONS, METHODS AND APPLICATIONS*. Günter Seeber.
- * *SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)*, Curso de Verano1992, Universidad de Cantabria.
- * *CURSO INTENSIVO SOBRE TECNOLOGÍAS GPS. MÉTODOS Y APLICACIONES*. Madrid 2001.
- * *GUIDELINES TO STATIC AND RAPID STATIC GPS SURVEYING*. Leica AG.
- * *GUIDELINES TO DGPS WITH SYSTEM 200*. Leica AG.
- * *GUIDELINES TO STOP AND GO AND KINEMATIC GPS SURVEYING*. Leica AG.
- * *GPS LA NUEVA ERA DE LA TOPOGRAFIA*. Alfonso Nuñez, Jose Luis Valbuena, Jesús Velasco.
- * *GUIDELINES ON PROCESSING RINEX DATA WITH SKI*. Michael Schubernigg. Leica AG.
- * *Experimental Monitoring of the Humber bridge using GPS*, V. Ashkenazi y W. Roberts. Proc. Instn Civ. Engrns, Civ. Engrns, 1997, 120, Nov. 177-182
- * *AMBIGUITY RESOLUTION ON THE FLY "AROF": RESULTS, FACT, LIMITATIONS*. Dr. Erwin Frej, Dr. Joan Yau and Daniel Sauer, Leica AG.
- * *GPS TECHNOLOGY FROM LEICA*. Rod Eckels, Leica Instruments, Australia.
- * *USER MANUAL SKI*. Leica AG.
- * *AMBIGUITY RESOLUTION ON THE FLY FOR HIGH-ACCURACY, KINEMATIC GPS SURVEYING*. Peter Jackson Leica AG.
- * *" APLICACION DE LAS TECNICAS DE MEDICION GPS EN TIEMPO REAL CON PRECISION CENTIMETRICA A LEVANTAMIENTOS BATIMETRICOS"*. Javier Peñafiel, Jorge Zayas. MAPPING, Octubre de 1997.
- * *COORDINATE SYSTEMS & REFERENCE DATUMS*, Journal of Navigation Vol. 39 Nº 2, Ashkenazi V.
- * *STATIC, RAPID STATIC, REOCUPATION, STOP AND GO, AND KINEMATIC MEASUREMENTS ON THE FGCS TEST NETWORK, MARYLAND, U.S.A*. Johannes Schuwarz, Michael Schubernigg.
- * *FGCS-95 TESTS*. Henri B. Ayers y Joan Yau. LSG Geodesy North America, Abril 1995.
- * *Guidelines to Real Time Surveying using RT-SKI*. Leica AG.
- * *GLONASS, Issues Remain unsolved"*, GPS WORLD, Mars 1997
- * *Geodesy for the LAYMAN*, Lt. Col. Richard K. Burkand et al, NOAA, 1983
- * *GPS for Land Surveyor*, Jan Van Sickle, Ann Arbor Press, 1996.
- * *Navtech Seminars and GPS Supply*.
- * *Hoffmann-Wellenhof, B.H. Lichtenegger, y J. Collins. 1994. GPS: Teory and Practice. 3rd ed. New York: Springer-Verlag.*
- * *Institute of Navigation. 1993. Global Positioning System monographs. Washington, DC.*
- * *Ashkenazi, V. Gough, R. J. y Sykes, R.M. (1977). Satellite Doppler Positioning.*

*INTERNET*

<http://www.fortop.biz/>
<http://www.rtcn.org/>
<http://www.ion.org/>
<http://www.unavco.ucar.edu/>
<http://www.navcen.uscg.mil/>
<http://www.navcen.uscg.gov/gps/default.htm#Status>
http://igs.ifag.de/euref_obs.htm
<http://www.leica-geosystems.com/>
<http://www.mfom.es/ign/>
<http://www.coit-topografia.es/>
<http://www.galileo-pgm.org/>
<http://mx.iki.rssi.ru/sfcsic/english.html>
<http://www.geo.ign.es/>
<http://www.mercator.org>
<http://igscb.jpl.nasa.gov/siteindex.html>
<http://www.mundogps.com/>
<http://umbc7.umbc.edu/~tbenja1/santabar/rscc.html>
<http://www.profsurv.com/psarchiv.htm>