

GPS UN SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACION

Introducción

El Sistema de Posicionamiento Global GPS fue desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, con el propósito de simplificar la navegación precisa.

El sistema GPS de satélites NAVSTAR fue diseñado para reemplazar a todos los sistemas satelitales previos, empleados en navegación. Como lo fue el sistema NNSS de satélites TRANSFIT.

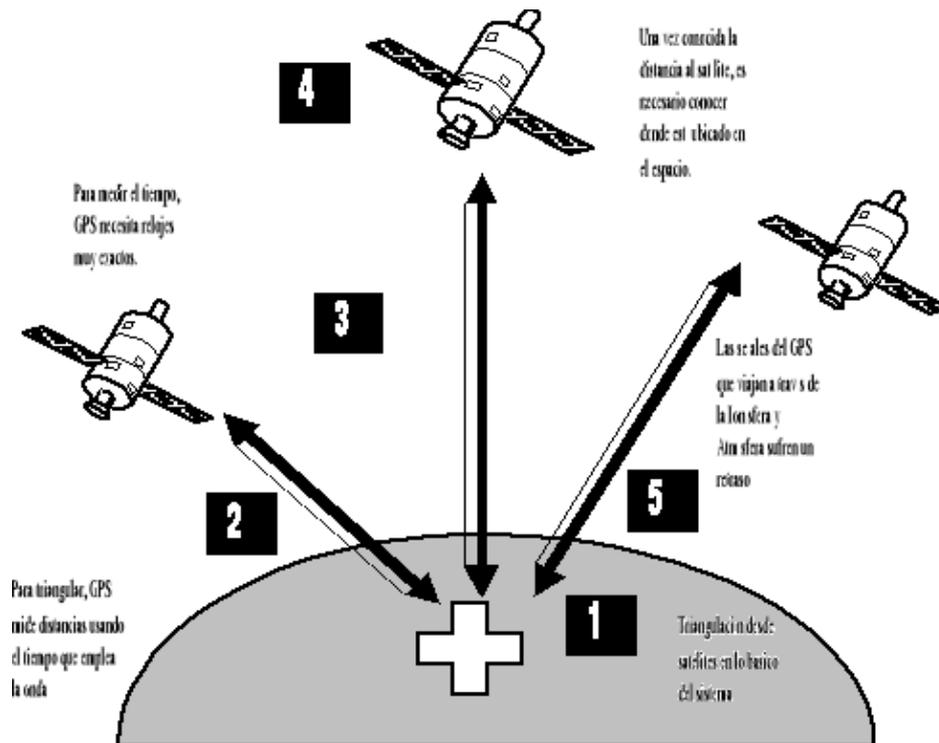
Los satélites se encuentran lo suficientemente lejos como para evitar los problemas que encuentran los sistemas con base en la Tierra y usan tecnología de precisión para dar posiciones, con exactitud, a cualquier punto, las 24 horas del día.

Este Sistema consiste en 24 satélites distribuidos en seis planos orbitales. Además se contará con 3 satélites de repuesto los que se mantendrán en órbita a objeto de reemplazar a cualquiera que presente problemas operacionales.

Los satélites se mantienen en órbitas semicirculares, inclinadas en 55° , a una altitud de 20.000 Km. Y con un período aproximadamente de 12 hrs. La órbita de los satélites permite que 4 de ellos son visibles para un *observador* en todo momento y desde cualquier punto del globo. El satélite operacional del sistema GPS tendrá una duración media de 6 años y estará proyectado para 7 años y medio. La potencia es proporcionada por dos paneles convertidores de energía solar, los que continuamente siguen al sol, cargando las baterías a bordo para cuando el satélite se encuentre en la parte oscura de su órbita.

Puesto que GPS fue pensado como un sistema de uso militar, esta estructurado de tal manera que sea impermeable a las interferencias.

- COMO TRABAJA GPS:**



Los principios básicos de GPS son bastante simples, aunque el sistema utiliza equipos de la más alta tecnología que se haya generado. Para entenderlo dividamos el sistema en 5 pasos considerando las ideas generales.

Distancias Satelitales

- GPS se basa en las distancias satelitales. Esto significa que obtenemos nuestra posición, midiendo a un grupo de satélites en el espacio, los que representan puntos de referencia precisos.

El concepto que utiliza GPS se puede resumir con el siguiente ejemplo:

Pensemos que necesitamos conocer nuestra ubicación y conocemos la distancia a un satélite A, de aproximadamente 11000 km. Esto nos indicará que nos encontramos en alguna parte, sobre una esfera imaginaria con centro en el satélite y de radio igual a 11000 km.

Ahora si al mismo tiempo conocemos la distancia a un satélite B que es de 12.000 km. Generaremos un círculo de contacto donde se intersectan las dos esferas.

Entonces, si hacemos una medición hacia un tercer satélite C, podremos ubicarnos con mayor seguridad, porque si sabemos que nos encontramos a 13.000 Km hay sólo 2 puntos posibles en el espacio. Esos dos puntos están donde la esfera de 13.000 Km corta al círculo de intersección de las esferas de radio 11.000 y 12.000 Km.

Por lo tanto 3 mediciones generan un punto de contacto. Podríamos hacer una cuarta medición a otro satélite, generalmente uno de los puntos corresponde a una ubicación fuera de rango o irreal. El punto erróneo puede que no se encuentre dentro de la Tierra o puede tener una velocidad mayor, pero las computadoras a bordo de los satélites GPS pueden discernir correctamente.

Ocasionalmente si nos encontramos seguros de nuestra altitud, como por ejemplo los marinos saben que se encuentran a nivel del mar, puede eliminarse una de las observaciones.

La trigonometría nos dice que se debe contar con 4 observaciones para poder ubicarnos inequívocamente. Pero en la práctica podemos hacerlo con sólo tres, si podemos eliminar la solución absurda.

Puesto que GPS usa la técnica de medición de vía única y el reloj del receptor no se halla sincronizado con el reloj del satélite. Esta falta de sincronización es la razón para que se use el término de pseudodistancia.

• **MIDIENDO DISTANCIAS A UN SATELITE**

Puesto que GPS está basado en nuestra distancia a satélites en el espacio, necesitamos un método para saber cuán lejos nos hallamos de ellos, la idea es utilizar la ecuación de Velocidad y Tiempo del viaje.

GPS trabaja midiendo el tiempo que tarda una señal de radio, emitida por el satélite en alcanzarnos y luego, calculando la distancia correspondiente a ese tiempo.

Las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz 300.000 Km/s. Luego si sabemos en que momento se emite la señal en el satélite y cuando se recibe en la tierra, sabremos cuanto tiempo tardó en llegar.

Simplemente multiplicamos ese tiempo por 300.000 Km/s y ese producto corresponderá a nuestra distancia del satélite.

DISTANCIA = VELOCIDAD DE LA LUZ x TIEMPO

Por supuesto los relojes involucrados deben ser muy precisos, pues la luz viaja a una velocidad muy alta. Si un satélite GPS se encontrara justo sobre nuestras cabezas, le tomaría apenas 6/100 de segundo a la señal de radio alcanzarnos.

La mayoría de los georreceptores pueden medir tiempos con precisión de nanosegundos, es decir 0.000000001 segundos.

• **¿CÓMO SABEMOS EN QUE MOMENTO SALE LA SEÑAL DEL SATELITE?**

Consiste en saber exactamente cuando sale del satélite. Para esto los satélites y georreceptores están sincronizados, de modo que generan los mismos códigos, al mismo tiempo. Luego, lo único que debe hacerse es recibir los códigos y buscar en que momento el georreceptor generó el mismo código. La diferencia corresponderá al tiempo que demoró la señal en llegar a la tierra, veamos el siguiente dibujo:

FASES DE CODIGO Y PORTADORA

Las características principales y las diferencias entre las dos observables están resumidas en la siguiente tabla:

	Código	Portadora
Longitud de Onda	Código P 29.3 m	L1 19.05 cm
	Código C/A 293 m	L2 24.45 cm
Ruido de observación	Código P 0.6 – 1 m	
Receptor clásico	Código C/A 10 m	1 – 3 mm
Nuevo desarrollo	Código P 2 – 5 m	< 0.2 mm
Efectos de propagación	Retraso ionosférico	Aceleración ionosférica

	+ T_{ion}	+ T_{ion}
ambigüedad	No ambigua	Ambigua

Muestra la propagación de la fase del código y de la portadora

T tiempo satelital (tiempo del sistema del satélite individual con el subíndice SV).

t tiempo del receptor (subíndice RCV).

subíndice t se refiere a la señal transmitida.

subíndice r se refiere a la señal recibida.

f_cD frecuencia del código.

f_cR frecuencia de la portadora.

Los estados de las señales (fases) en la época de transmisión son:

Código

$$CD(Tt) = Tt_{sv} f_cD$$

Portadora $CR(Tt) = Tt_{sv} f_cR$

La fase portadora $CR(Tt)$ es emitida por la antena del satélite en la época Tt , medida en el marco de tiempo satelital. El estado de la señal se propaga aproximadamente con la velocidad de la luz, y llega a la antena del receptor en la época Tr , medida en el marco de tiempo del receptor, esto es también es válido para las señales del código. Nótese que los estados de fase de las señales recibidas son idénticos con los estados de las fases de las señales transmitidas. En otras palabras entonces, el medir el estado de fase en el receptor significa medir la época de emisión de la señal del satélite

Medición de fase de código

El proceso de *observación* de la fase de *código* se muestra en la figura. La secuencia de código, generada en el receptor, es desplazada progresivamente respecto a la secuencia de código recibida del satélite, hasta obtener máxima correlación.

Esta fase del código es idéntica a la fase transmitida del código del satélite, despreciando los retrasos de propagación dentro del receptor. Con ello se obtiene la época de transmisión Tt del estado del código en el marco de tiempo satelital.

La diferencia entre ambas lecturas de tiempo proporciona la pseudodistancia.

$$PR = c(tr - Tt)$$

Definiendo:

$.dts$ = error del reloj del satélite respecto al tiempo del sistema GPS

$.dtu$ = error de sincronización del reloj

$.dta$ = retraso atmosférico de propagación

eR = ruido de observación

R = distancia inclinada

Se obtiene la ecuación de observación mas detallada para *mediciones con código*.

$$PRCD = c(tr - Tt) = R + cdtu + cdta + cdt_s + eR$$

El proceso de *observación de la fase de portadora* se ve en la figura. La observable es la diferencia entre la fase portadora transmitida $CR(Tt)$, definida en el marco de tiempo satelital y la fase de la señal de referencia o (tr), definida en el marco de tiempo del receptor. La fase relativa observada es:

$$PRcR = R + cdtu + cdta + cdt_s + c(N/fcR) + eR$$

Cada Satélite NAVSTAR transmite información de Posicionamiento de navegación e identificación centrada en dos frecuencias de la banda L:

L1 de 1.575,42 MHz (19 cm de longitud de onda).

L2 de 1.227,60 MHz (24 cm de longitud de onda).

Estas frecuencias son generadas a partir de osciladores atómicos a 10,23 MHz, siendo L1 y L2 múltiplos enteros de esta frecuencia de referencia, 154 veces para L1 y 120 para L2.

Tres códigos diferentes son modulados en estas frecuencias de la banda L. Estos son el código de datos (D) y dos códigos de ruidos pseudo- aleatorios (PRN), denominados Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS) y Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS). El código D es una sucesión de datos de navegación de 50 bits/segundo, que incluye estatus de satélite, información horaria, parámetros de efemérides, información de almanaque, etc.

El código SPS opera a 1.023 Mbits/seg y completa un ciclo de generación del código en 267 días. A cada satélite se le asigna un segmento único y exclusivo de 7 días del ciclo de los 267 días.

La función primordial de los códigos SPS y PPS es la de permitir la determinación del tiempo de viaje de la señal de radio, desde el satélite hasta el receptor. Este tiempo multiplicado por la velocidad de propagación de la luz, proporciona la distancia satélite – receptor.

Todos los relojes de los satélites NAVSTAR están sincronizados al sistema horario GPS. Si el receptor estuviera equipado con un reloj preciso, sincronizado perfectamente con el sistema horario GPS, mediría la verdadera distancia satélite – receptor. Efectuando mediciones simultáneas a tres satélites, la posición del observador estaría definida por la intersección de tres esferas de radio conocido, centrada en cada satélite.

- $r1 = c * t1 = ((x - x1)^2 + (y - y1)^2 + (z - z1)^2)^{1/2}$.
- $r2 = c * t2 = ((x - x2)^2 + (y - y2)^2 + (z - z2)^2)^{1/2}$.
- $r3 = c * t3 = ((x - x3)^2 + (y - y3)^2 + (z - z3)^2)^{1/2}$.
- $r4 = c * t4 = ((x - x4)^2 + (y - y4)^2 + (z - z4)^2)^{1/2}$.

Normalmente, los receptores estarán equipados con un reloj de cristal, el que no necesariamente mantendrá la misma hora de los relojes más estables de Rubidio o Cesio de los satélites. Consecuentemente, la medición de distancias estará contaminada por el error del reloj receptor. Esta cantidad es referida como **seudodistancia** y requiere que el observador rastree 4 satélites y resuelva 4 ecuaciones para las 4 incógnitas: las componentes de la posición tridimensional del observador y el error del reloj del receptor.

$$(r1 -)^2 = (x - x1)^2 + (y - y1)^2 + (z - z1)^2.$$

$$(r2 -)^2 = (x - x2)^2 + (y - y2)^2 + (z - z2)^2.$$

$$(r3 -)^2 = (x - x3)^2 + (y - y3)^2 + (z - z3)^2.$$

$$(r4 -)^2 = (x - x4)^2 + (y - y4)^2 + (z - z4)^2.$$

= **error del reloj receptor**

Como el código PPS es generado a la frecuencia del reloj GPS de 10.23 MHz, un elemento del código, corresponderá a un intervalo de tiempo de aproximadamente 10 nanosegundos, lo que equivale a unos 30 metros en distancia. La resolución puede ser mejorada al nivel de décimas de metro mediante interpolación. Por su parte el código SPS es generado a 1.023 MHz, correspondiendo a una resolución de unos 300 metros, la que también puede ser mejorada por interpolación. Como este código se repite cada milisegundo, las medidas de distancia, poseen una ambigüedad de un múltiplo entero de 300 km.

Con relación a las **efemérides**, existen dos tipos de datos orbitales en uso: las efemérides transmitidas y las efemérides precisas. Las primeras, corresponden a un ajuste diario, determinado mediante un modelo matemático y que podrá eventualmente llegar a proporcionarle una autonomía de hasta 2 semanas de información al satélite. Las segundas son obtenidas a partir de observaciones de varios días, usualmente 7, de datos orbitales, los que posteriormente se proporcionan a los usuarios *autorizados*, empresas privadas y manufactureras de receptores que están proporcionando este servicio por un determinado costo.

Resumen:

- Los tiempos precisos es la clave en la medida de las distancias satelitales.
- Los satélites son precisos, pues llevan a bordo relojes atómicos.
- Los relojes de los receptores no necesariamente deben ser perfectos, pues una astucia trigonométrica puede eliminar los errores del reloj.
- Esto consiste en hacer una cuarta observación.

TODOS LOS SATÉLITES SE MONITOREAN CONSTANTEMENTE

El modelo matemático de las órbitas puede ser muy preciso por si mismo, pero sólo para que las cosas sean perfectas, el Departamento de Defensa de EE.UU. monitorea constantemente los satélites GPS. Esa es una de las razones por las que los satélites GPS no tienen órbitas geosíncronas, como los satélites de comunicación. Puesto que dan una vuelta completa a la Tierra cada 12 horas, los satélites GPS pasan sobre una estación de monitoreo del DdD dos veces al día. Esto permite al DdD medir precisamente su altitud, posición y velocidad. Las variaciones que se buscan se llaman *errores efemeriales*. Usualmente, son muy pequeños y producto de las fuerzas gravitacionales de la Luna y del Sol y de la Presión de la radiación Solar sobre el satélite.

Una vez que el DdD ha medido la posición del satélite envía de vuelta dicha información al satélite, el que, con estos datos, efectúa las correcciones pertinentes.

Este es un hecho importante para recordar: los satélites GPS no sólo transmiten un código Seudo – aleatorio con el propósito de medir tiempos, sino que además transmiten un *mensaje de información* sobre su exacta ubicación orbital y del estado de su sistema. Todos los receptores GPS usan esta información junto con la de sus almanaques internos para establecer, precisamente la posición del satélite

TAREA Nº 2

Sistema de Posicionamiento Global

Bibliografía

- **T32 USACH Determinación de Coordenadas Geográficas mediante Satélites Artificiales** de Juan Morales Lira & Ivan Triviño Escobar
- **528.5 USACH El Sistema de Posicionamiento Global GPS** de Günter Seeber
- **528.5 C764e USACH Elementos de Geodesia Satelital** de Héctor Contreras Avila
- **Geodesia Tridimensional** de Jorge Silva Araya

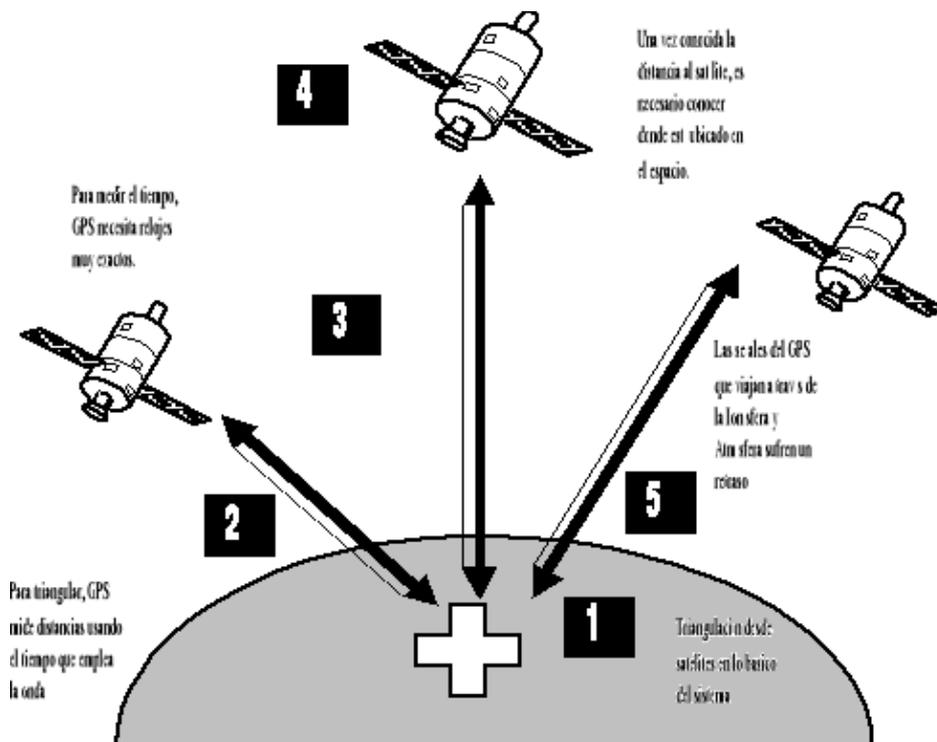
CONCLUSIONES

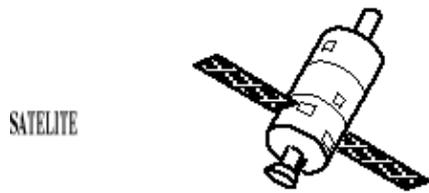
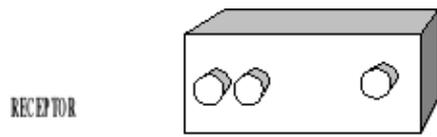
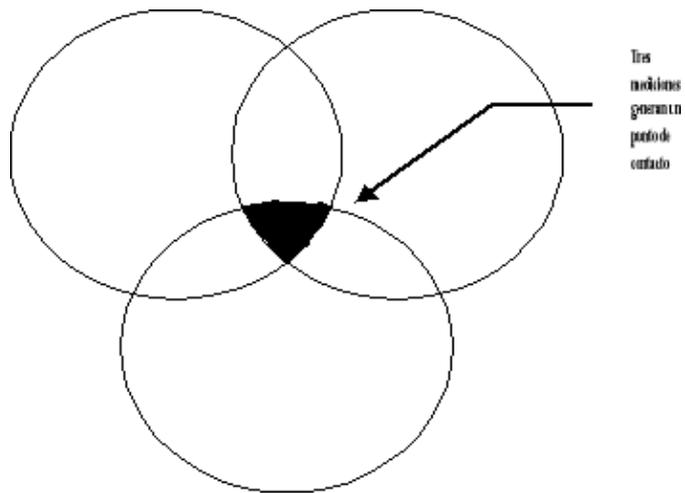
A pesar de que GPS se pensó para fines militares, éste a tenido una excelente acogida en el campo de la geodesia, permitiendo realizar trabajos que en años anteriores requerían gran cantidad de personal y grandes sumas de dinero, hoy se puede lograr más preciso y a una fracción del costo en técnicas convencionales tales como Triangulación y Poligonación. Todo esto consiguiendo precisiones al centímetro, gracias al refinamiento de las técnicas que usa GPS, y a la información proporcionada por la Red Geodésica Nacional.

Pero GPS ha debido sortear grandes desafíos que ninguna otra herramienta había enfrentado, y son los diversos errores que afectan su buen funcionamiento, como lo son los factores atmosféricos (ionosfera), de imprecisiones en la sincronización de relojes tanto emitidos como recepcionados y su propia ubicación espacial, provocando importantes errores posicionales que han sido librados gracias a modelos matemáticos.

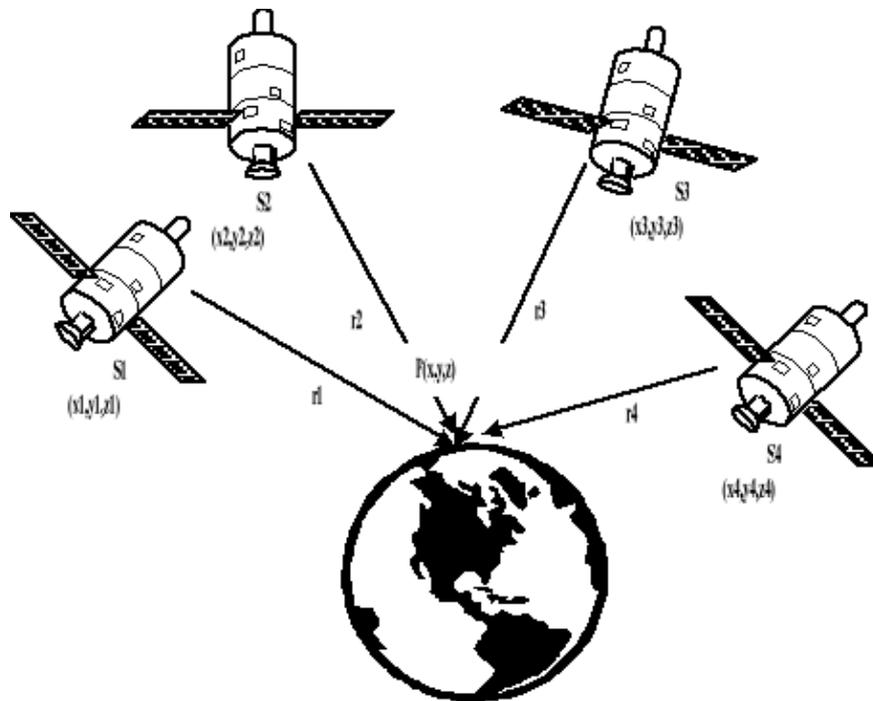
Sin duda que GPS seguirá evolucionando en cuanto a rendimiento y precisión, incorporando nuevos satélites a su flota y uniformando al mundo con su sistema, lo que lleva a pensar que nuevas iniciativas en esta área deberán necesariamente tomar como referencia lo que GPS ha podido avanzar.

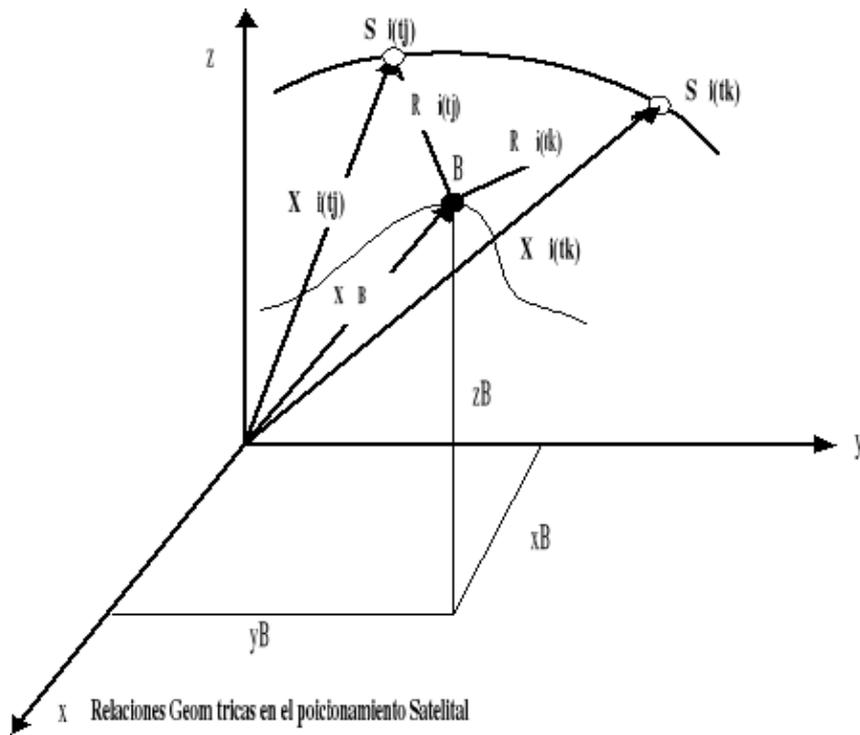
Por último se debe mencionar la diversidad que ha conseguido GPS en todas las áreas no sólo respecto a nuestra profesión, sino que ha ocupado lugares tan impensados que hoy es utilizado tanto en deporte aventura, como también en actividades tan rutinarias como en la recolección de basura.





Diferencia de Tiempo





Nombre: NAVSTAR

Construido: Rockwell International

Altura: 20186.8 m

Peso: 8618.266 kg

Tamaño: 5.182 m con paneles solares extendidos

Período Orbital: 12 horas

Plano Orbital: 55° en plano ecuatorial

Vida Útil: 7.5 años

Número de Construcción: 11 prototipos en 1ª etapa, 28 en 2ª etapa

Constelación: 24 Satélites



- Estación de Control Principal
- Estación de Monitoreo
- ▲ Antena Terrestre

