

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

**“El sistema de posicionamiento global en aparatos receptores navegadores y su aplicación en estudios preliminares de reconocimiento topográfico de terrenos para la ejecución de obras civiles.”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL PRESENTA:**

**Valencia Ávila Emmanuel**

**Asesor: Ing. Benjamín Peña Alcalá**

San Juan de Aragón, México noviembre de 200**5**

m 339959



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

EMMANUEL VALENCIA AVILA  
Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:  
"EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL EN APARATOS RECEPTORES NAVEGADORES Y SU APLICACIÓN EN ESTUDIOS PRELIMINARES DE RECONOCIMIENTO TOPOGRÁFICO DE TERRENOS PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES"

ASESOR: Ing. BENJAMÍN PEÑA ALCALÁ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 27 de noviembre de 2003.

LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



C p Secretaria Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/csm

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a digitalizar en formato electrónico e imprimir el contenido de mi trabajo recepcional.  
NOMBRE: Emmanuel Valencia  
Avila  
FECHA: 14- Enero-2005  
FIRMA: EMA

# *DEDICATORIA*

*POR SU APOYO COMPRENSIÓN Y CARIÑO DEDICO  
ESTE TRABAJO A MIS PADRES:*

*AGUSTÍN VALENCIA TAPIA  
MARIA ELENA AVILA BELTRÁN*

*A MIS HERMANOS:*

*AGUSTÍN VALENCIA AVILA  
DIANA VALENCIA AVILA  
ISRAEL VALENCIA AVILA*

*AGRADECIMIENTOS*

*POR LA FORMACIÓN PROFESIONAL QUE  
ME BRINDARON*

*A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO*

*A LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN*

*A MIS MAESTROS DE LA CARRERA  
DE INGENIERÍA CIVIL*

*POR SU TIEMPO Y ASESORAMIENTO EN ESTA TESIS  
AL ING. BENJAMÍN PEÑA ALCALA*


*ASI COMO POR SU COLABORACIÓN  
A LOS PROFESORES:*

*ING. TRINIDAD ADOLFO ALMAZÁN JARAMILLO*

*ING. RICARDO HERAS CRUZ*

*ING. RICARDO RODRÍGUEZ CORDERO*

*ING. JOSE ANTONIO DIMAS CHORA*



## ◆ ÍNDICE

◆	<b>PRÓLOGO.</b> -----	<b>5</b>
	<b>CAPITULO I. EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.</b> -----	<b>7</b>
	<b>Sección 1.01 INTRODUCCIÓN</b> -----	<b>7</b>
	<b>Sección 1.02 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.</b> -----	<b>8</b>
	(A) <i>EL SECTOR ESPACIAL.</i> -----	8
	(B) <i>CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES.</i> -----	8
	(C) <i>SEÑAL DE LOS SATÉLITES.</i> -----	9
	(D) <i>EL SISTEMA DE REFERENCIA. DATUM WGS-84.</i> -----	11
	(E) <i>EL SECTOR DE CONTROL.</i> -----	12
	(a) <i>LA RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA</i> -----	13
	(b) <i>LA RED GEODÉSICA NACIONAL PASIVA</i> -----	15
	(F) <i>EL SECTOR DE USUARIOS.</i> -----	15
	<b>Sección 1.03 TIPOS DE RECEPTORES.</b> -----	<b>17</b>
	(A) <i>NAVEGACIÓN.</i> -----	17
	(B) <i>MONOFRECUENCIA.</i> -----	17
	(C) <i>BIFRECUENCIA.</i> -----	18
	<b>Sección 1.04 CALIDAD Y BONDAD DE LAS OBSERVACIONES.</b> -- -----	<b>18</b>
	(A) <i>ERRORES RELATIVOS AL SATÉLITE.</i> -----	20
	(a) <i>ERROR DEL RELOJ DEL SATÉLITE.</i> -----	20
	(b) <i>ERRORES EN LOS PARÁMETROS ORBITALES.</i> -----	20
	(B) <i>ERRORES RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL.</i> -----	21
	(a) <i>REFRACCIÓN IONOSFÉRICA.</i> -----	21
	(b) <i>REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA.</i> -----	24
	(c) <i>DISPONIBILIDAD SELECTIVA.</i> -----	26
	(d) <i>PÉRDIDAS DE CICLOS.</i> -----	26
	(e) <i>EFFECTO MULTIPATH.</i> -----	27
	(C) <i>ERRORES RELATIVOS AL RECEPTOR.</i> -----	28
	(a) <i>ERROR DEL RELOJ.</i> -----	28
	(b) <i>ERROR EN EL ESTACIONAMIENTO DE LA ANTENA.</i> -----	29
	(c) <i>ERRORES EN LA MANIPULACIÓN DE LOS EQUIPOS.</i> -----	29
	(d) <i>VARIACIÓN DEL CENTRO RADIOELÉCTRICO DE LA ANTENA.</i> --	29

<b>Sección 1.05</b>	<b>DILUCIÓN DE LA PRECISIÓN.</b>	<b>29</b>
<b>CAPITULO II. LOS RECEPTORES NAVEGADORES.</b>		
		<b>31</b>
<b>Sección 2.01</b>	<b>NAVEGACIÓN.</b>	<b>31</b>
<b>Sección 2.02</b>	<b>MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO.</b>	<b>32</b>
(A)	POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL.	32
(B)	POSICIONAMIENTO ABSOLUTO.	40
<b>Sección 2.03</b>	<b>TRABAJO EN TIEMPO REAL.</b>	<b>42</b>
<b>Sección 2.04</b>	<b>EJEMPLOS GRÁFICOS DE LAS PROYECCIONES GEOGRÁFICAS MÁS COMUNES</b>	<b>46</b>
(A)	PROYECCIÓN CILÍNDRICA EQUIDISTANTE.	47
(B)	PROYECCIÓN MERCATOR.	47
(C)	PROYECCIÓN LAMBERT DE AZIMUT Y ÁREA CONSTANTE	48
(D)	PROYECCIÓN POLAR ESTEREOGRÁFICA	49
(E)	PROYECCIÓN DE AZIMUT EQUIDISTANTE	49
(F)	PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA	50
<b>Sección 2.05</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LAS COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR) Y DESCRIPCIÓN DE ESTE TIPO DE COORDENADAS</b>	<b>51</b>
<b>Sección 2.06</b>	<b>ALGUNOS RECEPTORES NAVEGADORES DE LA MARCA GARMIN 69</b>	
<b>CAPITULO III. LA APLICACIÓN DE RECEPTORES NAVEGADORES EN ESTUDIOS PRELIMINARES DE RECONOCIMIENTO TOPOGRÁFICO DE TERRENOS PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES.</b>		
		<b>72</b>
<b>Sección 3.01</b>	<b>PLANIFICACIÓN.</b>	<b>72</b>
<b>Sección 3.02</b>	<b>ALGUNAS SECUENCIAS ESPECIALES DE ENCENDIDO</b>	<b>73</b>
<b>Sección 3.03</b>	<b>OTRO MODO DE DIAGNÓSTICO</b>	<b>75</b>
<b>Sección 3.04</b>	<b>QUÉ ES UN ENCENDIDO CALIENTE (WARM START), ENCENDIDO FRIO (COLD START), AUTOLOCALIZACIÓN (AutoLocate), y BÚSQUEDA EN EL CIELO (Search the Sky)</b>	<b>78</b>

<b>Sección 3.05</b>	<b>CÓMO CREAR UNA RUTA TIPO TARCKBACK A PARTIR DE UN TRACK EN UN GARMIN -----</b>	<b>86</b>
<b>Sección 3.06</b>	<b>EL SIGNIFICADO QUE TIENE EL VALOR DEL EPE EN LOS RECEPTORES GARMIN -----</b>	<b>88</b>
<b>Sección 3.07</b>	<b>PRUEBA PARA ENCONTRAR LA PRECISIÓN DE UN RECEPTOR PORTÁTIL -----</b>	<b>90</b>
<b>Sección 3.08</b>	<b>CÓMO FUNCIONA EL PROGRAMA MAPSOURCE</b>	<b>94</b>
<b>Sección 3.09</b>	<b>OBSERVACIÓN. -----</b>	<b>96</b>
<b>Sección 3.10</b>	<b>CÁLCULO. -----</b>	<b>97</b>
<b>CAPITULO IV.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. -----</b>	<b>101</b>
<b>Sección 4.01</b>	<b>ALGUNAS VIRTUDES Y DEFECTOS QUE OFRECE EL POSICIONAMIENTO POR SATÉLITE EN NUESTRO TRABAJO: 101</b>	
<b>Sección 4.02</b>	<b>CAMPOS EN DONDE HA INCURSIONADO EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO POR SATÉLITE: -----</b>	<b>103</b>
<b>Sección 4.03</b>	<b>GLOSARIO -----</b>	<b>106</b>
<b>♦</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA -----</b>	<b>114</b>



## ◆ PRÓLOGO.

Desde que en 1957 el lanzamiento del Sputnik-1 supuso el comienzo de la era de los satélites artificiales y su posterior uso en aplicaciones para el interés de la comunidad mundial, la tecnología ha avanzado en este aspecto de manera espectacular, y uno de los campos en los cuales se ha manifestado especialmente dicho avance, es en las aplicaciones que conciernen a las ciencias de la Tierra, y dentro de ellas, de manera notable en el estudio de su forma y dimensiones (*Geodesia*), así como, en el estudio de los fenómenos físicos que afectan y condicionan dicha forma y dimensiones (*Geofísica*).

Dentro de los grupos de Sistemas de Geodesia Espacial, destacan la Constelación NAVSTAR (Navegación por Satélite en Tiempo y Distancia) y la Constelación GLONASS (Sistema Global de Navegación por Satélite). Ambas constelaciones fueron creadas por los Departamentos de Defensa de los Estados Unidos y la antigua Unión Soviética (Rusia), respectivamente, y sus principal cometido era poder posicionar un objeto en la superficie de la Tierra a través de las señales emitidas en forma de ondas de radio por los satélites de dichas constelaciones, que dicho objeto procesaba en la superficie, determinando así su posición con una precisión en función del tipo de información recibida, tiempo de recepción y condiciones de la emisión.

Este posicionamiento se produce sobre un sistema de referencia inercial cartesiano, que en el caso de usar la constelación americana NAVSTAR corresponde al sistema WGS-84, y en el caso de usar la constelación GLONASS corresponde al sistema PZ-90.

En los años 80s, se empezaron a utilizar estos métodos para aplicaciones de índole civil, tales como actividades de navegación aérea, marítima y terrestre, lo que supuso un importante avance en la organización y el estado de los transportes y comunicaciones mundiales.

La investigación y el tratamiento de estos sistemas de posicionamiento por satélite, ha llevado en la actualidad a que sean

utilizados para fines científicos, destacando el estudio de la Atmósfera terrestre, de sus capas, fenómenos, y muy especialmente para el estudio de la Ionósfera, desconocida en muchos aspectos y con una gran influencia sobre los distintos fenómenos que ocurren en nuestro planeta.

Pero quizá, las aplicaciones de las cuales estos sistemas han calado más hondo son la Geodesia y la Topografía, a partir del descubrimiento de que dichos sistemas de posicionamiento podían aportar las precisiones requeridas para el desarrollo de estas ciencias y su aplicación en el desarrollo de infraestructuras, cartografía, dimensionamientos, sistemas de información geográfica, estudios de movimientos y deformaciones, y para fines más expeditos como la navegación y el ocio.

Es por ello que constituyen, hoy por hoy, unos de los sistemas de medida (levantamiento) más usados y con mayores expectativas de futuro. Este hecho los obliga a estar en continua evolución para que la comunidad mundial obtenga resultados cada vez más satisfactorios. Pero es esta comunidad, y en concreto los profesionales de las materias afectadas, los que deben disponer de la documentación y experiencias necesarias para llegar a dominar estos métodos de trabajo y obtener de ellos el máximo rendimiento. Pero quizás, la aplicación donde mayor beneficio representa es en la topografía, replanteo y trazo de obras de ingeniería.

El objetivo de este texto no es otro que orientar de forma básica a los usuarios del sistema GPS navegador en lo particular como instrumento para el estudio preliminar de obras civiles y en lo general invitar a los futuros usuarios a comprender en su funcionamiento y posibilidades de desarrollo, abriendo el campo de la medida por satélite como una poderosa herramienta de trabajo, y que hoy por hoy, se está convirtiendo en el método más usado por su precisión y rapidez en los campos antes descritos, siendo este el motivo por el cual no debe pasar desapercibido por ninguno de nuestros profesionales.

## CAPITULO I. **EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.**

### *Sección 1.01* **INTRODUCCIÓN**

El Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD) para constituir un sistema de navegación preciso con fines militares que sustituyeran al antiguo sistema utilizado, que no era otro que las mediciones Doppler sobre la constelación Transit.

Para ello, aprovecharon las condiciones de la propagación de las ondas de radio de la banda "L" en el espacio, así como la posibilidad de modular las ondas para que en ellas se pueda incluir la información necesaria que permita posicionar un objeto en el sistema de referencia apropiado.

Este proyecto se hizo realidad entre los meses de febrero y diciembre de 1978, cuando se lanzaron los cuatro primeros satélites de la constelación NAVSTAR, que hacían posible el sistema que resolvería la incógnita de nuestra posición en la Tierra.

A continuación vamos a describir las generalidades del sistema GPS y sus características más importantes. Para ello, debemos dividir el sistema en tres sectores fundamentales y dependientes entre sí, el *sector espacial*, el *sector de control* y el *sector de usuarios*.

## **Sección 1.02 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.**

### **(A) EL SECTOR ESPACIAL.**

Este sector lo forman los satélites de la constelación NAVSTAR (Navegación por satélite en tiempo y distancia). La constelación está formada por seis planos orbitales, y en cada uno de ellos existe una órbita elíptica casi circular donde se alojan los satélites regularmente distribuidos. Los planos tienen una inclinación de  $55^{\circ}$  respecto al plano del ecuador, y se nombran como A, B, C, D, E y F. Cada órbita contiene al menos cuatro satélites, aunque pueden contener más. Los satélites se sitúan a una distancia de 20200Km respecto del geocentro, y completan una órbita en doce horas sidéreas. Estos satélites son puestos en funcionamiento por el Comando de las Fuerzas Aéreas Espaciales de U.S.A (AFSPC).

Con estos fundamentos, se garantiza la presencia de al menos cuatro satélites sobre el horizonte en todos los lugares de la superficie de la Tierra.

### **(B) CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES.**

Los satélites de la constelación NAVSTAR son identificados de diversos modos:

- Por su número NAVSTAR (SVN).
- Por su código de ruido pseudoaleatorio (PRN). En los códigos de transmisión existen características de ruido pseudoaleatorio traducidas en bits que identifican a cada satélite de la constelación.
- Por su número orbital. Un ejemplo sería el satélite 3D, que corresponde al satélite número tres del plano orbital D.

En la actualidad, desde Enero-98, existe un número de veintisiete satélites operativos, pertenecientes a los bloques IIA y IIR. Se disponen:

- Cinco en los planos A, E y F.
- Cuatro en los planos B, C y D.

Todos disponen de osciladores atómicos de cesio, salvo los SVN 24, 27 y 31 que lo tienen de rubidio. En el caso de los primeros la precisión es de  $10^{-13}$  s, mientras que los de rubidio son de  $10^{-12}$  s. La frecuencia fundamental de emisión de estos osciladores es de 10.23 MHz.

El tiempo utilizado por el sistema GPS es un tiempo universal coordinado denominado UTC (USNO) que define el Observatorio Naval de los Estados Unidos mediante relojes atómicos de hidrógeno. La unidad del tiempo GPS es el segundo atómico internacional y tiene su origen coincidente con el UTC a las cero horas del 6 de enero de 1980.

Así mismo, debemos añadir que los satélites disponen además de:

- Antenas emisoras de ondas de radio (banda L). Con ellas transmiten la información al usuario.
- Antenas emisoras-receptoras de ondas de radio (banda S). Sirven para actualizar su situación a través del sector de control.
- Paneles solares para disponer de la energía necesaria para su funcionamiento.
- Reflectores láser para el seguimiento desde el sector de control.

La vida de los satélites oscila entre los seis y diez años, y es de reseñar que el más antiguo aun operativo tiene una edad de ocho años y medio. El más duradero fue el SVN-3 que duró trece años y medio.

### **(C) SEÑAL DE LOS SATÉLITES.**

Los satélites de la constelación NAVSTAR constan de un oscilador antes mencionado que genera una frecuencia fundamental  $\nu_0$  de 10.23

MHz. A partir de esta frecuencia fundamental se generan dos portadoras en la banda L de radiofrecuencia, denominadas  $L_1$  y  $L_2$ .

Además, existen dos formas de código pseudoaleatorio que se modulan sobre estas portadoras, con los códigos C/A y P, además de un mensaje, que da la información de los parámetros orbitales del satélite y del estado del reloj. Los códigos son una secuencia de +1 y -1, correspondientes a los valores binarios de 0 y 1 respectivamente.

Los componentes de la señal y sus frecuencias son:

COMPONENTE		FRECUENCIA (MHz)
<i>Frecuencia Fundamental</i>	$v_0$	10.23
<i>Portadora <math>L_1</math></i>	$154 v_0$	1,575.42
<i>Portadora <math>L_2</math></i>	$120 v_0$	1,227.60
<i>Código P</i>	$v_0$	10.23
<i>Código C/A</i>	$v_0/10$	1.023
<i>Código W</i>	$v_0/20$	0.5115
<i>Mensaje de Navegación</i>	$v_0/204.600$	$50 \times 10^{-6}$

El código C/A (*clear/access*) se repite cada milisegundo, dando como resultado un código de 1023 chips, siendo la longitud aproximada de cada chip de unos 300m. Este código está declarado de uso civil para todo usuario.

El código preciso P se compone de  $2,3547 \times 10^{14}$  bits y se repite aproximadamente cada 266.4 días. Este código lleva una palabra denominada HOW que indica en que momento del código está cuando el receptor empieza a recibirlo, de este modo el receptor engancha el código y empieza a medir. El código P es secreto y de uso militar. Se origina a partir de la combinación de dos secuencias de bits, generados a partir de dos registros. La longitud de cada chip es de 30m. Con el fin de proteger el código P, éste se encripta usando un código W, dando lugar al código Y. Si el código W está en curso se habla de que está conectado el A/S (Anti-Spoofing).

El mensaje de navegación es mandado por los satélites, y consta esencialmente de información sobre el reloj de los satélites, parámetros

orbitales (efemérides), estado de los satélites y otros datos de corrección. El mensaje consta de 25 grupos de 1500 bits cada uno y divididos en cinco celdas. Cada grupo se transmite con una frecuencia de 50 Hz y tarda 30s. Esto supone que el mensaje modulado completo sobre ambas portadoras tiene una duración de 12min. 30s. Por razones de índole militar, se introduce un error intencionado en las efemérides radiodifundidas de los satélites, denominado Disponibilidad Selectiva (SA). Esto repercute en el posicionamiento sobre el sistema de referencia WGS84, ya que si la posición de los satélites que nos sirven de referencia está alterada nuestro posicionamiento no se va a realizar en dicho sistema, sino que se va a efectuar en un sistema arbitrario, con un error mayor o menor en función de la cantidad de SA que exista en ese instante. Este problema es importante en posicionamientos absolutos, ya que no podemos saber la posición correcta. Sin embargo, en posicionamientos diferenciales nos afecta en posición pero no en precisión, ya que la posición relativa de un punto respecto a una referencia (sus incrementos de coordenadas) no está afectada de este error.

#### **(D) EL SISTEMA DE REFERENCIA. DATUM WGS-84.**

¿QUE ES EL DATUM?

La tierra no es esférica. Pero, no solo eso, ni siquiera es un cuerpo regular achatado por los polos. Esta irregularidad hace que cada país, o incluso cada región, escoja el modelo de cuerpo (definible matemáticamente) que mas se ajuste a la forma de la tierra en su territorio. Este cuerpo suele ser un elipsoide. Al que se le da el nombre de DATUM

Los diferentes elipsoides se diferencian unos de otros en sus parámetros, entre los que se encuentran:

- el radio mayor y menor del elipsoide. (a y b)
- el aplastamiento del elipsoide [ $1/f = 1-(b/a)$ ]

Cada Datum esta compuesto por:

un elipsoide, por un punto llamado "fundamental" en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. de este punto se han de especificar longitud, latitud y el acimut de una línea desde él establecida.

En el punto Fundamental, las verticales del elipsoide y tierra coinciden. También coinciden las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la tierra).

La transformación de las coordenadas del Datum WGS84 a otro sistema de referencia, y viceversa, es posible con transformaciones tridimensionales de siete parámetros, ya sean calculadas (donde deberemos conocer al menos las coordenadas de tres puntos en ambos sistemas) o establecidas por algún organismo con una gran base de datos. Para realizar una transformación correcta debemos definir el elipsoide al que queremos referir nuestras coordenadas, la proyección y la zona

Existen otros tipos de transformaciones, como las bidimensionales, las de coordenadas planas y altura, y aquellas en que se introducen modelos del Geoide (globales o zonales) con el fin de obtener alturas ortométricas.

### **(E) EL SECTOR DE CONTROL.**

Este sector tiene como misión el seguimiento continuo de todos los satélites de la constelación NAVSTAR para los siguientes fines:

- Establecer la órbita de cada satélite, así como determinar el estado de sus osciladores.
- Hallados los parámetros anteriores, emitirlos a los satélites para que éstos puedan difundirlos a los usuarios.



De este modo, el usuario recibe la información de las efemérides de posición de los satélites y el error que se está produciendo en su reloj, todo ello incluido en el mensaje de navegación.

Fundamentalmente las Estaciones de Control de la constelación son:

- Colorado Springs (U.S.A.). Central de cálculo y operaciones.
- Ascensión (Atlántico Sur).
- Hawai (Pacífico Oriental).
- Kwajalein (Pacífico Occidental).
- Diego García (Índico).

### **(a) LA RED GEODÉSICA NACIONAL ACTIVA**

La Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) está conformada inicialmente por 15 estaciones establecidas en el estándar de exactitud posicional de 5 centímetros, las cuales registran, a intervalos de 15 segundos, durante las 24 horas del día, la información de las dos frecuencias transmitidas por los satélites de la constelación NAVSTAR que forman el sector espacial del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) La localización de dichas estaciones se presenta en la Tabla 2-1, la denominación y posición geodésica de cada una de ellas puede ser consultada en la página del INEGI en internet. Se prevé un crecimiento en el número de estaciones una vez constituido el Consorcio Mexicano de estaciones permanentes GNSS.

La RGNA proporciona el marco de referencia fundamental del país para todos los trabajos de posicionamiento geodésico que realizan las Dependencias y las entidades de la Administración Pública Federal. Está caracterizada por una exactitud compatible con las tecnologías modernas de posicionamiento y facilita el uso de éstas, compartiendo los datos para georeferenciación espacial entre usuarios de diversos sectores de la actividad geográfica, reduciendo significativamente los

costos para la elaboración de trabajos que requieran conocer la ubicación de puntos y las relaciones geométricas que existan entre ellos.

La RGNA constituye una base posicional consistente para el levantamiento de nuevos vértices, proporcionando el estándar de exactitud posicional más alto actualmente disponible en México. Para el establecimiento de la RGNA se contó con la colaboración del National Geodetic Survey de los Estados Unidos de Norte América, realizándose ligas a estaciones de interferometría de bases muy largas a fin de alcanzar la máxima exactitud posible.

LOCALIZACIÓN
Campeche, Camp.
Chetumal, QR.
Chihuahua, Chih.
Colima, Col.
Culiacán, Sin.
Hermosillo, Son.
Aguascalientes, Ags.
La Paz, BCS
Mérida, Yuc.
Mexicali, BC.
Monterrey, NL.
Oaxaca, Oax.
Tampico, Tams.
Toluca, EM.
Villahermosa, Tab.

Tabla 2-1 Estaciones de la RGNA

## **(b) LA RED GEODÉSICA NACIONAL PASIVA**

Está constituida por vértices geodésicos distribuidos en la República Mexicana dichos vértices reciben el nombre de "estaciones GPS" y están materializados sobre el terreno, mediante una placa empotrada que identifica al punto. Las coordenadas que definen su posición han sido generadas a partir de levantamientos utilizando el Sistema de Posicionamiento Global y ligados a la RGNA, lo cual las dota de valores de posición referidas al ITRF92 época 1988.0

## **(F) EL SECTOR DE USUARIOS.**

Este sector lo compone el instrumental que deben utilizar los usuarios para la recepción, lectura, tratamiento y configuración de las señales, con el fin de alcanzar los objetivos de su trabajo. Los elementos son el equipo de observación y el software de cálculo, que puede ser objeto de uso tras la sesión de observación, o bien realizable en tiempo real, donde se obtienen los resultados in situ.

Equipo de observación. Lo componen la antena, el sensor y la unidad de control o controlador.

- *La antena de recepción* tiene la misión de recibir las radiaciones electromagnéticas que emiten los satélites y transformarlas en impulsos eléctricos, los cuales conservan la información modulada en las portadoras. Se denomina centro radioeléctrico de la antena al punto que se posiciona en nuestra observación. Dado que éste no suele coincidir con el centro físico, es conveniente orientar todas las antenas de una misma observación en la misma dirección con el fin de que el error se elimine.

- *El sensor* recibe los impulsos de la antena receptora, y reconstruye e interpreta los componentes de la señal, es decir, las

portadoras, los códigos y el mensaje de navegación. En definitiva, lo que hace es demodular la señal original.

El proceso es el siguiente, el sensor corre los códigos, es decir, lo compara con una réplica que él mismo genera, y de este modo halla el tiempo que ha tardado en llegar la señal al receptor, obteniendo la distancia al satélite multiplicando esa diferencia de tiempos por el valor de la velocidad de propagación de las ondas en el vacío (aproximadamente unos 300,000 Km/s). Como estas distancias están afectadas de errores, se las denomina pseudodistancias.

Para obtener valores de pseudodistancia mediante diferencia de fase de las portadoras, el sensor reconstruye éstas por modulación bifase-binaria de los códigos modulados en ellas.

Las técnicas de obtención de los *códigos* son, entre otras:

- Correlación estrecha. Se utiliza para reconstruir los códigos C/A y P, éste último cuando no está encriptado.

- Correlación cruzada más cuadratura. Esta técnica se utiliza para desencriptar el código P cuando el A/S está activado. También recibe esta técnica el nombre de "P-code adied". Se fundamenta en encontrar el código W que es el responsable de que P no esté disponible para el usuario.

- Z-Tracking™. Es otra técnica para desencriptar el código P. Para ello, utiliza dos filtros de paso bajo, para reducir el nivel de ruido. Hasta el momento, es la técnica que menor degradación produce en la señal (18 dB) y mejores resultados proporciona.

Para reconstruir las *portadoras* se utiliza principalmente:

- Cuadratura. Consiste en elevar la onda al cuadrado, limpiando dicha onda de toda la información modulada en ella (códigos y mensaje). Este método tiene el inconveniente de que se produce un empeoramiento importante de la relación señal/ruido por el aumento de éste último, produciendo una degradación importante en la señal. Debemos añadir que toda señal recibida con una relación señal/ruido menor de 30 no debe ser considerada como útil en nuestros trabajos.

- Reconstrucción a partir de los códigos. Si por algunas de las técnicas anteriores hemos conseguido acceder a los códigos, podemos reconstruir las fases de las portadoras donde están modulados. La portadora  $L_1$  se puede reconstruir a través del código C/A y del código P, mientras que la  $L_2$  sólo a través del código P, ya que no contiene el C/A.

El sensor tiene unos canales de recepción, de doble señal si es un receptor bifrecuencia y de señal única si es de monofrecuencia. Cada canal recibe las señales de un satélite diferente, y dependiendo del número de canales obtendremos mayor o menor información en un momento dado. Los receptores disponen de un reloj u oscilador que sincroniza los tiempos de recepción. Estos relojes suelen ser de cuarzo con una alta estabilidad, dando precisiones de  $10^{-7}$  s. Con ellos se obtiene el desfase respecto al tiempo GPS. Este aspecto es el que supone el añadir una incógnita en el cálculo posterior, que no es otra que el estado del reloj en cada época de grabación.

### *Sección 1.03* **TIPOS DE RECEPTORES.**

Fundamentalmente existen:

#### **(A) NAVEGACIÓN.**

Reciben únicamente señales de código (tiempos). Son los instrumentos menos precisos, aunque su evolución está siendo espectacular. Sus aplicaciones más comunes son la navegación, catastro, GIS y levantamientos de escalas menores de 1/ 5000 en los más sofisticados.

#### **(B) MONOFRECUENCIA.**

Reciben las señales de código y fase de la portadora  $L_1$ . La precisión de estos instrumentos ya es significativa, y son de aplicación topográfica y geodésica en pequeñas distancias (hasta 100 Km.).

### **(C) BIFRECUENCIA.**

Reciben las señales de código y fase de las portadoras L1 y L2. La precisión y el rendimiento son mucho mayores debido a la posibilidad de combinar los datos y formar en post-proceso combinaciones de señales que agilizan el cálculo y eliminan los errores de retardo atmosférico. Están indicados para trabajos de precisión y allí donde el rendimiento y los buenos resultados requeridos sean máximos.

#### *Sección 1.04* **CALIDAD Y BONDAD DE LAS OBSERVACIONES.**

Al igual que cualquier observación de topografía clásica, una observación GPS o GLONASS está sometida a varias fuentes de error que se pueden minimizar o modelar según los equipos y metodología de observación que utilicemos. Un receptor determina las distancias que hay entre su antena y las antenas de los satélites desde los cuales está recibiendo su señal. Basándose en estas distancias y en el conocimiento de las posiciones de los satélites, el receptor puede calcular su posición. Sin embargo, diversos errores afectan a la medida de la distancia y por consiguiente se propagan al cálculo de la posición del receptor.

Las medidas de código y las medidas de fase se ven afectadas por errores sistemáticos y por error aleatorio. La precisión en posicionamiento absoluto que un usuario puede alcanzar con un receptor depende principalmente de cómo sus sistemas de hardware y software puedan tener en cuenta los diversos errores que afectan a la medición. Estos errores pueden ser clasificados en tres grupos: los errores relativos al satélite, los errores relativos a la propagación de la señal en el medio, y los errores relativos al receptor.

ELEMENTO	FUENTE DE ERROR
Satélite	Errores en el oscilador Errores o variaciones en los parámetros orbitales
Propagación de la señal	Refracción ionosférica Refracción troposférica S/A. Disponibilidad selectiva Pérdidas de ciclos Multipath. Ondas reflejadas
Receptor	Errores en el oscilador Error en las coordenadas del punto de referencia Centrado del instrumento Error en la manipulación del equipo Variación y desfase del centro de la antena

Figura 1. Fuentes de error.

Algunos de estos errores sistemáticos pueden ser modelados e incluso eliminados utilizando combinaciones apropiadas de las observaciones a partir de una o dos frecuencias, o trabajando en modo diferencial, utilizando dos receptores. En la medida de la calidad y bondad de una observación van a influir o contribuir dos términos: el URE y el DOP. El URE (User Range Error) es el error cometido en la medida de la pseudodistancia por el usuario. Este error contempla los errores al predecir las efemérides, inestabilidades en el vehículo espacial, relojes de los satélites, efectos ionosféricos y troposféricos, efecto multipath, ruido de la señal y para GPS, la Disponibilidad Selectiva (SA). Todos estos errores en su conjunto se recogen en el valor  $URE$ . El DOP o Dilución de la Precisión es la contribución puramente geométrica al error en el posicionamiento de un punto. Es un valor adimensional que da una idea de la solidez de la figura formada por el receptor y los satélites que tiene a la vista. Analizando estos factores de error en su conjunto, el error en el posicionamiento de un punto viene expresado por:

$$\text{error rms de posición} = URE \cdot DOP$$

## **(A) ERRORES RELATIVOS AL SATÉLITE.**

### **(a) ERROR DEL RELOJ DEL SATÉLITE.**

Este error es el desfase que tiene el reloj del satélite respecto al Tiempo GPS o respecto al Tiempo GLONASS. Los satélites llevan relojes atómicos con osciladores de cesio o de rubidio, sin embargo ningún reloj, incluso el atómico es perfecto.

Los errores en los osciladores de los satélites pueden eliminarse mediante las correcciones enviadas en el mensaje de navegación que recibe el receptor, y que son calculadas y actualizadas por las estaciones de seguimiento. Para cada reloj de satélite se determina su desfase para una época inicial, y los coeficientes de la marcha o deriva del estado del reloj. Estos parámetros se graban en el correspondiente satélite y se incluyen en el mensaje de navegación que manda el satélite. Pero aunque el receptor aplique las correcciones para el error del reloj del satélite, sigue permaneciendo un pequeño error residual estimado en unos 10 nanosegundos o menos, y que es debido a la imposibilidad de predecir exactamente la marcha del estado del reloj del satélite.

### **(b) ERRORES EN LOS PARÁMETROS ORBITALES.**

Para calcular su posición, el receptor debe conocer las posiciones de los satélites. Las estaciones de seguimiento registran datos de pseudodistancia y medidas de fase que mandan a la Estación de Control principal, donde con un sofisticado software se predicen las futuras posiciones orbitales de los satélites, es decir sus efemérides. Éstas son transmitidas en el mensaje de navegación del satélite. Pero las efemérides transmitidas por los satélites tendrán asociado un error a causa de que es imposible predecir exactamente sus posiciones. El efecto del error de las efemérides transmitidas en la medida de la pseudodistancia se obtiene proyectando el vector error de la posición del satélite sobre el vector que une el satélite y el receptor. Los errores en los parámetros orbitales se pueden eliminar trabajando con las



efemérides precisas de los días de observación, donde aparecen las verdaderas posiciones de los satélites.

Para líneas base cortas, trabajando en modo diferencial con dos receptores, respecto a los mismos satélites de observación, podemos eliminar todos los errores relativos a los satélites, ya que afectan de igual forma a ambos receptores. Para líneas base largas, el error del reloj del satélite se elimina igual, ya que es independiente de la línea base e igual en ambos puntos, pero los errores en los parámetros orbitales no se eliminan del todo, porque los errores que provocan en la pseudodistancia a un satélite en un punto no son los mismos que los que se producen en el otro punto para el mismo satélite e instante. El error depende de la orientación del vector error de la posición del satélite respecto de los vectores satélite-receptor para cada uno de los puntos.

## **(B) ERRORES RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL.**

La velocidad de propagación de la señal es crítica para cualquier sistema de medida de distancias. Esta velocidad multiplicada por el intervalo de tiempo en que se propagó la señal nos da una medida de la distancia. Si una onda electromagnética se propaga por el vacío, su velocidad de propagación, sea cual sea su frecuencia es la velocidad de la luz ( $c$ ). Sin embargo, en el caso de observaciones GPS o GLONASS, las señales deben atravesar las capas de la atmósfera hasta llegar al receptor posicionado sobre la superficie de la tierra. Las señales interactúan con partículas cargadas, que provocan un cambio en la velocidad y dirección de propagación, es decir, las señales son refractadas. Cuando la señal viaja por un medio que no es el vacío, ésta sufre un *retardo* debido a que la velocidad de propagación es menor, ya que la trayectoria aumenta su longitud al curvarse por refracción, si el medio no es isótropo.

### **(a) REFRACCIÓN IONOSFÉRICA.**

La Ionosfera es aquella región de la atmósfera comprendida entre 100 y 1000 Km de altitud, donde las radiaciones solares y otras

radiaciones ionizan una porción de las moléculas gaseosas liberando electrones, que interfieren en la propagación de ondas de radio. La Ionosfera es un medio disperso para ondas de radio, por lo tanto su índice de refracción es función de la frecuencia de la onda. También es función de la densidad de electrones, y en menor grado, de la intensidad del campo magnético de la tierra.

El error es proporcional a la densidad de electrones (TEC-Total Electron Content) a lo largo del camino seguido por la señal, y está en función del cuadrado de la longitud de la onda (inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia de la portadora). Este error varía espacial y temporalmente, es decir, para cada punto según su latitud y longitud, y momento de la observación. Se pueden utilizar modelos ionosféricos, como el de Klobuchar (1986) que establecen la distribución del TEC, pero estas concentraciones de electrones son irregulares y poco predecibles, por lo que cualquier modelo ionosférico es sólo una aproximación. El TEC es función del cambio constante en la ionización solar, de la actividad magnética, de los ciclos de las manchas solares, hora del día, lugar de observación, y dirección del camino de la señal. Una expresión en primer orden de aproximación para este retardo es:

$$f\Delta^{\text{iono}} = \frac{40.3}{cf^2} \dots \dots \dots TEC = \frac{A}{f^2}$$

TEC => electrones por m<sup>3</sup>. (Valores observados de 10<sup>16</sup> a 10<sup>19</sup>).

Debido a la dificultad de encontrar un modelo satisfactorio, se emplea un método más eficiente para eliminar la refracción ionosférica que es la utilización de dos señales con diferentes frecuencias. Como el retardo depende de la longitud de la onda, será distinto para cada frecuencia y podremos observar un retardo diferencial entre ambas, que será mayor cuanto mayor sea el retardo ionosférico sufrido, siendo por tanto este deducible.

También se pueden utilizar combinaciones de las observables que por su naturaleza estén libres del efecto ionosférico. Tal es el caso de la combinación de fases llamada "*combinación libre de efecto ionosférico*", en la que partiendo de la siguiente expresión:

$$\Phi_{L_1,L_2} = n_1 \Phi_{L_1} + n_2 \Phi_{L_2}$$

Lo que se pretende es obtener qué valores deben tener los coeficientes  $n_1$  y  $n_2$  para que los valores del efecto ionosférico que sufren ambas portadoras sean eliminados. Desarrollando esta expresión, se obtienen los valores de  $n_1$  y  $n_2$  para la *combinación libre de efecto ionosférico*, que quedaría de la forma:

$$\Phi_{L_1,L_2} = \Phi_{L_1} - \frac{f_{L_2}}{f_{L_1}} \Phi_{L_2}$$

La eliminación de la refracción ionosférica es la mayor *ventaja* de la combinación lineal libre de efecto ionosférico, pero el término libre de efecto ionosférico no es del todo correcto, ya que para su obtención hay que considerar algunas aproximaciones. Esta combinación libre de efecto ionosférico tiene la desventaja de que si  $N_{L_1}$  y  $N_{L_2}$  son valores enteros, la combinación da un valor:

$$N = n_1 N_{L_1} + n_2 N_{L_2} = N_{L_1} - (f_{L_2}/f_{L_1}) N_{L_2},$$

Que no es un valor entero, luego el concepto de fijar las ambigüedades en este caso no se puede aplicar y este valor va a ser siempre un valor real.

Si sólo se registran medidas en una sola frecuencia, tanto en pseudodistancias como en medida de fase, entonces se tiene que emplear un procedimiento alternativo para eliminar el efecto ionosférico. Normalmente se usan modelos empíricos para corregir el efecto, en los que se modela el TEC en función del tiempo, lugar de observación y dirección de la señal. En el mensaje de navegación se incluyen unos

parámetros para tal modelo. Usando este modelo se pueden llegar a reducir en un 50% los efectos de la Ionósfera.

Actualmente, estamos saliendo de un mínimo en la actividad de las manchas solares (11 años de ciclo), por lo que las condiciones ionosféricas son ahora más idóneas. Pero dentro de unos 4 años, estaremos cerca del máximo, y entonces los efectos de la Ionosfera en las señales serán mucho peores.

El retardo ionosférico depende del ángulo de elevación del satélite, siendo menor en el cenit, y mayor cuando disminuye el ángulo de elevación. En observaciones nocturnas, los niveles de TEC son menores que durante el día, lo que implica un menor error en la pseudodistancia.

Pero después de la aplicación del modelo empírico transmitido puede quedar algún error ionosférico residual que afectará principalmente a la componente altimétrica del punto y a la estimación del error del reloj del receptor. Este error contribuye poco a la posición planimétrica cuando la concentración de electrones encima del receptor es uniforme.

### **(b) REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA.**

La Troposfera es la última zona o capa de la atmósfera (hasta unos 80 Km, pero sólo en los últimos 40 se han producido retardos significativos), donde se produce retardo y donde las temperaturas decrecen con el incremento de altura. El espesor de la Troposfera no es el mismo en todas las zonas. La presencia de átomos y moléculas neutras en la Troposfera afectan a las señales de propagación electromagnética. El índice de refracción para un área parcial es función de su temperatura, de la presión de los gases secos y del vapor de agua. Esta atmósfera neutra es un medio no disperso con respecto a las ondas de radio de frecuencias superiores a 15 GHz, por lo tanto, la propagación es independiente de la frecuencia. Consecuentemente, no es necesario distinguir entre medidas de código y fase sobre las

portadoras  $L_1$  y  $L_2$ . La desventaja está en que no es posible eliminar la refracción troposférica con medidas en las dos frecuencias. El retardo troposférico experimentado por una señal que va desde un satélite a un punto en la superficie, puede ser expresado en primera aproximación por la siguiente integral a lo largo del camino recorrido por la señal:

$$\Delta^{Tro} = \int (n - 1) ds$$

Se introduce la aproximación de que la integral se realiza a lo largo del camino seguido por la señal. Usualmente, en lugar del índice de refracción se utiliza la refractancia:

$$N^{Trop} = 10^6 (n - 1)$$

$$\Delta^{Trop} = 10^{-6} \int N^{Trop} ds$$

La integral puede ser evaluada conociendo el índice de refracción, o puede ser aproximada por funciones analíticas. Pero lo más normal es utilizar aproximaciones basadas en modelos atmosféricos simplificados. Algunos de estos modelos son: el modelo de Hopfield (1969), modelo de Saastamoinen (1972), modelo de Hopfield modificado, Goad y Goodman (1974), Black (1978), Robinson (1986), etc.

1. En la mayoría de los casos, se considera por separado la *componente seca* y la *componente húmeda* :

Donde la componente seca resulta de la atmósfera seca y la componente húmeda del vapor de agua.

$$N^{Trop} = N_d^{Trop} + N_w^{Trop}$$

Se puede mejorar el cálculo del retardo troposférico tomando datos meteorológicos en el lugar de observación. A diferencia de la componente seca, la componente húmeda varía espacialmente y temporalmente. La componente seca es la causante de un 90% del total del retardo y puede ser obtenido con precisión de algunos milímetros a partir de medidas de presión en superficie. La componente húmeda es función del vapor de agua a lo largo del camino de la señal.

El gradiente térmico admite modelación con precisión aceptable, pero el principal problema está en la forma de modelar el vapor de agua, que tiene una irregular distribución. El simple uso de medidas meteorológicas en superficie, no puede dar la precisión alcanzable con los radiómetros de vapor de agua. Estos instrumentos miden la radiación basal que se recibe desde el espacio en la dirección de la observación, y son capaces de medir el contenido de vapor de agua en la atmósfera.

El retardo se puede evaluar en 1.9-2.5 m en la dirección cenital e incrementa aproximadamente con la cosecante del ángulo de elevación, llegando a ser de 20-28 m a unos 5°.

El efecto del *retardo ionosférico y el troposférico* debido al vapor de agua sobre las emisiones de la banda radioeléctrica es menor cuanto mayor sea la frecuencia, o cuanto menor sea la longitud de la onda. La refracción ionosférica y troposférica puede ser eliminada trabajando en modo diferencial, pero esto es sólo cierto para líneas base pequeñas, donde las medidas de distancias satélite-receptor se ven afectadas de igual forma por la refracción. De otro modo, ya vimos que la refracción ionosférica puede ser eliminada utilizando una adecuada combinación de datos en doble frecuencia.

### **(c) DISPONIBILIDAD SELECTIVA.**

La Disponibilidad Selectiva supone una alteración o manipulación de la información que los satélites de la constelación GPS envían a los usuarios en su mensaje de navegación, manipulación que realiza el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD). Se actúa sobre los estados de los relojes y parámetros orbitales. Trabajando con posicionamiento relativo o diferencial; se puede eliminar este error.

### **(d) PÉRDIDAS DE CICLOS.**

Las pérdidas de ciclos suponen un salto en el registro de las medidas de fase, producido por alguna interrupción o pérdida de la señal

enviada por el satélite. Estas pérdidas de ciclos pueden ser causadas por la obstrucción de la señal del satélite debido a la presencia de árboles, edificios, puentes, montañas, etc. Esta causa es la más frecuente, pero también pueden ser debidas a una baja SNR (calidad señal-ruido) debido a unas malas condiciones ionosféricas, efecto multipath, receptores en movimiento, o baja elevación del satélite. Otra causa puede ser una falla en el software del receptor, que conduce a un procesamiento incorrecto de la señal. Una última causa de pérdida de ciclo, aunque suele darse en raras ocasiones, es aquella debida a un mal funcionamiento del oscilador del satélite.

La detección de una pérdida de ciclo y su reparación requiere la localización del salto y determinación de su tamaño. La detección se lleva a cabo por medio de un chequeo o test de cantidad, estos test pueden ser la medida de la fase en bruto, combinaciones de fase, combinaciones de código y fase, etc. Una vez determinado el tamaño de la pérdida de ciclo, la reparación se hace corrigiendo a todas las observaciones de fase siguientes para este satélite y su portadora, según una cantidad fija. El software interno del receptor es capaz (in situ) de detectar y corregir las pérdidas de ciclo.

#### **(e) EFECTO MULTIPATH.**

El efecto multipath o multicamino es causado principalmente por múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite en superficies cercanas al receptor. Estas señales reflejadas que se superponen a la señal directa son siempre más largas, ya que tienen un tiempo de propagación más largo y pueden distorsionar significativamente la amplitud y forma de la onda. Este efecto puede ser considerablemente reducido eligiendo puntos de estación protegidos de reflexiones (edificios, vehículos, árboles, etc.), es decir, evitar las superficies reflectantes en las proximidades del receptor; y por un apropiado diseño de la antena, como es la utilización de planos de tierra, que reducen las interferencias de señales con baja elevación o incluso con elevación negativa, que son las que provocan el multipath, en otras palabras, se intenta reducir la intensidad de las señales secundarias y aislar a la

señal directa. El efecto multipath depende de la frecuencia de la portadora. Por lo tanto, las medidas de fase se verán menos afectadas que las medidas de código, donde el efecto multipath puede alcanzar hasta el nivel de un metro.

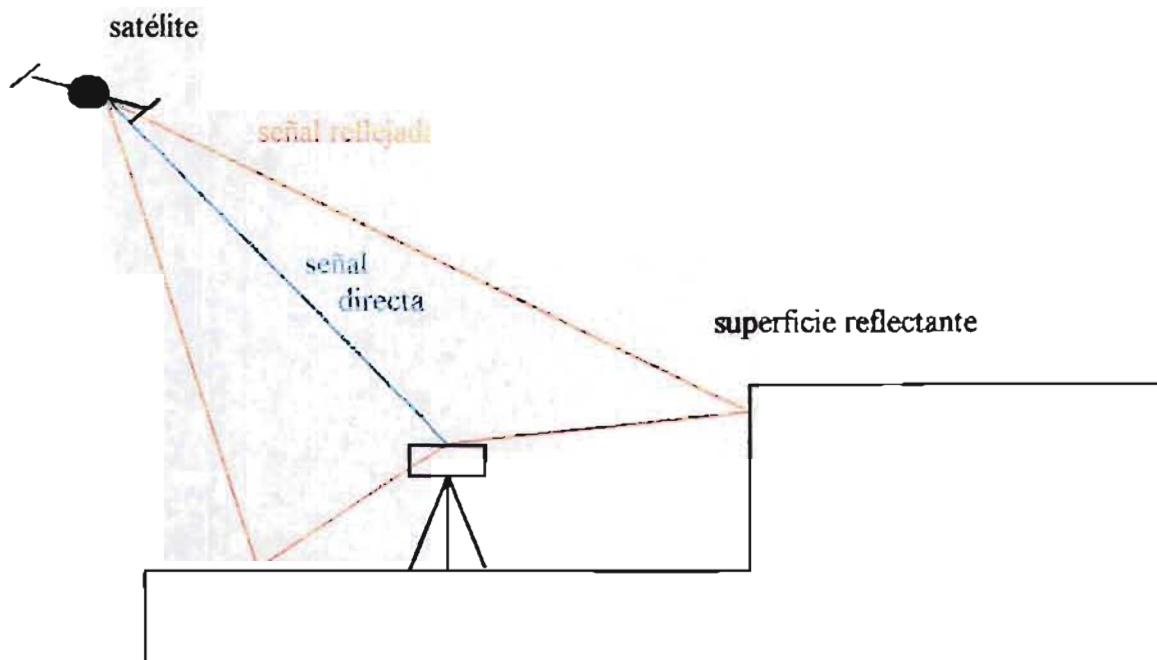


Figura 1 Efecto Multipath.

### **(C) ERRORES RELATIVOS AL RECEPTOR.**

#### **(a) ERROR DEL RELOJ.**

Cuando un receptor recibe una señal de un satélite, en ese momento su reloj interno tendrá un desfase o error con respecto a la Escala de Tiempo. Este error afectará a todas las medidas de pseudo-distancias realizadas para cada época.

Los errores en los osciladores de los receptores los podemos eliminar trabajando con posicionamiento relativo por medidas de fase, planteando las ecuaciones de dobles diferencias.



**(b) ERROR EN EL ESTACIONAMIENTO DE LA ANTENA.**

Los errores en el estacionamiento de la antena tienen menos influencia y las exigencias de centrado y nivelado son muy inferiores a las de los instrumentos de observación clásica. No necesitan una altísima estabilidad, ya que pequeños desplazamientos, vibraciones o torsiones en nada afectan a la observación de las señales de los satélites.

**(c) ERRORES EN LA MANIPULACIÓN DE LOS EQUIPOS.**

Los errores de manipulación se producen cuando no se siguen las instrucciones del fabricante del instrumento o cuando éstas suelen descuidarse cuando se trabaja rutinariamente. Por ejemplo, es importante no comenzar una observación hasta que no se hayan sincronizado perfectamente todos los satélites, ya que lo único que estaremos haciendo es introducir ruido a la observación.

**(d) VARIACIÓN DEL CENTRO RADIOELÉCTRICO DE LA ANTENA.**

La variación y desfase del centro de la antena se debe a la falta de coincidencia entre el centro radioeléctrico o punto que realmente se posiciona, ya que es el punto al que llega la señal; y el centro mecánico o físico, generando un error residual por excentricidad que puede ser de unos milímetros. Para evitar este error en posicionamiento relativo se recomienda una orientación aproximada común para todas las antenas, ya que el fabricante monta en el interior de todas las carcasas el elemento físico receptor en la misma posición respecto a alguna referencia exterior del conjunto, y trabajando en modo diferencial este error se eliminará en ambas estaciones.

*Sección 1.05* **FACTORES DE LA PRECISIÓN.**

La geometría de los satélites visibles es un factor importante a la hora de conseguir altas precisiones en el posicionamiento de un punto. Dicha geometría cambia con el tiempo como consecuencia del movimiento orbital de los satélites. Un factor que mide la bondad de

esta geometría es el denominado factor de la precisión (dilution of precision , DOP).

El valor del DOP puede ser interpretado geoméricamente como el volumen del cuerpo formado por los satélites y el receptor. Cuanto mayor sea el volumen de este cuerpo mejor será la geometría, y por lo tanto menor será el valor del DOP, siendo el valor ideal la unidad.

Como ya se vio anteriormente, el valor del DOP es el factor por el que debe ser multiplicado el error obtenido en las pseudo-distancias para obtener el error final en el posicionamiento. Los valores de DOP más utilizados son los siguientes:

- \* GDOP: factor de precisión en posición y estado del reloj.
- \* PDOP: factor de precisión en posición.
- \* TDOP: factor de precisión en el estado del reloj.
- \* HDOP: factor de precisión en planimetría.
- \* VDOP: factor de precisión en altimetría.
- \* RDOP: factor de precisión relativa entre dos puntos.

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

## **CAPITULO II. LOS RECEPTORES NAVEGADORES.**

### *Sección 2.01* **NAVEGACIÓN.**

Reciben únicamente observaciones de código tiempos. Son los instrumentos menos precisos, aunque su evolución está siendo espectacular. Sus aplicaciones más comunes son la navegación, catastro, GIS y levantamientos de escalas menores de 1/5000 en los más sofisticados.

Los receptores GPS denominados como "navegadores", son aquellos equipos que cuentan con funciones de navegación que permiten la localización de puntos en el terreno, por medio de la introducción de sus coordenadas geográficas. Estos receptores son de tamaños compactos que permiten su fácil manejo y operación con una sola mano. Generalmente, cuentan con pantallas que reportan distintos parámetros de navegación, como la velocidad, el rumbo, el tiempo y el odómetro de viaje, las coordenadas geográficas (latitud, longitud y altitud), la distancia y el tiempo que falta para llegar al punto de destino.

La navegación hacia algún punto de interés consiste solamente en dirigirse por tierra, mar o aire, según lo indican la flecha de rumbo, de tal forma que si el usuario se aparta de la dirección correcta, es advertido por alarmas gráficas y audibles. Cuando se está a menos de 10 metros de llegar al destino, el receptor de nuevo le indica al usuario del arribo al lugar de deseado.

Otra de las capacidades de los "navegadores" estriba en el hecho de poder capturar puntos con exactitudes de entre los 3 a 10 m según el grado de afectación de las obstrucciones locales. Los "navegadores" indican la exactitud que existe en ese momento, a través de un parámetro llamado EPE (Error Esférico Probable).

Los receptores tienen la capacidad generalmente de levantar de 250, 500 o 1000 puntos asociados a una clave y un pequeño comentario, que por defecto es la fecha y hora de captura. Esta información puede ser transferida al SIG, una vez que la información del receptor ha sido llevada a la computadora por medio de un cable de interfaz y un programa de cómputo.

## **Sección 2.02 MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO.**

Podemos diferenciar dos modos de posicionamiento, y dentro de ellos las variantes que se pueden considerar. Fundamentalmente son el diferencial y el absoluto.

### **(A) POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL.**

Es el que se realiza cuando las precisiones requeridas son mayores. Será mejor o peor en función del instrumental utilizado y la técnica de posicionamiento diferencial a la que se recurra.

El posicionamiento diferencial consiste en hallar la posición absoluta de un punto (móvil, objetivo, etc.) mediante las observaciones realizadas desde ese punto a unos determinados satélites, sumadas a las realizadas en ese mismo instante desde otro punto (referencia) a esos mismos satélites. Por lo tanto, aquí aparece el concepto de *línea base*, que es la línea recta que une el punto de referencia y el punto objetivo.

Esta línea base, no es medida de forma directa, ya que nuestras observaciones son sobre los satélites y no entre los puntos. Por lo tanto, la obtención de la línea base se produce de forma indirecta. Es por esto que las incógnitas no son los incrementos de coordenadas entre los dos puntos, sino que son los diferenciales ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ ) que hay que añadir a las coordenadas aproximadas absolutas ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ) de cada punto. Si conocemos de partida las coordenadas del punto de referencia, las incógnitas se reducen a las del punto objetivo, que una vez halladas,

unidas a las del punto de referencia, nos darán las componentes y valores de la línea base que los une.

Para resolver estos sistemas, se recurre a los algoritmos de simples, dobles y triples diferencias, explicados en el capítulo anterior, con los que se consigue eliminar gran parte de los errores que afectan a la observación y garantizan una posición relativa excelente entre dos puntos unidos por una línea base. Por lo tanto, con este método podemos tener posiciones relativas muy buenas, pero las posiciones absolutas en el sistema de referencia son igual de precisas que si hubiéramos usado un posicionamiento absoluto. Para solucionar esto, se introducen como puntos de referencia aquellos de los que se tiene conocimiento de su posición absoluta con precisión sobre el sistema de referencia en el que estamos trabajando.

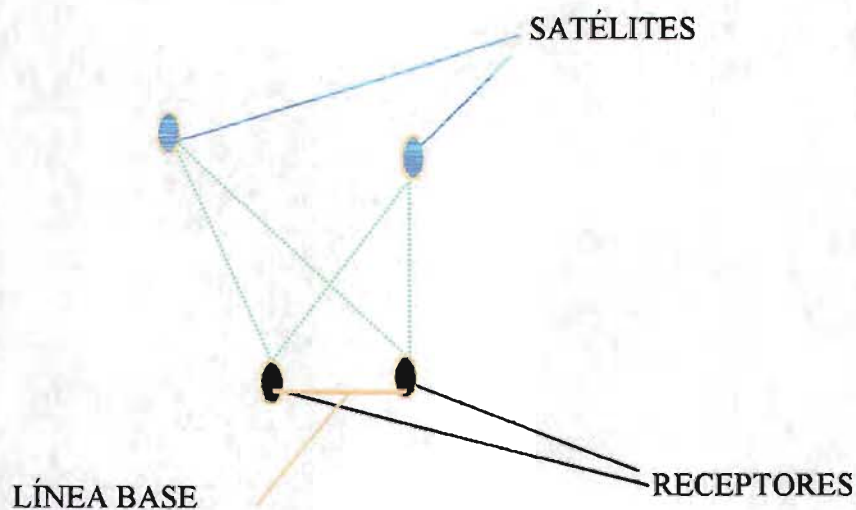


Figura 2. Situación de un posicionamiento diferencial.

Dependiendo de las operaciones, instrumentales de observación y software de cálculo utilizados, podemos citar las siguientes técnicas o métodos de posicionamiento diferencial:

- Estático. Este modo de posicionamiento consiste en el estacionamiento de receptores que no varían su posición durante la etapa de observación. La referencia puede establecerse en cualquiera de

ellos y la precisión será función del tiempo de observación, de la geometría y del instrumental utilizado.

Una variante del método estático es el denominado *estático rápido*, el cual se puso en funcionamiento gracias a la inclusión de algoritmos de tratamiento de las señales y espacios de búsqueda de ambigüedades más sólidos y rápidos. De este modo, el tiempo de observación y de cálculo se reduce considerablemente. Sirva como ejemplo que este tiempo se puede reducir a diez minutos en instrumentos monofrecuencia y a un minuto en instrumentos de bifrecuencia.

Podemos dar una relación de tiempos mínimos y tiempos aconsejables de un modo general en los cuales los resultados ya son satisfactorios:

	Tiempo mínimo	Tiempo óptimo
Instr. monofrecuencia	10 min.	20 min.
Instr. bifrecuencia	1 min.	10 min.

Cuando la distancia entre puntos supera los cien kilómetros o la diferencia de altitud entre ellos supera los 500 m, se debe plantear el prolongar estos tiempos de observación para contrarrestar los errores producidos por la Ionosfera y la Troposfera.

El método estático es el que mayor precisión proporciona, pero también es el que más tiempo de observación requiere. Se pueden obtener precisiones mejores de una parte por millón si utilizamos las observables de diferencia de fase.

Este método está especialmente indicado para:

- \* Confección de redes fundamentales en las cuales se vayan a apoyar trabajos de Cartografía, Fotogrametría o proyectos de ingeniería.
- \* Obtención de puntos de apoyo fotogramétrico y control de puntos existentes.

- \* Control de deformaciones en superficies y estructuras.
- \* Proyectos de investigación sobre el comportamiento y estructura de la atmósfera terrestre, como afecta a las señales, estudio de precisiones, etc.

No obstante, este método tiene la ventaja de que siempre se puede recurrir a él en caso de problemas con la aplicación de otro, ya que es válido para cualquier aplicación. No hay que olvidar que es el método fundamental y en el que se apoyan el resto de métodos de posicionamiento diferencial.

- Reocupación o pseudoestático. El método de posicionamiento es el estático, pero puede ocurrir que las condiciones de observación no sean idóneas, bien porque la bondad de la geometría es muy alta ( $GDOP > 8$ ) o bien porque disponemos de menos de cuatro satélites por apantallamientos u obstrucciones.

Para poder dar solución al problema, volvemos a repetir la observación al cabo de un cierto período (que puede ser visionado con los programas de planificación de observaciones a través de almanaques radiodifundidos), con el fin de obtener información de satélites distintos a los de la primera serie de lecturas. Para resolver el problema, el software mezcla los datos de las dos observaciones para formar un único sistema de resolución como si todo se hubiera realizado una sola vez.

Por lo tanto, el estacionamiento es estático, y la reocupación una forma de solucionar problemas que surgen debido a la falta de información necesaria en posicionamientos estáticos. Las aplicaciones y fundamentos en precisiones y tratamientos de observaciones son los mismos que los indicados en el método estático, aunque la precisión si que se puede ver mermada en ocasiones.

- Cinemático. Este método constituye una solución eficaz al inconveniente de los posicionamientos estáticos que requiere períodos de observación prolongados. Esta indicado para el tratamiento de observaciones de diferencia de fase.

El fundamento es establecer una estación fija de referencia, estática, y otra estación móvil que va a realizar las puestas en los puntos que se consideren necesarios. Para desarrollar este método es necesaria una inicialización, que supone calcular todos los parámetros de la línea base que une el móvil y la referencia en un instante. Una vez hecho esto, se conservan los valores de las ambigüedades, lo que hace que el número de incógnitas se reduzca a tres (X,Y,Z) del móvil, lo que requiere menos épocas de información para resolver el sistema y por lo tanto menor período de puesta. A modo de ejemplo, si tras la inicialización disponemos de información de seis satélites comunes entre la referencia y el móvil, tendremos en una época cinco ecuaciones en doble diferencia y tres incógnitas, por lo que ya podríamos resolver la posición del móvil. Si tomamos tres épocas, la redundancia es mayor y el resultado más confiable. Si hemos establecido que una época son cinco segundos, tendremos la solución con tan sólo quince segundos de puesta. El problema puede ser resuelto en tiempo real o en post-proceso.

Este método presenta la gran ventaja de que con él se obtienen resultados confiables y con buena precisión en poco tiempo, pero presenta el inconveniente de la posible pérdida de señal. Si esto se produce en un instante, las ambigüedades establecidas en la primera inicialización ya no sirven, lo que requiere un nuevo proceso de inicialización en el lugar donde se produjo la pérdida de señal.

Existen varios modos de inicialización:

\* *Estático rápido.* Se realiza una puesta estática de varias épocas hasta que se haya determinado la posición del móvil de forma satisfactoria. Es el modo más lento de inicialización, y es función del tipo de instrumental utilizado, información recibida y potencia del algoritmo de cálculo. Puede variar de uno a varios minutos.

\* *Estática en punto conocido.* El método es análogo al anterior, pero más rápido, ya que al conocer tres de las incógnitas del sistema (X,Y,Z) del móvil, las que quedan por determinar son únicamente los



incrementos de los valores de ambigüedad. Por lo tanto, necesitamos menos ecuaciones y en consecuencia menor tiempo de observación para resolver el sistema. Puede variar entre uno y dos minutos en función del tiempo en que se establezcan las épocas de grabación y la potencia del software de cálculo.

\* *En movimiento (OTF, On-The-Fly)*. Esta técnica desarrolla un algoritmo que aplica las observaciones recibidas en movimiento y resuelve el sistema sin tener que realizar puestas estáticas. Es muy cómoda, ya que estamos inicializando mientras nos dirigimos al punto objeto de posicionamiento.

La inicialización en modo OTF fue creada para aplicar técnicas de resolución cinemática a elementos que no pueden estar parados para efectuar inicializaciones estáticas, como son barcos y aviones, y facilitar las aplicaciones que les conciernen, como levantamientos batimétricos y vuelos fotogramétricos. En el caso del avión, el objeto es conocer las coordenadas de la cámara en el momento de las tomas, y en el caso del barco tener la información planimétrica puntual que completa las tres dimensiones con la medida directa de la ecosonda. Es evidente que si se produce una pérdida de señal, la inicialización se vuelve a realizar sin tener que detener los vehículos, hecho bastante difícil en los dos casos mencionados.

Pero la inicialización OTF no solamente se aplica en estos campos, sino que actualmente los equipos de observación por satélite terrestres incorporan esta posibilidad para cualquier tipo de trabajo, por su seguridad, rapidez y comodidad. Si las condiciones son favorables, la inicialización se puede realizar en menos de un minuto.

Dentro del modo cinemático, se puede trabajar con el modo *continuo* (denominado cinemático propiamente dicho) o en modo *discontinuo* (stop & go).

- Stop & Go. Para posicionar un punto con el receptor móvil (tras la inicialización satisfactoria) se realiza una parada en dicho punto de unas pocas épocas, después nos dirigimos al siguiente punto y actuamos de igual modo. El procedimiento se mantendrá hasta

completar el trabajo o hasta sufrir una pérdida de señal que obligue a inicializar otra vez.

Este método es apropiado para el levantamiento de puntos cercanos entre sí. Es imprescindible mantener la verticalidad de la antena en todo momento. La precisión del método siempre es función del tipo de instrumentación utilizado. Puede llegar a ser de uno a cinco centímetros en el mejor de los casos. Las aplicaciones más comunes son:

- \* Levantamientos taquimétricos en general.
- \* Determinación de superficies y parcelaciones.
- \* Control y evolución de fenómenos y obras.
- \* Densificación de información de una zona.
- \* Obtención de perfiles transversales.

- Continuo. También denominado Cinemático propiamente dicho. En este caso, el receptor móvil no efectúa ninguna parada, normalmente porque no le es posible. Está indicado para el uso de estaciones móviles ubicadas en vehículos en movimiento, como aviones, trenes, camiones, barcos, turismos, etc. Para su aplicación, basta con indicar el tiempo transcurrido entre una grabación y otra (épocas de grabación) para posicionar las situaciones puntuales del receptor en movimiento continuo. Por ejemplo, si hemos establecido una época como cinco segundos, y queremos que el posicionamiento se produzca cada treinta segundos, deberán transcurrir seis épocas de observación para efectuar el posicionamiento. El intervalo de grabación (épocas) para el método cinemático es aconsejable que sea de cinco segundos o menos.

Este método presenta el mismo inconveniente que el anterior, que es la posible pérdida de señal. Si esto se produce, y se dispone del modo OTF, el vehículo no necesita detener su marcha. Las aplicaciones más comunes de este método son:

- \* Determinación de la trayectoria de vehículos en movimiento.
- \* Levantamientos batimétricos.
- \* Navegación.

\* Determinación de itinerarios (carreteras, caminos, canales, rutas, líneas de enlace de redes, cauces fluviales, etc.).

DGPS. Aunque su traducción es "GPS diferencial", se utiliza esta terminología para trabajos diferenciales en los que solamente intervienen medidas de código (observables de tiempo). Ciertamente es, que con las actuales técnicas de posicionamiento conjunto GPS/GLONASS este término no es correcto, pero se sigue utilizando.

Existen ocasiones en las que la precisión en los posicionamientos no necesita recurrir a técnicas de medición de diferencia de fase, lo que supone además un considerable ahorro en instrumental de observación.

El posicionamiento diferencial con medidas de código se realiza resolviendo sistemas en simples diferencias, donde las incógnitas son las tres coordenadas de los puntos y el estado del oscilador de los receptores en cada época.

Los resultados obtenidos con este método de posicionamiento son excelentes en muchos de los casos, siendo mejores en distancias mayores de 200 Km. Las precisiones pueden alcanzar en algunos casos el decímetro, pero los resultados son muy inestables, ya que la geometría de observación, la calidad de recepción de la señal (relación señal /ruido) y el funcionamiento del oscilador del receptor han de ser factores óptimos para obtener estos resultados. Para garantizarlos, se deben realizar puestas largas (15-30 min.) para que se dé la redundancia suficiente. Lo normal es asegurar los 30-50 cm.

La evolución de las técnicas de tratamiento de los códigos en la medida de distancias está siendo espectacular, y este método está llamado a ser la nueva alternativa a los trabajos topográficos y geodésicos por sus altos rendimientos, facilidad en el tratamiento de datos y menor costo económico.

No obstante, las medidas de código pueden ser "suavizadas" por las medidas de diferencia de fase (si en la recepción se obtuvieron

éstas) para obtener rendimientos aún mejores. El proceso de los datos con código diferencial puede hacerse en tiempo real y en post-proceso.

Existe la posibilidad de trabajar en DGPS con un único receptor, al que se le debe sumar una unidad de control y un transmisor/receptor de radiofrecuencia que emite los datos de observación a una estación central de referencia, que envía datos de posicionamiento en formato RTCM o RTCA a la estación móvil, obteniendo la posición en tiempo real.

Las aplicaciones más comunes del DGPS son:

- \* Navegación de precisión.
- \* Levantamientos y apoyo para cartografías de escalas menores de 1/5000.
- \* Confección y actualización de sistemas de información geográfica.
- \* Todo trabajo en general que no requiera precisiones mayores de 0.3-0.5 m.

## **(B) POSICIONAMIENTO ABSOLUTO.**

Se realiza con un único receptor, y consiste en la solución de una intersección directa de todas las distancias receptor-satélite sobre el lugar de estación en un período de observación dado. La medida y la solución son por lo tanto directas.

Para llevar a cabo el posicionamiento, el receptor recibe las señales de los satélites y determina su posición en coordenadas absolutas y en el sistema de referencia al que están referidos los satélites. Las observaciones utilizadas para el posicionamiento absoluto suelen ser los códigos, pero también se podrían utilizar las diferencias de fase o ambas.

Para resolver un posicionamiento absoluto es necesario recibir la información de al menos cuatro satélites, ya que cada uno de ellos proporciona una ecuación al sistema y nuestras incógnitas son cuatro (X,Y,Z) y estado del reloj del receptor. Esto está garantizado gracias a las configuraciones de las constelaciones NAVSTAR y GLONASS, según

las cuales siempre tendremos en cualquier lugar del planeta al menos cuatro satélites sobre el horizonte.

El posicionamiento absoluto tiene la ventaja de que con un sólo instrumento de observación podemos obtener nuestra posición, pero posee una serie de inconvenientes que repercuten seriamente en la precisión del posicionamiento, y por ello no hace del método una aplicación apropiada en trabajos de precisión. Entre los inconvenientes más relevantes destacan:

- \* Influencia importante de los errores producidos por la atmósfera.

- \* En el caso de recibir señales de la constelación NAVSTAR, el efecto de la disponibilidad selectiva (S/A) hace que nuestro posicionamiento no sea el correcto.

- \* Imposibilidad de eliminar errores por compensación, como son el efecto multipath, osciladores, excentricidad de la antena, retardo atmosférico, etc.

Esto, hace sea una forma expedita de posicionamiento, resultando útil para usuarios de barcos, aviones, vehículos, deporte, ocio y todas aquellas aplicaciones donde la tolerancia de error al determinar una posición esté por encima de los cien metros, que viene ser la precisión que ofrece generalmente el método, en función del tipo de receptor, estado de la constelación y condiciones de observación. Las soluciones se suelen obtener en tiempo real, bien con solución instantánea de navegación o por resolución de un sistema mínimo cuadrático en el que la redundancia del sistema está en función del tiempo de observación. Se habla entonces de los posicionamientos absolutos más precisos (puntos singulares o "single point").

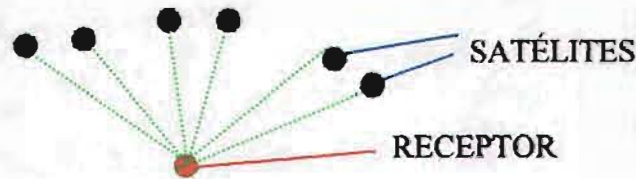


Figura 3. Situación de un posicionamiento absoluto.

### **Sección 2.03 TRABAJO EN TIEMPO REAL.**

En primer lugar, debe quedar claro que el trabajo en tiempo real no es un método de posicionamiento por satélite, sino que es una forma de obtener los resultados una vez procesadas las observaciones.

El procesamiento de estas observaciones puede ser realizado con un software post-proceso, previa inserción de los datos de observación necesarios, ya sea en campo o en gabinete. Ahora bien, este cálculo puede ser realizado de forma inmediata a la recepción de las observaciones y ser efectuado por la unidad de control, obteniendo las coordenadas en el instante, es decir, en tiempo real. Para ello, se incorporan los algoritmos de cálculo del software post-proceso, o parte de ellos, a los controladores para este tipo de aplicaciones.

Esto, supone una gran ventaja, ya que todo el tiempo que se invierte en insertar, tratar, revisar y procesar los datos se suprime al obtener los resultados al instante. Pero también tiene una serie de inconvenientes, que lo serán mayores o menores en función del tipo de trabajo y las condiciones de la observación. Entre ellos se destacan:

\* *La limitación de los radiomodem de emisión y transmisión de datos.* Chocamos con el problema de las licencias de frecuencias y potencias de señal permitidas. Un equipo que funcione con 0.5 w, que está permitido por las autoridades, está limitado a un radio de acción de unos pocos Km (7-8 Km con seguridad), lo que limita el rendimiento del trabajo. Sin embargo, con potencias de señal mayores se puede llegar a trabajar en radios de hasta 50 Km.

- \* *Imposibilidad de revisar los archivos de observación.*
- \* *Limitación en las correcciones de tipo atmosférico.*
- \* *Limitación en los procesos de transformación de coordenadas.*
- \* *Pobre tratamiento de la información estadística.*
- \* *Escasa manipulación de los parámetros de cálculo.*

Es evidente que los fabricantes no van a proporcionar herramientas que den resultados erróneos, ya que pasan severos controles de calidad, pero puede ocurrir que en ocasiones, debido a malas recepciones de la señal o a planteamientos equivocados en las observaciones se cometan errores que no pueden ser detectados si no se revisan los archivos de proceso con información detallada y completa.

Por todo esto, es conveniente y recomendable que los usuarios incorporen en sus gabinetes un software completo de procesamiento de datos por satélite, para su uso en trabajos donde la precisión es muy importante y además para comprobar y verificar que se replten los resultados obtenidos previamente en tiempo real.

En el argot actual de la Topografía aplicada al posicionamiento por satélite, se denomina *equipo de trabajo con módulo RTK* (Real Time Kinematic) a aquel que incorpora un software completo en la unidad de control y un sistema de transmisión de información que permite la obtención de resultados en tiempo real. Los módulos RTK pueden procesar observaciones de código y de diferencia de fase, y son aplicables a cualquier trabajo donde el posicionamiento por satélite sea necesario.

Las fases del trabajo en tiempo real con módulo RTK son las siguientes:

- El equipo de trabajo mínimo son dos equipos de observación (sensor y antena), dos radiomodems (transmisor y receptor) y un controlador en la unidad móvil con un software de proceso de datos.
- En primer lugar, se estaciona el equipo de referencia (sensor, antena y radiodem transmisor), que va a permanecer fijo durante

todo el proceso. El radiomodem transmisor va a transmitir sus datos de observación por ondas de radio al receptor incorporado en el equipo móvil, que a su vez almacenará en la unidad de control.

- En segundo lugar, si el método escogido es el posicionamiento estático, el controlador calculará la posición del móvil en tiempo real. Si el método elegido es del tipo cinemático (stop & go o cinemático continuo), se debe proceder a la *Inicialización*, necesaria para poder efectuar estos modos de posicionamiento. Tras efectuarse con éxito, se pueden determinar coordenadas de puntos en pocos segundos. En ocasiones la inicialización es muy rápida y con una confiabilidad muy alta, pero conviene comprobar las coordenadas obtenidas sobre un punto conocido para verificar que la inicialización a sido correcta.

Hasta aquí hemos descrito el funcionamiento del módulo RTK, que como se ha podido ver, está asociado a trabajos de cierta precisión, pero existen otras formas de trabajo en tiempo real. Es cierto que en posicionamientos absolutos, la solución instantánea por navegación la estamos obteniendo en tiempo real.

Otro sistema de trabajos diferenciales en los cuales se pueden obtener resultados en tiempo real es con métodos DGPS. En este caso, se trabajan con observaciones de código en modo diferencial, donde se pueden obtener precisiones por debajo del metro, muy indicadas para otras aplicaciones. Estos trabajos pueden ser solucionados si disponemos de un módulo RTK, pero también a través de correcciones RTCM o RTCA recibidas de una estación de referencia que calcula y determina nuestra posición en modo diferencial (al contrario que con RTK, que es el móvil el que incorpora el proceso de cálculo) y nos las envía a través de ondas de radio. De este modo, con un equipo de observación, un radiotransmisor/receptor y un contrato de uso, podemos posicionarnos en modo diferencial. Estas emisiones suelen ser realizadas a través de satélites destinados para ello o por repetidores de superficie. Este método de trabajo es, hoy por hoy, uno de los más usados en navegación, apoyos para cartografías de pequeña escala, confección y actualización de GIS, control de volúmenes y superficies, deporte y ocio, etc.



Es evidente que la obtención de resultados en tiempo real es una gran ventaja en todos los trabajos de índole topo-geodésicos, así como en todos los campos donde esté presente el posicionamiento por satélite.

En la actualidad, el software de los controladores incorpora potentes programas para hallar datos de replanteo en cualquier sistema de referencia. Apoyados en la estación de referencia, podemos replantear cualquier punto en la superficie, ya que obtenemos información en tiempo real de la situación y dirección a seguir desde la referencia deseada (ya sea una base de replanteo, el punto anterior u otro que resulte de interés) para localizar y materializar el punto correspondiente.

Todos los aspectos anteriores dan fuerza para recurrir a estas técnicas cuando el objeto buscado es la producción rápida y eficaz con buenos resultados, que es, hoy por hoy, esencial en el desarrollo tecnológico y económico de cualquier ente.

## **Sección 2.04 EJEMPLOS GRÁFICOS DE LAS PROYECCIONES GEOGRÁFICAS MÁS COMUNES**

Existen más de 20 proyecciones diferentes para realizar los mapas. Aquí tienes representados algunos ejemplos gráficos de las 6 proyecciones más comunes.

1. Proyección Cilíndrica Equidistante (Equidistant Cylindrical Projection)
2. Proyección Mercator (Mercator Projection)
3. Proyección Lambert de Azimut y área constante (Lambert Acimutal Equal-Area Projection )
4. Proyección Polar Estereográfica (Polar Stereographic Projection )
5. Proyección de Azimut Equidistante (Acimutal Equidistant Projection)
6. Proyección Ortográfica (Orthographic Projection)

Las dos primeras proyecciones siempre presentarán un mapa rectangular del área especificada. Se exceptúan las áreas comprendidas en las latitudes  $85^{\circ}$  norte o sur, que no podrán ser representadas si se escoge la Proyección Mercator.

Los mapas representados por la Proyección Polar Estereográfica, serán dibujados con gráficos curvos. Estos mapas corresponden a un gráfico completamente circular o curvo con una extensión Este-Oeste de  $360^{\circ}$ .

Un mapa que use la Proyección Lambert será una figura rectangular siempre que defina áreas pequeñas o de tamaño medio. En mapas de grandes áreas se representa sobre un hemisferio entero con el área especificada dibujada en el centro del mapa.

La Proyección de Azimut Equidistante está representada por un dibujo circular del mundo entero que tiene representado el área de interés en el centro de la gráfica. Todas las distancias medidas corresponden con la realidad. Todos los sitios localizados a  $180^{\circ}$  del centro del mapa corresponden a la circunferencia exterior de esta figura.

La Proyección Ortográfica siempre es una imagen hemisférica . El área de interés siempre está representada en el centro de la imagen.

**(A) PROYECCIÓN CILÍNDRICA EQUIDISTANTE.**

Esta proyección cilíndrica es realmente un entramado lineal de longitudes y latitudes, Es también conocida como la Proyección de Plate Carée. Es característico observar que todas las líneas de los meridianos y paralelos son líneas rectas, y que todas las áreas representadas corresponden a perfectos cuadrados. Fíjese que las áreas en la proyección Mercator cerca de los polos son más grandes.

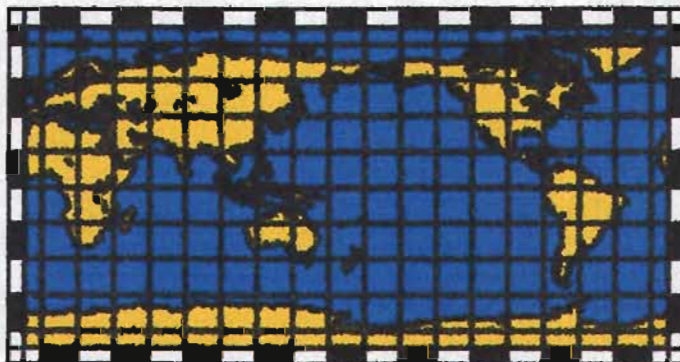


Figura. 4

**(B) PROYECCIÓN MERCATOR.**

Esta proyección es probablemente la más famosa de todas las proyecciones, y toma el nombre de su creador, en 1569. Es una proyección cilíndrica que carece de distorsiones en la zona del Ecuador. Una de las características de esta proyección es que la representación de una línea con un azimut (dirección) constante se dibuja completamente recta. Esta línea se llama línea de rumbo o loxódromo. De esta forma, para navegar de un sitio a otro, sólo hay que conectar los puntos de salida y destino con una línea recta, lo que permite mantener el curso constante durante todo el

viaje. Esta Proyección se usa extensivamente para representar los mapas mundiales, pero las distorsiones que crea en las regiones polares son bastantes grandes, dando la falsa impresión de que Groenlandia y la antigua Unión Soviética son más grandes que África y Sudamérica.

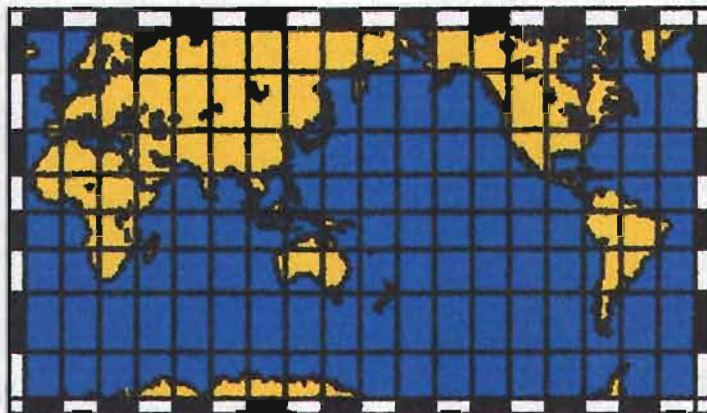


Figura. 5

### **(C) PROYECCIÓN LAMBERT DE AZIMUT Y ÁREA CONSTANTE**

Esta proyección fue creada por Lambert en 1772, y se usa típicamente para representar grandes regiones del tamaño de los continentes y hemisferios. Carece de perspectiva. Las áreas representadas coinciden con las reales. La distorsión es cero en el centro de la proyección para cada plano que se represente, pero esta distorsión aumenta radialmente conforme se aleja del centro.



Figura. 6



Figura. 7

### **(D) PROYECCIÓN POLAR ESTEREOGRÁFICA**

Este tipo de proyección se basa en las proyecciones que realizaban los griegos. Su uso principal es representar las regiones polares. Es característico ver que todos los meridianos son líneas rectas, con un azimut constante, mientras que los paralelos constituyen los arcos de un círculo.



Figura. 8

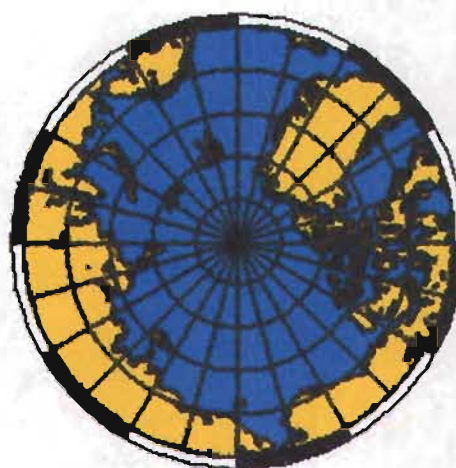


Figura.

### **(E) PROYECCIÓN DE AZIMUT EQUIDISTANTE**

Lo más notorio de esta proyección es que las distancias medidas desde el centro del mapa son todas verdaderas. Por tanto, un círculo que se dibuje representa el conjunto de puntos que están equidistantes del origen de dicho círculo. Además, las direcciones señaladas desde el centro son también todas verdaderas. Este tipo de representación ha sido creada desde hace varios siglos. Es útil para hacerse una idea global de todas las localizaciones que están equidistantes de un punto determinado.



Figura. 10

### **(F) PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA**

Esta proyección presenta una perspectiva tomada desde una distancia infinita. Se usa principalmente para presentar la apariencia que el globo terráqueo tiene desde el espacio. Como la proyección de Lambert y la estereográfica, sólo un hemisferio se puede ver a un tiempo determinado. Esta proyección no es ni conforme ni posee áreas reales, e introduce muchísima distorsión cerca de los bordes del hemisferio. Las direcciones desde el centro de la proyección son, sin embargo, verdaderas. Esta proyección fue usada por los egipcios y los griegos hace más de 2000 años.



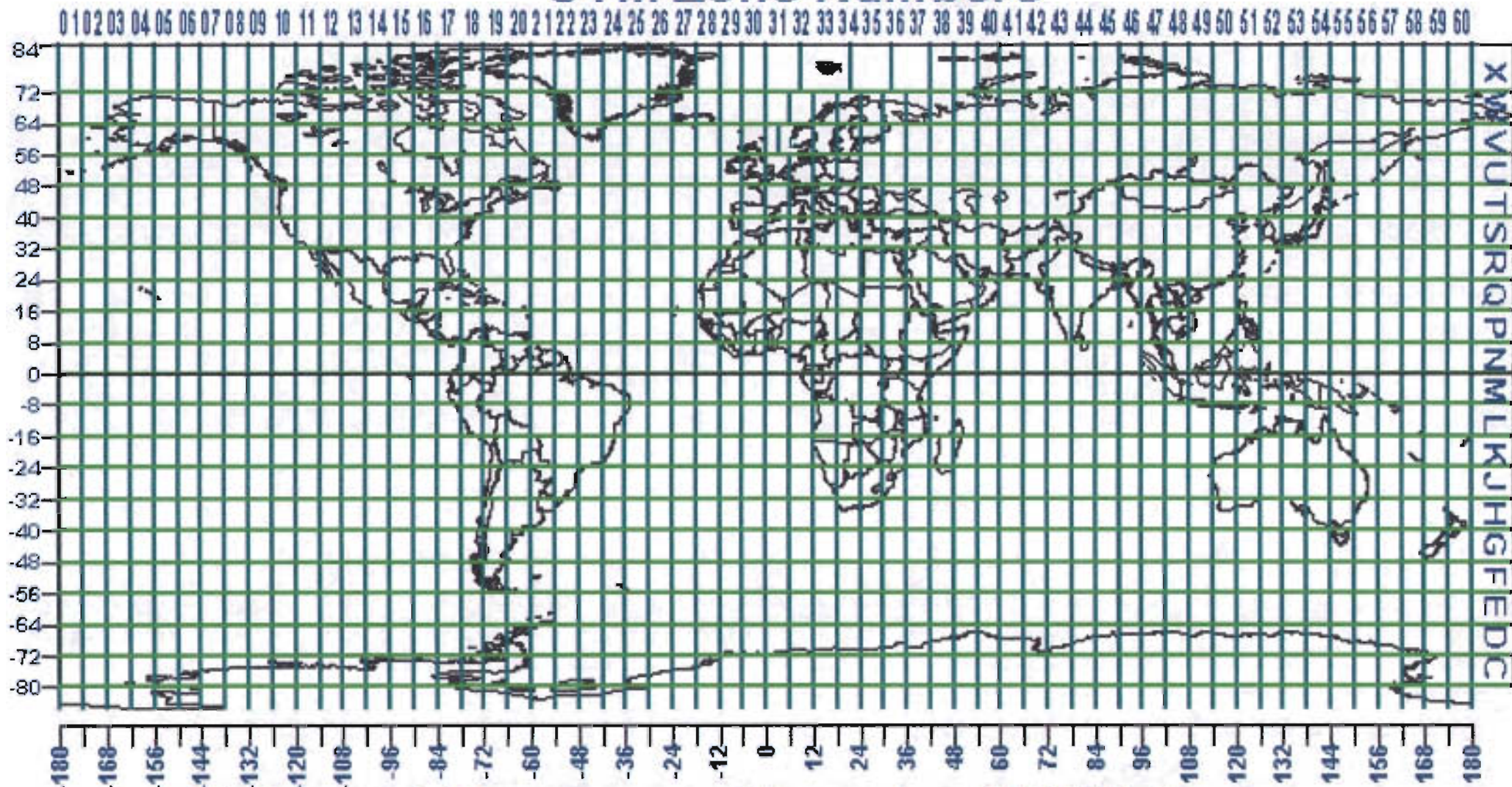
Figura. 11

### **Sección 2.05 CARACTERÍSTICAS DE LAS COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR Y DESCRIPCIÓN DE ESTE TIPO DE COORDENADAS**

#### **CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS UTM**

- Aquí se tiene una representación de las 60 zonas UTM de la Tierra. Dibujo realizado por Peter H. Dana, de la Universidad de Texas. Es importante destacar aquí que a las zonas, también se les llama husos o región. Por lo que podemos decir que la Tierra está dividida en 60 regiones, y podemos hablar del huso 11 al 16 entre las bandas P y R que pertenecen a nuestro país.
- Cada zona UTM está dividida en 20 bandas (desde la C hasta la X)
  - Las bandas C a M están en el hemisferio sur.
  - Las bandas N a X están en el hemisferio norte.
- Una regla útil es acordarse de que cualquier banda que esté por encima de N (norte) está en el hemisferio norte.
- Las primeras 19 bandas (C a W) están separadas o tienen una altura de 8° de Latitud cada una. La banda 20 o X tiene una altura de 12°
- También debemos destacar que en el esquema de abajo, y por razones de simplificación, se representa cada región y banda.

# UTM Zone Numbers



UTM Zone Designators

## Universal Transverse Mercator (UTM) System

Peter H. Dana 9/7/94

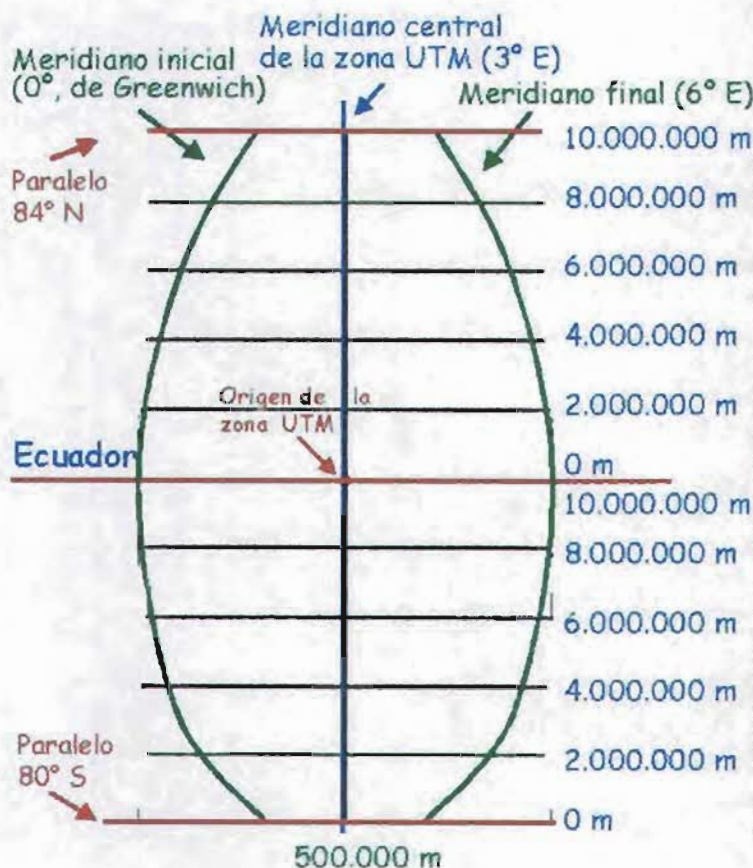
Proyección Universal Mercator (UTM).



**DESCRIPCIÓN DE LAS COORDENADAS UTM**

- Por definición, cada zona o región UTM tiene como bordes o tiene como límites dos meridianos separados 6°.
- Esto crea una relación entre las coordenadas geodésicas angulares tradicionales longitud y latitud (medidas en grados) y las rectangulares UTM (medidas en metros), permitiendo el diseño de fórmulas de conversión entre estos dos sistemas de coordenadas.
- La línea central de una zona UTM siempre se hace coincidir con un meridiano del sistema geodésico, al que se llama MERIDIANO CENTRAL. Este meridiano central define el origen de la zona UTM (ver adelante).

En realidad, este esquema está dibujado fuera de escala. La altura de una zona UTM es 20 veces la distancia cubierta por la escala horizontal. Se ha dibujado así por razones de espacio.



**Características de la zona UTM 31**

- Los límites de una zona UTM coinciden con dos meridianos separados 6°.
- El centro de la zona coincide con un meridiano, el meridiano central, que señala al norte.
- El origen de la coordenada UTM es la intersección del meridiano central con el ecuador. A este Origen se le da un valor relativo 0 km Norte, 500 km Este para el hemisferio norte, y 10.000km norte y 500 km Este para el hemisferio sur. Así no hay números negativos.
- Las zonas UTM se extienden desde el paralelo 84° N hasta el 80° S. Hay 60 zonas UTM, con 6° cada una, que completan los 360° de la Tierra.
- Las zonas UTM se estrechan y sus áreas son menores conforme nos acercamos a los polos.

- Por tanto, los límites este-oeste de una zona UTM está comprendida en una región que está 3° al Oeste y 3° al Este de este meridiano central. Los meridianos centrales están también separados por 6° de longitud.
- Los límites Norte-Sur de una zona UTM es aquella comprendida entre la latitud 84° N, y la latitud 80° S. El resto de las zonas de la Tierra (las zonas polares) están abarcadas por las coordenadas UPS (Universal Polar Stereographic).
- Cuando se considera la orientación norte-sur, una línea de una zona UTM coincide con los meridianos de las coordenadas angulares sólo en el meridiano central.
- En el resto de la zona no coinciden las líneas de la zona UTM (el grid) con los meridianos. Estas diferencias se acentúan en los extremos derecho e izquierdo de la zona UTM, y se hacen mayores conforme nos alejamos del meridiano central.
- Por esta razón, en una zona UTM, la única línea (de grid) que señala al verdadero norte es aquella que coincide con el meridiano central. Las demás líneas de grid en dirección norte-sur se desvían de la dirección del polo norte verdadero. El valor de esta desviación la llaman "Convergencia De Meridianos" (CONVERGENCIA DE CUADRÍCULA O DE CANEVÁ). Los mapas o cartas topográficos de cierta calidad suelen incluir esta información referenciándola con el centro del mapa. La declinación en el hemisferio norte es Oeste (Occidente) cuando el valor de Easting es inferior a 500,000 metros, y es Este (Oriente) cuando es mayor de 500,000 metros. Ver el esquema de arriba para verlo mejor.
- Puesto que un sistema de coordenadas rectangulares como el sistema UTM no es capaz de representar una superficie curva, existe cierta distorsión. Considerando las 60 zonas UTM por separado, esta distorsión es inferior al 0.04%.
- Cuando se considera la orientación este-oeste, sucede un fenómeno parecido. Una línea UTM coincide con una sola línea de latitud: la correspondiente al ecuador. Las líneas de grid de la

zona UTM se curvan hacia abajo conforme nos movemos al norte y nos alejamos del meridiano central, y NO coinciden con las líneas de los paralelos. Esto se debe a que las líneas de latitud son paralelas al ecuador en una superficie curva, pero las líneas horizontales UTM son paralelas al ecuador en una superficie plana.

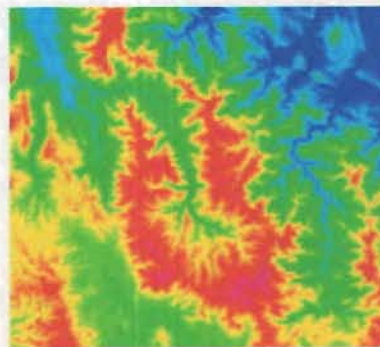
- Una zona UTM siempre comprende una región cuya distancia horizontal al Este (Easting) es siempre inferior a 1,000,000 metros (*de hecho, la "anchura" máxima de una zona UTM tiene lugar en el ecuador y corresponde aproximadamente a 668 km, ver adelante*). Por eso siempre se usa un valor de Easting de no más de 6 dígitos cuando se expresa en metros.
- Para cada hemisferio, una zona UTM siempre comprende una región cuya distancia vertical (Northing) es inferior a 10,000,000 metros (*realmente algo más de 9,329,000 metros en la latitud 84° N*). Por eso siempre se usa un valor de Northing de no más de 7 dígitos cuando se expresa en metros.
- Por esta razón siempre se usa un dígito más para expresar la distancia al norte (Northing) que la distancia al este (Easting).
- Por convenio, se considera EL ORIGEN de una zona UTM al punto donde se cruzan el meridiano central de la zona con el ecuador. A este origen se le define:
  - con un valor de 500 km ESTE, y 0 km NORTE cuando consideramos el hemisferio norte.
  - con un valor de 500 km ESTE y 10,000 km NORTE cuando consideramos el hemisferio sur
- *NOTA . Eso significa que los extremos izquierdos y derecho de la zona UTM no corresponden nunca a las distancias 0 y 1,000 km, respectivamente. Eso es así porque la zona UTM nunca tiene un ancho de 10,000 Km. Recordar que 6° de longitud equivalen a una distancia aproximada de 668 km en el ecuador, y se hace menor conforme aumenta la latitud hacia ambos polos, porque la Tierra es casi una esfera.*

- Al dar al origen (punto medio de la zona) un valor de 500 km, decimos que estamos dando un FALSO ORIGEN, y además, UN FALSO EASTING y un FALSO NORTHING. Se pretende de esta forma que nunca se usen valores negativos.
- El clásico y cada vez más conocido nombre de Modelo Digital de Elevación, crea la idea automática de que necesariamente el grupo de valores numéricos deba visualizarse como un "modelo" de tercera dimensión cuando se usa un equipo de cómputo. Tal grupo de valores numéricos puede ser conceptualizado como un arreglo matricial o tabular de los valores de "X", "Y" y "Z" para cada punto. Para una mejor idea de esto, la siguiente es una manera de representar como texto los valores numéricos.

• X	• Y	• Z
• 277800	• 2178550	• 1996
• 277800	• 2178500	• 1995
• 277800	• 2178450	• 1993
• 277800	• 2178400	• 1992
• 277800	• 2178350	• 1991
• 277800	• 2178300	• 1990
• 277800	• 2178250	• 1990
• .....	• .....	• .....
• 277850	• 2178550	• 1996
• 277850	• 2178500	• 2000
• 277850	• 2178450	• 2007



Representación tipo malla  
en vista isométrica



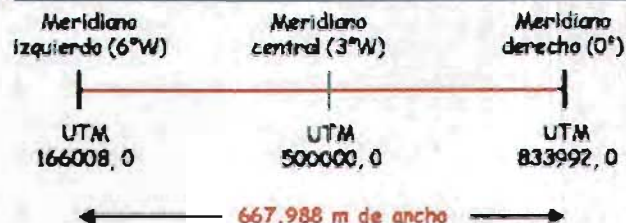
Representación en dos dimensiones  
por medio de tonos

- Características
- Los MDE escala 1:50,000 que genera el INEGI, tienen las siguientes características:
- Los valores de "z" son de altitud o de alturas ortométricas, en unidades enteras de metro y están referidos al nivel medio del mar, con base en el Datum Vertical para Norteamérica de 1929 (NAVD29).
- Los puntos del MDE están referenciados horizontalmente al sistema de coordenadas de proyección UTM (Universal Transversa de Mercator). El Sistema de referencia geodésico es NAD27 o ITRF92 Época 1988.0
- El cubrimiento de cada MDE corresponde al formato regular de 15' de latitud por 20' de longitud de la cartografía elaborada a esa escala por el INEGI.
- El espaciamiento (resolución espacial) entre las intersecciones de la retícula de elevaciones es de 50 metros en las dos direcciones,

es decir, la retícula forma una cuadrícula regular de 50x50 metros de lado.

- El número de puntos y en consecuencia el tamaño del archivo, varía según la latitud de la ubicación del área del mapa.
- - La zona UTM 30 tiene como límites los paralelos 6° W (en el extremo izquierdo) y 0° (meridiano de Greenwich, en el extremo derecho). He mirado la gráfica de arriba para saberlo.  
Esto significa que en la parte central de la zona 30 tiene que estar por definición el meridiano central 3° W. También por definición se dice que sus coordenadas UTM deben ser, en el ecuador, UTM 30N 500000, 0 ( en el ecuador, el valor del norte es 0 (cero).
  - La esquina izquierda de la zona UTM 30 en el ecuador debe ser por tanto referida como zona UTM (166008, 0). Esta esquina izquierda tiene las coordenadas 6° W; 0° N. Lo único que se tiene que hacer ahora es convertir este valor en coordenadas UTM con un programa como OZIExplorer o GEOTOP de Palm (se puede adquirir en Alfa Topografía, S. A. En México, D. F.) que hace las conversiones automáticamente.
  - Por las mismas razones, la esquina derecha de la zona UTM 30, tiene las coordenadas 0° E; 0° N, y debe coincidir con las coordenadas UTM (833992, 0). Esto se puede determinar bien porque o lo convierto directamente con OZIExplorer, o porque sé que la mitad de una zona UTM en el ecuador equivale aproximadamente a 333.992 metros ( $500,000 - 333,992 = 166,008$  metros, luego la esquina derecha es  $500,000 + 333,992 = 833,992$  metros). Esto también significa que 6° en el ecuador, la anchura máxima de una zona UTM es de 667,988 metros.

**Detalles de la zona UTM 30 en el ecuador**



- Si se diera un valor de este (Easting) de UTM 30 120000, 0. En el ecuador, este límite de 120.000 metros de Easting está por debajo de los 166.008 metros del extremo izquierdo de la zona UTM 30. Esto significa, que en realidad son coordenadas comprendidas en la zona UTM 29, y no en la zona 30. Sería exactamente la coordenada UTM 29N 788000, 0. Programas como OZIExplorer hacen esas conversiones directamente. Por las mismas razones, cualquier región expresada en el ecuador con valores de este superiores a UTM 30N 833993 indicaría que está localizada en la zona UTM 31.
- La importancia de el ecuador estriba en que las bandas UTM NO TIENEN LA MISMA ANCHURA y, por ende, la misma área. La anchura de una zona UTM es máxima en el ecuador, pero va disminuyendo conforme nos vamos acercando a los polos en ambos hemisferios por igual. No puede ser de otra forma, ya que la Tierra es (casi) una esfera, donde las distancias de los meridianos se estrechan cuando nos acercamos a los polos (de hecho, en los polos, el valor de longitud de los meridianos es cero).

**LAS COORDENADAS UTM NO CORRESPONDEN A UN PUNTO, SINO A UN CUADRADO**

- Siempre se tiende a pensar que el valor de una coordenada UTM corresponde a un punto determinado o a una situación geográfica discreta.

- Esto no es verdad. Una coordenada UTM siempre corresponde a un área cuadrada cuyo lado depende del grado de resolución de la coordenada.
- Cualquier punto comprendido dentro de este cuadrado (a esa resolución en particular) tiene el mismo valor de coordenada UTM.
- El valor de referencia definido por la coordenada UTM no está localizado en el centro del cuadrado, sino en la esquina inferior Izquierda de dicho cuadrado.
- Aquí se tiene un ejemplo de una coordenada tipo UTM con una baja resolución (comprende un cuadrado con 1,000 metros de lado). El primer valor (30S) nos indica la zona o región y la banda en la que estamos. Como tiene una letra superior a N, nos indica que estamos hablando de una zona en el hemisferio norte. La mejor forma de saber cuál es nuestra zona es mirándola en un mapa que tenga representada la cuadrícula de coordenada UTM.
- Los siguientes dígitos corresponden a las coordenadas en sí. La distancia del Easting siempre ocupa un dígito menos que el de Northng. Como esta coordenada tiene 7 dígitos, el Easting ocupa los 3 primero valores, y el Northing los 4 últimos.

Por definición, el valor de Easting del punto central (que coincide con el meridiano central) de la retícula UTM es siempre de 500 km.

- En esta tabla se tiene descritas la misma coordenada UTM con diferentes resoluciones, que oscilan desde áreas cuadradas que sólo tienen 1 metro de lado hasta aquella que tiene 100,000 metros.
- No hay límite de resolución en una coordenada UTM. Se pueden definir áreas cuyos lados sean centímetros, milímetros, etc.



**COORDENADAS UTM: LA RESOLUCIÓN DETERMINA EL NÚMERO DE DÍGITOS.**

<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Zona y banda</b>	<b>Metros al Este</b>	<b>Metros al Norte</b>	<b>Resolución</b>
<b>30S 3546784891567</b>	<b>30 S</b>	<b>354678</b>	<b>4891567</b>	<b>1 metro</b>
<b>30S 35467489156</b>	<b>30 S</b>	<b>354670</b>	<b>4891560</b>	<b>10 m</b>
<b>30S 354648915</b>	<b>30 S</b>	<b>354600</b>	<b>4891500</b>	<b>100 m</b>
<b>30S 3544891</b>	<b>30 S</b>	<b>354000</b>	<b>4891000</b>	<b>1000 m</b>
<b>30S 35489</b>	<b>30 S</b>	<b>350000</b>	<b>4890000</b>	<b>10.000 m</b>
<b>30S 348</b>	<b>30 S</b>	<b>300000</b>	<b>4800000</b>	<b>100.000 m</b>

- **EL DATUM Y EL NAVEGADOR GPS**
- El sistema GPS trabaja siempre con el DATUM WGS84, si bien los distintos navegadores GPS pueden convertir en tiempo real, las coordenadas que nosotros le definamos.
- Es importante tener bien presente el tipo de coordenadas que nos está dando nuestro GPS y el DATUM que esta utilizando. Sobre todo, si vamos a llevar nuestras coordenadas a un mapa, o del mapa al GPS. Pues si no nos preocupamos de hacer coincidir el Datum y las coordenadas del GPS con los del mapa el error que normalmente daría nuestro Navegador, se puede incrementar en 200 ó 300 m (por el Datum), o incluso no parecerse en nada (por las coordenadas). Y esto sería debido, no a su mal funcionamiento sino a una mala configuración.

- La mayoría de los que tienen un GPS han hecho la prueba de llevarlo a un Vértice Geodésico y comprobar las coordenadas obtenidas con las que trae el mapa en la información adicional. Y casi todos se han llevado una desagradable sorpresa pensando la escasa precisión que nos había dado. Más tarde se enteran a que se debía .
- Es interesante leer la Información adicional de los mapas, de ella podremos sacar también el huso y la zona en la que se encuentra un punto del mapa. Esta también es información que se usa a la hora de introducir coordenadas UTM al navegador GPS.
- Especificaciones
- Resumen:
- Los Modelos Digitales de Elevación se refieren a un conjunto de datos que representan la superficie del terreno a través de una matriz regular de puntos con valor de altura "z" y coordenadas "x, y" conocidas. La coordenada "z" es obtenida a partir de las de curvas de nivel vectorizadas de la carta topográfica escala 1:50,000 o por el método fotogramétrico de correlación de imágenes.

Especificaciones de los datos:

A partir de 1994, el INEGI produce datos para Modelos Dígítales de Elevación escala 1:50,000 con estas especificaciones:

Area de cubrimiento:

15' de latitud por 20' de longitud, de manera consistente para todo el territorio nacional.

Sistema de coordenadas de referencia:

UTM (Proyección Universal Transversa de Mercator).

Datum horizontal:

NAD27 (por sus siglas en inglés, North American Datum of 1927) o ITRF92 Epoca 1988.0 (por sus siglas en inglés, International Terrestrial Reference Frame of 1992).

Datum vertical:

NAVD29 (por sus siglas en inglés, North American Vertical Datum of 1929). Elevaciones en metros referidas al nivel medio del mar.

Contenido:

Datos de altura, georreferenciados y espaciados a intervalo constante.

Estructura:

Archivo de datos representable gráficamente como estructura raster.

Resolución:

La resolución en "x, y" de la red regular de puntos de altura es de 50 metros, ajustada a valores cerrados en metros, en coordenadas UTM.

Formato:

El formato del Modelo es de tipo raster, llamado crudo binario de dos bytes por dato, sin encabezado.

Tamaño de archivo:

La cantidad de información varía en función de la latitud y longitud geográfica del área representada, en promedio el tamaño es de 750 Kb.

## **DISTORSIÓN PROVOCADA AL INTRODUCIR LAS COORDENADAS EN UN DATUM ERRÓNEO**

Para hacer este documento se ha hecho lo siguiente:

1. Se crear un dibujo completamente en blanco con Paint Shop Pro de 300 x 300 pixels, grabado en formato \*. png.
2. Se importar este cuadro en blanco dentro de OZIExplorer con la función Load and calibrate map image
3. Se Calibra este cuadrado como si fuera de un mapa de 1000 x 1000 metros. Para ello se usa la proyección Universal Transversa de Mercator, coordenadas UTM, y el DATUM Europeo 1979.
4. A continuación se abre la lista de waypoints de OZIExplorer, que en un principio estaba vacía, y hemos creado un primer waypoint con las coordenadas UTM 30S 500250 4195750 usando la orden Add que se encuentra en la parte inferior de la ventana de diálogo.
5. Saliendo de la lista, se edita el waypoint 1 recién creado pulsando dos veces el ratón, y se le pide a OZIExplorer que muestre un círculo de 100 metros alrededor de este punto que nos va a servir de referencia.

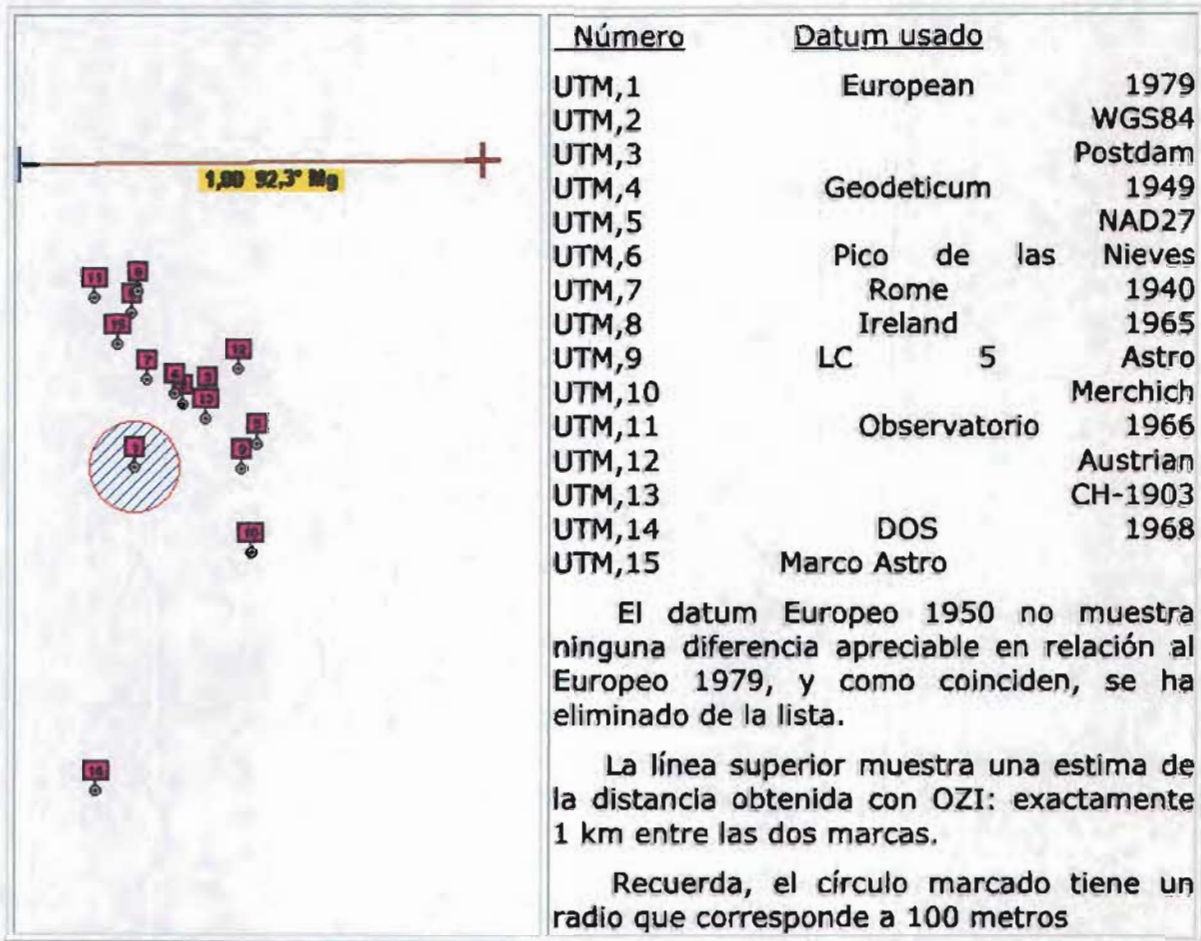
A partir de aquí.

- a. Se abre de nuevo la lista de waypoints, y añadiendo nuevos waypoints con la función "Add".
- b. En todos los casos siempre se introducen manualmente los mismos valores de coordenadas: UTM 30S 500250 4195750, pero seleccionando cada vez un DATUM diferente.
- c. OZIExplorer convierte automáticamente estos valores de coordenadas al DATUM Europeo 1979 que es como está calibrado el mapa. Por eso se obtienen estas distorsiones.

Por esta razón, cuando se quiera introducir manualmente valores de coordenadas en un receptor GPS, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Se debe contar con el tipo de DATUM que usa el mapa. Si se tiene un archivo conteniendo waypoints, deberá exigirse el DATUM en el que están expresadas las coordenadas.

2. Si el mapa o el archivo no indica el DATUM que se utiliza, no se deberá utilizar .
3. Una vez que se conozca el DATUM de las coordenadas, se abrirá el menú correspondiente en el receptor GPS, así como elegir el mismo tipo de DATUM.
4. Cuando los DATUM de los mapas y/o archivos y el del receptor GPS coincidan, ya es momento de introducir manualmente los DATUM. ¡Fíjese que hay desviaciones de más de 300 metros!



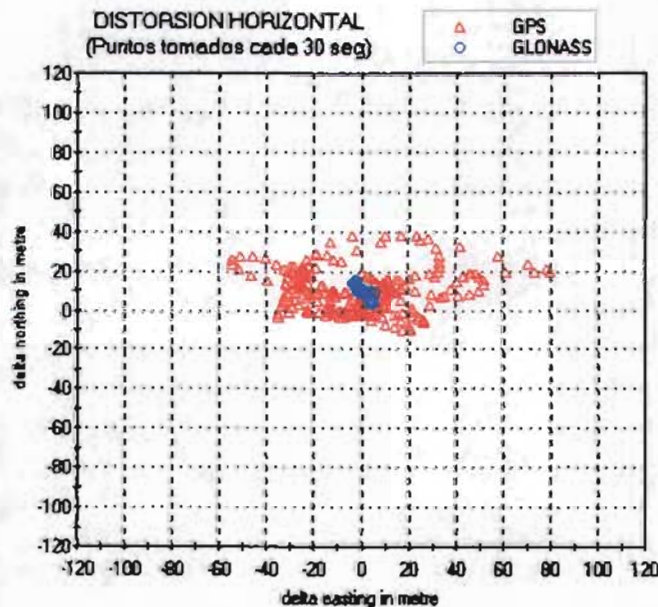
### PRECISIÓN EN LA DETERMINACIÓN DE LA ALTITUD POR LOS GPS'S

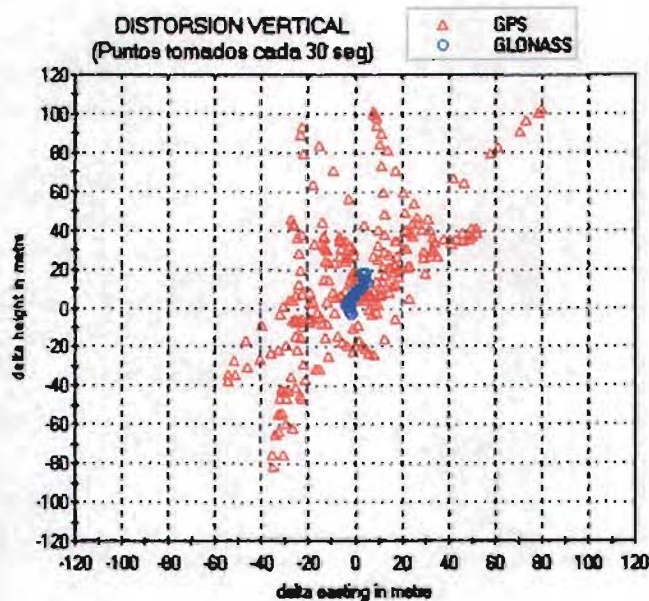
Los propietarios de los GPS's se preguntan frecuentemente cual es la precisión de un receptor GPS a la hora de determinar la altura, y si éste puede llegar a sustituir o no a un altímetro. Otros, se preguntan si su equipo está defectuoso porque sabiendo la altura real en la que están (por que lo ven en un mapa, o lo indica algún letrero), observan que el

GPS no da una lectura de altura correcta Incluso en determinaciones 3D con más de 4 satélites. También confunde el hecho de que el valor de altura varía de forma constante en sus pantallas.

Pues bien, las respuestas son que un GPS no puede nunca sustituir a un buen altímetro (aunque se complementa perfectamente con él), y que todos los errores y variaciones que da en la altura son absolutamente normales.

En primer lugar hay que destacar que los efectos del SA (Selected Availability) afecta también a los valores de altura. Normalmente el SA distorsiona los posicionamientos en unos 100 metros durante el 95% del tiempo. Una valoración del SA a tiempo real demuestra que las distorsiones en la altura suelen ser casi siempre algo mayores que las distorsiones obtenidas en el plano horizontal. (Como un comentario aparte, tengo que recalcar que aunque el SA indica errores de 100 metros, la mayor parte de las veces estos errores están comprendidos en la franja de 30 a 50 metros). Aquí tienes un par de ejemplos tomados durante Junio de 1999, a la misma hora y que están referidos a un mismo sitio.





El error de altitud siempre será mayor que el error en el plano horizontal por simples razones geométricas. Si consideramos de forma simple que intentamos tomar unas coordenadas horizontales (Lat/Long, UTM) con la ayuda de 4 satélites, la posición óptima de éstos en el espacio para realizar las triangulaciones es aquella en la que los cuatro satélites están a  $45^\circ$  en el horizonte, y cada uno de ellos están separados a la misma distancia unos de otros (por ejemplo uno situado al Norte, otro al Sur, Este y el último en el Oeste).

Si consideramos los mismos principios, para estimar la altura de forma óptima, uno de los satélites deberían de estar justo encima de nosotros, mientras que los otros 3 deberían de estar justo en el horizonte (por debajo de él desaparecen las señales) y separados  $120^\circ$  cada uno. Bajo estas circunstancias, todas las señales recibidas desde los satélites en el horizonte se reciben pobremente y además, bastante más degradadas (rebotes, distorsiones, etc.). Esto justifica el hecho de que algunos fabricantes de GPS's lleguen a incorporar una "máscara electrónica" que hace las señales de los satélites que están por debajo de  $15^\circ$  sobre la línea del horizonte NO sean considerados por el receptor. Todos estos hechos determinan que la valoración de la altura contenga más errores que las determinaciones horizontales. Un simple altímetro dará alturas más confiables que un GPS (si se sabe usar, claro está).

En general, se admite que los efectos combinados del SA más la pobre geometría de los satélites para determinar la altura consiguen degradar la señal de ésta en un valor comprendido entre los 150 a 200 metros, frente a solo 100 metros en las medidas horizontales.

¡Ojo!. Es absolutamente importante saber que el valor de la altura que el GPS determina puede influir poderosamente en el valor de las coordenadas horizontales (Long/Lat, UTM) que el receptor GPS nos muestra. ¿Por qué?. Los GPS's Garmin y la mayor parte de los nuevos receptores de otras marcas trabajan internamente con los modelos matemáticos del datum WGS-84, que considera como punto de referencia para determinar las coordenadas terrestres las coordenadas del centro de la Tierra, y por tanto, el valor de altura. La altura forma parte de los cálculos que se realizan en las triangulaciones.

Por esta razón, puede ser un tremendo error considerar la posición horizontal cuando el receptor está utilizando sólo 3 satélites (determinación 2D), ya que si la altura no es la correcta, se usa un punto de referencia incorrecto que puede desviar varios cientos de metros de la posición real. Es conveniente fiarte sólo de las lecturas cuando tu receptor está en modo 3D (4 satélites o más).

Esto tiene una doble lectura. Algunos autores piensan que la determinación de una posición horizontal cuando el GPS está en 2D (3 satelites contactados) puede llegar a ser más confiable que cuando se está en modo 3D (al menos 4 satelites conectados) porque en esas condiciones (modo 2D) se puede introducir el valor real de la altura a través del uso de un altímetro, o mirando un mapa. Hay quienes en modo 2D ven la posición aproximada en la que están usando un mapa con ayuda del GPS, confirman su posición mirando que efectivamente esa montaña está allí, el río y el cortíjo esta, y el valle está justo abajo. Una vez confirmada la posición relativa, uno mira el valor de la curva de nivel en la que está, e introduce manualmente dicho valor en el receptor. En modo 3D, la mayor parte de los receptores no te dejan introducir el valor de la altura manualmente. Hay otra forma más técnica de explicarlo. Cuando el GPS está haciendo los cálculos para estimar la posición, realiza un ajuste de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas. Una de las incógnitas es el valor de la altura. Si le damos el



valor correcto, un problema menos para el GPS que no tendrá que equivocarse aquí. Esto es un contrasentido, pero así son las cosas...

Con el DGPS se pueden mejorar las lecturas tanto horizontales como las verticales. Así, podemos llegar a obtener estimas de menos de 5 metros en los posicionamientos horizontales, y menos de 10 metros en las de altura. Estas mejoras se deben a dos razones diferentes. La principal es que la información que envían los emisores de tipo DGPS son capaces de corregir los valores de posicionamiento en cualquiera de las tres dimensiones *de una forma directa*. La segunda razón es que se origina un proceso que podríamos definir como "autoalimentado". Al mejorar la estima de la altura, se facilita y se corrige al mismo tiempo la estima del posicionamiento horizontal por las *razones indirectas* anteriormente mencionadas, y viceversa. La influencia de este segundo factor causa que los posicionamientos de los GPS's a través de las señales DGPS no sean siempre perfectas, sino muy buenas en el 95-98% del tiempo. Téngase en cuenta que el GPS aun debe seguir haciendo cálculos y triangulaciones aún cuando reciban señales DGPS, y eso introduce errores al cómputo.

## **Sección 2.06 ALGUNOS RECEPTORES NAVEGADORES DE LA MARCA GARMIN**

Receptor GPS Garmin Etrex (Modelo Básico)

Referencia: GPS-ETREX

Aparato receptor de señales del sistema de posicionamiento GPS.



- GPS compacto, de fácil manejo. Ideal para actividades al aire libre en las que se necesita un equipaje ligero. Antena interior. Botones en laterales para aumentar el tamaño del visor. Color amarillo brillante, fácil de localizar. Pantalla de alta resolución con luz de respaldo. Diseño ergonómico, fácil de utilizar con una mano. Carcasa resistente e impermeable. Características: almacena 500 puntos de referencia con símbolo. Guarda

automáticamente más de 10 recorridos para rehacer el camino. Almacena una ruta con más de 50 puntos de referencia. Tamaño compacto: 11,2 x 5,1 x 3 cm. Más de 22 horas de uso con dos baterías "AA". Cumple con las normas IEC 529 IPX7 estándar para ser sumergido. Varios niveles de aumento de mapa. Un año de garantía.

.Referencia: GPS-EMAP



- Con el tamaño de una calculadora pequeña el eMap contiene un receptor GPS para 12 canales paralelos. Pese a este aspecto compacto el eMap tiene un visor grande para mostrar los detalles de los mapas y la potencia esperada en un aparato portátil de Garmin. Puede funcionar 14 horas con dos pilas AA. El eMap tiene una base de datos que contiene información sobre Europa, África y Oriente Medio, incluyendo fronteras, lagos, carreteras, aeropuertos, línea de costa y autopistas. Con el eMap se puede conocer en todo momento donde se encuentran los servicios más próximos como gasolineras, restaurantes y alojamientos. El eMap es compatible con los ficheros de mapas de Garmin. Puede almacenar ocho o 16 megabytes de información dependiendo del cartucho que se utilice.

Receptor GPS Garmin Etrex Venture Referencia: GPS VENTURE

RECEPTOR GPS CON MEMORIA PARA BAJAR SOFTWARE DE GARMIN



- Nueva mejora del modelo eTrex. En este caso, este receptor permite su utilización con el sistema WAAS. Este sistema permite obtener precisiones en el plano horizontal de 3 metros, en lugar de los 10-12 actuales. En estos momentos se encuentra totalmente operativo en Europa, recibiendo las señales del satélite geostacionario INMARSAT III AOR-E. Además, incorpora una memoria de 1Mb que permita la descarga al receptor del software MetroSource de Garmin, con mapas e información de viaje de todas

- las partes del mundo (restaurantes, hoteles, tiendas, entretenimiento, etc). Una vez que la información está dentro de la unidad, se puede hacer una selección y el teléfono y la dirección del lugar indicado aparecerán en pantalla. Incluye también datos marítimos como faros, boyas, obstrucciones, naufragios, etc. Viene en una resistente carcasa verde translúcida.

### **CAPITULO III. LA APLICACIÓN DE RECEPTORES NAVEGADORES EN ESTUDIOS PRELIMINARES DE RECONOCIMIENTO TOPOGRÁFICO DE TERRENOS PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES.**

A continuación, vamos a describir las etapas y parámetros fundamentales que se deben seguir en todo posicionamiento por satélite donde se requiera precisión y rendimiento en el trabajo. Las etapas son fundamentalmente tres: *planificación, observación y cálculo.*

#### **Sección 3.01 PLANIFICACIÓN.**

Es conveniente, para evitar pérdidas de tiempo en repeticiones de puestas y variaciones de planes, realizar una buena planificación de las observaciones y determinar cuál es la hora del día donde hay un mayor número de satélites, así como cuándo la geometría de la observación es más idónea, además de determinar el estado de los satélites.

Para llevar a cabo esta etapa, los software para el post-proceso incorporan módulos de planificación, los cuales, a través de los almanaques radiodifundidos de las constelaciones, que podemos ir almacenando periódicamente o los almanaques ya existentes, y de las posiciones de los lugares de observación, podemos conocer el número de satélites, bondad de la geometría de la observación, periodo óptimo de observación, etc. Podemos, además marcar las obstrucciones que puedan existir en el lugar de la observación. Esto se puede realizar para cualquier lugar del planeta durante las 24 horas del día.

En este caso se puede complementar esta parte del proceso con un navegador ya que se pueden tomar los puntos del terreno pseudo-distancias así como determinar de forma preliminar a bajo costo una configuración previa y una organización de rutas de una manera muy rápida y no muy precisa pero sí muy útil para la determinación de accesos, ubicación de maquinaria ,materiales, personal, y todo aquello que tenga un lugar provisional en la obra. ya que las precisiones para este tipo de trabajo no son muy altas y en dado caso hasta un replanteo de la obra de ser necesario.

Este tipo de trabajo parece ser no muy apreciado hasta la ejecución de dicha obra donde se verá la bondad de la buena o mala planeación y por ende el tipo de ejecución.

Existen varias órdenes no documentadas que tienen lugar cuando se encienden los receptores Garmin. Sin embargo hay que advertir que lo que aquí se describe no ocurre con todos los modelos de Garmin, y que además puede depender del firmware del aparato dentro de un mismo modelo.

Es de notar que estas propiedades no están documentadas por Garmin por una razón. Están diseñadas solo para el diagnóstico y no para su uso por los usuarios finales. Garmin no ofrece ningún tipo de soporte técnico para estos modos especiales, y algunos de ellos pueden provocar la pérdida completa de todos los datos de su equipo, así que ¡úselo con precaución!

Una de las propiedades más curiosas es que el Garmin posee un termómetro Interno. Se usa para compensar el reloj interno, ya que el cristal que controla el tiempo vibra de modo diferente a distintas temperaturas. Además se usa para hacer ajustes automáticos del grado de contraste de la pantalla, que también varía con la temperatura. Este termómetro medirá la temperatura externa sólo en el momento del encendido del aparato, ya que el circuito interno lo calentará inmediatamente. La corrección basada en el termómetro funciona aplicando una tabla de valores de corrección al reloj Interno. Esto sólo ocurre durante el posicionamiento inicial, puesto que una vez que se ha conseguido la posición se usan los datos de tiempo que transmiten los satélites (que poseen relojes atómicos de extraordinaria precisión). De forma similar, mientras se está haciendo un posicionamiento, el reloj puede ser utilizado para sincronizar la tabla de temperaturas, lo que significa que la unidad compensará los fallos provocados por las partes viejas de los circuitos o incluso puede restituir la pérdida completa de esta tabla.

### **Sección 3.02 ALGUNAS SECUENCIAS ESPECIALES DE ENCENDIDO**

Las tres teclas de la derecha (normalmente Page, Mark y Enter) adquieren una importancia especial mientras encendemos el aparato. En las unidades GIII, la tecla central se llama menú, pero para nuestros propósitos se comporta de la misma forma. En los modelos Street Pilots, las teclas que poseen nombres equivalentes son los que deben ser usados: Page, Option y Enter.

- Page - Si presionas la tecla Page mientras se enciende el aparato, fuerzas a la máquina realizar un encendido frío. Esto significa que no tendrá en cuenta los datos del almanaque, y que tendrás que realizar una auto localización de nuevo. En los Street Pilots, esta es la única forma de ver cuál es la versión del software. En los GIII se ha descrito que haciendo esto se pierden los datos que permiten compensar los efectos de la temperatura.
- Mark - Si presionas la tecla Mark mientras se enciende el aparato, ocasionará un reset completo del mismo. Se perderán todos los datos y preferencias, y la máquina volverá a las condiciones establecidas por el fabricante. Ten cuidado porque no hay avisos de ningún tipo, simplemente se perderán todos los datos.

En algunas unidades se indica en el manual que tras pulsar esta combinación de teclas se emitirá un aviso de alarma antes de que el borrado de los datos haya tenido lugar. Sin embargo en otras máquinas, esto no es así. *La gran ventaja de este tipo de reset es que puede llegar a arreglar algunos problemas de la unidad, y en determinados casos puede evitar que tengas que enviar la unidad a Garmin para que la arreglen.*

Si crees que necesitas hacer este tipo de reset, procura antes hacer una copia de seguridad de todos los datos de tu unidad. Pero date cuenta que nunca podrás grabar los datos del datum de usuario, o el grid definido por ti, o cualquier tipo de preferencias que hayas realizado. El waypoint con la posición de Garmin reaparecerá tras este reset si lo habías borrado antes. Perderás además todos los ajustes realizados en la fábrica durante la calibración, así que debes esperar un mal rendimiento inicial del aparato. Deberás encenderlo en un sitio en el que tengas una

clara vista del cielo, y deberás esperar por lo menos 15 minutos para que restaure, entre otros datos, los del almanaque.

- Enter - Sujeta la tecla Enter y luego enciende el GPS. Así aparece el modo diagnóstico (Test). Esta pantalla de comprobación la usa Garmin para realizar la comprobación final y la calibración del receptor. ¡Peligro! No usar esta pantalla en condiciones en las que puede conectarse con los satélites. Es posible que un satélite transmita señales que pueda descalibrar el GPS introduciendo datos equivocados. Esto no ocasiona un daño permanente, sino que ocasionará el que requiera más tiempo en obtener un posicionamiento, o incluso se tendrá que hacerlo de nuevo para empezar a funcionar otra vez. Puede ocurrir la tardanza en obtener los posicionamientos se alargue durante un tiempo hasta que finalmente la unidad se recalibra así misma durante su uso.
- El modo de diagnóstico aparece automáticamente si la unidad detecta un fallo durante el encendido. Se puede usar este modo para verificar ciertas operaciones en la unidad. Por ejemplo, cada vez que se pulsa una tecla, provocará que la misma tecla en la pantalla se ennegrezca. Si se pulsa una determinada tecla dos veces seguidas.
- Las unidades que utilizan la tecla "Page" pueden utilizar la tecla "Quit" para hacer las comprobaciones en sentido contrario. La tecla de encendido/luz mostrará una indicación y realmente encenderá la luz.

Otros detalles que se observan en la pantalla de comprobación son la temperatura interna del aparato (en grados Celsius), el voltaje interno de las baterías, y el voltaje externo aplicado si posees una fuente de alimentación. En el G-III+, este modo también muestra el número de la versión del software, que ha sido eliminado de la pantalla principal.

### **Sección 3.03 OTRO MODO DE DIAGNÓSTICO**

Este puede ser uno de los modos secretos más útiles en los Garmin, y para algunos, el más difícil de acceder. Básicamente, debes encender tu Garmin presionando el botón de encendido, y mientras la pantalla de bienvenida aún está mostrándose, debes presionar las cuatro flechas *una sola vez* y en un determinado orden (en Garmin 38 es arriba, abajo, derecha e izquierda). Si consigues sobrepasar este reto, serás recompensado con una entrada rápida al modo de estado de satélites sin esperar el largo tiempo que normalmente tiene lugar. Debes notar que justo debajo del mapa de satelites aparece un --, que confirma que has tenido éxito. Si no lo consigues, debes apagar el aparato, encenderlo otra vez, y apretar las flechas una sola vez en un orden diferente. Ya hay compañeros que han descrito otra combinación diferente a la mía en un GPS 12. Además, debes cuidar el ritmo con el que se pulsan las teclas. Este sistema no funciona en un G-III o en un G-III+, pero la mayor parte de la información está disponible en estos modelos en el modo normal. En los modelos G-II y G-II+, este método sólo funcionará cuando la pantalla esté en modo portrait).

Lo bueno de este modo especial de diagnóstico es que se puede dejar la unidad completamente funcional, localizando satélites, mientras estas en ella, haciendo GoTo y demás. En general, añade un nuevo menú de diagnóstico en la pantalla de menú, y más información en algunas otras pantallas.

- La información que se ofrece en los guiones -- de la pantalla mostrará el valor de HDOP una vez que hayas adquirido una posición. (HDOP significa Horizontal Dilution of Precision, y esta es una medida que refleja cuán buena es la geometría de los satelites para conseguir una buena adquisición de la posición). Los valores de HDOP por debajo de 2.0 indican que el posicionamiento es bastante bueno. El valor de HDOP se tiene en cuenta para obtener el valor de EPE (Estimated Position Error) que se muestra en la parte de arriba de la misma pantalla. El uso del valor de EPE es exclusivo de Garmin, pero el valor de HDOP debería ser similar al que obtendría cualquier tipo de GPS, porque depende sólo de la geometría de los satelites.



- En los modelos realmente antiguos (monocanales con tecnología multiplex), se puede observar otra diferencia. En estas unidades antiguas, las barras de estado siempre se muestran sólidas (negras) todo el tiempo, aún cuando los datos de las efemérides provenientes de los satélites aún no han sido adquiridos. Sin embargo, en estas unidades, estas barras serán huecas en este modo de diagnóstico mientras no se hayan recibido las efemérides, tal y como ocurre actualmente en los modelos modernos. Desafortunadamente, el nuevo Garmin 12CX muestra sólo las barras sólidas, y aún en este modo especial de diagnóstico no se arregla este problema.
- En la página de Posición se muestra ahora como regalo la temperatura interna del aparato. Esta será expresada en grados Fahrenheit si se tiene escogida las unidades Inglesas (pies, milla), o en Celsius si se seleccionas las unidades métricas.
- Finalmente, en la página de menú aparece una "D" nueva que permite el acceso a una nueva página de diagnóstico.

Esta nueva página de diagnóstico contendrá diferente información dependiendo del modelo, pero generalmente contendrá información del software interno, mensajes de diagnóstico (difíciles de interpretar), y finalmente el voltaje de las baterías.

- En algunos modelos, el valor del tiempo mostrado en Elapsed puede ser puesto a cero tras pulsar la tecla Enter. Esto es interesante, ya que se puede proveer de un temporizador extra. En aquellas unidades que ya muestran el tiempo en el modo normal (no de diagnóstico), este reloj no puede ponerse a cero. A veces, el reloj se pone a cero cuando realizas un cambio del firmware.
- En algunos modelos, si se pulsa la tecla Page se mostrará información del estado del aparato en los últimos apagados del mismo. En otros simplemente cambian de pantalla.

Si presionas la tecla Quit volverás a las pantallas normales, pero ten en cuenta que el GPS funcionará correctamente mientras estas en este

modo especial de diagnóstico. Por ejemplo, si pulsas la tecla GoTo, o activas una ruta, estas funcionarán correctamente.

En algunas unidades, se muestra tanto el voltaje interno como el externo (el aplicado a la máquina). El voltaje interno se muestra en incrementos de 0.03 voltios, y parece ser bastante preciso. El voltaje externo se indica con similares incrementos, pero no parece ser tan preciso, mostrando los decimales 0.14, 0.29, 0.43, 0.57, 0.72, 0.86, y 0.00

En algunas unidades, principalmente las unidades monocanales antiguas, puedes conseguir controlar la velocidad a la que gira la imagen de la tierra que aparece cuando se enciende el aparato. Para conseguirlo, hay que pulsar la tecla de apagado cuando la unidad está en la pantalla de mapa. Sin embargo, no se debe apagar el aparato por completo, sino que debe liberarse el botón antes del apagado. Entonces aparece el globo terrestre, y se podrá controlar la velocidad de giro del mismo mediante el uso de las flechas.

### **Sección 3.04 QUÉ ES UN ENCENDIDO CALIENTE (Warm Start), ENCENDIDO FRÍO (Cold Start), AUTOLOCALIZACIÓN (AutoLocate), y BÚSQUEDA EN EL CIELO (Search the Sky)**

El significado de las columnas sólidas y huecas en la página de estado de los satélites en los receptores Garmin, Lowrance y otras marcas, así como el de términos como "Encendido caliente", "Encendido frío", "Autolocalización" y "Búsqueda en el cielo" que muestran estos GPS's pueden ser desconocidos o mal interpretados por mucha gente. Este punto pretende aclarar estos términos.

Los satélites de la constelación NAVSTAR (en inglés los SV) envían dos tipos de datos que son recogidos e interpretados por el receptor: el almanaque y las efemérides.

El almanaque está constituido por un conjunto de valores o parámetros que permiten predecir la órbita y la posición de todos los satélites, pero solo de una manera aproximada. Cada satélite envía de forma individual los datos correspondientes al almanaque de todos los demás satélites. Los datos de este almanaque son útiles durante varios meses. Hay programas como el OZIEplorer, Waypoint + y G7toWin que pueden extraer el almanaque de los Garmin y los pueden grabar como un archivo de texto. Hacerlo, editar el archivo con NotePad o un programa similar, y se verá que es un archivo relativamente simple (o complejo, depende) que contiene muchas variables distintas. Los GPS de Lowrance también trabajan con el almanaque, pero hasta ahora no existe un programa que pueda extraerlo de estos receptores.

Las efemérides son también datos transmitidos por el satélite que son recibidos por el GPS. Estos datos indican al GPS la posición exacta de los satélites. El GPS usa los datos de la efemérides de varios satélites al mismo tiempo para realizar cálculos (triangulaciones) y correcciones muy complejas que le permiten determinar con una extraordinaria precisión cuál es su posición real en la Tierra. Estos datos son por tanto muchísimo más completos y detallados que los que contienen los almanaques. Otra diferencia es que cada satélite solo envía sus propias efemérides. La validez de los datos contenidos en las efemérides depende de cada satélite en particular, pero pueden llegar a ser útiles hasta 4 e incluso 6 horas. Garmin sin embargo considera las efemérides válidas sólo por un periodo máximo de 30 minutos. Este periodo de validez está incluida en la información que envían las propias efemérides.

Las efemérides se envían en bloques de información digital que el receptor GPS tarda 30 segundos en recibir, y son enviados de forma continua (es decir, se reenvían de nuevo cada 30 segundos). De esta forma un receptor GPS siempre tendrá muchas oportunidades para recibir esta información. Además, como veremos más adelante, estos datos están fraccionados en 3 diferentes partes o paquetes.

Cuando el GPS se enciende, lo primero que hace es tener en cuenta los datos del almanaque y la hora de su reloj interno para predecir qué satélites van a estar disponibles en la esfera celeste justo encima de él. Entonces Intentará conectar sólo con esos satelites presuntamente disponibles con el objeto de captar la información de sus efemérides. Esto permite ahorrar tiempo a la hora de adquirir una posición, ya que si no obtiene información del almanaque, tendría que buscar uno a uno todos los satélites, y algunos de ellos podrían estar en la otra cara del planeta, donde serían completamente inaccesibles.

A partir de ahora, cuando el GPS se conecta con un satélite, muestra una columna (barra) hueca en la pantalla de estado. Esta columna se mantiene hueca hasta que se recibe la totalidad de la información contenida en los efemérides. Las columnas se hacen sólidas cuando se completa la recepción de *toda* la información de los efemérides, indicando que los datos de ese satélite en particular ya son útiles para poder usarlos en la navegación.

La altura de las columnas, tanto cuando son huecas como cuando son sólidas, es un reflejo de la intensidad con la que se están recibiendo las señales desde los satelites. Las barras serán más bajas cuando los satelites están justo en el horizonte (2 a 5 grados) porque la intensidad de la recepción será baja, y serán más elevadas cuando el satélite tenga una elevación comprendida entre los 45 a 50 grados en las que la recepción de las señales son óptimas y mucho más elevadas. En el caso de los Garmins 12/12XL, el nivel base corresponde a un valor de recepción de la señal de 30dB, mientras que la parte superior corresponde a un nivel de recepción de 50dB. En los Lowrances el rango mostrado es aún mayor.

Muchas columnas se volverán sólidas al mismo tiempo cuando un receptor con varios canales paralelos recogen de forma simultánea la información de las efemérides de varios satelites al mismo tiempo. En realidad, todos los satelites envían de forma sincrónica la información de sus efemérides, de forma que la parte final de cada uno de los mismos llega al mismo tiempo a los receptores.

Es importante tener en cuenta que los GPS's no necesitan conseguir todos los datos de las efemérides de una forma secuencial. De hecho, como cada bloque de 30 segundos de las efemérides están divididos en tres partes. El receptor puede recibir cada una de estas partes por separado. Así, si por alguna razón el GPS no recibe la segunda parte, podrá recibir la primera y la tercera sin problemas. Sólo cuando se ha completado la recepción de las 3 diferentes partes en el siguiente o en sucesivos ciclos, se volverá la columna sólida. Y si hay suficientes columnas (o sea, satélites) conseguirá un posicionamiento.

Las columnas de señales en la ventana de estado de los Garmins requieren cierta clarificación. En receptores como el GPS-12/12XL, una columna hueca significa que ese satélite en particular no está siendo utilizado para la navegación. Puede ocurrir que el receptor disponga de los datos de las efemérides para ese satélite en particular aunque esté hueca. Así que una columna sólida significa que ese satélite en particular está siendo utilizado activamente para la navegación, y por tanto sus datos efeméricos están disponibles.

En los equipos que poseen mapas (como los Garmins III, III+, NavTalk, 175/195...), una columna gris (equivalente a la hueca) significa que de ese satélite en particular no se han obtenido los datos de las efemérides. En este caso una barra sólida significa que ya se han recolectado las efemérides para ese satélite en particular, aún cuando puede no estar siendo usado en la navegación.

Prueba con apagar el receptor, y espera unos minutos antes de encenderlo de nuevo. Bajo estas condiciones los datos de las efemérides son tan recientes, que observarás que el GPS adquirirá una posición de forma casi instantánea (menos de 15 segundos en un receptor de 12 canales). Esto es así porque al GPS le bastará recibir sólo una de las 3 partes que constituyen un bloque de las efemérides para percatarse de que los datos son muy recientes. Esto es lo que se llama un encendido caliente. Sin embargo, ten lo siguiente en consideración. Aún cuando los datos de las efemérides pueden ser válidos por varias horas (4 ó 5 horas), puede ocurrir que trascurriendo solo media o una hora, un determinado satélite haya penetrado en una región con baja elevación (baja calidad en la recepción) o incluso se haya salido del hemisferio

celeste (ausencia completa de recepción). Eso dependerá de donde estaba localizado el satélite inicialmente. En este caso, no obtendrás un encendido caliente aunque haya pasado una hora porque la información de ese satélite en particular no estará disponible para el receptor, y el GPS tendrá que buscar uno nuevo.

Si en el momento del encendido no se dispone de información reciente de las efemérides correspondientes a cuando menos 3 satélites, tendrá lugar un encendido frío, porque será necesario que el receptor recoja la información de varios satélites (hasta completar los 4) antes de hacer el posicionamiento en 3D. Esto causará que un posicionamiento de tipo frío tarde al menos 30 segundos más que un encendido caliente.

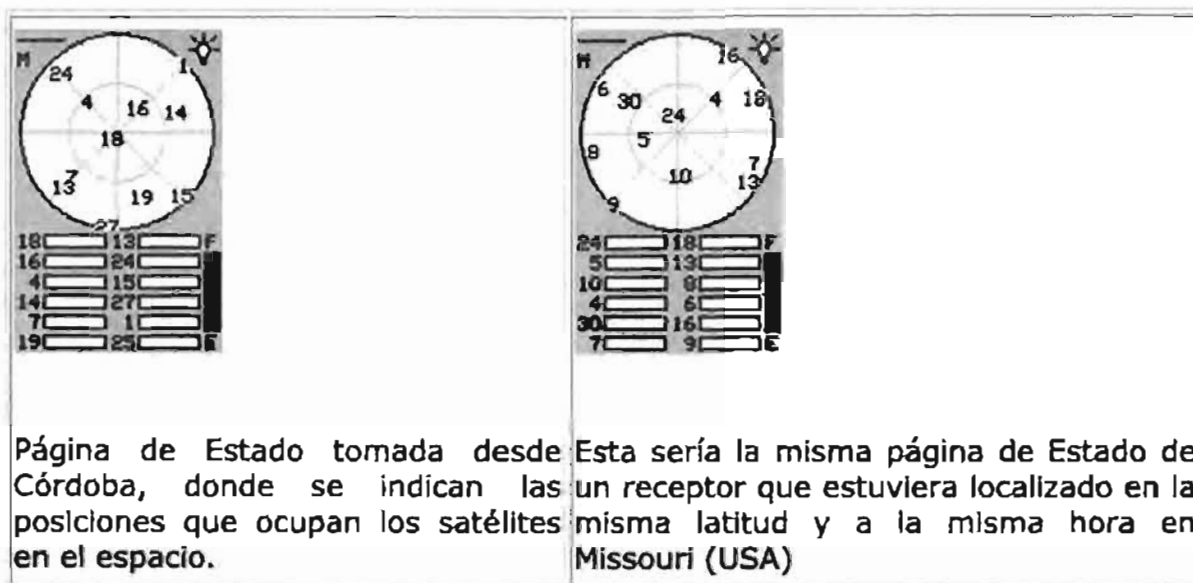
*NOTA: en algunos modelos de Garmin, cuando el receptor se apaga antes de que se haya realizado un posicionamiento, puede tener lugar la completa eliminación de los datos efeméricos previos, lo que obligará al receptor a realizar un encendido "muy frío" aunque hayan pasado sólo unos minutos.*

Las 3 partes o paquetes en los que están constituidos un mismo bloque de efemérides se reconocen gracias a la presencia en la emisión de unas señales de identificación (Issue of Data, o IOD) que son específicas para cada satélite y efemérides en un momento dado. El GPS comprueba el IOD, y se asegura de esta forma que todas las partes de una efeméride siendo recibida provienen del mismo paquete y por tanto del mismo satélite. De esta forma, no hay que esperar que empiece un nuevo ciclo de envío de efemérides para obtener uno completo, y basta con solo 10 a 15 seg. se puede disponer de un nuevo posicionamiento en un encendido caliente. Esta información también permite a los GPS unir los 3 paquetes de datos en situaciones de pobre recepción recibiendo sólo parte de esta información en distintos bloques de envío de información. Esta habilidad permite obtener los posicionamientos más rápidos posibles bajo condiciones adversas.

Si estas conduciendo un coche o te mueves en un tren a alta velocidad, la adquisición de un posicionamiento por parte de tu GPS tardará mucho más tiempo que si estas quieto o simplemente estas andando. Esto es así porque el GPS debe recibir la información completa

incluida de una efemérides, y la debe recibir sin fallos para que sea considerada útil y haga aparecer la columna sólida. Un bloqueo momentáneo por la presencia de alta cobertura de árboles, un cambio brusco de dirección y/o velocidad, o la presencia de múltiples señales que rebotan en edificios y montañas, causan errores que hacen al GPS errar obligándole a obtener de nuevo los datos que son esenciales para obtener un posicionamiento correcto. Por esta razón no es bueno tampoco tener antenas demasiado sensibles, porque las señales débiles procedentes de los rebotes hacen errar al GPS cuando no lo harían en un receptor con una antena menos sensible que no llegaría a percatarse de la presencia de estas señales secundarias.

Los datos de las efemérides no serán válidos si el GPS se desplaza varios cientos de kilómetros desde la última posición en la que se encendió, o en el caso de que no contenga una hora exacta en el reloj interno. Además, en este caso puede que los datos del almanaque no sean tampoco válidos, porque las posiciones de los satélites se estiman teniendo en cuenta la última posición adquirida por el GPS. Si se cambia de hemisferio o de cara del planeta (en un viaje desde USA a Europa), puede ocurrir que ninguno de los satélites previstos por el almanaque estén mal. Aquí te muestro unas imágenes correspondientes a la página de estado de mi Lowrance GM100 tomadas desde Córdoba, y de una localización en el estado de Missouri (USA) desde la misma latitud y tomadas a la misma hora (sólo medio minuto de diferencia). Nótese como en ambas situaciones sólo se comparten algunos satélites que están en diferentes orientaciones porque el eje polar norte y sur de la tierra no es completamente perpendicular. Como un ejemplo fíjese que los satélites 18, y 7 se recibirían desde USA mucho más débilmente que cuando se está en Córdoba. Lo más probable es que el GPS use las efemérides de estos dos satélites en Córdoba, pero no los consideraría buenos si estuviera en USA.



Imaginemos que la última vez que tomé una posición con mi GPS fue en Córdoba. Luego tomo un avión y me voy a USA. En estos casos de desplazamientos largos, el GPS tiene en cuenta la última posición obtenida (en Córdoba), considera la hora de su reloj interno, y cree que los satélites que van a estar en el hemisferio son los que están representados en la imagen de la izquierda.

Pero en realidad, los satélites que van a estar en el hemisferio son los que están representados en la imagen de la derecha, porque estamos en otro sitio, ¿no?.

¿Qué ocurre?. Que el GPS se vuelve loco. No encontrará las señales correspondientes a muchos de los satélites que deberían estar ahí, pero que en realidad no están.

Entonces, pasados unos minutos de fracasos continuos, el GPS se decide a realizar una búsqueda en el cielo (search the sky). Este proceso implica la búsqueda de las señales enviadas por los satélites de uno en uno con idea de refrescar las nuevas efemérides. En los receptores Garmin esta función se llama AUTOLOCATE.

Sin embargo, podemos ayudar considerablemente al GPS a obtener las señales de los satélites en un viaje largo si éste dispone de un almanaque válido, y nosotros al mismo tiempo le indicamos nuestra nueva posición. En los Garmins, podemos indicar al GPS donde estamos



eligiendo el lugar de los presentados en una lista "Select for country". En los Lowrances que poseen mapas movemos el cursor con las flechas del teclado, y lo llevamos al nuevo lugar. Tras indicarle nuestra nueva posición, el GPS hará inmediatamente una nueva estima de donde están los satélites rápidamente si se dispone de un almanaque válido, y se acelera la búsqueda de los satélites adecuados.

No tendremos almanaque o sus datos serán inútiles si el aparato ha estado apagado durante varios meses (almanaque obsoleto), o si se ha hecho un reset completo del aparato o se ha agotado la pila interna del receptor (almanaque borrado). En estos casos no podemos ayudar a nuestro receptor indicándole nuestra posición, ya que será necesario que adquiera de nuevo un almanaque completo y actualizado. Por eso, es siempre interesante guardar una copia del almanaque en nuestro PC, que podría ser transferido a los Garmins con programas como Waypoint + y/o G7toWin.

Los receptores GPS están de forma automática y continua recogiendo la información de las efemérides tan a menudo como sea necesario para mantener un posicionamiento correcto. Y lo hacen en el background, sin que nos demos cuenta. Si bloqueamos la antena, o estamos en una situación con pobre recepción, entonces se creará una situación en la que el GPS no podrá recoger los datos y la columna de estado de ese satélite en particular se volverá hueca otra vez.

Con todos estos datos en la mente, y en la forma de resumen, podemos decir que:

- Búsqueda en el Cielo (Search the sky). Esto ocurre cuando las variables tiempo, posición, almanaque y las efemérides son todas desconocidas. El GPS empieza a buscar satélites uno por uno, y tardará de 10 a 15 minutos en conseguir un posicionamiento. Esto sólo ocurre cuando se le hace un reset, cuando el equipo viene de fábrica y ha estado apagado por varios meses.
- Auto localización (Autolocate). Ocurre cuando se desconocen las variables tiempo y efemérides, se conoce la totalidad o parte de la información que ofrece el almanaque, y se ha variado notablemente o incluso se desconoce la posición (porque se ha

hecho un viaje muy largo). En esta etapa es necesario introducir manualmente una estima aproximada de nuestra posición que el receptor usará para predecir la posición de los satélites en un momento dado con la ayuda de los datos del almanaque que tiene almacenado. En estas condiciones el GPS no necesitará buscar uno a uno los satélites, sino sólo aquellos que están en el cielo, y tardará mucho menos que en el caso anterior para adquirir un posicionamiento correcto (varios minutos). Será necesario recoger la información de al menos 4 efemérides completas.

- Encendido frío (Cold Start). Cuando se conoce *de forma aproximada* las variables Tiempo y Posición, pero se conoce el almanaque y se desconocen las efemérides de cuando menos un satélite de los 4 que son necesarios para obtener un posicionamiento correcto. Como es necesario adquirir la información efemérica completa de uno o varios satélites, el receptor tardará al menos 30 segundos o más en completar un posicionamiento que en un encendido caliente. Puede llegar a coincidir con el mismo tiempo de un Autolocate.
- Encendido caliente (Warm start). Cuando se conoce de forma aproximada las variables tiempo y posición, se conoce el almanaque y los datos de las efemérides son muy recientes y conocidas por el receptor. Al GPS sólo le bastará adquirir un bloque parcial de las efemérides de los 4 satélites (10 a 15 segundos) para cerciorarse de que no han cambiado estos datos ni su posición.

### **Sección 3.05 CÓMO CREAR UNA RUTA TIPO TARCKBACK A PARTIR DE UN TRACK EN UN GARMIN**

1. Si queremos crear una ruta a partir de un track que tengamos almacenada en la memoria del receptor, pasaremos directamente al punto 5.
2. Si queremos usar un Track que alguien nos envíe, o que nosotros hemos creado con programas como OZIExplorer, lo que debemos hacer primero es asegurarnos de que en el receptor Garmin borremos todos los datos del track que tenemos acumulado con anterioridad. Para ello debemos ir a la pantalla de track log, y borramos todos los puntos con la función Clear log
3. Enviamos el archivo track al Garmin usando para ello el OZIExplorer.
4. Debemos asegurarnos de que el receptor ha recibido el mismo número de puntos del track que contiene el archivo guardado en la computadora. Si no es así, debemos repetir la operación desde el punto 2.
5. Hacemos un trackback. Esta función está incluida como una opción en la misma página del "track log". Esto creará una ruta que, de forma automática, se transfiere a continuación a la ruta "0", que es la ruta activa en los Garmins.
  - o Con este paso se crearán al mismo tiempo una serie de nuevos waypoints que utilizarán los nombres correlativos T001, T002, y así sucesivamente. Si se tiene un mapa, y se transfieren estos puntos a ella, se verá la ruta que se han creado, estos waypoints están localizados normalmente en sitios estratégicos. La función trackback está muy bien implementada.
  - o Los Garmins solo crearán unos 30 waypoints por cada ruta, ya que este es el límite de cada una de las rutas. Si el track es demasiado complejo, sólo estarán representados los puntos más significativos.
6. Pulsar la tecla "Page", hasta que vayamos de nuevo a la página de rutas, y seleccionamos la ruta "0", que es la ruta activa. Mirando en el menú y observando nos da la posibilidad de invertir la ruta y

además de copiar esta ruta activa a otra cualquiera de las 20 que soportan los Garmins.

7. Una vez grabada en una ruta diferente de la activa (de la 1 a la 19), podemos ir a ella para cambiarle el nombre; ya que por defecto los Garmins llaman a esta ruta "trackback". Aquí podemos volver a invertir la ruta según nuestros intereses.
8. Si se tiene curiosidad, descargamos estos waypoints creados automáticamente usando el OZIEplorer u otro programa similar, y notamos que las rutas que crean los Garmins de esta forma son muy buenas.

### **Sección 3.06 EL SIGNIFICADO QUE TIENE EL VALOR DEL EPE EN LOS RECEPTORES GARMIN**

EPE es un parámetro creado por Garmin que se usa exclusivamente en estos equipos y no en receptores de otras marcas.

Según el Departamento técnico de Garmin, el EPE puede considerarse una ESTIMA que mide la calidad de los posicionamientos. Lo único que podemos decir con toda garantía es que mientras mas bajo sea el valor de EPE, más precisa será la posición que nos de el receptor. Por cierto que el valor de EPE tiene más interés en aquella época en la que el SA estaba activo (creando distorsiones de cerca de 100 metros en nuestras posiciones) mas que en la actualidad.

Para hacer esta estima, se usan ecuaciones que contienen factores que sí pueden medirse de forma empírica y con precisión con un receptor, como el URA (User Range Accuracy) y el HDOP (Horizontal Dilution of Precision) que tiene mucho que ver con el número de satélites que se están siguiendo y la geometría de los mismos.

Nadie excepto Garmin sabe con exactitud cómo se calcula el valor del EPE. Garmin mantiene en secreto la fórmula. Lo considera una ventaja frente a sus competidores.

### COSAS QUE NO SON EL EPE

- El valor de EPE NO es el valor de la precisión (expresada en metros) de nuestra posición. Si vemos el número 5, No Significa que tengamos un error de 5 metros. En un instante determinado nuestro error puede ser muy inferior a 1 metro, y aún así, el GPS seguiría diciéndonos que el EPE es de 5. De hecho, se asume que en más de las 2/3 partes del tiempo, el error real de nuestro receptor es inferior al valor expresado en el EPE.

### Manera de utilizar el EPE o aplicaciones del EPE

Considerando que el valor de EPE es un secreto que se realiza o ejecuta, pero no se sabe cómo lo hace, lo más razonable es usarlo del siguiente modo.

- Una utilidad muy clara es usarlo cuando encendemos un receptor GS Garmin. Debemos esperar a que el valor del EPE se estabilice. Al principio, cuando sólo algunos satélites sean considerado en la posición, el valor de EPE será alto. Luego, en pocos segundos, observaremos cómo este valor va disminuyendo (conforme se van teniendo en cuenta más satélites). Cuando este valor permanezca estable, sabremos que el GPS está haciendo los cálculos con todos los satélites de los que recibe señales.
- Si observamos dos tomas de nuestra posición con un valor de EPE diferente, es lícito dar más crédito a aquella posición que ha sido dada por nuestro receptor con un valor de EPE más bajo.

- Hay quienes piensan de una forma ciertamente conservadora. Así por ejemplo piensan que:
  - Si consideramos sólo el valor de EPE. Esto podría indicarnos un margen de confianza del 68%. Significa que en el 68% del tiempo, nuestra posición estará dentro de un círculo cuyo diámetro coincide con el valor de EPE. El 32% restante de nuestro tiempo, estaremos fuera de ese círculo.
  - Si multiplicamos el valor de EPE por 2 estaremos definiendo un margen de confianza del 95%. Eso significa que si el EPE tiene un valor de 5, en el 95% del tiempo, estaremos incluido en el interior de un círculo de unos 10 metros de diámetro, mientras que en el 5% del tiempo, estaremos fuera de ese círculo.

### **Sección 3.07 PRUEBA PARA ENCONTRAR LA PRECISIÓN DE UN RECEPTOR PORTÁTIL**

Esta prueba ha sido realizada con un GPS Garmin 12XL (versión 3.53) que emitía sentencias NMEA a una computadora. AL GPS se le acopló una antena activa Trimble/Lowe, y ésta fue colocada en una azotea con un cable RG58A/U de unos 15 metros

Se tomaron un total de 43478 tomas de posiciones (24.2 hrs.)

Latitud	promedio:	37.55	grados
Longitud	promedio:	-121.94	grados
Altitud promedio: 39.474 metros			

Precisión en el Plano

Horizontal	Altitud
Nivel 50.00% confianza: 2.5 m	Nivel 50.00% confianza: 5.6 m
Nivel 68.27% confianza: 3.8 m	Nivel 68.27% confianza: 7.4 m
Nivel 95.45% confianza: 7.0 m	Nivel 95.45% confianza: 14.4 m
Nivel 99.73% confianza: 9.8 m	Nivel 99.73% confianza: 21.3 m

Cualquiera de los GPS del mercado almacena las coordenadas usando exclusivamente el DATUM WGS84. Este DATUM es el oficial del sistema NAVSTAR, el nombre real del sistema GPS americano.

Eso significa que se navega con el GPS haciendo GOTO, trackback, etc, el DATUM que tienes seleccionado en el receptor. EL GPS te guiará a donde se le diga sin que haya errores (siempre que hayas introducido bien las coordenadas y que el GPS las haya creado en el sitio correcto)

Cuando se quiere usar un mapa que utiliza un determinado DATUM. Por ejemplo, todos los mapas oficiales de México:

(a) Datum horizontal:

NAD27 (por sus siglas en inglés, North American Datum of 1927) o ITRF92 Epoca 1988.0 (por sus siglas en inglés, International Terrestrial Reference Frame of 1992)

(b) Datum vertical:

NAVD29 (por sus siglas en inglés, North American Vertical Datum of 1929). Elevaciones en metros referidas al nivel medio del mar.

#### Configuración del receptor GPS

Es cuestión de opiniones. Pero la recomendación es que si de alguna forma se va a usar un mapa (ya sea antes o después) que se configure el GPS con el mismo DATUM con el que el mapa se ha fabricado.

#### DEBIDO A LOS SIGUIENTES CASOS

CASO 1: Se tiene almacenado uno o varios waypoints en un receptor GPS. Se tiene un mapa en papel de la misma región. Y no se cuenta con un programa como OziExplorer, Fugawi o el que sea que usa mapas. Y

ahora se quiere ver o colocar esos waypoints en el mapa, para saber dónde están emplazados.

En este caso, se enciende el GPS y solicitan las coordenadas de un waypoint cualquiera, el GPS estará instruido para que haga una conversión de las coordenadas que internamente usan el DATUM WGS84 al DATUM NAD27 México.

Los valores de las coordenadas del waypoint no cambian internamente cuando se selecciona en el receptor uno u otro waypoint. Solo cambian los números que se observan en la pantalla porque tienen lugar conversiones internas.

Como el mapa usa el DATUM NAD27 México, eso evita hacer las conversiones. De esta forma se verá como los puntos quedarán emplazados en el sitio correcto del mapa.

CASO 2: De un mapa en NAD27 México. Sabes usar mapas y definir un waypoint en la ausencia de un programa de computación. Ahora quieres crear un waypoint en el GPS con esas coordenadas que acabas de calcular usando el mapa, la regla y la calculadora.

Como el mapa usa el NAD27 México, las coordenadas usarán ese mismo DATUM.

Si se tiene configurado el GPS con este mismo DATUM, al introducir las coordenadas del waypoint, No se hace ningún tipo de conversión.

El GPS entiende que se está introduciendo los valores usando el DATUM NAD27 México, y antes de guardarlo en la memoria, hará una conversión para guardarlas usando el DATUM WGS84.

No habrá desplazamientos. No habrá problemas

CASO 3: Se realizará una carrera, y dándose una lista de Waypoints cuyas coordenadas usan el DATUM WGS84. ¿Qué se debe hacer?



En este caso se recomienda que se configure el GPS con el mismo DATUM que usa estas coordenadas. Así se evitarán conversiones indeseadas que terminen por crear waypoints desplazados.

En otras palabras. SI se da una lista de waypoints que usan el DATUM NAD27 México, se configura el receptor GPS con el mismo DATUM. Si tienen datos con el DATUM Kenia, se configura con ese DATUM.

CASO 4: Se tiene un programa de computación que usa mapas como OziExplorer, Trackmaker, Fugawi, etc...

Todos los Garmins, la mayoría de los Magellans, Lowrance y otras marcas de receptores, cuando lo conectas a una PC a través de un cable y quieres intercambiar datos (sólo waypoints, tracks y NO información NMEA), mandan por el cable a la computadora las coordenadas usando EXCLUSIVAMENTE el DATUM WGS84. Esto ocurre sea cual sea el DATUM que se haya seleccionado en el receptor.

En la configuración del programa de la computadora, se indica que va a recibir las coordenadas usando el DATUM WGS84.

Recuérdese que. El mapa usa el DATUM NAD27 México. ¿Ahora qué?

Fácil. Tras la recepción de las coordenadas por el cable desde el GPS, no habrá conversiones. Pero antes de representar esos waypoints o tracks en el mapa, si las habrá. Las coordenadas recién recibidas se convertirán desde el DATUM WGS84 al NAD27 México para que queden emplazadas correctamente. Esta es una conversión que se hace exclusivamente en el momento de representar estos puntos en el mapa.

Otra cosa es cuando se hace con el modo Mapa Móvil, haciendo que el GPS envíe sentencias NMEA

En este caso, el estándar NMEA establece que las coordenadas sean enviadas usando el mismo DATUM con el que has configurado el receptor. Si el receptor está configurado NAD27 México, saldrán usando este formato.

En este caso es importante que le indique al programa del ordenador que ese será el DATUM que se usará, para que él determine si debe o no hacer conversiones.

Por ejemplo. Si el GPS emite sentencias NMEA en NAD27 México, y el programa del ordenador está configurado diciendo que va a recibir los datos en este DATUM, no habrá conversiones y no habrá errores.

Pero si se envían las sentencias NMEA usando el NAD27 México, y el programa está configurado en WGS84, habrá conversiones que conseguirán que la posición en el mapa esté desplazada sobre la posición real.

### ***Sección 3.08*    **CÓMO FUNCIONA EL PROGRAMA MAPSOURCE****

Estas líneas tratan de mostrar cómo funcionan los receptores con cartografía de Garmin, y trata de responder a la pregunta si cuando se graba un mapa desde el MapSource, se borra o no la información del mapa base del equipo.

El documento se ha hecho con un eTrex Legend, MapSource 4.13 y el Metroguide Europeo v4.0 Las imágenes corresponden a imágenes reales de la pantalla del Legend capturadas con el programa G7toWin.



1. Este es el mapa base de La Coruña que viene en el Legend



2. Este es el mapa de la misma región (ver coordenadas UTM) tras haber cargado la información del MapSource



3. Y ahora, el mapa que se obtiene cuando he cargado a continuación sólo la zona de Córdoba con el MapSource

De esta experiencia se desprende que:

1. El mapa base de un equipo con cartografía siempre se mantiene.
2. La información del mapa MapSource se presenta con prioridad sobre la del mapa base. (Esto puede ser cambiado en la configuración)
3. Que una vez que se carga otra parte del mapa (aquí se cargó la zona de La Coruña primero, y luego la zona de Córdoba), se pierde la información MapSource que se había cargado en una sesión anterior, restableciéndose la información del mapa base del equipo.

Nota: Los receptores GPS de la marca Garmin vienen cargados de fábrica con una información de puntos de interés marino, que Garmin

llama Marine POI database. Si se carga cualquier mapa MapSource, borramos esta base de datos POI del equipo por la misma razón que borramos el mapa de La Coruña al cargar el mapa de Córdoba. Cuando Garmin advierte *You are about to erase map data that was pre-programmed by Garmin*, se está refiriendo a esta base de datos o a mapas cargados previamente. NO se refiere a la información del mapa base.

Esta base de datos de Interés marino se puede volver a cargar en los equipos cuando se desee. Hay un archivo que puede descargarse en las páginas de actualización del firmware de los respectivos equipos con cartografía.

### **Sección 3.09 OBSERVACIÓN.**

Una vez decidido el lugar, el día y la hora de la observación, debemos elegir el método de posicionamiento adecuado en función del tipo de trabajo a realizar y de sus precisiones.

Encontrándonos ya en el campo, debemos introducir en la unidad de control del receptor los parámetros de la observación, entre los que destacan como más importantes:

- Método de posicionamiento para que el software del receptor almacene correctamente los datos.
- Máscara de elevación. Se recomienda no usar máscaras inferiores a 10°. Debemos tener en cuenta que en la etapa de observación podemos usar máscaras amplias, y que luego en la etapa de cálculo las podemos reducir, es decir aumentar el ángulo de elevación, si lo consideramos oportuno.

- Establecimiento del intervalo de grabación en segundos (épocas). Cada época va a ser un tiempo de grabación de datos. Se pueden elegir y establecer en múltiplos de 60, es decir, épocas de 1, 2, 3, 5, 10, 15, 30, etc, segundos. Hay que tener en cuenta que a menor valor de época, mayor cantidad de datos almacenados en la tarjeta, y por lo tanto, se deberá elegir un menor tiempo de puesta de observación para no agotar su capacidad. A modo de ejemplo, se puede decir que 15 minutos de observación grabando épocas cada 5 segundos equivale a 45 minutos grabando épocas cada 15 segundos, ya que la cantidad de información grabada y la capacidad agotada de almacenamiento de la tarjeta es prácticamente la misma, en función del número de satélites y de la cantidad de observaciones que se recojan en la jornada.
- Existen instrumentos que son capaces de grabar la información en modo compacto, es decir, utilizan toda la información disponible entre una época de grabación y la siguiente, en lugar de grabar sólo la información del instante en el que se materializa la época.

### *Sección 3.10* **CÁLCULO.**

En primer lugar se debe proceder a insertar los datos de las observaciones en el software. En el caso de trabajar en tiempo real, esto lo realiza la propia unidad de control. Así mismo, se deben comprobar todos los datos y atributos referentes a cada punto, tales como nombres, alturas de antena, etc.

A continuación, se procede a calcular un punto singular o single point, de todos los puntos que hayan constituido una estación en el trabajo.

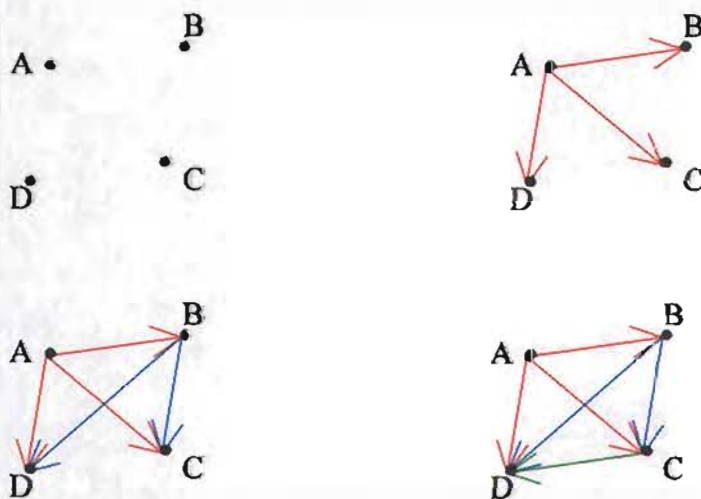
El siguiente paso es determinar los parámetros correctos y apropiados para el cálculo de las líneas base, es decir:

- Máscara de elevación.
- Corrección ionosférica y troposférica.
- Tipo de efemérides usadas.
- Parámetros estadísticos de errores máximos tolerables (radio, pérdidas de ciclo, señal/ruído, satélite de referencia, etc. ...)

Seguidamente, se procede al cálculo de las líneas base de una manera ordenada, es decir, siguiendo algún criterio, como puede ser aquel de calcular todas las líneas base que lleguen a un mismo punto antes de tomar éste como referencia para calcular otras líneas base, o algún otro criterio que se estime adecuado.

Es importante que una línea base nunca debe ser calculada en las dos direcciones con los mismos datos de observación, ya supondría incluir líneas linealmente dependientes en el sistema.

Un criterio de cálculo puede ser el representado las siguientes figuras:



Una vez calculadas todas la líneas base, se deben revisar totalmente los archivos de resultados, así como los resultados de todos

los test estadísticos, ya que en ocasiones puede ocurrir que el cálculo no sea satisfactorio y debemos ser conscientes de ello en todo momento.

Tras el cálculo satisfactorio de las líneas base, el siguiente paso es realizar el ajuste de la figura formada por todas las líneas base calculadas. Los paquetes de software incorporan un módulo de ajuste que utilizan la técnica de mínimos cuadrados y donde el usuario debe seleccionar una serie de parámetros para realizar el ajuste como son:

- El número de iteraciones
- Parámetros estadísticos del test de detección de errores graves.
- Pesos de las observaciones, etc.

Finalmente, una vez obtenidas las coordenadas ajustadas de todos los puntos, puede ser necesario realizar una transformación de coordenadas para pasar los puntos al sistema de coordenadas locales. Para ello, los paquetes de software disponen de un módulo de transformación de coordenadas, en donde, a partir de una serie de puntos con coordenadas en los dos sistemas se calculan los parámetros de transformación de un sistema a otro por mínimos cuadrados, parámetros que se aplican al resto de los puntos para transformarlos al sistema local. Para realizar la transformación debemos elegir el elipsoide al que queremos referir las coordenadas, la proyección y la zona que determinan ese sistema local.

Una vez que ya tenemos las coordenadas de todos los puntos en el sistema de coordenadas locales, queda finalizada la etapa del cálculo.





## **CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

El Sistema de Posicionamiento por Satélite, ya sea con GPS, GLONASS o GPS/GLONASS, es una herramienta imprescindible en la sociedad de nuestros días, y que los técnicos en todas las materias afectadas deben saber tratar, manipular y ejecutar correctamente, ya que supone, como hemos dicho, un adelanto en la calidad y rendimiento de los trabajos respecto a los métodos clásicos, que nunca se deben abandonar, pero que la evolución de otras técnicas obliga a ir dejando a un lado y recurrir a técnicas, no sólo más modernas, sino más fructíferas y que en un futuro cercano estarán en el idioma y rutina cotidiano de los profesionales de estos campos por lo pronto hasta la fecha marzo 2004 podemos mencionar algunas de las virtudes y defectos del sistema para tener una referencia del alcance del mismo.

### ***Sección 4.01* ALGUNAS VIRTUDES Y DEFECTOS QUE OFRECE EL POSICIONAMIENTO POR SATÉLITE EN NUESTRO TRABAJO:**

#### *Virtudes:*

- No es necesaria la ínter visibilidad entre estaciones, ya que el sistema de medida es indirecto entre ellas y directo a los satélites. Esto reduce el número de estacionamientos al poder salvar los obstáculos y reduce los errores accidentales y sistemáticos al no tener que realizar punterías ni tantos estacionamientos con ínter visibilidad entre los puntos. En definitiva, se reduce el tiempo de observación y los errores que se producen en ella. Debemos añadir además que la observación nocturna es totalmente operativa.

- Al trabajar con ondas de radio, estas no sufren efectos significativos a causa de la niebla, lluvia, fríos y calores extremos, y otros tipos de incidencias.
- El rango de distancias que se pueden alcanzar es mucho mayor, al no ser medidas directas. El mejor de los Distanciómetros no supera los 4-5 Km de distancia, además del error que introduce. Con el posicionamiento por satélite podemos medir bases desde unos pocos metros hasta centenas y miles de Km.
- Dado que no se dispone de sistemas ópticos, su fragilidad es menor y su mantenimiento y calibración no es requerido con la frecuencia que lo requieren los instrumentos ópticos. Los costos de mantenimiento por ello son menores.
- El servicio de las señales que ofrecen los sectores espaciales y de control es totalmente gratuito, lo que supone sólo desembolsos en instrumentación de observación, cálculo y gastos para I+D.
- La obtención de los resultados es rápida, máxime si sumamos la obtención de los mismos en tiempo real (RTK). Además, las observaciones y los resultados son interpretables y tienen comprobación.
- La variedad de métodos de posicionamiento hace que sean sistemas apropiados y aptos para cualquier tipo de trabajo.

Defectos:

- No puede ser utilizado en obras subterráneas y a cielo cerrado.
- Tiene dificultades de uso en zonas urbanas, cerradas, con altos edificios y zonas arboladas y boscosas, debido a las continuas pérdidas de la señal de los satélites. Este problema, no obstante, se está solucionando, y de forma satisfactoria, con el uso combinado de las constelaciones GPS y GLONASS para mantener siempre cinco o más satélites sobre el horizonte.

- El desconocimiento del sistema. El sistema de posicionamiento por satélite es una gran herramienta, y de fácil uso, pero ello no lleva consigo eximirse de su conocimiento y del tratamiento de sus observaciones correctamente, ya que de lo contrario, se pueden obtener resultados poco satisfactorios en precisión y rendimiento.

#### **Sección 4.02 CAMPOS EN DONDE HA INCURSIONADO EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO POR SATÉLITE:**

##### **\* GEODESIA.**

- Determinación de las Redes fundamentales para la Cartografía, Topografía, Ingeniería y control de un país, región o localidad.
- Obtención de la ondulación del Geoide de forma regional o global.

##### **\* GEOFÍSICA.**

- Estudio de deformaciones de la superficie terrestre.
- Determinación de la estructura de las distintas capas de la Atmósfera y comportamiento de las mismas.

##### **\* TOPOGRAFÍA Y FOTOGRAMETRÍA.**

- Densificación de Redes Geodésicas.
- Levantamientos taquimétricos.
- Apoyo fotogramétrico.
- Determinación de las coordenadas del centro óptico de la cámara en el momento de la toma.

**\* INGENIERÍA.**

- Redes fundamentales para cartografías donde se apoyen los proyectos de arquitectura o infraestructuras de todo tipo.
- Establecimiento de Redes básicas para el replanteo de una obra de ingeniería.
- Replanteo de puntos de un proyecto de ingeniería.
- Control de calidad en obra.
- Control de deformaciones de estructuras.

**\* HIDROGRAFÍA.**

- Levantamientos batimétricos.
- Estudios y análisis de la evolución de las cuencas hidrográficas.
- Determinación de itinerarios fluviales y marítimos.

**\* SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS).**

- Obtención de los datos geográficos para la formación y actualización de bases de datos georeferenciadas y la cartografía de un Sistema de Información Geográfica.

**\* NAVEGACIÓN.**

- Situación instantánea de vehículos sobre un sistema de referencia.
- Actualización de cartas de navegación.
- Determinación de itinerarios idóneos.
- Deducción de la evolución e itinerario de un vehículo en movimiento.

- Inventarios de redes viales, fluviales, aéreas, navales y espaciales.

\* DEFENSA.

- Localización de objetivos de cualquier tipo.
- Evaluación de zonas y recorridos por las mismas.

\* OCIO Y DEPORTE.

- Localización y situación en expediciones, safaris, rallyes, viajes, competiciones, excursiones en zonas de cartografía desconocida, etc.

Como vemos son campos muy amplios en donde indiscutiblemente nuestros profesionistas se ven involucrados y tienden a adoptar nuevas tecnologías.

### **Sección 4.03 GLOSARIO**

1. **AMSL:** Altitud sobre el nivel medio del mar.
2. **2D:** Navegación en 2 dimensiones (latitud y longitud)
3. **3D:** Navegación en 3 dimensiones (latitud, longitud y altura). A
4. **ACIMUT:** la dirección horizontal expresada como la distancia angular entre la dirección de un objeto fijo (que el observador está encabezando) y la dirección del objeto.
5. **CURVAS DE NIVEL:** Las líneas en un mapa que une puntos de igual altura sobre el nivel medio del mar y que sirven para visualizar el mapa en tres dimensiones.
6. **CONSTELACIÓN:** Es la flota de satélites que se encuentra en el espacio.
7. **DATUM:** Un sistema de la referencia por computar o poner en correlación los resultados de estudios. Hay dos tipos principales de datums: vertical y horizontal. Un datum vertical es una superficie nivelada a la que se refieren las alturas.
8. **DECLINACIÓN MAGNÉTICA:** el ángulo entre el norte magnético y el verdadero, expresado en grados y minutos.
9. **DEMODULAR:** Es la técnica inversa de la modulación. A partir de la señal recibida por el receptor la demodulación obtiene la información.
10. **DME:** Equipo radio telemétrico medidor de distancia.

11. **ENCRIPTADO** : Es la transformación de datos en signos ilegibles para quien no disponga de la clave secreta para descifrarlos. Su propósito consiste en asegurarle al usuario privacidad, ocultando la información de aquellos a quienes no está dirigida, incluso de aquellos que tienen acceso a la información encriptada. Por ejemplo, se puede encriptar información en un disco rígido para evitar que ojos no autorizados puedan leerla. En una implementación multi-usuario el encriptado otorga seguridad a las comunicaciones que se producen a través de un medio inseguro. Un pantallazo general sería el siguiente: Alicia quiere enviar un mensaje a Juan, pero quiere que solamente él lo lea. Alicia encripta el mensaje, llamado texto plano, con una clave de encriptado. El texto encriptado, llamado texto cifrado, llega a Juan. Juan descifra el texto cifrado con una clave de descifrado y lee el mensaje. Carlos, un atacante, podría tratar de obtener la clave secreta o de recuperar el texto plano sin utilizar la clave secreta. En un sistema de encriptado de textos seguro, el texto plano no se puede obtener desde el cifrado a menos que se utilice la clave de descifrado. En un sistema criptográfico de encriptado simétrico, una sola clave sirve tanto para el encriptado como para el descifrado. La criptografía tiene ya milenios de existencia.
  
12. **EFEMÉRIDES**: Una plataforma de la posición del satélite, las orbitas para un intervalos de tiempo específico contenido en la base de la fecha de su unidad de GPS. Esta información ayuda a caracterizar las condiciones bajo las que el dato señala la posición de los satélites, viaja a las velocidades de 7,000 millas una hora que les permite rodear la Tierra una vez cada 12hrs. esta plataforma ayuda al satélite para hacer correcciones en vuelo, una parte importante de asegurar la colección de los datos precisa para determinar su posición en la Tierra al usar a un receptor de GPS.

13. **ELEVACIÓN:** la distancia vertical de un punto (sobre el nivel medio del mar) altura de un punto u objeto en la superficie de la Tierra.
14. **ESPACIO AÉREO MEXICANO:** Área definida sobre el territorio nacional para la navegación aérea, inclusive aquella indicada en la Ley de Aviación Civil, Ley de Vías Generales de Comunicación, Ley General de Bienes Nacionales, Tratados Internacionales de los que México es suscriptor, así como la indicada en las regiones de información de vuelo (FIR).
15. **FAA:** Federal Aviation Administration. Autoridad de aviación civil de los Estados Unidos de Norte América.
16. **FIR:** Región de información de vuelo.
17. **GEODESIA:** ciencia que tiene por objeto determinar la forma y dimensiones de la Tierra, muy útil cuando se aplica con fines de control, es decir, para establecer la regulación de tierras, los límites de suelo edificable o verificar las dimensiones de las obras construidas. La topografía de los terrenos, los elementos naturales y artificiales como embalses, puentes y carreteras, se representan en los mapas (cartas) gracias a los levantamientos geodésicos. Las mediciones en un estudio topográfico son lineales y angulares, y se basan en principios de geometría y trigonometría tanto plana como esférica. En la actualidad, se utilizan satélites artificiales para determinar la distribución irregular de masas en el interior de la Tierra, así como su forma y dimensiones a partir de las irregularidades en sus órbitas.
18. **GLONASS:** Sistema orbital mundial de navegación por satélite.



19. **GPS:** Sistema del Posicionamiento Global, el nombre oficial para el sistema de satélites que abrazan la tierra para mantener información en la navegación. El posicionamiento global de cualquier dispositivo que puede recibir los signos de radio de transmisión de esos satélites y puede computar su situación que trabaja con un almanaque y el banco de datos interesado. El término GPS, cuando se usa para describir un producto del Garmin informalmente, es una referencia a un receptor de la radio con informática sofisticada y las capacidades de trazando
20. **LANDFORM:** Un rasgo geográfico natural importante en la superficie de la tierra, como una colina. Trazado por las líneas de nivel mostradas en mapas topográficos.
21. **LNA (Low Noise Amplifier):** Es un amplificador de bajo nivel de ruido para no degradar la calidad de la señal. N
22. **NAD-27:** Datum de Norteamérica (North America Datum) de 1927.
23. **NDB:** Radiofaro no direccional.
24. **NGS:** La agencia nacional que estudia al Geoide se reorganizó en 1970 creando la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA) y el Servicio del Océano Nacional (NOS) en EEUU.
25. **NMAM:** Nivel medio de las aguas del mar. Que ha sido el promedio de la pleamar y la bajamar durante un tiempo considerado, usado como "superficie base" para medir las elevaciones (alturas).

26. NOAA: la administración oceánica y atmosférica nacional de los EE. UU. creada en los 70s. Los primeros estudios de la agencia para la observación y estudio de la atmósfera y conservación de recursos naturales. Se han reconocido esta agencia y sus descendientes como líderes mundiales en las ciencias de la geodesia, geofísica, metrología, oceanografía, meteorología, climatología, biología marina, y la ecología marina.
27. NORTE MAGNÉTICO: la dirección de una línea que marca la aguja de compás (brújula).
28. NOTAM: Notice to Airmen. Aviso distribuido por medio de telecomunicaciones, que contiene información relativa al establecimiento, condición o modificación de cualquier instalación aeronáutica, servicio, procedimiento o peligro, cuyo conocimiento oportuno, es esencial para el personal encargado de las operaciones de vuelo.
29. OACI: Organización de Aviación Civil Internacional.
30. PERIODO: Es el tiempo que tarda el satélite en dar una vuelta completa a la tierra.
31. PERMISIONARIO: Persona moral o física, en el caso del servicio aéreo privado comercial, nacional o extranjero, a la que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes otorga un permiso para la realización de sus actividades, pudiendo ser la prestación del servicio de transporte aéreo internacional regular, nacional e internacional no regular y privado comercial.
32. POLARIZACIÓN: Es una característica de la señal que se transmite.

33. **PORTADORA:** Es una señal cuyas características (frecuencia, fase) varían según la información que se quiere transmitir (señal moduladora). Según las características de la portadora cambien la modulación recibe un nombre u otro (frecuencia - FM, amplitud - AM).
34. **PSEUDODISTANCIAS:** Cuando medimos la distancia entre un satélite y el receptor realmente lo que medimos es la distancia más algo que se debe a la deriva existente entre el reloj del satélite y el del receptor. S
35. **RAIM:** Comprobación autónoma de la integridad en el receptor.
36. **REJA:** Cuadrícula, caneavá o retícula, utilizada en los planos y Cartas topográficas (mapas), como referencia para establecer gráficamente un sistema coordenado. En este texto se refiere al Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM).
37. **RNAV:** Navegación de área. Método de navegación que permite a la aeronave, operar en cualquier trayectoria de vuelo deseada, dentro del área de cobertura de las estaciones de referencia o dentro de los límites de precisión de un sistema autónomo o una combinación de éstos.
38. **RNP:** Rendimiento requerido de navegación.
39. **SCT:** Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
40. **SDF:** Facilidad direccional simplificada.

41. **SISTEMA CONVENCIONAL DE NAVEGACIÓN:** Conjunto de elementos que sirven para realizar vuelos con radioayuda, tales como VOR, DME, ILS, NDB, entre otros, así como los receptores de esas radioayuda, integrados en las aeronaves para la realización de operaciones sobre espacios aéreos definidos y procedimientos terminales.
42. **SISTEMA MUNDIAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GNSS):** El GNSS es un sistema mundial de determinación de la posición y la hora, que incluye una o más constelaciones de satélites, receptores de aeronave y vigilancia de la integridad del sistema, y que se puede aumentar, según sea necesario, en apoyo del rendimiento de navegación (RNP) durante la fase de operación en curso.
43. **TRANSIT:** Es el primer sistema de navegación por satélite. Fue desarrollado por la marina de los EE.UU. y puede considerarse como el antecesor del NAVSTAR-GPS.
44. **TSO:** Orden Técnica Estándar. Disposición normativa que establece los requerimientos que se deben cumplir para la aprobación de un producto o parte, para su uso en aviación. Estos documentos son emitidos por la autoridad respectiva de los Estados Unidos de Norte América, y son validados o emitidos por la Autoridad Aeronáutica.
45. **USGS:** (estudio geológico de los estados Unidos) la agencia gubernamental de los estados unidos responsable para recoger y publicar datos sobre la geografía que incluyen mapas que trazan información sobre la topografía, recursos naturales, estado y atlas nacionales, parques nacionales, etc.,
46. **VFR:** Reglas de vuelo visual.
47. **VOR:** Radiofaro omni-direccional de muy alta frecuencia.

48. **WAYPOINT:** Un punto de destino que apunta a lo largo de una ruta nombrado y grabado usando coordenadas de la navegación.
49. **WGS-84:** Sistema Geodésico Mundial de 1984.

## ◆ BIBLIOGRAFÍA

1. Ma. Paz Holanda Blas, Juan Carlos Bermejo Ortega, (GPS & GLONNAS DESCRIPCIÓN Y APLICACIONES) Madrid 1998.
2. "Actualización De La Cartografía Generada Por El INEGI Mediante El Uso Del Sistema De Posicionamiento Global (GPS)." Tesis de licenciatura de José Antonio Dimas Chora, Universidad Nacional Autónoma De México ENEP Aragón.
3. El Datum *Por Bárbara Domingo, Club alpino Burgales*
4. Como funciona el sistema GPS, en cinco pasos lógicos, Copyright © 1996, 1997, 1998, 1999 by Trimble Navigation Limited. All rights reserved. Traducido al español por Pedro Gutovnik
5. Artículo basado en un documento originalmente escrito por Joe Mehaffey el 12 de Julio de 1999
6. Andar Por el Macizo de Grazalema II (1995). por Luis Gilperez Fraile. Libros Penthalon. Editorial Acción Divulgativa S. L. Madrid. ISBN 84-7955-038-4
7. Vocabulario Científico y Técnico (1990) Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Editorial Espasa Calpe
8. Diccionario de la Lengua Española (1994) 21 edición. Real Academia Española
9. Norma Oficial Mexicana Nom-051-Sct3-2001, Que Regula Los Procedimientos De Aplicación Del Sistema Mundial De Determinación De La Posición (Gps), Como Medio De Navegación Dentro Del Espacio Aéreo Mexicano
10. Documento de Antonio Rodríguez Franco. Junio 1999.