

## PRÁCTICO 8

### INTRODUCCIÓN AL SISTEMA GPS

#### Objetivos.

- Aprender a configurar un receptor GPS.
- Conocer técnicas de geoposicionamiento a través del uso de GPS.
- Ubicar puntos de control terrestre.

#### Material Requerido.

Receptor GPS de 5 y 10 canales, cartas geográficas, impresiones de imágenes de satélite y/o fotografías.

#### Introducción

Esta guía tiene el objetivo de servir como manual técnico o referencia práctica para estudiantes en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), tanto para aplicaciones técnicas en topografía, digitalización de superficies de terrenos, recopilación de datos para Sistemas de Información Geográfica (SIG o por sus siglas en inglés GIS), así como para aplicaciones en agrimensura, navegación aérea, marítima y terrestre, o simplemente para actividades de recreación.

Dada la diversidad de fabricantes y tipos de receptores GPS, esta guía tratará de manera técnica los diferentes métodos de posicionamiento y tratamiento de datos, así como las configuraciones necesarias para la correcta utilización del equipamiento.

#### Historia

El geoposicionamiento utilizando ondas de radio para medir distancias, fue utilizado por primera vez a finales de años 40, durante el transcurso de la Segunda Guerra Mundial.

Este sistema determinaba la Posición de aviones mediante un proceso de trilateración electrónica (medida de los lados - distancia por interferometría "doppler").

Otros sistemas análogos, fueron entonces desarrollados principalmente para regiones costeras. Algunos de este tipo permanecen activos actualmente, utilizando boyas marítimas como radiofaros auxiliando la localización de navíos.

Con el advenimiento de la era espacial, iniciada en 1957 con el lanzamiento del satélite ruso "Sputnik", la técnica de trilateración electrónica evolucionó hacia la trilateración espacial. En este caso las coordenadas de los radiofaros (satélites) eran determinadas por las efemérides de estos satélites y calculadas a partir de las Leyes de Kepler, lo cual permitía determinar parámetros orbitales instantáneos.

La primera constelación de satélites artificiales puesta en órbita con la finalidad específica de geoposicionamiento por ondas electromagnéticas, fue el sistema NNSS/TRANSIT ("Navy Navigational Satellite System"). Este sistema originalmente ideado para la navegación y localización de navíos norteamericanos, fue ampliamente utilizado para aplicaciones geodésicas en el mundo entero.

Estaba compuesto por 8 satélites activos en órbitas polares elípticas (casi circulares), con una altitud media de 1100 Km. Este sistema fue el predecesor inmediato del GPS, y se mantuvo activo hasta mediados de 1993, pero poseía dos grandes problemas:

1. No proporcionaba una cobertura mundial total
2. Había un lapso de tiempo considerable entre las pasadas sucesivas de los satélites para un mismo punto en la Tierra.

De hecho, para obtener una posición precisa, se necesitaban de dos a tres días estacionados en un mismo punto, para obtener las coordenadas de ese Punto con un desvío promedio de 3 a 10 metros.

## Constelación GPS

El Sistema NAVSTAR/GPS fue desarrollado para Sustituir el sistema TRANSIT.

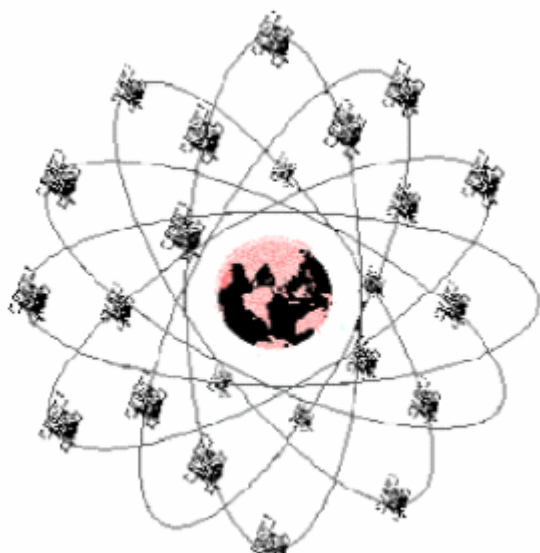
Esta sustitución tenía que ser realizada para posibilitar la corrección de los problemas del NNSS/TRANSIT, en 1978 comenzó el lanzamiento de los primeros satélites NAVSTAR, dando origen al sistema GPS conocido actualmente.

## Secciones del GPS

El Sistema de Posicionamiento Global, consta en tres secciones distintas:

- La sección espacial que envuelve los satélites, con sus señales transmitidas.
- La sección de control responsable por el monitoreo, generación, corrección y evaluación de todo el sistema.
- La sección de usuarios, que envuelve todos los tipos de aplicaciones, métodos de posicionamiento, formas de recepción, procesamiento de las señales y todos los tipos de receptores.

## Sección espacial del GPS



**Figura 8-1:** Planos Orbitales de la Constelación GPS

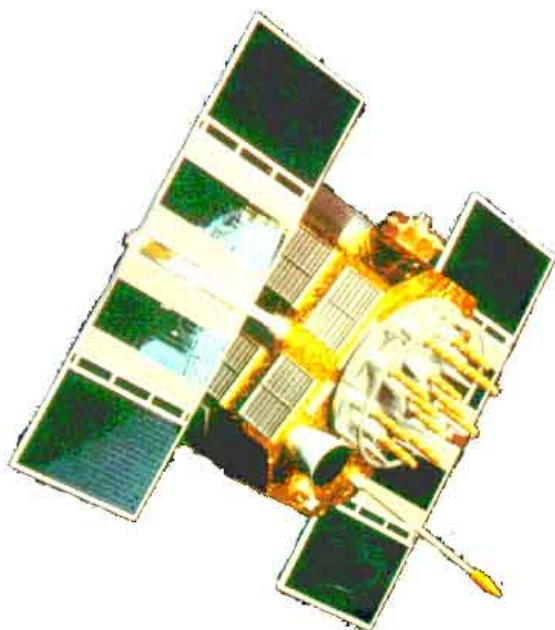
La sección Espacial del GPS, proporciona una cobertura mundial de tal forma que, en cualquier parte del globo terrestre, incluyendo los polos, existen por lo menos, cuatro satélites visibles con elevación por encima de 15' con relación al horizonte, veinticuatro horas por día. De hecho, en algunas regiones de la Tierra es posible la obtención de 8 ó más satélites visibles al mismo tiempo, principalmente en regiones ecuatoriales.

Los satélites GPS, en un total de veinticuatro activos, circundan la Tierra en órbitas elípticas (casi circulares), con inclinación de 55° con respecto al Ecuador, a intervalos longitudinales de 60°.

Cada órbita soporta cuatro satélites, desfasados entre sí a 90° en la órbita, con una altitud media de 20,200 Km. Los satélites GPS no son geoestacionarios y poseen un periodo orbital (tiempo en que un satélite realiza una vuelta completa a la Tierra) de aproximadamente 12 horas siderales.

## Los satélites NAVSTAR

Los satélites GPS fueron fabricados por la Rockwell International y lanzados a partir de 1978. Para fines de estudio son divididos en 3 bloques:

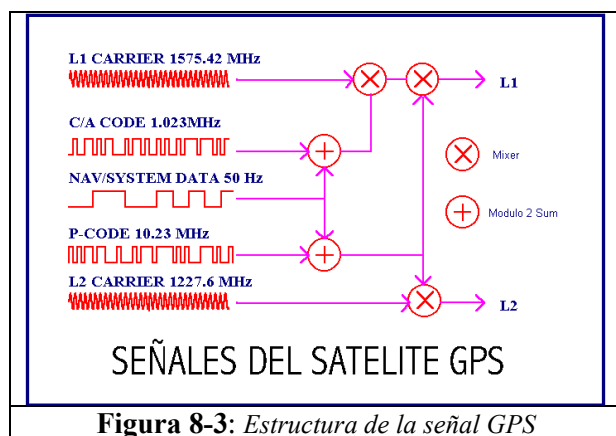


**Figura 8-2:** *Satélite GPS*

**SATÉLITES DEL BLOQUE 1:** Hoy en día todos los satélites de este bloque ya fueron sustituidos.

**SATÉLITES DEL BLOQUE II:** Los satélites del Bloque II fueron construidos de un modo que permita la degradación de la precisión obtenida por el Código de Acceso Libre (C/A) y la limitación de acceso al código de Precisión (P). Este hecho, impuesto por el DoD para la apertura del sistema a la comunidad internacional, alteró drásticamente el mercado de receptores en todo el mundo, obligando a los científicos a desarrollar técnicas de geoposicionamiento que posibiliten dar una solución a estas restricciones.

**SATÉLITES DEL BLOQUE IIR:** comenzaron a ser lanzados a partir de 1995 por el Trasbordador espacial y son los que se encuentran operativos actualmente.



**Figura 8-3:** *Estructura de la señal GPS*

Los satélites GPS transmiten en dos frecuencias portadoras de la Banda L, El grupo de frecuencias de radio de esta banda oscila de 1000,0 MHz a 3000,0 Mhz.

Estas frecuencias son obtenidas a partir de una frecuencia fundamental  $f$  de 10,23 MHz que multiplicada por 154 ofrece la L1 y multiplicada por 120 produce la L2.

La portadora L1 es modulada por tres códigos (C/A, P y D), mientras que la L2 es modulada por los códigos P y D.

### Degradación de la precisión

Existen básicamente dos métodos de degradación de la precisión, Obtenida en el cálculo de las coordenadas por los receptores GPS, introducidos por las señales transmitidas por los satélites e impuestos por el DoD:

- S/A 'Selective Availability'- Disponibilidad Selectiva);
- A/S ("Anti- Spoofing = Antifraude).

### S/A - Disponibilidad Selectiva:

Existen dos formas de hacer efectivo la S/A:

1. la primera es la variación directa de la frecuencia generadora del Código C/A por el oscilador de a bordo, lo cual, causa una imprecisión en la medida de la pseudo-distancia, entre la antena del receptor y el satélite, y se refleja en la precisión de la coordenada calculada por el receptor.

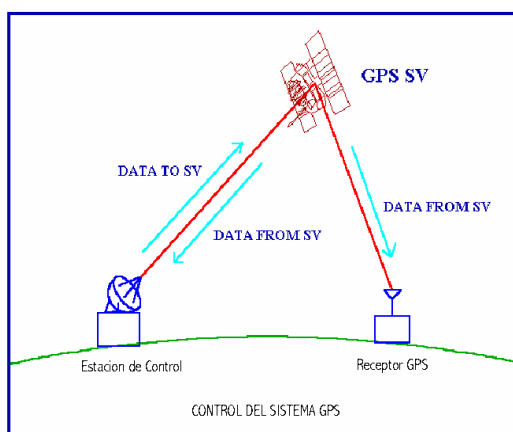
2. la segunda es la introducción en el "buffer" del satélite, de efemérides erradas. De esta forma, el satélite Informa vía Código D, su posición con un error, lo cual se refleja en la imprecisión de la coordenada calculada por el receptor. Estos errores de la localización exacta del satélite también son Seudo-aleatorios, evitando que el cálculo de la posición por medias disminuya la imprecisión sin eliminarlos totalmente.

Obs: La técnica de posicionamiento diferencial en tiempo real o post-Procesada, elimina casi completamente el efecto del S/A, en sus dos formas de aplicación.

### A/S Anti-Spoofing

Es el encriptamiento del código de distancia precisa P, generando en sustitución el Código Y, comúnmente se designa el Código P por P (Y). De esta manera los receptores del Código P, dejan de reconocer el referido código como una señal transmitida por el GPS. En esta situación el transmisor interrumpe el cálculo de la posición o pasa a ofrecerla con resultados absurdos.

### Sección de control

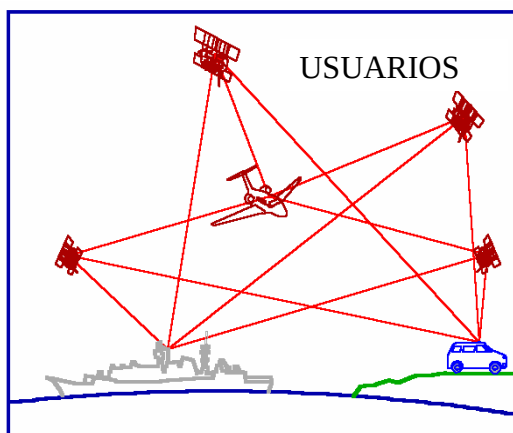


**Figura 8-4**

Esta sección del GPS comprende el Sistema de Control Operacional, el cual consiste en una estación de control maestra, estaciones de monitoreo mundial y estaciones de control de campo,

Las principales tareas de este Sistema de Control son: determinar de forma precisa la órbita de cada satélite; determinar por medio de modelos matemáticos la predicción de estas órbitas; sincronización permanente de los sistemas de relojes de los satélites; transferencia de datos actualizados de efemérides de los satélites; control de la degradación de la señal (S/A y A/S); corrección del posicionamiento de los satélites por comandos desde tierra; control de lanzamiento de nuevos satélites para, la manutención de la constelación.

### Sección de usuarios



**Figura 8-5**

La sección de usuarios del GPS, comprende el conjunto de usuarios del sistema, los diversos tipos de receptores y los métodos de posicionamiento por ellos utilizados.

Como ya se mencionó, el GPS proporciona dos servicios de posicionamiento en tiempo real:

(1) el SPS ("Standard Positioning Service"), que utiliza el Código C/A y ofrece precisiones del orden de 100 metros, siendo especialmente susceptible a la degradación del S/A;

(2) el PPS, que utiliza el Código P (Y), sujeto al encriptamiento y proporciona precisiones mejores a 10 metros, de uso Privativo de personas autorizadas por el DoD.

## MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO

### MÉTODO ABSOLUTO

Como fue señalado, el método de posicionamiento absoluto "." Se obtiene a partir de los códigos de seudo-distancia ("Ranging Codes") C/A y P. Estos códigos binarios son transmitidos por los satélites y también generados en el receptor, para posteriormente ser comparados, de esta manera, se puede medir fácilmente la distancia entre los satélites rastreados y la antena del receptor. Además se presupone que exista sincronismo entre el reloj del satélite y el reloj del receptor.

#### El sincronismo de los relojes:

Los relojes a bordo de los satélites son relojes atómicos, ya que son relojes cuyos metrónomos son pulsos de cristales radioactivos (Cesio o Rubidio). Estos relojes ofrecen precisiones del orden de 10-12 segundos (pico segundos) Debido a su calidad son excesivamente caros ( en el orden de 200.000,00 US\$ ).

Los receptores para el posicionamiento utilizados en tierra, no poseen naturalmente relojes tan precisos como los satélites, hecho que de ser cierto inviabilizaría económicamente toda la sección de usuarios. Por este motivo los relojes de los receptores son de cristales de cuarzo, que a pesar de ser de Buena calidad, ofrecen precisiones mil veces menores que la de los relojes de los satélites, o sea, del orden de 10-9 segundos (nanosegundo).

#### Precisiones:

Con el S/A activado (lo que se tomó una constante desde la guerra del Golfo hasta mayo de 2000), el sistema GPS ofrecía precisiones cercanas a 100 metros cuando se rastrean 4 satélites (Posición 3D), con un PDOP inferior a 7, en un 90% del día. Esta precisión empeora en el caso de posiciones 2D (200 metros).

Y con el S/A desconectado 30 m (media).

#### Posición por medias ("Average").

La obtención de puntos por media lleva en consideración que el S/A es seudo aleatorio. Así utilizando el teorema del limite central de la estadística, que tiene el siguiente significado: "La media de una muestra de tamaño n, cuando esta tiende a infinito es Igual a la media de la población".

De esta forma, dependiendo de la tasa de grabación registrada en el receptor, cuanto mayor sea el número de coordenadas registradas, para un punto estático, mejor será la precisión. A pesar de esto, debido a la estructura tendenciosa del S/A, la precisión tiende a estabilizarse después de algún tiempo de haber comenzado el registro de datos.

Empíricamente, para un DOP menor que 5, una media de puntos registrados en 1 minuto (60 posiciones) tiene una precisión mejor que 50 metros.

Una Inferencia podría surgir de la afirmación anterior. Si un minuto en la posición, la precisión mejora de 100 a 50 metros, osea 50 metros con 2 minutos la precisión será de 25 menos y así sucesivamente,.."

No obstante esto no puede ser encarado de esta forma por dos motivos

- El S/A no es perfectamente aleatorio (es Viciado).
- Los satélites están en movimiento, por tanto las condiciones del DOP se alteran.

Obs.: Existe software para microcomputadoras personales tipo IBM PC o compatibles, que prevén los periodos de mejor geometría de los satélites para una determinada región

## MÉTODO DIFERENCIAL

El método de Posicionamiento Diferencial, es aquel en que las posiciones absolutas obtenidas por un receptor móvil, son corregidas por otro receptor fijo, estacionado en un punto de coordenadas de referencia. En este proceso, son eliminados casi totalmente los errores. Así las posiciones corregidas con un DOP menor que 5 se sitúan en el rango de precisión de 5 a 0,5 metros.

**DGPS en tiempo real:** En esta variante las correcciones diferenciales son transmitidas al receptor remoto por un enlace radial de datos, utilizando, el protocolo RTCM-SC-104 que especifica el modo de transmisión de datos GPS (por "link" de radio) para estas correcciones. El receptor "móvil", podrá entonces grabar sus datos en archivos en el propio receptor, para su posterior descarga en software CAD o GIS.

Este Proceso ofrece precisiones de 1 a 10 metros, en dependencia del DOP.

## MÉTODO RELATIVO (INTERFEROMÉTRICO).

Hasta el momento se describió el posicionamiento GPS utilizando los códigos de pseudo-distancia C/A y P como elementos para el cálculo de las distancias receptor - satélites capaces de resolver las ecuaciones de trilateración espacial, ya descritas. Con este procedimiento las precisiones alcanzadas eran métricas y por tanto inapropiadas para aplicaciones geodésicas de precisión, que son del orden centimétrico o subcentimétrico.

Este método es por amplio margen el mas preciso de todas las técnicas de geoposicionamiento GPS. Se basa en la medida de las distancias receptor satélite, no por la comparación de los "ranging-codes", sino por el cúmulo de las distancias a través de la propia onda portadora mediante procesos interferométricos.

Los cálculos interferométricos se basan en las diferencias de fase de portadoras L1 y L2, dejando el satélite y llegando a la antena del receptor.

Modelando estas diferencias de fase se calcula el número entero de longitudes de onda entre el receptor y el satélite, conocido como "ambigüedad entera". Calculando las ambigüedades para cada satélite, basta multiplicar estos enteros por la longitud de onda  $\lambda$ , de cada portadora, sumándose a continuación las diferencias de fase, para obtener entonces no las pseudo-distancias, sino la verdadera distancia ( $p$ ) entre el receptor y el satélite, para cada instante.

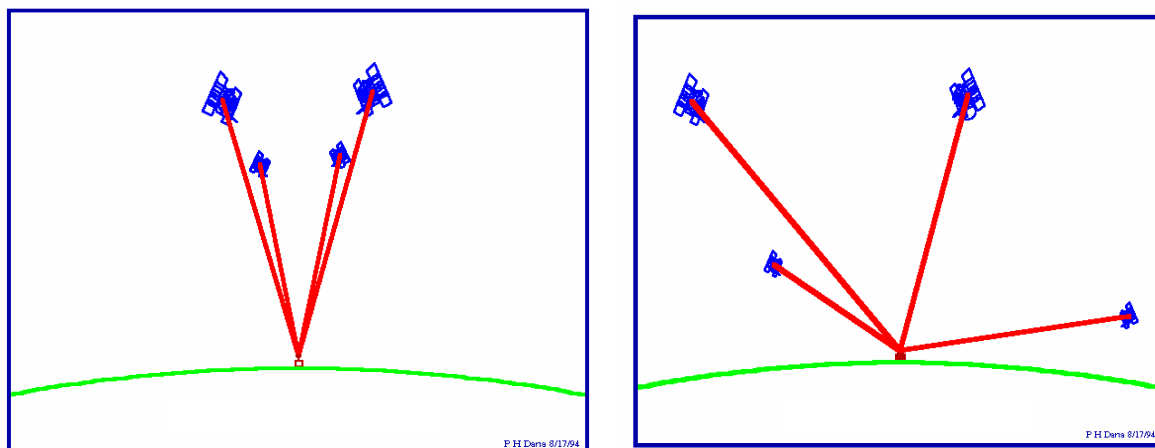
## GEOMETRÍA DE LOS SATÉLITES

### PÉRDIDA DE LA PRECISIÓN (DOP), TIPOS DE DOP

La precisión o el grado de exactitud de la posición calculada depende del volumen del cuerpo sólido generado por los satélites rastreados y el punto donde se encuentra el receptor.

- **PDOP** = Dilución de la Precisión Tridimensional.
- **HDOP** = Dilución de la precisión en las coordenadas planas (Lat. long.) o (E, N);
- **VDOP** = Dilución de la precisión altimétrica

Estos números DOP son inversamente proporcionales al volumen del cuerpo sólido generado por los satélites y el punto a determinar. De esta forma cuanto mayor el volumen, menor el numero DOP y como consecuencia mejor la precisión.



**Figura 8-6:** Situación desfavorable PDOP alto

Situación favorable PDOP bajo

## PRACTICAS DE NAVEGACIÓN Y RASTREO

### El receptor GPS

La primera precaución necesaria previa a la ejecución de una misión de geoposicionamiento por GPS es conocer el receptor con el cual se va a trabajar.

Es de fundamental importancia leer el manual de usuario del tipo de receptor escogido para la ejecución del trabajo, con el objetivo de Identificar cada función, cada tecla, cada imagen de la pantalla, cada opción. En fin, como existe una diversidad muy grande de tipos y fabricantes de receptores GPS, es necesario que los usuarios del sistema, que irán a utilizarlos, los conozcan profundamente, para no cometer errores de configuración o interpretación de resultados.

El idioma predominante entre los fabricantes de receptores GPS es el inglés. Como consecuencia se debe conocer las principales funciones comunes a todos los tipos de receptores con su respectiva nomenclatura en inglés.

Normalmente los receptores poseen dos categorías de configuraciones:

- 1) Configuración de ítems críticos
- 2) Configuración de ítems alternativos;

La configuración de los ítems alternativos permite al usuario escoger la forma en que los datos serán visualizados, esto de hecho no afecta el resultado final.

### Configuración de los ítems críticos

Los principales ítems críticos a ser configurados en los receptores son:

#### a) Fecha y Hora.

Esta opción permite al usuario ajustar la hora local con la hora UTC (hora de Greenwich). En esta función el rastreador solicita la entrada del huso horario local donde se está trabajando. La fecha es referenciada al año Juliano, por tanto antes de entrar a esta opción se debe conectar el receptor y dejarlo rastrear por un mínimo de diez minutos a cielo abierto, para que recopile el almanaque de efemérides actualizado.

#### b) Posición inicial y / o altitud de referencia.

En este ítem los receptores permiten tres opciones: 2D, 3D, AUTO.

Escogiendo 2D el receptor no calculará altitudes y usará la altitud de referencia para hacer el cálculo de las coordenadas planas. En la opción 2D el rastreador seleccionará los tres satélites visibles en el horizonte celeste que ofrecen la mejor geometría PDOP. La opción 3D obligará al

receptor a hacer el cálculo de la posición con un mínimo de 4 satélites seleccionados, entre los visibles a partir de la mejor geometría. En la alternativa AUTO el receptor cambia automáticamente el modo de cálculo de la posición de 3D para 2D, en caso de que el número de satélites visibles sea menor que cuatro, independientemente del DOP que ofrezcan.

c) Tipo de terreno: "Interrupted", "Obscured" o "Clear".

Esta opción realiza la gradación del amplificador de potencia de la antena consumiendo mas o menos energía. Terrenos abiertos ("Clear") no consumen tanta energía como los ("Obscured") o ("Interrupted"). Así para operaciones en la selva se debe escoger "Interrupted". En áreas de sabana o matorral la opción correcta es "Obscured", mientras que navegando en ríos, lagos mares, en el aire o en regiones de, campo abierto se debe escoger "Clear".

d) Elección del tipo de coordenadas y Dátum.

### **Rutas y navegación**

Todos los receptores (absolutos, diferenciales y relativos) poseen funciones de Ruta y Navegación. Las rutas son constituidas por una serie de pares de puntos, llamadas piernas ("legs"), que perfectamente encadenadas determinan un itinerario a ser seguido. Los puntos de ruta pueden ser obtenidos a partir de cartas, mapas, croquis, o recopilados directamente en el campo.

Después de introducir los datos relativos a los puntos de ruta con la opción "waypoint" se deben montar las piernas "legs" de modo secuencial lógico.

Obs: a los efectos de una simplificación se considerara a todos los puntos "WAYPOINT" perteneciente a un mismo Sistema de Coordenadas, igual Sistema de Proyección e igual Dátum.

Se debe informar al receptor cual es el modo de navegación. Este puede ser automático o manual.

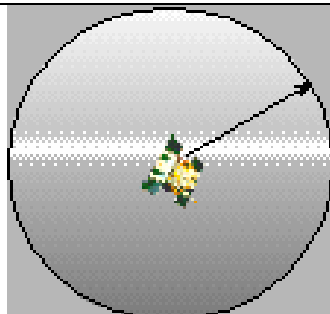
Navegar por una ruta en el modo automático no requiere ninguna participación del usuario en el cambio de piernas, o sea, cuando la posición del receptor pasa la línea perpendicular del curso original, automáticamente el rastreador cambia el destino para el fin de la próxima pierna.

En este modo los cambios de destino son hechos automáticamente por el Receptor. Es el modo recomendado cuando la navegación es aérea o marítima. Pero en rutas terrestres, a pie o motorizadas, esta opción puede no ser la mas indicada, pues en bajas velocidades quien debe decidir si el "waypoint" fue alcanzado, es el propio operador del receptor, principalmente si esta trabajando en modo absoluto, ya que debido al efecto del S/A (si estuviera activo), cuando se aproxima al punto y se alcanza un radio de 100 metros, en el receptor oscilan los resultados de tal manera que el observador puede quedar desorientado.



## MEDICIÓN DE DISTANCIAS PARA CALCULAR UNA POSICIÓN.

Una vez que el receptor GPS calcula la distancia, es básicamente un problema de geometría. Si el receptor GPS "sabe" donde están los 4 satélites, y que distancia hay hacia cada uno de ellos, entonces este puede calcular su posición a través de una Trilateración. Aquí se muestra en ilustraciones como trabaja el sistema.

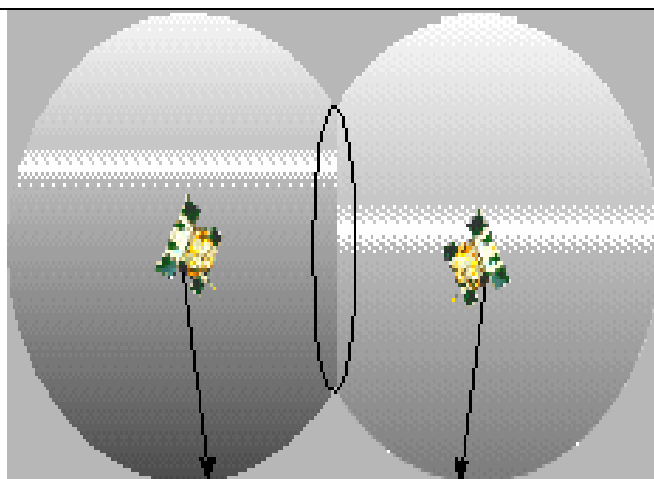


**Figura 8-7:**

El receptor GPS fija la posición de un Satélite y calcula la distancia hasta él.

Pero esto solo nos dice que estamos sobre una esfera que tiene su centro en el satélite y 20000 Km. de radio

Muchas de las localizaciones posibles en la esfera no están en la tierra sino en el espacio.

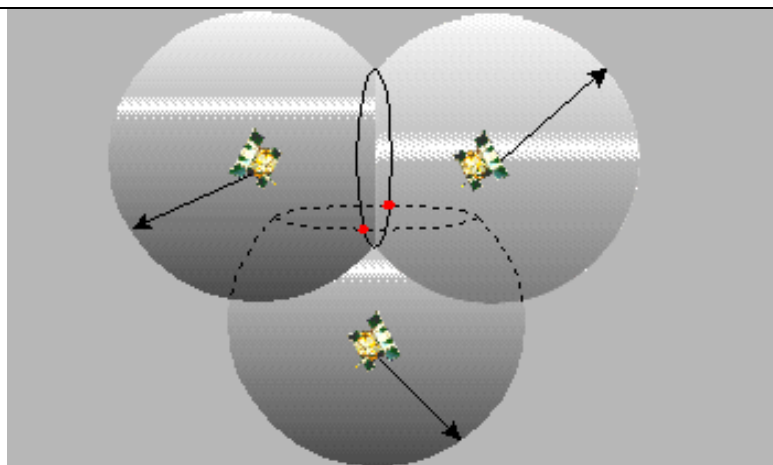


**Figura 8-8:**

Ahora consideremos que el receptor toma la señal de un segundo satélite y calcula la distancia al satélite que podríamos considerar igual a 15000 Km. Esto significa que nosotros nos encontramos también sobre una esfera con 15000 Km. de radio con el segundo satélite en su centro.

Nosotros debemos estar entonces en algún lugar donde las dos esferas se interceptan.

Donde las dos esferas se interceptan, se forma un círculo así que debemos estar en alguna parte de este círculo.



**Figura 8-9:**

Si el receptor capta otro satélite, digamos a 22000 Km. de distancia, otra esfera es formada y siguiendo el mismo razonamiento de intersección, hay solo dos puntos donde las tres esferas se interceptan. Usualmente el receptor descarta uno de los dos puntos porque es un punto exterior a la tierra, así el punto que queda es la posición donde se encuentra el receptor GPS.

En la práctica una cuarta medición (aportada por otro satélite), es necesaria para sincronizar y corregir los errores del reloj de los satélites.

## Actividades a realizar

### Actividad 1

Delimitación del área de estudio sobre una imagen satelital o Fotografías aéreas.

Elección sobre el material a utilizar de los posibles puntos a medir en base a criterios de Accesibilidad y precisión en la imagen y en el terreno

Medición de los Puntos seleccionados previamente, utilizando el método de posicionamiento absoluto con simples lecturas.

Medición de los mismos puntos, utilizando el método de posicionamiento absoluto con lecturas promediadas (100 lecturas – Average).

### Actividad 2

Desplazarse hacia un punto con coordenadas fijas, perteneciente a la red de puntos catastrales. Medir varias puntos individualmente, y una lectura proveniente de 300 lecturas promediadas. Calcular los desvíos (en metros) para las mediciones efectuadas.

| Simple Lecturas | Coordenadas X | Coordenadas Y | Desvíos X | Desvíos Y | Error |
|-----------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-------|
| Lectura 1       |               |               |           |           |       |
| Lectura 2       |               |               |           |           |       |
| Lectura 3       |               |               |           |           |       |
| Lectura 4       |               |               |           |           |       |
| Promedio        |               |               |           |           |       |

| Diferencial 2 | Coordenadas X | Coordenadas Y | Desvíos X | Desvíos Y | Error |
|---------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-------|
|               |               |               |           |           |       |

### Actividad 3

Establecer una ruta con varios “waypoint”, convenientemente seleccionados, y proceder a su navegación, utilizando para ello el Receptor GPS, y observar las distintas pantallas de información mostradas por el receptor GPS (Interfase receptor - usuario).

Para eso téngase en cuenta la siguiente información.

Rumbo

Distancia al punto considerado

Velocidad de acercamiento

Tiempo promedio de llegada a la velocidad actual

Doblar a la izquierda o derecha y cuantos grados.

Distancia a la recta teórica del punto de inicio y fin de la “pierna” de la ruta.