

CAPÍTULO II

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

2.1 ¿Qué es el Sistema de Posicionamiento Global?

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema compuesto por una red de satélites, radio bases terrestres y receptores GPS que permiten casi todas las posibilidades de navegación y posicionamiento en cualquier parte del mundo, a cualquier hora, sin importar las condiciones climatológicas.

Este complejo está compuesto por tres sistemas principales:

- Sistema Satelital
- Sistema de Control Terrestre
- Sistema del Usuario

2.1.1 Sistema Satelital

El sistema satelital es una constelación de 24 satélites denominada NAVSTAR que gira alrededor de la Tierra en seis planos orbitales a unos 60° entre sí, con cuatro satélites en cada plano. Hay 21 satélites activos y 3 de reserva. En caso de falla de un satélite, uno de los de reserva puede ocupar su lugar.

La Figura 2.1 muestra las órbitas de los 21 satélites funcionales de la red Navstar.

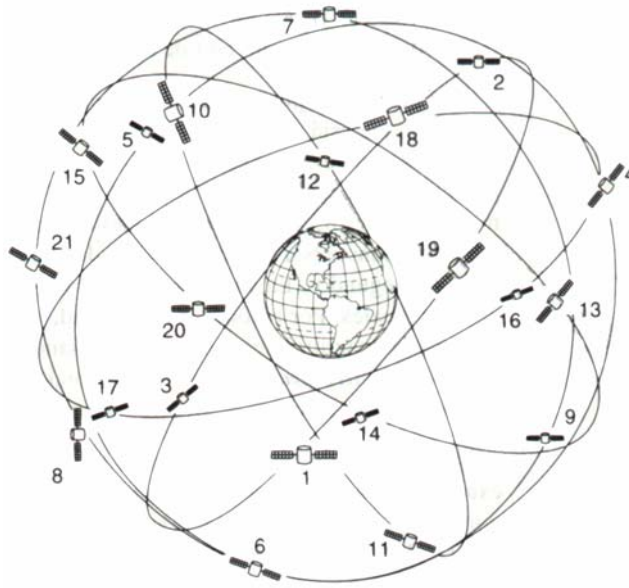


Figura 2.1 Constelación de satélites Navstar

Los satélites Navstar no son geosincrónicos, giran en torno a la Tierra en órbitas circulares inclinadas. El ángulo de elevación en el nodo ascendente es 55° con respecto al plano ecuatorial. La elevación promedio de un satélite Navstar es de unos 20,200 Km sobre la Tierra. Estos satélites tardan aproximadamente 12 horas en una revolución.

Esta red de satélites fue desarrollada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América y declarada totalmente operativa desde el 27 de abril de 1995. Al principio, creada exclusivamente para fines militares y, posteriormente dado las aplicaciones tecnológicas, se puso al servicio de la comunidad civil.

2.1.2 Sistema de Control Terrestre

El sistema de control terrestre, llamado *Sistema de Control de Operación*, incluye todas las estaciones monitoras terrestres fijas que se encuentran ubicadas en todo el mundo. Las estaciones monitoras no son más que receptores GPS que rastrean los satélites cuando

pasan sobre ellas y acumulan datos de telemetría y efemérides de los mismos. Esta información se transmite a una *Estación de Control Maestro* donde se procesa y determina si la posición real del satélite es igual a la calculada por el GPS. La Estación de Control Maestro recibe datos de las estaciones monitoras en tiempo real, con esa información determina si los satélites sufren cambios de reloj o de efemérides y detecta el mal funcionamiento del equipo. Se calcula la nueva información de navegación y efemérides a partir de las señales monitoreadas y se envía a los satélites junto con órdenes de mantenimiento rutinario.

2.1.3 Sistema del Usuario

El sistema del usuario de GPS consiste en todos los receptores GPS y la comunidad de usuarios. Los receptores GPS convierten las señales recibidas de los vehículos espaciales en estimaciones de posición, velocidad y tiempo.

2.2 ¿Cómo funciona el sistema GPS?

El sistema GPS funciona determinando cuánto tiempo tarda una señal de radio transmitida de un satélite en llegar al receptor en tierra y, a continuación con ese tiempo, calcula la distancia entre el satélite y el receptor de la estación terrestre. Las ondas de radio viajan aproximadamente a la velocidad de la luz a 3×10^8 m/s. Si un receptor puede determinar con exactitud dónde comenzó un satélite a mandar un mensaje de radio, y exactamente cuándo recibió el mensaje, puede determinar el tiempo de propagación (retardo).

A partir del tiempo de propagación, el receptor puede determinar la distancia entre él y el satélite, con la ecuación:

$$(2.1) \quad d = v \times t$$

donde d = distancia entre el satélite y el receptor (metros)

v = velocidad (3×10^8 m/s)

t = tiempo de propagación (segundos)

Claro está que el objetivo es determinar con exactitud cuándo salió la señal de sincronización del satélite. Para determinarlo, el transmisor del satélite y el receptor de la estación terrestre producen códigos idénticos de sincronización (pseudoaleatorios) exactamente al mismo tiempo, tal como lo muestra la Figura 2.2.

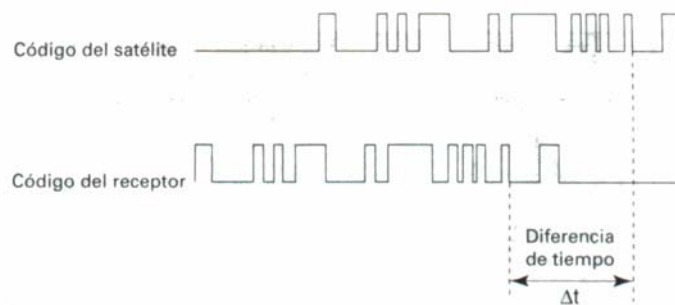


Figura 2.2 Código pseudoaleatorio de tiempo GPS

Cada satélite transmite en forma continua su código de sincronización precisa. Después de haber recibido un código de sincronización, un receptor sólo lo compara con su propio código, producido en forma local, para determinar el tiempo de propagación. La diferencia de tiempo multiplicada por la velocidad de la señal de radio determina la distancia al satélite.

Por ejemplo:

Si se sabe que la *diferencia de tiempo* (Δt) mostrada en la Figura 2.2 es igual a 4 milisegundos; entonces, la distancia entre el receptor y el satélite, de acuerdo a la ecuación (2.1) es:

$$(2.2) \quad d = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \times 4 \text{ ms} = \mathbf{1200 \text{ Km.}}$$

Para que un receptor en tierra determine su longitud y latitud, debe recibir señales de tres o más satélites, debido a que se tienen tres incógnitas: X , Y y Z que son las coordenadas que determinan la posición del receptor.

Cada satélite envía al receptor su propio código pseudoaleatorio de sincronización (PRN) y su localización. La ubicación de un satélite se describe con un sistema tridimensional de coordenadas en relación con el centro de la Tierra, como se ve en la Figura 2.3.

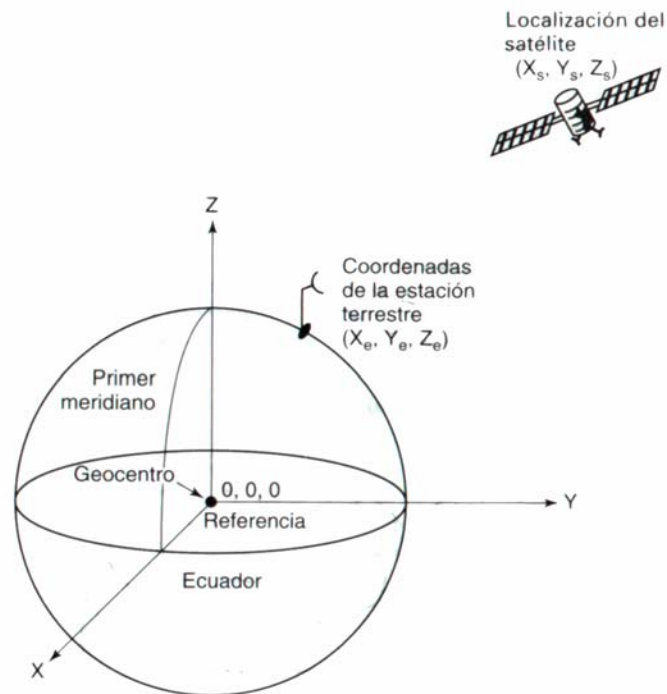


Figura 2.3 Sistema de Coordenadas GPS para el satélite y la estación receptora

El centro de la Tierra es el punto de referencia, y sus coordenadas son 0, 0, 0. Así, cada satélite tiene sus coordenadas X_s , Y_s , Z_s que determinan su lugar con respecto al geocentro. Sin embargo, las coordenadas de los satélites se deben actualizar en forma continua, ya que varían cuando los satélites recorren sus órbitas. También, el lugar de una estación terrestre tiene coordenadas tridimensionales, X_e , Y_e , Z_e referidas al centro de la Tierra como se muestra en la Figura 2.3.

Si una estación terrestre receptora conoce la ubicación de un solo satélite y la distancia entre el satélite y ella, sabe que debe de estar en algún lugar de una esfera imaginaria centrada en el satélite y con un radio igual a la distancia del satélite al receptor. Esto se ve en la Figura 2.4.

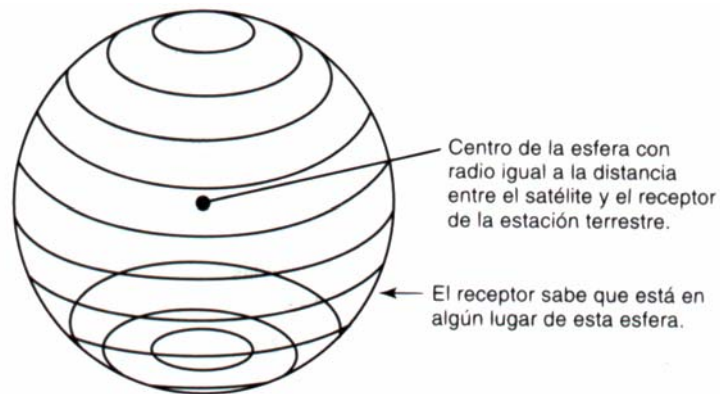


Figura 2.4 Ubicación de la estación receptora respecto a un satélite

Si el receptor conoce el lugar de dos satélites, y sus distancias al receptor, sabe que su lugar está en algún lugar del círculo formado por la intersección de las dos esferas, como se muestra en la Figura 2.5.

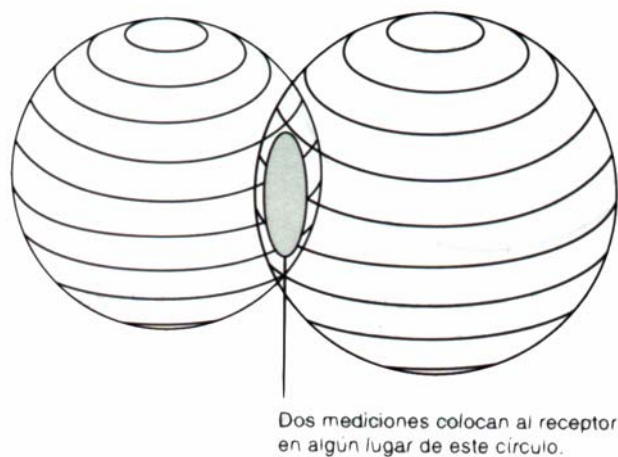


Figura 2.5 Ubicación de la estación receptora respecto a dos satélites

Si se conoce la ubicación y la distancia de un tercer satélite, el receptor puede ubicar su posición en uno de los dos lugares posibles en el espacio, como se ve en la Figura 2.6

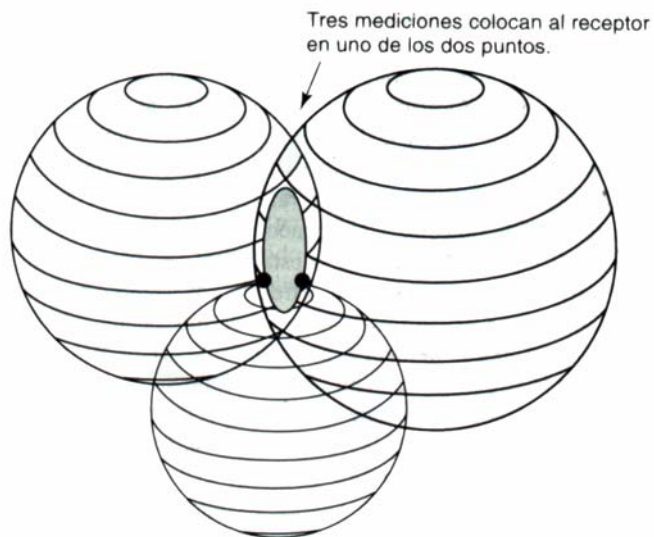


Figura 2.6 Ubicación de la estación receptora respecto a tres satélites

Los receptores GPS pueden determinar, en general, cuál es el punto correcto de ubicación porque el otro punto suele tener coordenadas que apuntan a un lugar que se encuentra fuera de la Tierra.

2.3 GPS Diferencial

El GPS *diferencial* hace todavía más exacto al GPS normal. El GPS diferencial funciona anulando la mayoría de los errores naturales y artificiales que se filtran en las mediciones normales GPS. La inexactitud de las señales del GPS se deben a una diversidad de fuentes, como los desplazamientos del reloj del satélite, órbitas imperfectas y variaciones en la atmósfera terrestre. Estas imperfecciones son variables y difíciles de, sino es que imposibles, predecir. Por lo anterior, lo que se necesita es un método para medir los errores reales, cuando se presentan.

En el GPS diferencial, un segundo receptor se coloca en un lugar cuya posición exacta se conoce. Calcula su posición a partir de los datos del satélite y a continuación la compara con su posición conocida. La diferencia entre las posiciones calculada y conocida es el error de la señal GPS. El GPS diferencial sólo es práctico en lugares donde se puede dejar en forma permanente un receptor, como por ejemplo, cerca de un aeropuerto.

Las fuentes de error en el GPS se pueden clasificar en: errores en los satélites, errores atmosféricos, errores multitrayectoria, errores en el receptor y disponibilidad selectiva (SA).

Errores en los satélites: son causados por errores en el reloj, errores en la posición difundida y errores orbitales en un satélite.

Errores atmosféricos: se generan debido a que la propagación de la señal radio a través de la troposfera e ionosfera provoca retardos de la señal.

Errores multitrayectoria: se producen cuando la señal que llega a la antena del GPS no es directa, sino reflejada, debido a la obstrucción de edificios, árboles, montañas, etcétera.

Errores en el receptor: provocados por el ruido electrónico generado por fuentes externas e internas al receptor o por errores en el reloj del mismo.

Disponibilidad Selectiva: error intencionado aportado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para evitar que usuarios no autorizados dispongan de un posicionamiento muy preciso y utilicen esta tecnología en su contra.

2.4 Aplicaciones de los receptores GPS

Los receptores GPS tienen una gran variedad de aplicaciones, entre las más importantes se encuentran: el posicionamiento, navegación, diseminación de la hora, cartografía, topografía, seguridad pública, vida salvaje y muchas otras aplicaciones que aún están en vías de desarrollo.

Posicionamiento. La primera y más obvia aplicación del GPS es la simple determinación de una posición o localización. El GPS es el primer sistema de posicionamiento que ofrece una localización altamente precisa en cualquier punto, hora y condición climática del planeta.

Navegación. El GPS determina la posición exacta en la que se encuentra alguien o algo, pero a veces es importante conocer cómo es que se puede llegar a un determinado sitio; a esto se le llama navegación.

El GPS fue originalmente diseñado para guiar barcos y aviones a un destino específico. Hoy en día se pueden encontrar receptores GPS en barcos pesqueros y de carga, elegantes cruceros y yates de todo el mundo. En Nueva Zelanda utilizan los GPS's para establecer las mejores áreas de pesca y de esta manera evitar que los barcos pesqueros deambulen en zonas donde la pesca es mala.

Diseminación de la hora. En ocasiones es necesario sincronizar los relojes en todo el mundo con el fin de tener una hora exacta y de esta forma controlar la llegada de vuelos en los aeropuertos, sincronizar programas de televisión, entre otras actividades que requieren una estricta sincronización de tiempo. Para lograr esto, se utilizan receptores GPS; ya que estos constantemente están recibiendo la hora exacta de los satélites.

Cartografía. Una de las aplicaciones importantes de sistema GPS es la cartografía. Permite la realización de mapas digitales con el fin de ubicar la posición exacta de calles, centros comerciales, parques, gasolineras, estaciones de policía, bomberos, ambulancias, ríos, bosques, etc. La cartografía es muy útil para establecer la ruta más corta de un punto a otro y para guiar eficazmente a un vehículo o persona hacia su destino.

Topografía. El sistema GPS es útil para representar gráficamente, a través de un mapa digital, los accidentes geográficos de la superficie terrestre como son: montañas, mesetas, valles, etcétera; gracias a que este sistema, además de proporcionar la posición, también tiene la capacidad de proporcionar la altitud a la que se encuentra.

Seguridad pública. Esta aplicación consiste en guiar a las unidades de rescate o policía que se encuentran más cerca del lugar del siniestro o delito con el objeto de reducir tiempos de respuesta.

Vida Salvaje. A través de la instalación de un receptor GPS en animales, los zoológicos pueden realizar estudios sobre una especie determinada sin necesidad de seguirlos todo el tiempo; pueden determinar su ubicación y estudiarlos cuando así lo requieran; es posible también, determinar la extensión de tierra que ocupa dicha especie y localizar colonias de animales que se encuentran en peligro de extinción; entre otras aplicaciones.

2.5 M12 Oncore™ GPS Receiver

El M12 Oncore™ Receiver es un receptor GPS de bajo consumo y alto rendimiento, ideal para aplicaciones móviles. Puede soportar rigurosas condiciones de trabajo, como son la vibración y la temperatura.

2.5.1 Características Generales

El M12 Oncore™ Receiver tiene la capacidad de rastrear hasta 12 satélites, simultáneamente. Utiliza la banda L1 (1575.42 Mhz.) para adquirir las señales de navegación y posicionamiento. Emplea el código C/A (coarse/acquisition), que es un código pseudoaleatorio (PRN) repetitivo con frecuencia de bits de 1.023 Mhz y 1 ms de periodo. Cada satélite tiene un código C/A PRN único y es usado, principalmente, para modular la portadora L1.

El mensaje de navegación modula la señal de código L1 – C/A como se observa en la Figura 2.7. El mensaje de navegación es una señal de 50 Hz formada por bits de datos,

que describen las órbitas de los satélites GPS, las correcciones de reloj y otros parámetros del sistema. De la misma manera la portadora L2 (1227.6 Mhz) y el código P (10.23 Mhz) son moduladas junto con el código de navegación, tal como se muestra en la Figura 2.7.

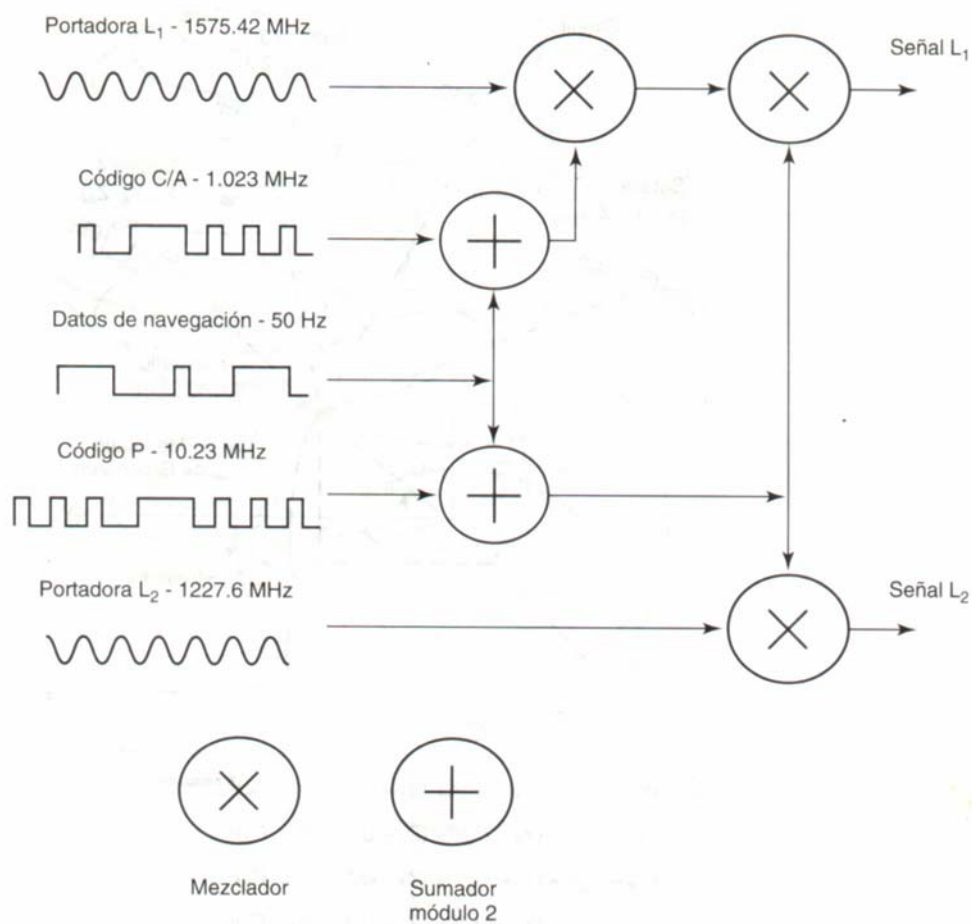


Figura 2.7 Transmisor CDMA simplificado de satélite Navstar

2.5.2 Características de Rendimiento

El M12 Oncore™ Receiver opera correctamente mientras esté sometido a velocidades menores a los 515 m/s (1854 Km/h) y a alturas menores a los 18,000 metros.

Puede alcanzar una aceleración de hasta 4g; es decir, 39.2 m/s^2 , lo que permite que el móvil, en el que el M12 Oncore™ está instalado, pueda tener un cambio de velocidad de 0 a 140 Km/h en un intervalo de tiempo de un segundo.

El M12 Oncore™ opera sin problema dentro de un rango de temperatura de -30°C a 80°C .

El tiempo de adquisición de la primera posición varia de acuerdo al tipo de condición de inicio (Start Condition) que se utilice. Existen tres: *Cold*, *Warm* y *Hot Start Condition*.

Cold Start Condition. Esta condición de inicio se efectúa cuando el Receptor GPS no tiene almacenada ninguna información en él. El tiempo que le toma adquirir la primera posición es de 60 segundos.

Warm Start Condition. Es posible cuando el receptor tiene almacenado un almanaque; es decir, una posición, fecha y hora aproximados. El tiempo empleado para la primera posición es de 40 segundos.

Hot Start Condition. Ocurre cuando el receptor tiene almacenado el almanaque y la efemérides. Lo que le permite obtener una posición, fecha y hora aproximados, además de que también tiene la capacidad de adquirir datos de algunos satélites. El tiempo que le toma adquirir la primera posición es de 15 segundos.

La antena del GPS cuenta con una ganancia de 18 a 36 dB. El error en la precisión de la posición es de 100 metros para aplicaciones civiles y de menos de 25 metros para aplicaciones militares con una precisión en el tiempo es de 500 ns.

2.5.3 Características Eléctricas

El receptor GPS requiere una alimentación de 4.75 a 5.25 Vdc. En el caso de utilizar una batería externa, ésta debe ser de 2.5 a 5.25 Vdc. El consumo de energía es de 900 mW con la antena en uso.

2.5.4 Protocolos de Comunicación

El M12 OncoreTM Receiver adopta dos tipos de protocolos para el control y la comunicación: El Motorola Binary Protocol y el NMEA 0183.

2.5.4.1 Motorola Binary Protocol

El Motorola Binary Protocol es un protocolo que utiliza datos binarios para el control y comunicación del dispositivo. Cuenta con una lista de comandos binarios (Tabla 2.1) que se utilizan para la configuración del GPS. Este protocolo fue desarrollado por Motorola y puede ser implementado únicamente por GPS's de esta marca.

Function	Description	Binary Command	Controller Command	Supplement Page #
Satellite	Set Mask Angle	@@Ag	mask	14
Receiver	Satellite Ignore List	@@Am	ignore	16
Setup	Select Datum	@@Ao	datum	18
Setup	Set User Datum	@@Ap	udatum	20
Setup	Atmospheric Correction Mode	@@Aq	ion	22
1PPS	Position-Hold Position	@@As	php	24
Setup	Altitude-Hold Height	@@Au	ahp	26
Time	Time Mode	@@Aw	utc	28
1PPS	1PPS Cable Delay	@@Az	ppsdelay	30
Position	Position Lock Parameters	@@AM	lockp	32
Setup	Velocity Filter	@@AN	filter	34
Setup	RTCM Port Mode	@@AO	p2baud	36
Position	Position Filter Select	@@AQ	pfilter	38
Position	Position Lock Select	@@AS	locke	40
Satellite	Visible Satellite Status	@@Bb	vis	42
Almanac	Almanac Status	@@Bd	alm	44
Almanac	Almanac Data Output	@@Be	almout	46
Ephemerts	Ephemerts Data Input	@@Bf	ephin	48
Almanac	Almanac Data Input	@@Cb	almin	50
Time	UTC Offset Status	@@Bo	utcoff	52
Receiver	UTC/Ionospheric Data Output	@@Bp	utcion	54
DGPS	Pseudorange Correction Input	@@Ce	n/a	56
Receiver	Set-to-Defaults	@@Cf	default	58
NMEA	Switch to NMEA	@@Ci	ioformat	60
Receiver	Receiver ID	@@Cj	id	62
Receiver	UTC/Ionospheric Data Input	@@Co	n/a	64
Position	ASCII Position Message	@@Eq	as8	66
Position	Combined Position	@@Ga	compo	68
Time	Combined Time	@@Gb	contim	70
1PPS	1PPS Control	@@Gc	ppscon	72
Position	Position Control	@@Gd	holdcon	74
Time	Leap Second Status	@@Gj	leap12	76
Setup	ID Tag	@@Gk	vin	78
Position	Position/Status/Data Message (12Ch)	@@Ha	ps12	80
Position	Short Position Message (12Ch)	@@Hb	psd	86
Setup	Self-Test Message (12Ch)	@@Ia	selftest12	90
Receiver	System Power-On Failure	@@Sz	n/a	92
NMEA	NMEA Messages	n/a	n/a	94-109

Tabla 2.1 Lista de Comandos Binarios

2.5.4.2 Protocolo NMEA 0183

El Protocolo NMEA 0183 fue desarrollado por la National Marine Electronic Association como un estándar para la navegación. Es un protocolo que emplea datos en

código ASCII para el control y la comunicación del dispositivo. Este protocolo es un estándar mundial utilizado por la mayoría de los GPS's.

El M12 Oncore™ Receiver soporta los mensajes NMEA de salida: GGA, GLL, GSV, RMC, VTG, ZDA.

GGA – Estatus del receptor. El mensaje GGA incluye el tiempo, la posición y datos relacionados al estatus del receptor.

GLL – Posición geográfica. Latitud/Longitud. El mensaje GLL contiene la latitud, la longitud, el tiempo de la posición y el estatus del receptor.

GSV – Satélites visibles. El mensaje GSV identifica los satélites que son visibles por el GPS, incluyendo su número PRN.

RMC – Información mínima de navegación. El mensaje RMC contiene la hora, fecha, posición, dirección y velocidad proporcionados por el receptor GPS.

VTG – Rastreo bien hecho y velocidad en tierra. El mensaje VTG transmite el rastreo actual y la velocidad desarrollada por el receptor en tierra.

ZDA – Hora y fecha. El mensajes ZDA contiene el Tiempo Universal Coordinado (UTC), el día, mes, año y la hora local.

2.5.5 Comunicación Serial

Los mensajes de salida del M12 Oncore™ Receiver proporcionan la longitud, latitud, altura, velocidad, dirección, tiempo, entre otros. Esto lo hace a través de un puerto serial de comunicaciones RS – 232.

Para el Motorola Binary Protocol, se utiliza una tasa de transmisión de 9600 bps y para el NMEA 0183 una de 4800 bps. En ambos casos, es posible obtener mensajes de salida continuos o cada vez que se soliciten.

Tiene un segundo puerto de comunicaciones (RTCM) para el caso de utilizar un GPS Diferencial.

2.5.6 Software

El M12 Oncore™ Receiver dispone de un software denominado Motorola WinOncore12; en él, es posible observar algunos datos relevantes sobre el comportamiento del GPS, tales como: fecha, hora, posición, velocidad, altitud, entre otros. También, a través del mismo, es posible configurar el GPS utilizando los comandos binarios presentados en la Tabla 2.1; lo cual hace de este software una herramienta importante aunque no, imprescindible.

En la Figura 2.8 se puede observar el software Motorola WinOncore12.

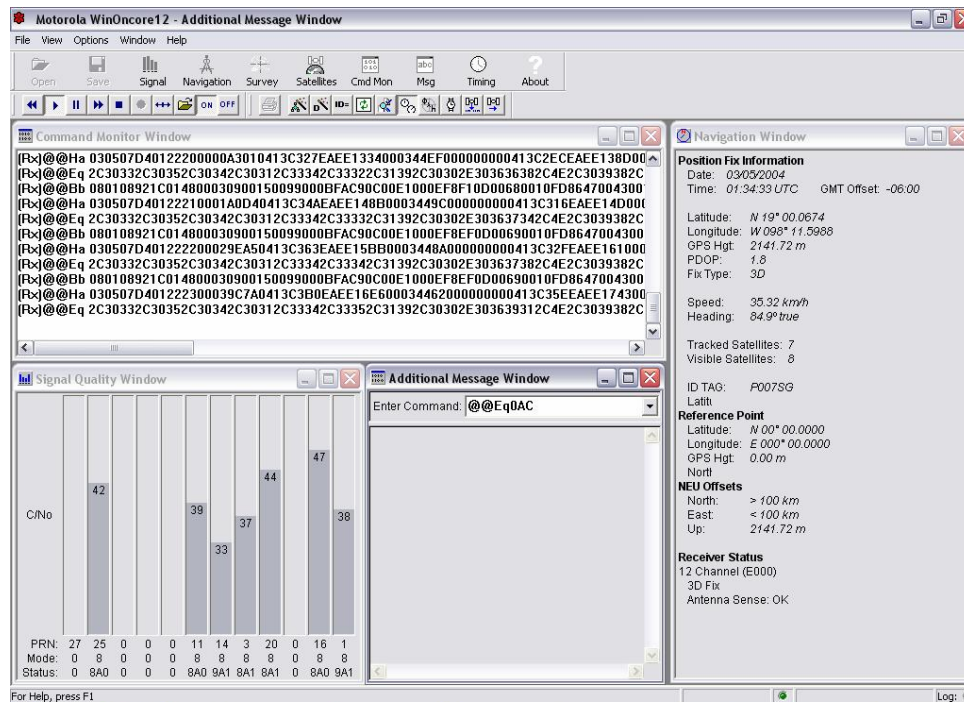


Figura 2.8 Software Motorola WinOncore12