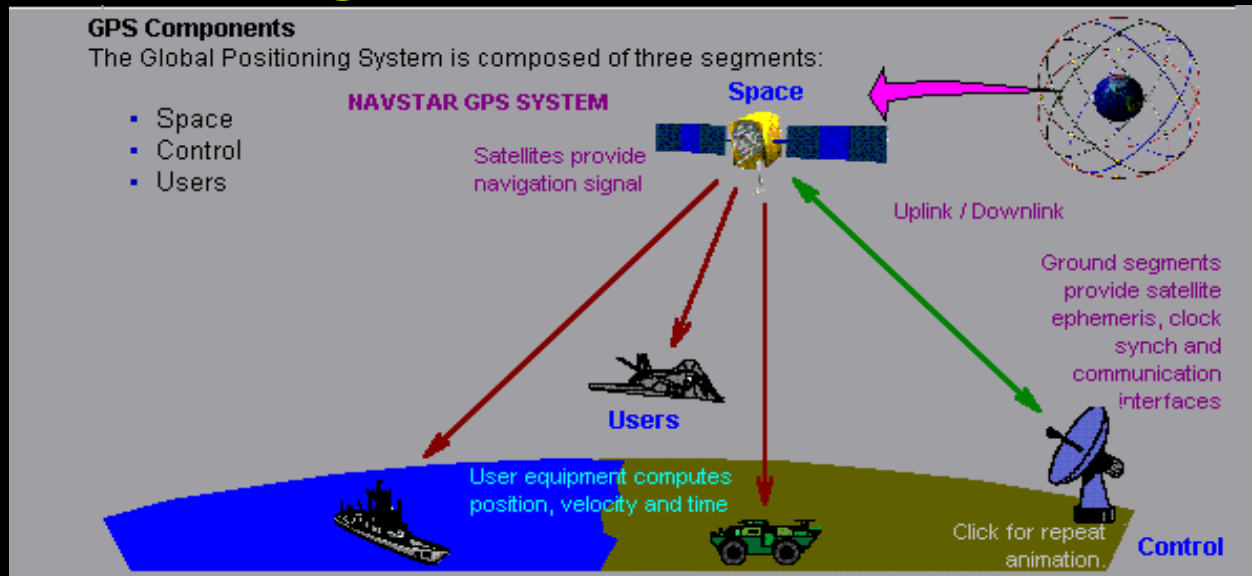


GEODESIA POR SATELITE

Segmentos del GPS.



Segmento Espacial

Formado por 27 satélites que envían señales para determinar la posición, tiempo, efemérides y estado del sistema.

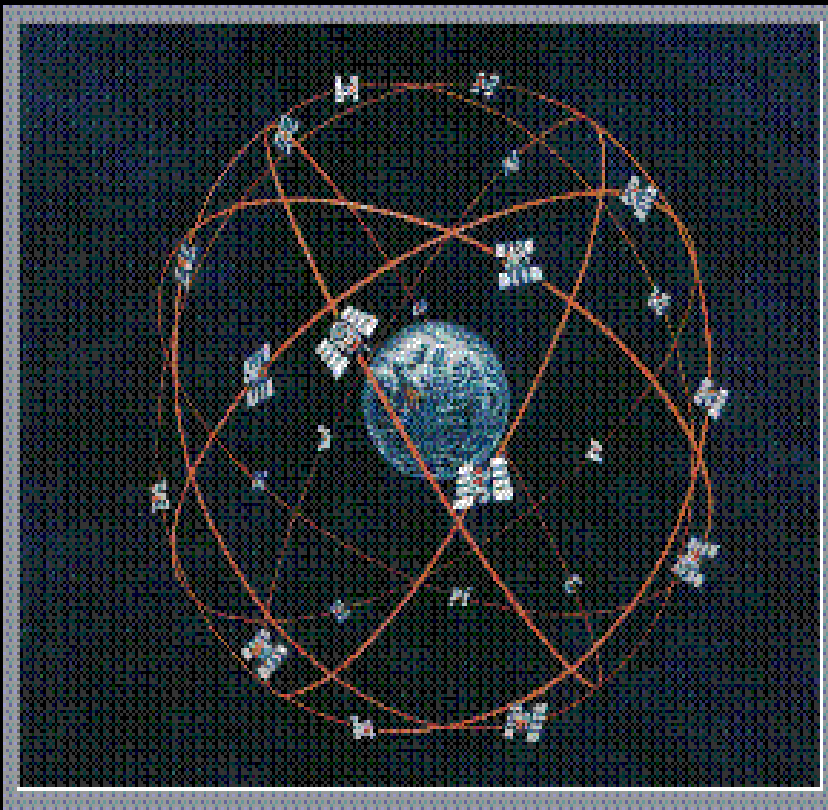
Segmento de control

Hace seguimiento y verifica la posición de los satélites.

Segmento del Usuario

Recibe las señales que envían los satélites y las utiliza para determinar la posición del punto o móvil.

SEGMENTO ESPACIAL



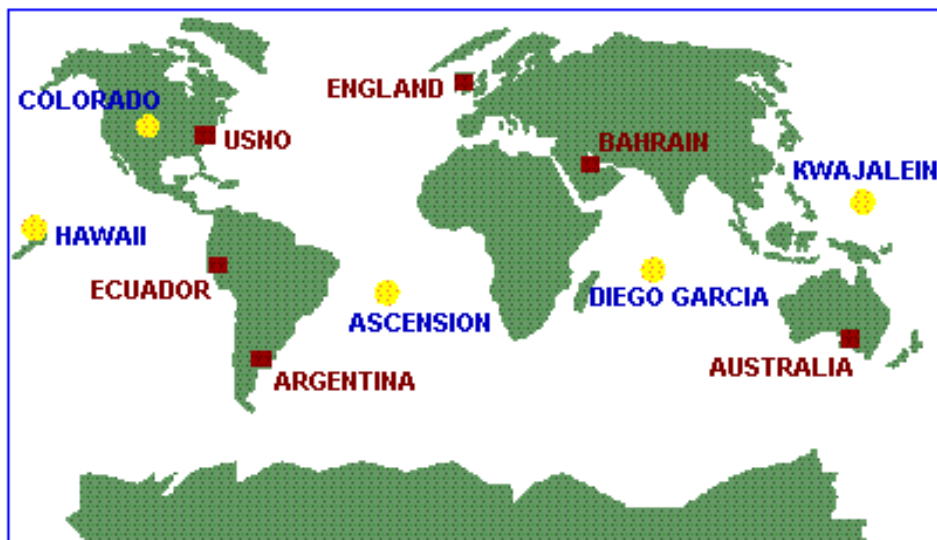
Formado por 27 satélites
ubicados en 6 planos orbitales
con una inclinación de 55° .
Altura orbital 20.200 Km..
Periodo orbital 11h 58m
Visibilidad 6h Los satélites
transmiten en 2 frecuencias,
L1 y L2.

En L1 emiten portadora, código
C/A y P; en L2, portadora y
código P, además envían
información para sincronizar
el reloj del sensor, las
efemérides y el estado de la
constelación.

Segmento de Control

DoD GPS Tracking Network

● Air Force Tracking Station ■ NIMA Tracking Station



Mediante una serie de estaciones de monitoreo se realiza el calculo y corrección de los relojes de los satélites y de las efemérides.

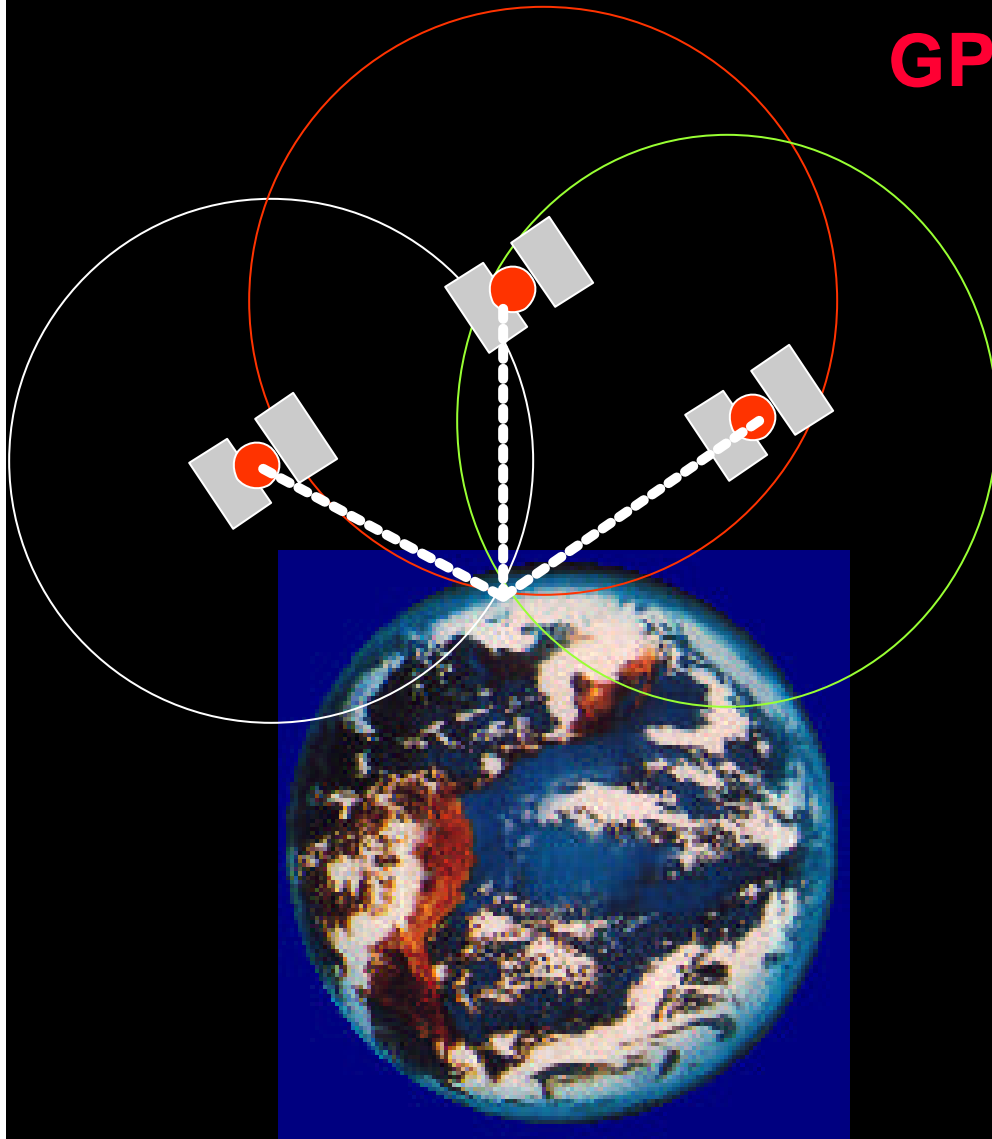
Las estaciones de rastreo están ubicadas en:

FUERZA AEREA

Colorado Spring, Ascensión, Diego García, Kwajailen, Hawaii.

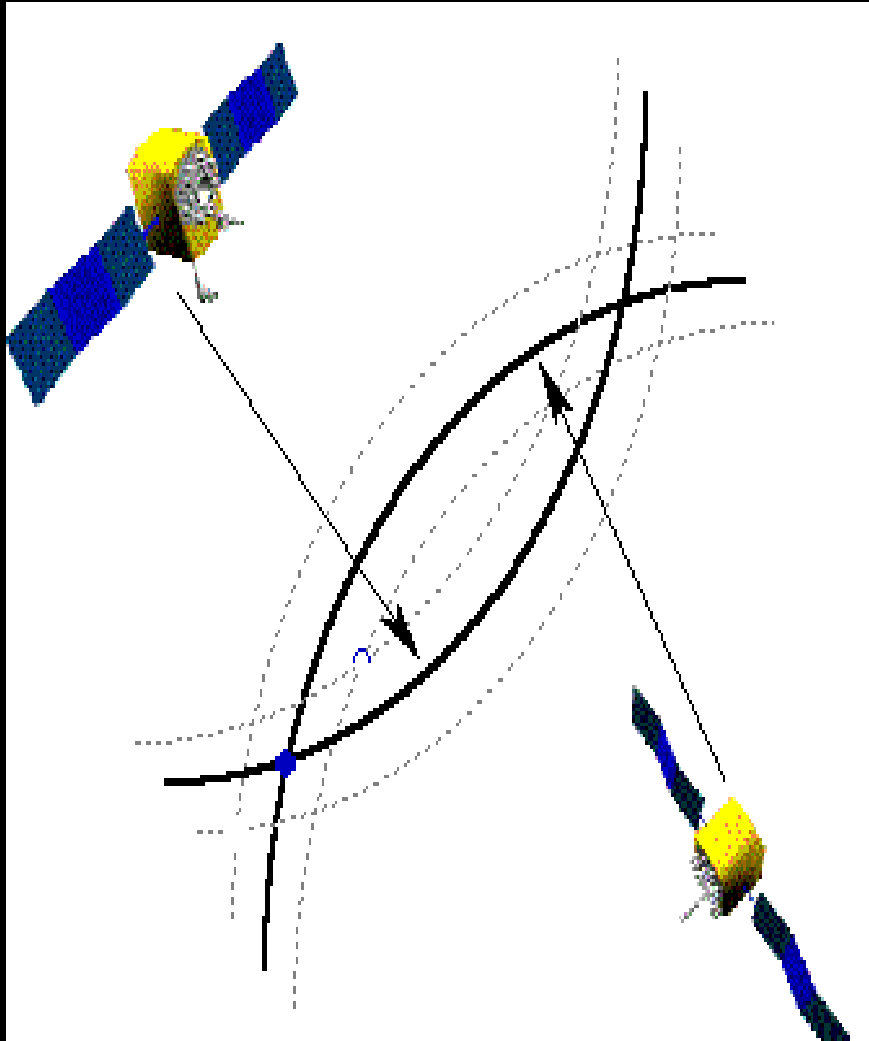
(NIMA) Australia, Quito, Usno, Buenos Aires, Bahrain, Inglaterra

PRINCIPIO DE MEDICIÓN DEL SISTEMA GPS



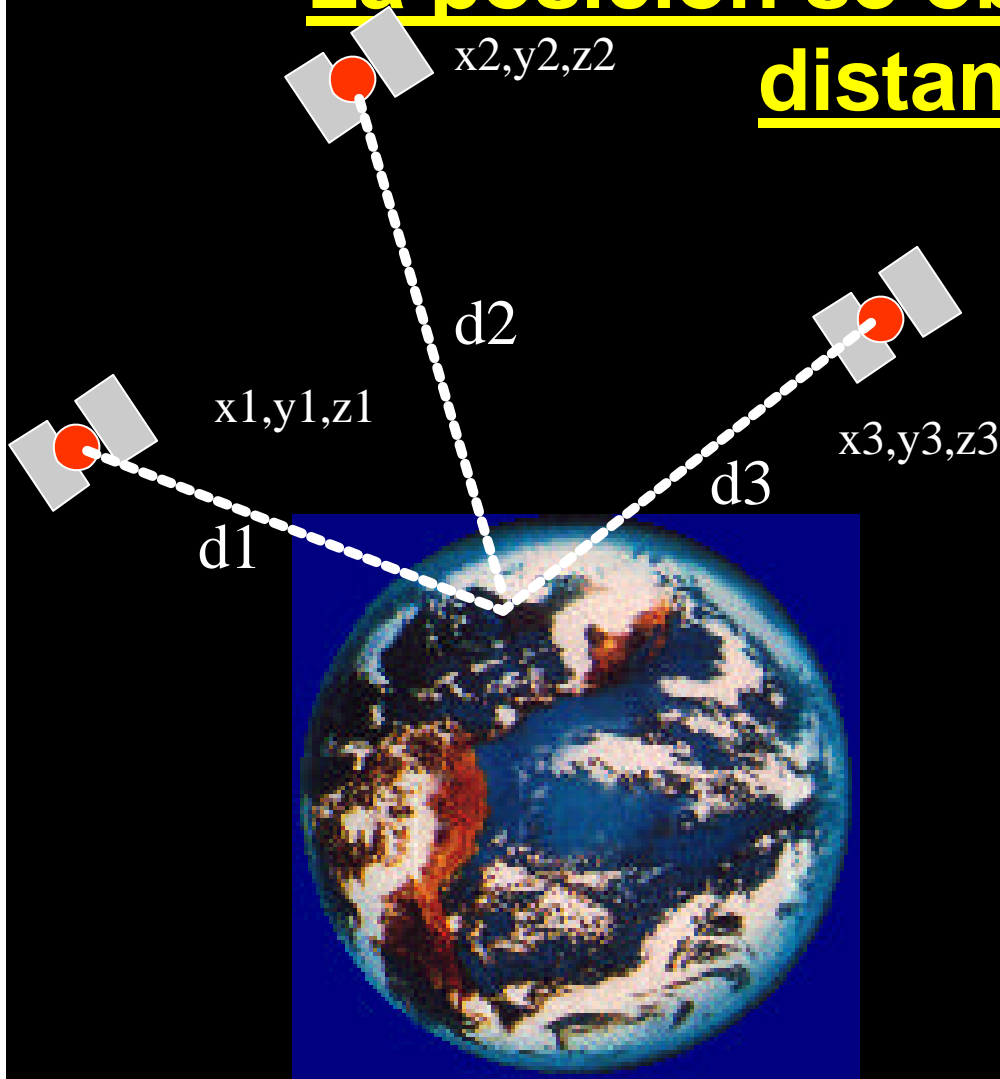
- **La posición es calculada midiendo las distancias a tres puntos (Satélites) cuyas posiciones son conocidas.**
- **Como resultado se obtienen dos soluciones.**
- **Una absurda por no estar sobre la superficie de la tierra.**
- **La otra es la posición del punto a ser ubicado.**

DOS SOLUCIONES



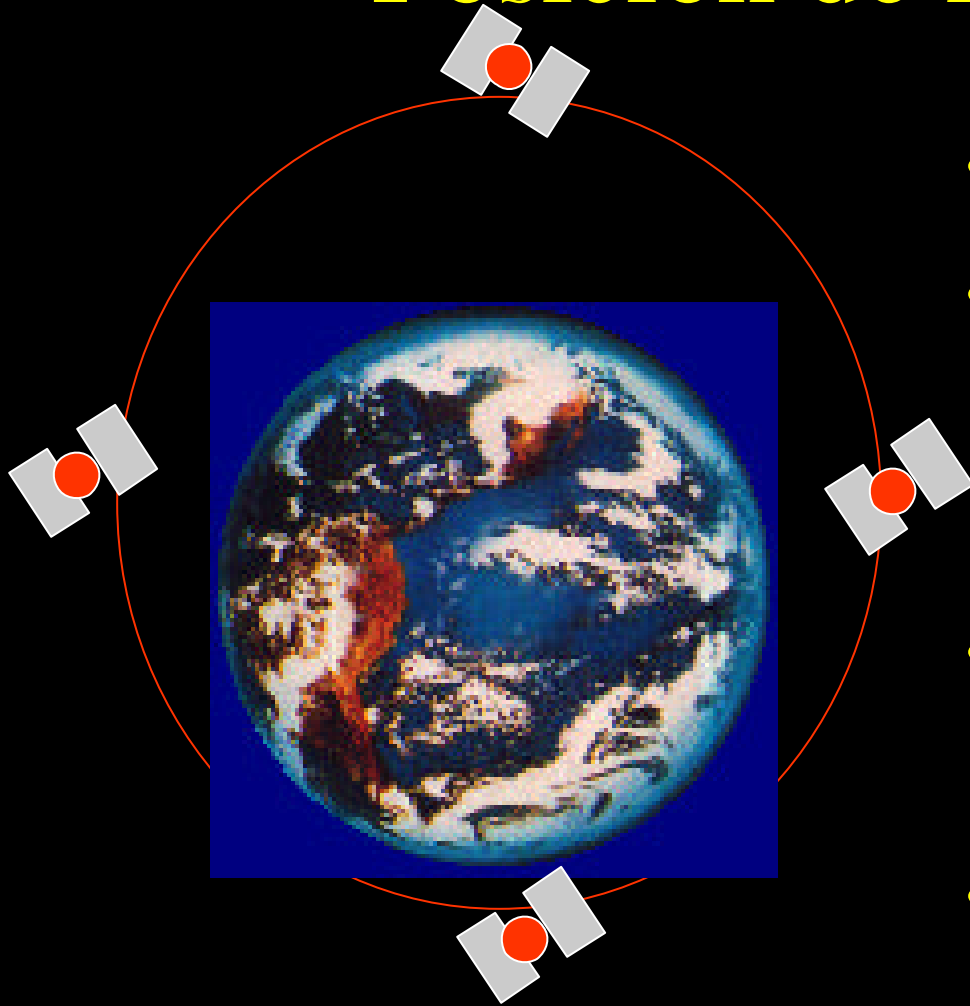
- La solución absurda se puede determinar con un algoritmo simple, preguntandose el georeceptor si la solución probable esta dentro del radio del elipsoide WGS-84 y la altura máxima sobre la tierra (EVEREST)

La posición se obtiene midiendo distancias



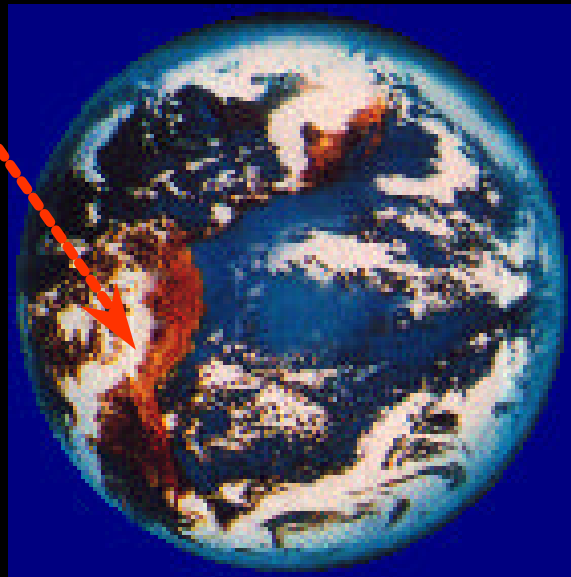
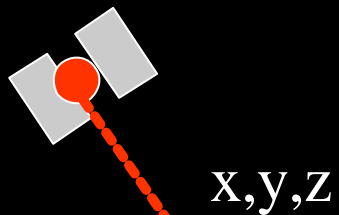
- Para calcular la posición de un punto en el espacio, dados 3 puntos conocidos, necesitamos saber:
- Las coordenadas de los puntos de referencia (satélites) al momento de hacer la medición.
- La distancia “d” que hay entre cada satélite y el punto cuya posición se desea conocer.
- La antena del GPS se coloca sobre el punto a ser identificado

Posición de los satélites



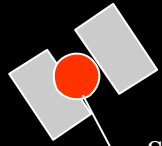
- Es fácil determinar la posición de los satélites.
- La ley de Newton establece que: “un cuerpo en movimiento, permanece así a menos que exista una fuerza que se oponga a dicho movimiento”
- A 20200 Km. de altura no hay mayor oposición al desplazamiento de los satélites.
- Entonces se puede asumir que los satélites viajan a velocidad constante.

Posición de los Satélites



- Además, cada 30 seg.. los satélites envían mensajes que contienen las efemérides para cada uno de los 27 satélites de la constelación.
- **ALMANAQUE**, es el conjunto de información de la constelación, estos parámetros permiten determinar con bastante exactitud la posición de los satélites en un instante dado

Medición de Distancias



sale el mensaje
a las 8:00:00 hrs.



llega a las 8:00:0675 hrs

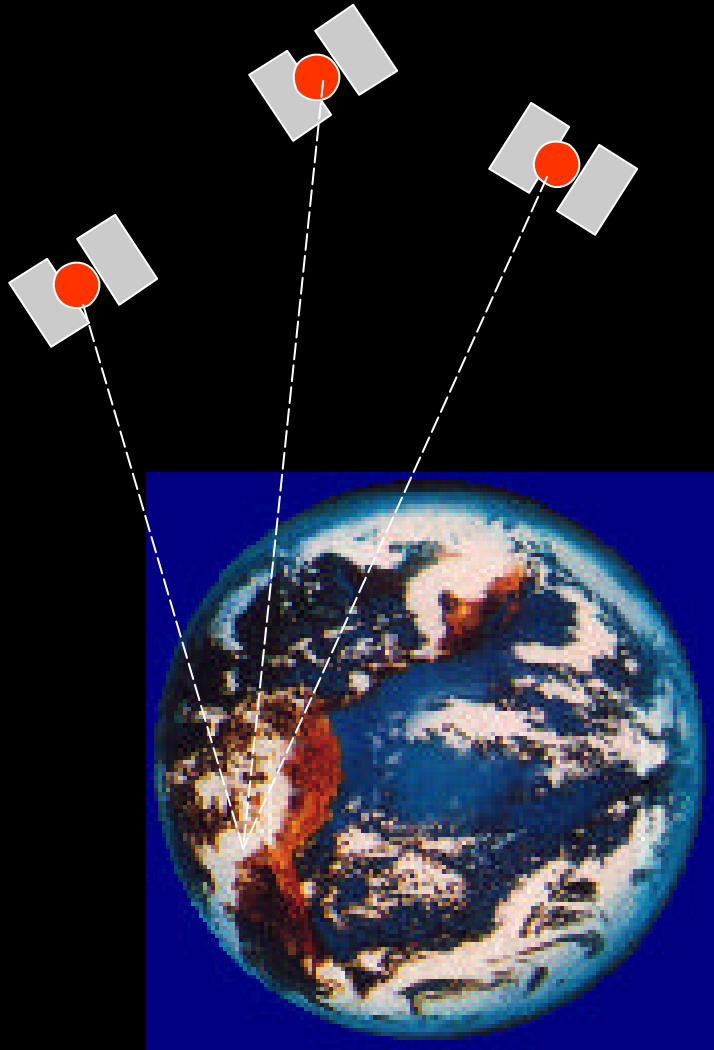
- Supongamos que:
 - a.- El receptor está ubicado sobre el punto cuyas coordenadas deseamos conocer.
 - b.- Que los satélites nos envían por medio de ondas de radio mensajes codificados en los cuales está indicada la hora exacta en que se envió el mensaje.
 - c.- Que la velocidad de propagación de las ondas de radio es la velocidad de la luz, 300,000 Km./seg.

$$d = v * t$$

$$d = 300,000 \text{ Km/seg} * 0.0675 \text{ seg}$$

$$d = 20,250 \text{ Km}$$

Como se conoce la posición del punto

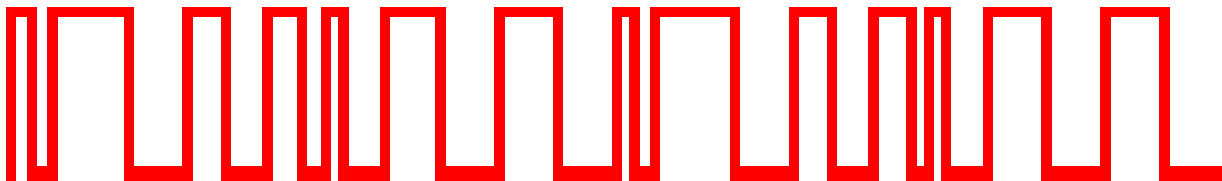


- El receptor sabe la hora exacta de recepción del mensaje.
- Conocida la hora de envío es facil calcular el tiempo de viaje del mensaje del satélite al receptor.
- La distancia se obtiene de:
$$d = c * t$$
- De las efemérides contenidas en el mensaje, se conoce la posición del satélite.
- Repitiendo el proceso con dos satélites más se obtiene la posición del punto en el espacio



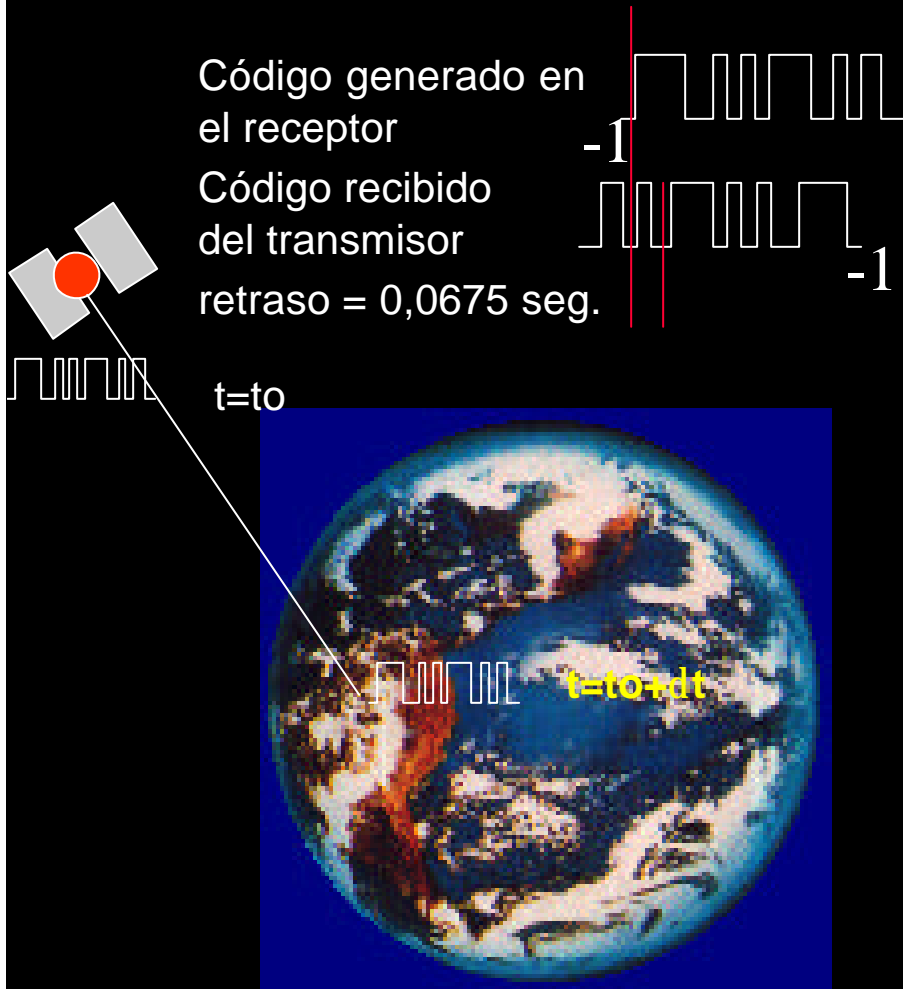
CODIGOS

10111100011001101001110001110001011110001100110100111000111000



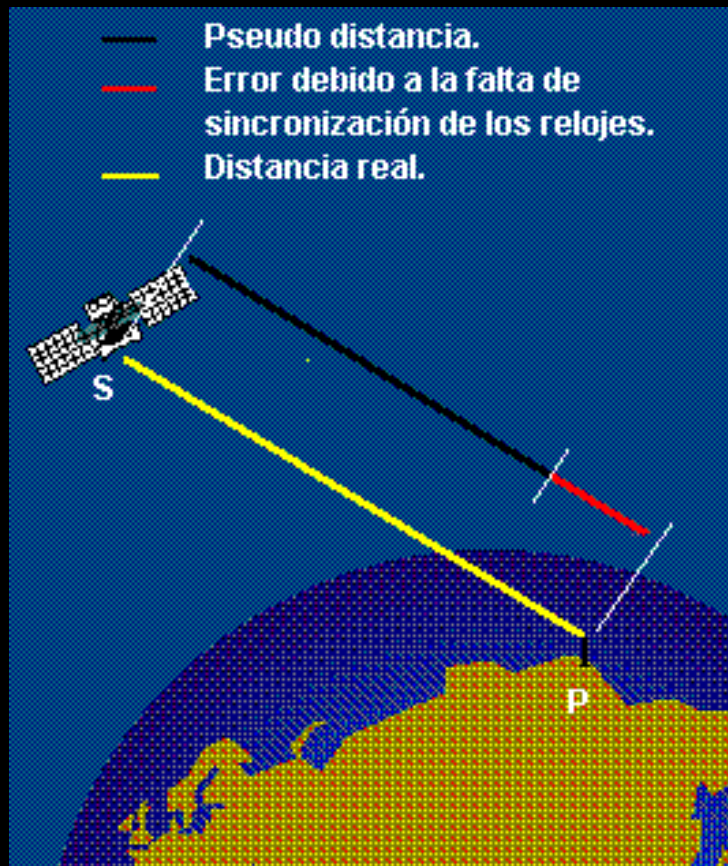
- **Son una serie de pulsos eléctricos con valores +1, -1 que modulan de modo Pseudo aleatorio las señales de radio frecuencia.**
- **Los códigos son generados por los satélites usando un complicado juego de instrucciones que se repiten cada 7 días. C/A.**
- **Cuando se trata del código "P" el juego de instrucciones se repite cada 267 días, 9h,45m,55.5 s.**
- **El receptor genera un código igual al del satélite que debe estar exactamente sincronizado.**

Midiendo el tiempo se obtiene la distancia



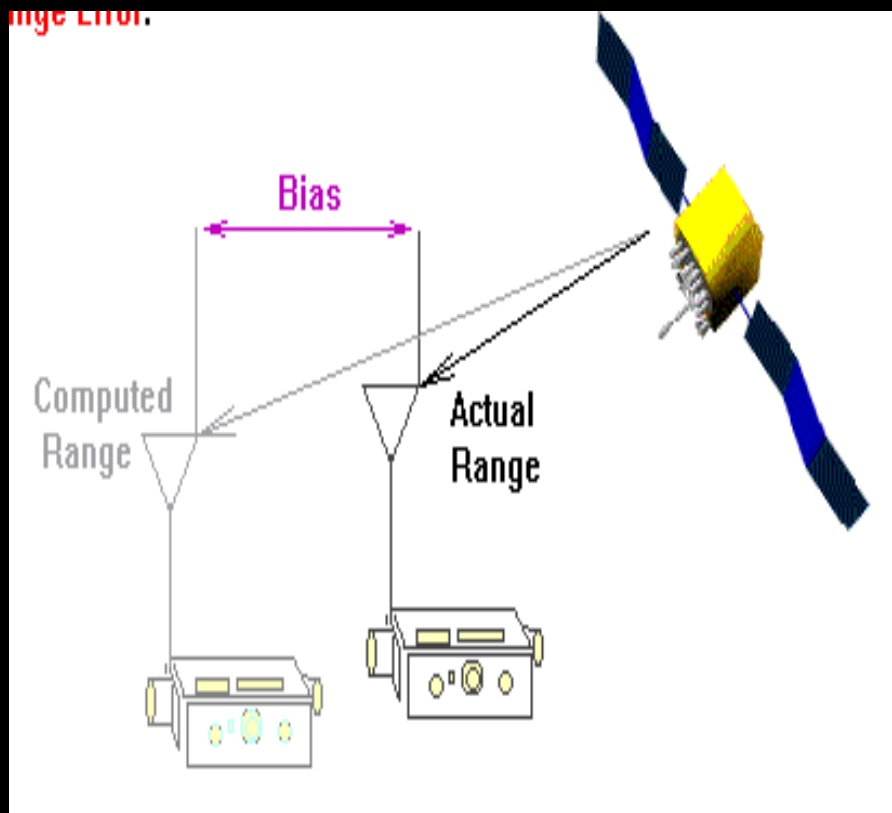
- El código generado por el satélite sufre un retraso debido a la distancia que debe recorrer para llegar hasta el receptor.
- El retraso será mayor cuanto mayor sea la distancia.
- El receptor calcula la distancia comparando el código recibido del satélite con el generado en el mismo.
- Si no se toma en cuenta la relatividad, es imposible que el GPS trabaje con precisión de 3 metros.

PSEUDO DISTANCIA



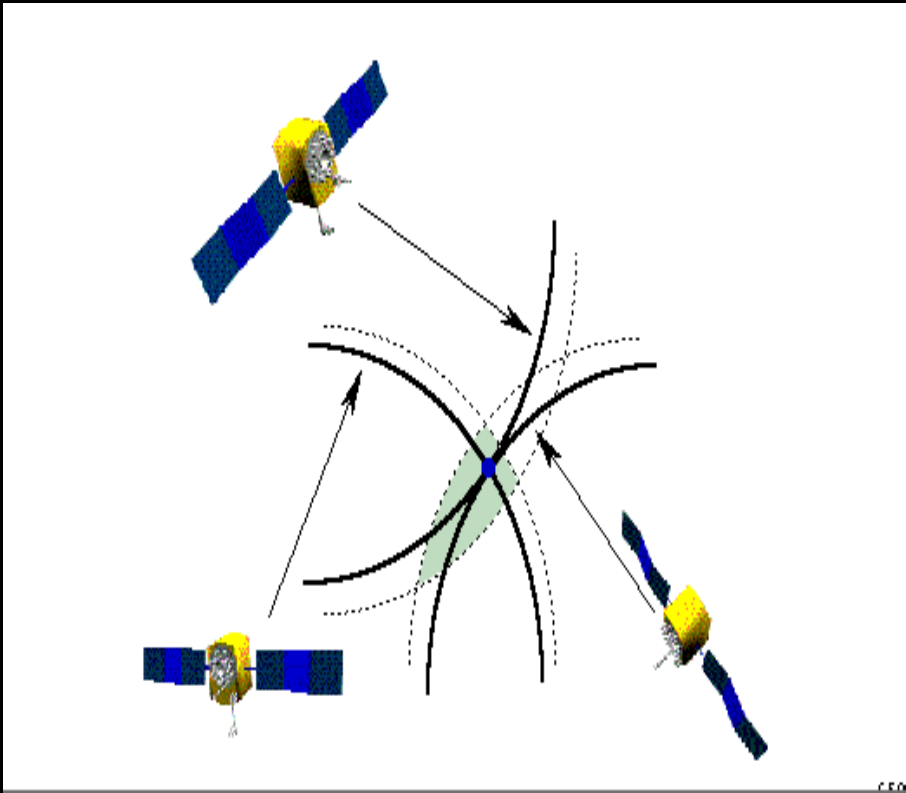
- El reloj del satélite y receptor no están sincronizados perfectamente
- los sv. cuentan con relojes atómicos de alta precisión y estabilidad, 10^{-14} s, mientras que los receptores trabajan con 10^{-9} s.
- De lo anterior se deduce que existe un error en el cálculo del tiempo, por lo tanto en la determinación de la distancia.
- Por ello llamamos PSEUDO DISTANCIA

LA SOLUCION 4 SV.



- Para calcular la posición de un punto en el espacio, se debe conocer el error en el tiempo de sincronización.
- Este error se llama **T bias** y es igual para todos los satélites.
- Determinando el error de tiempo, es fácil corregir la Pseudo Distancias y obtener sus valores reales.

PUNTO SOLUCION



- De la intersección de los satélites se obtiene un solo punto que es la solución que se busca.
- Con GPS. Es fácil alcanzar precisiones de pocos mm. + 1ppm (parte por millón)

Ecuaciones

$$d_1 = v \cdot \Delta t = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2}$$

$$d_2 = v \cdot \Delta t = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2}$$

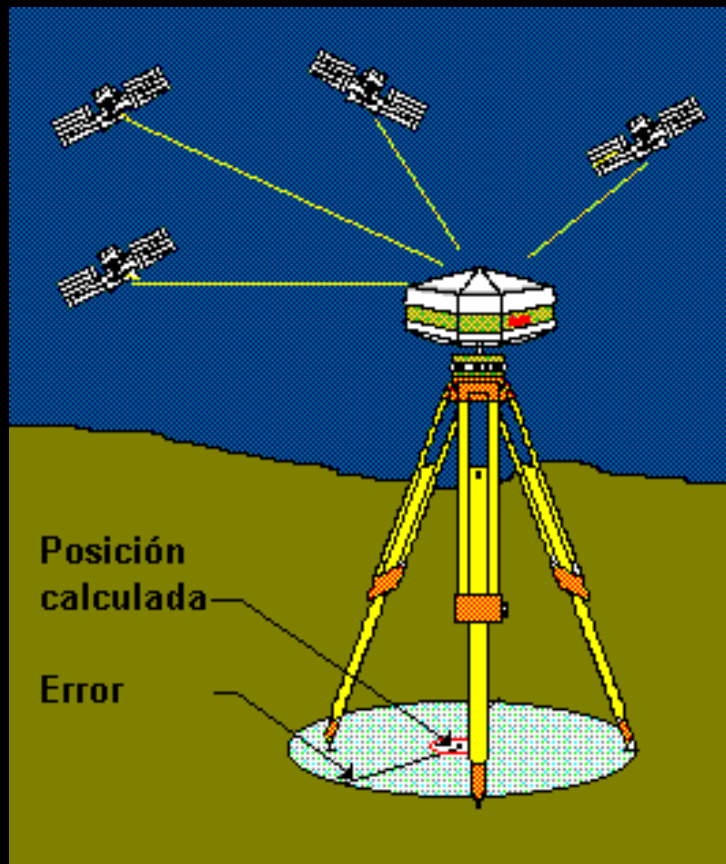
$$d_3 = v \cdot \Delta t = \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2}$$

$$d_4 = v \cdot \Delta t = \sqrt{(x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2}$$

Un sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas...

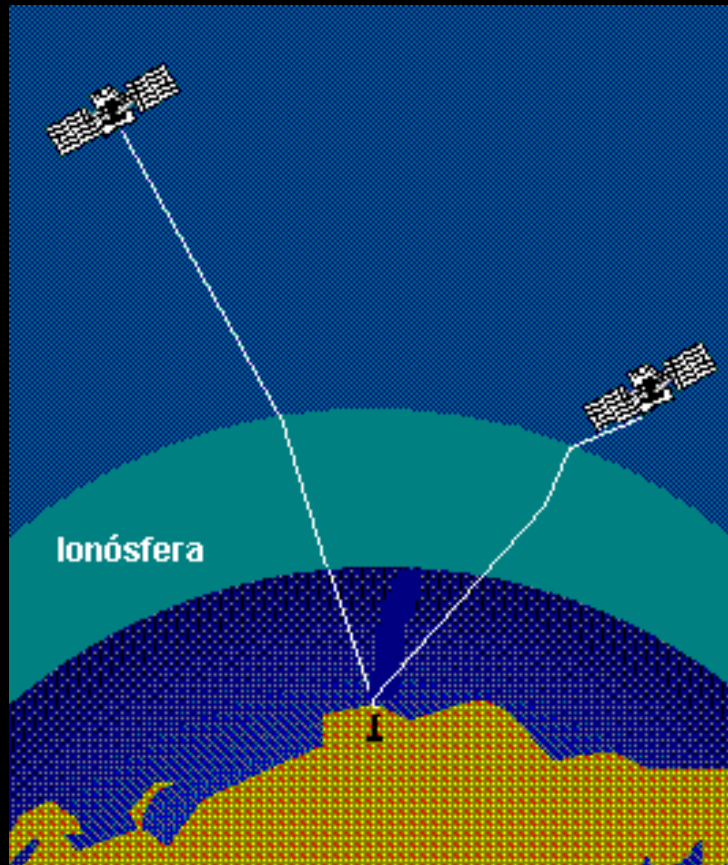
- **Haciendo mediciones a un cuarto sv. se obtiene un sistema de cuatro ecuaciones que considera los efectos del error de sincronización de los relojes.**

ERRORES



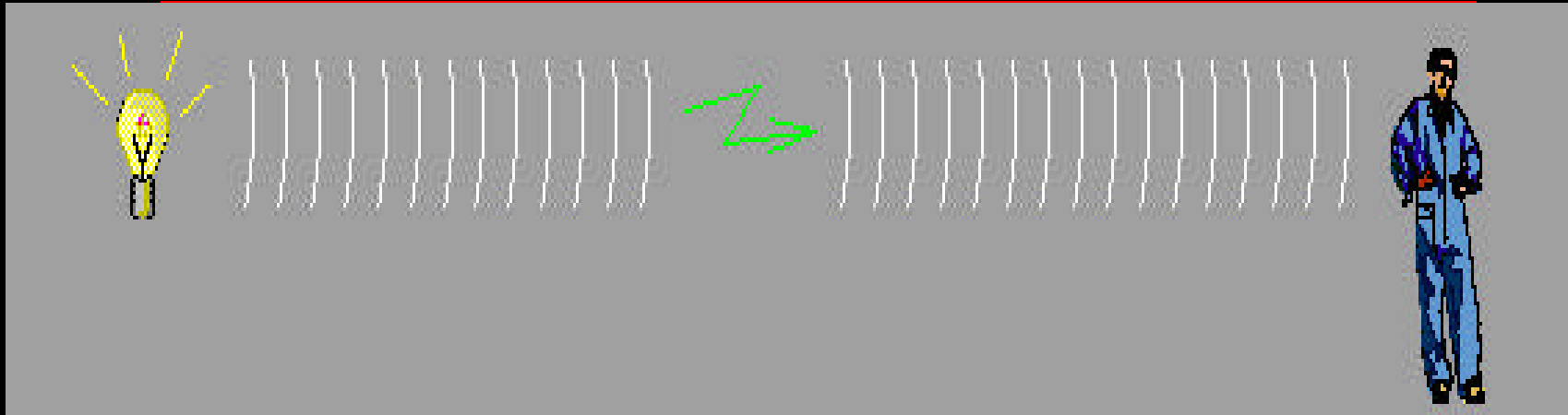
- Los errores que se pueden cometer en la determinación de la distancia son:
- En las efemérides 0,6m.
- En los relojes de los receptores: 1,2 m.
- En los efectos de la ionosfera y troposfera : 3,7 m.
- Disponibilidad selectiva: 7,6 m

IONOSFERA



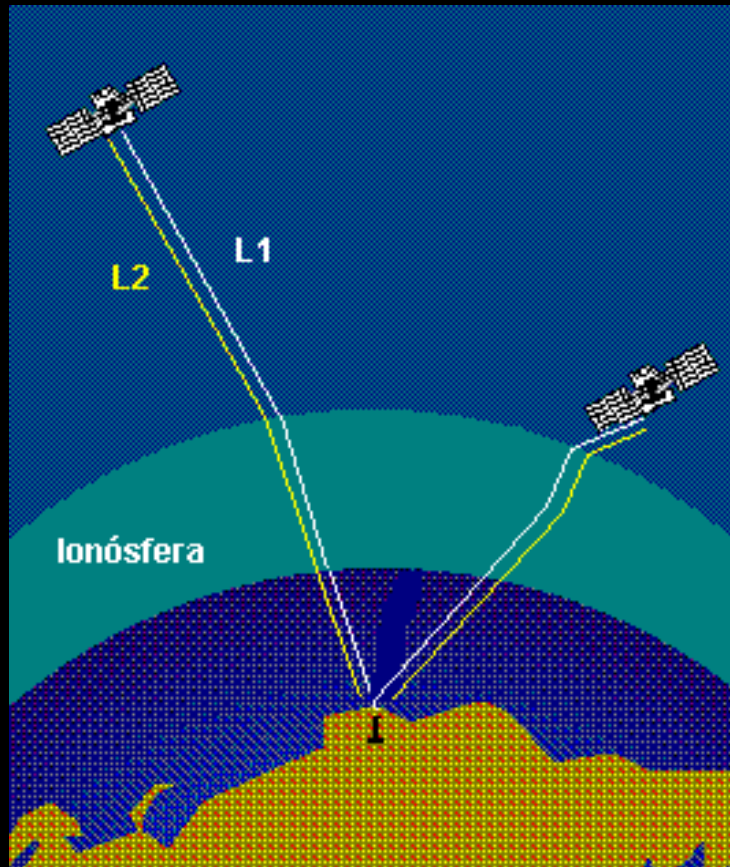
- Las ondas que emiten los SV. no viajan por el espacio vacío, tienen que atravesar la capa de la ionosfera que rodea la tierra.
- La ionosfera afecta a las ondas de los SV. dependiendo de la densidad de carga ionosférica y del ángulo de incidencia.

POTENCIA DE LA SEÑAL



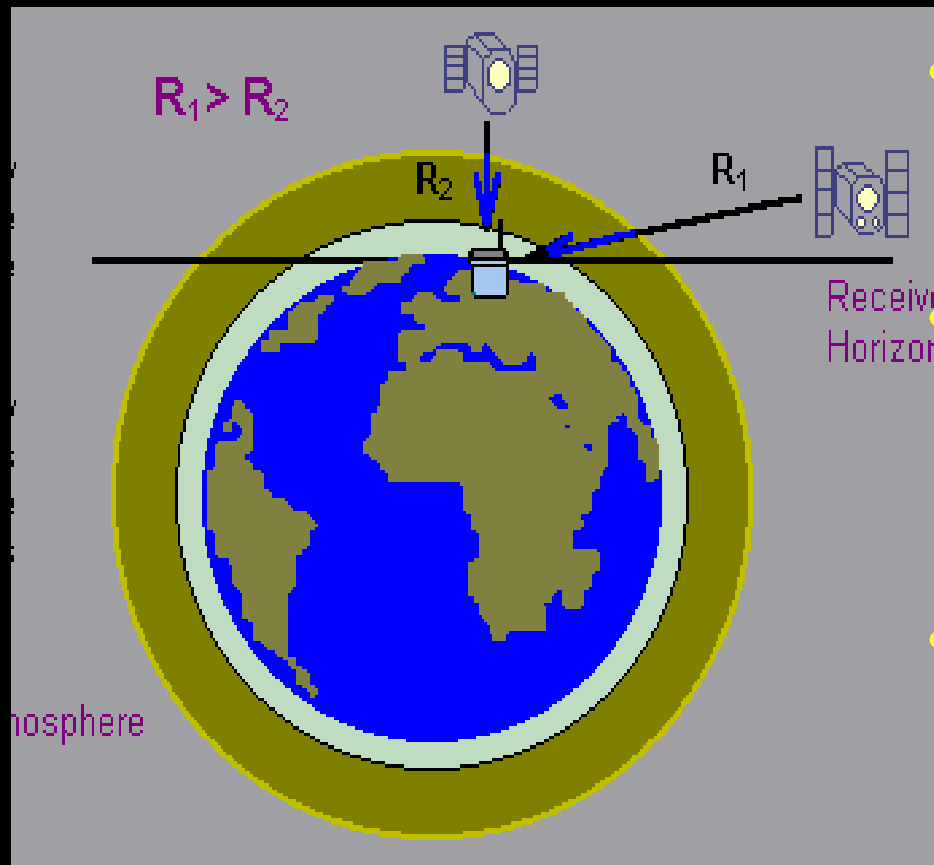
- La potencia de la onda en L1 es de 10^{-16} Watts vale decir 0.000000000000000001 Watt
- Por lo tanto al atravesar los 20200 Km. desde el Satélite hasta la antena del receptor tropieza con muchos problemas.

DOS FRECUENCIAS LA SOLUCION PARA LA IONOSFERA



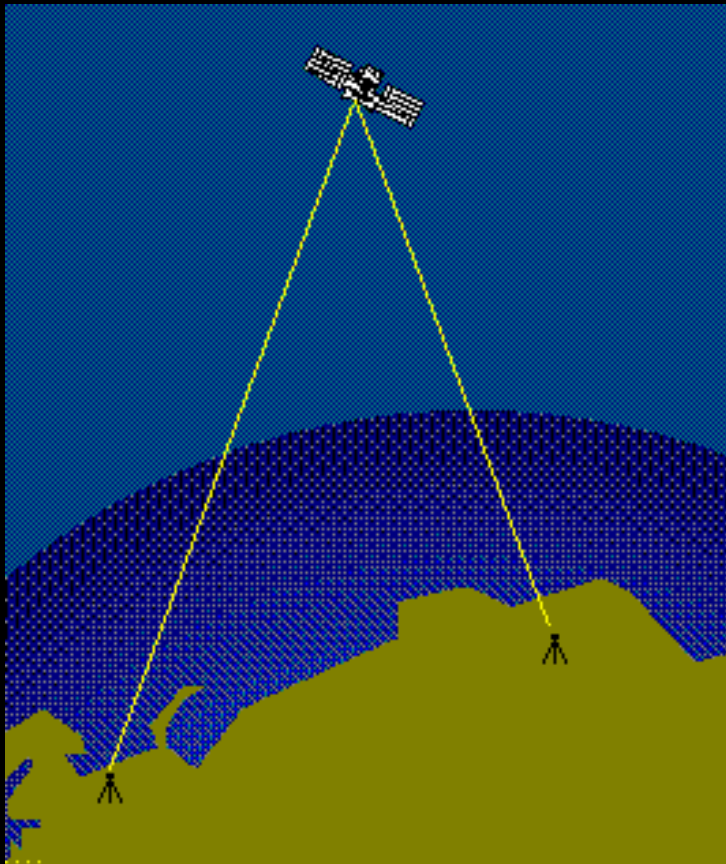
- El retraso que ocasiona la ionosfera en la propagación de las señales es inversamente proporcional a la frecuencia.
- Con L1 y L2 se puede determinar la diferencia entre los tiempos de retardo y por lo tanto eliminar en gran parte el efecto ionosférico
- Este efecto es más notorio durante el día.

TROPOSFERA



- La troposfera afecta también en el recorrido que hace la señal del SV.
- Para corregir estos problemas se acude a modelos especiales que atenúan estos factores.
- JOPFIELD por ejemplo.

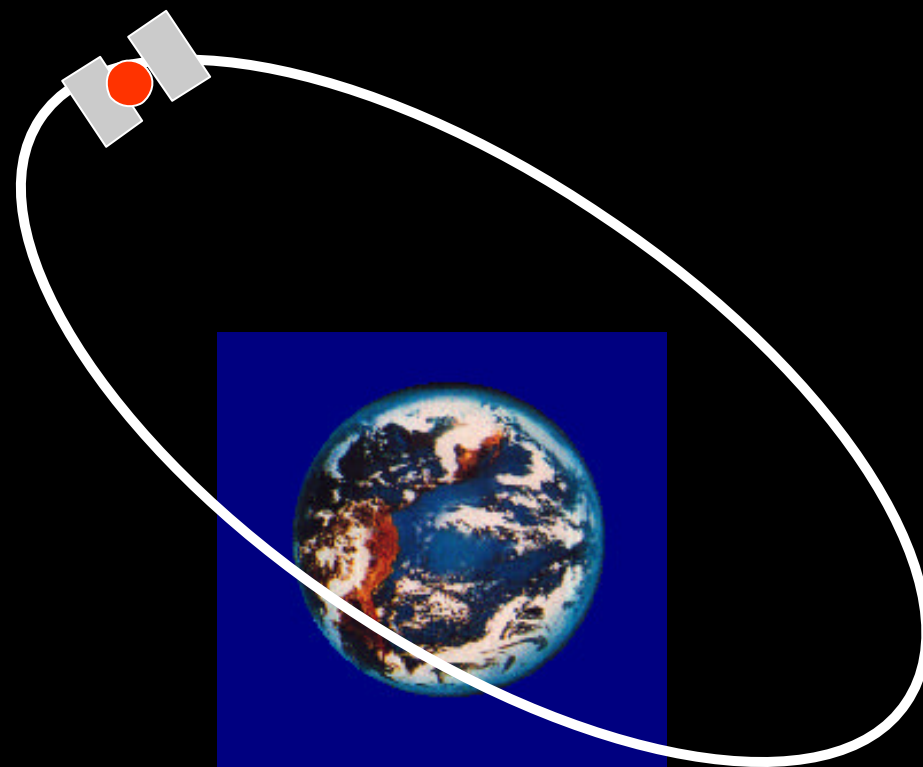
DIFERENCIA SIMPLE



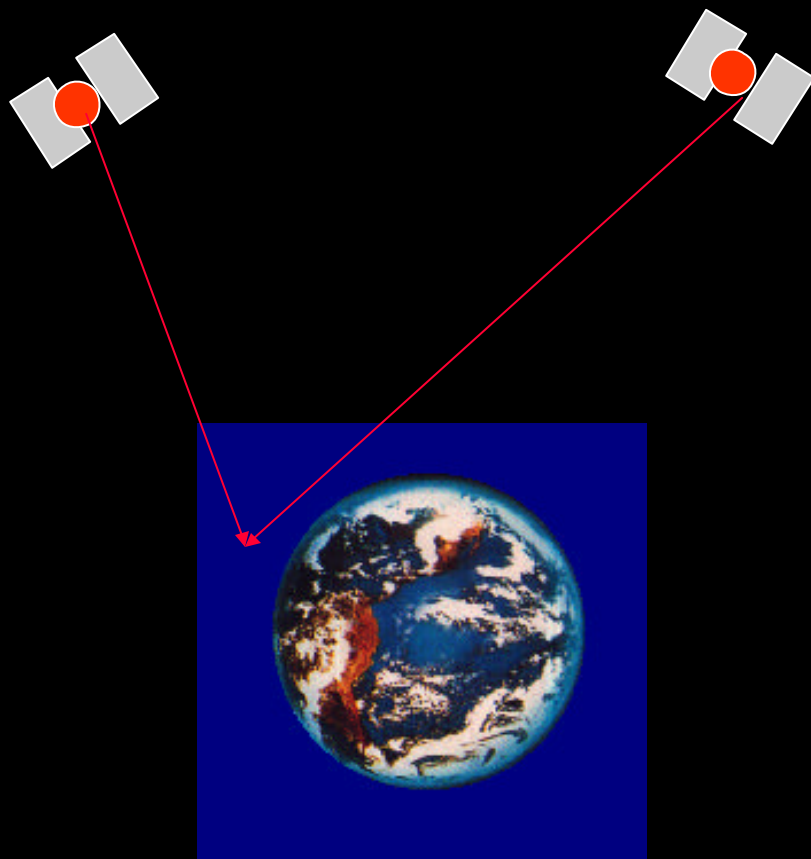
- Pequeños errores en los relojes de los satélites hacen que los códigos pseudoaleatorios sean generados fuera de tiempo.
- Las pseudo distancias medidas pueden tener un error de 0,6 m por esta causa.
- Las estaciones de control en tierra, pueden ajustar estos errores de los relojes.
- El post proceso de las señales observadas, cancela el error del reloj del SV. usando simple diferencia entre dos receptores.

ERROR EN LAS EFEMERIDES

- Las efemérides transmitidas no representan exactamente la trayectoria de los satélites.
- los errores que presentan es del orden de 0.6 m cuando el A/S esta desactivado; el satélite envía señales indicando creo que estoy aquí, pero en realidad miente.
- Para obtener resultados de alta precisión se debe utilizar efemérides precisas.
- Estas se pueden adquirir del CC. En Colorado Spring.

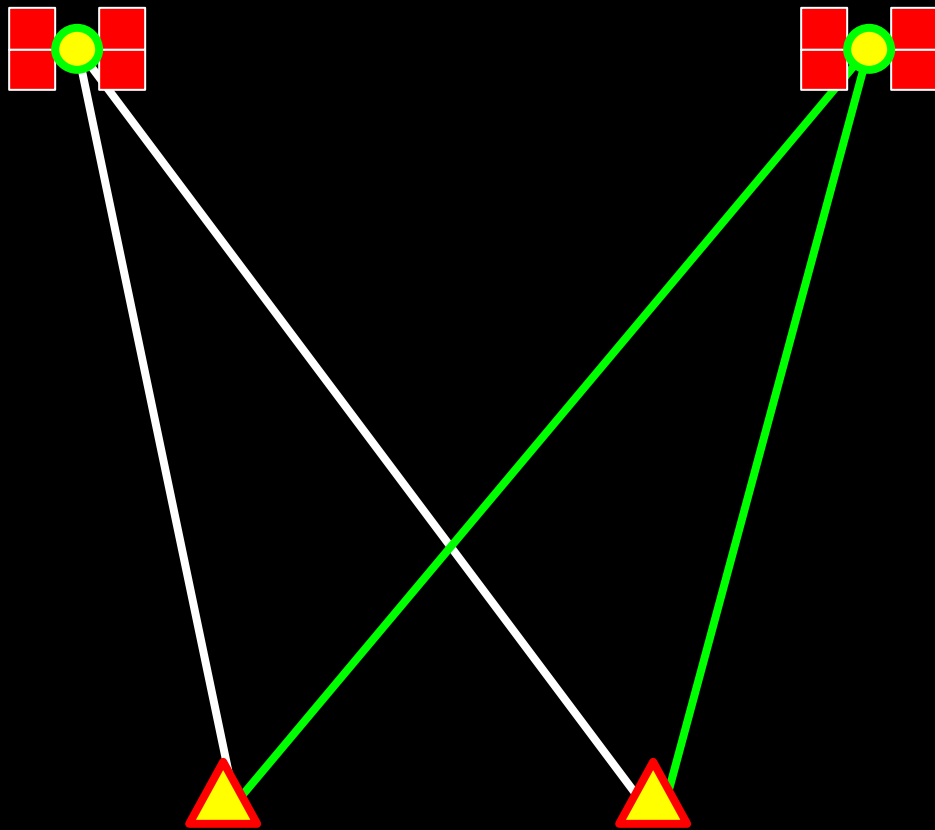


ERROR EN EL RELOJ DEL RECEPTOR



- El error del reloj de los receptores, se cancela mediante las diferencias simples entre satélites.
- La diferencia Triple, resuelve las ambigüedades a números enteros, la Doble diferencia resuelve las ambigüedades a números no enteros.
- Una vez obtenida la ambigüedad, se tiene la línea base.

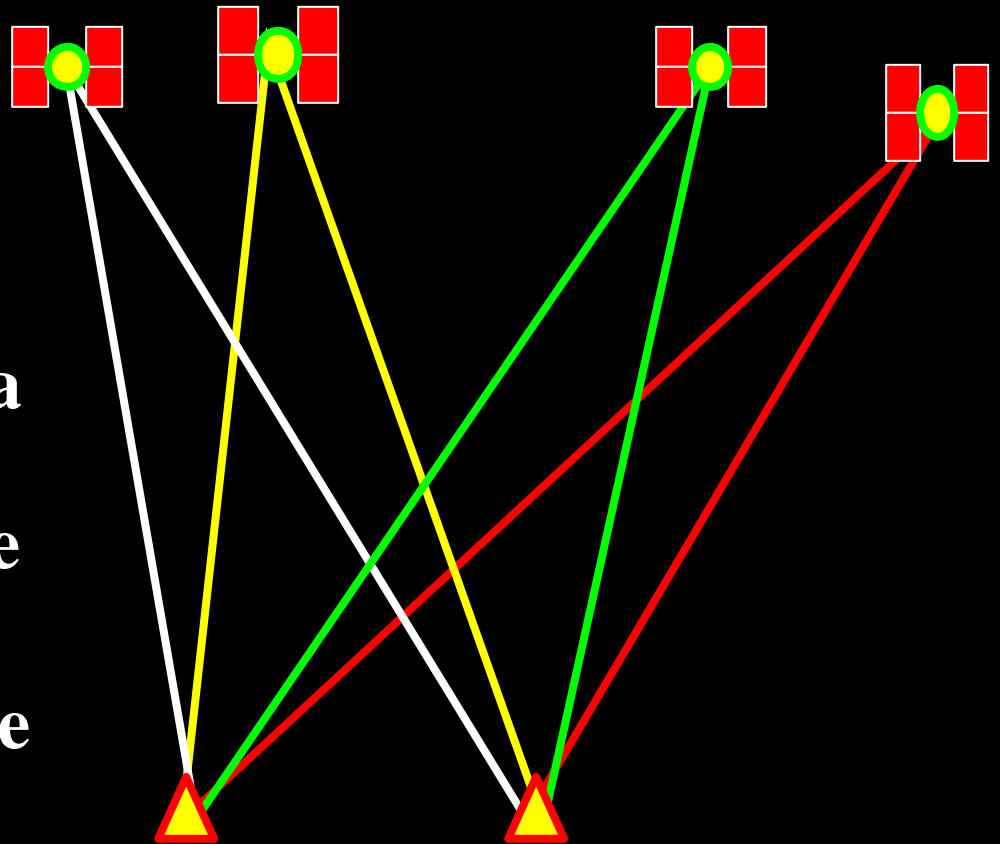
DIFERENCIA DOBLE



- **La doble diferencia genera soluciones de ambigüedad de fase a números no enteros.**
- **Resuelve la parte decimal de la longitud de onda en L1 o L2 que ingresa a la antena del receptor**

TRIPLE DIFERENCIA

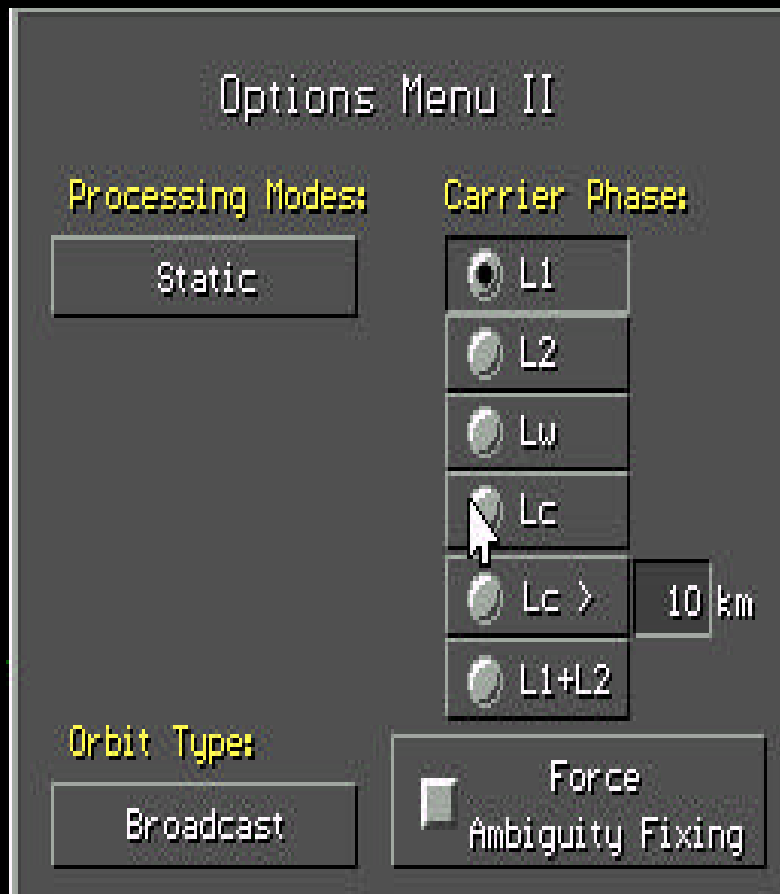
- La triple diferencia resuelve las ambigüedades a números enteros.
- No toma en cuenta la parte decimal de la longitud de onda que llega al receptor.
- Es menos precisa que la doble diferencia



ESTRUCTURA DE LA SEÑAL

- ➔ Frecuencia fundamental 10.23 MHz.
- ➔ Portadoras $L1 = 154 f_0 = 1575.42 \text{ MHz.}$
 $L2 = 120 f_0 = 1227.60 \text{ MHz.}$
- ➔ $L1 = 300 \cdot 10^6 / 1575.42 \cdot 10^6 = 19.0425 \text{ cm.}$
- ➔ $L2 = 300 \cdot 10^6 / 1227.60 \cdot 10^6 = 24.4379 \text{ cm.}$
- ➔ $LW = 300 \cdot 10^6 / (1575.42 - 1227.6) \text{ MHz}$
 $= 86 \text{ cm}$

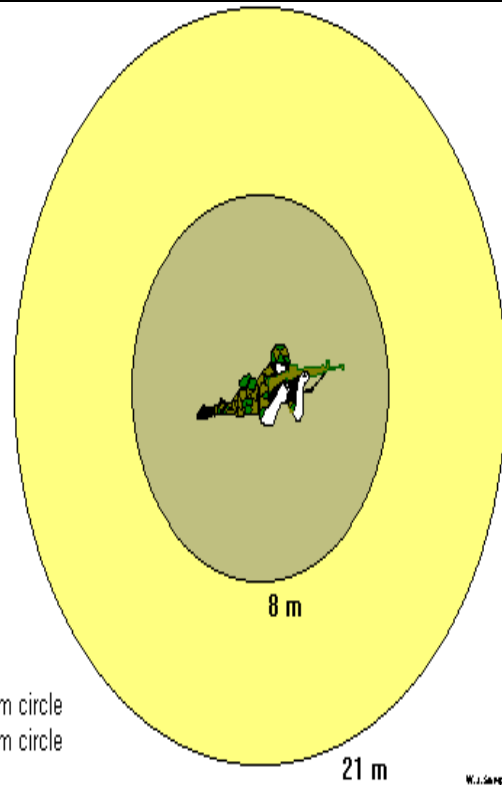
COMBINACIONES LINEALES



- L1: 19.04cm
- L2: 24.44cm.
- LW: L2-L1: 86.2 cm.
- LC: L2+L1: 10.7 cm.
- LC>10Km.:
- $(LW+LC) / 2 : \gg 5.4 \text{ cm}$
- Onda larga efectiva
- $2*LW = 1.72 \text{ m}$

Disponibilidad Selectiva S/A

2-D Position:



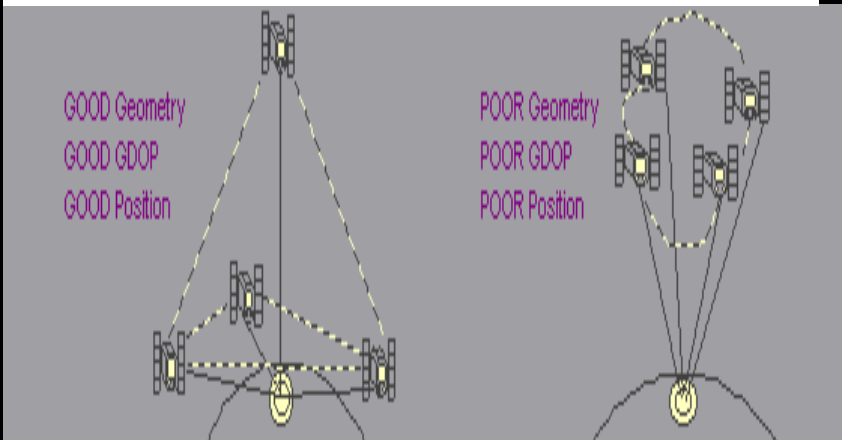
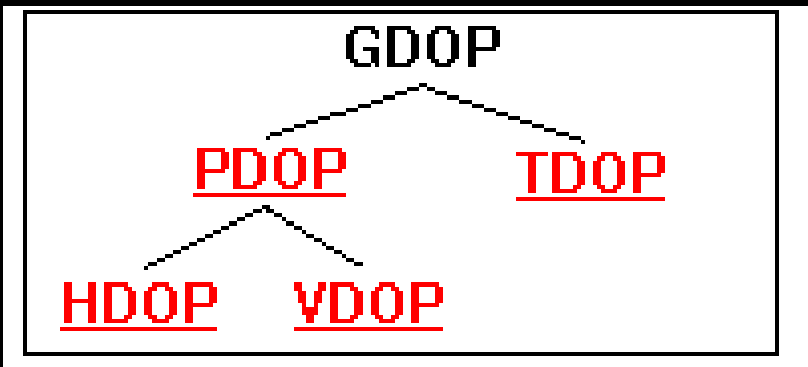
2-D GPS positions are:

50 % probability of inside an 8 m circle

95 % probability of inside a 21 m circle

- **Técnica Utilizada por el Dpto. de Defensa de los EE.UU. Para degradar la exactitud del sistema.**
- **Aún así se garantiza una exactitud en 2D mejor a 21 m. El 95% del tiempo.**
- **Emplea dos efectos:**
 - Datos de efemérides alterados “Dithering” o inestabilidad intencional del reloj del satélite.**

Dilución de la Precisión



PDOP. “Position Dilution of Precision”.

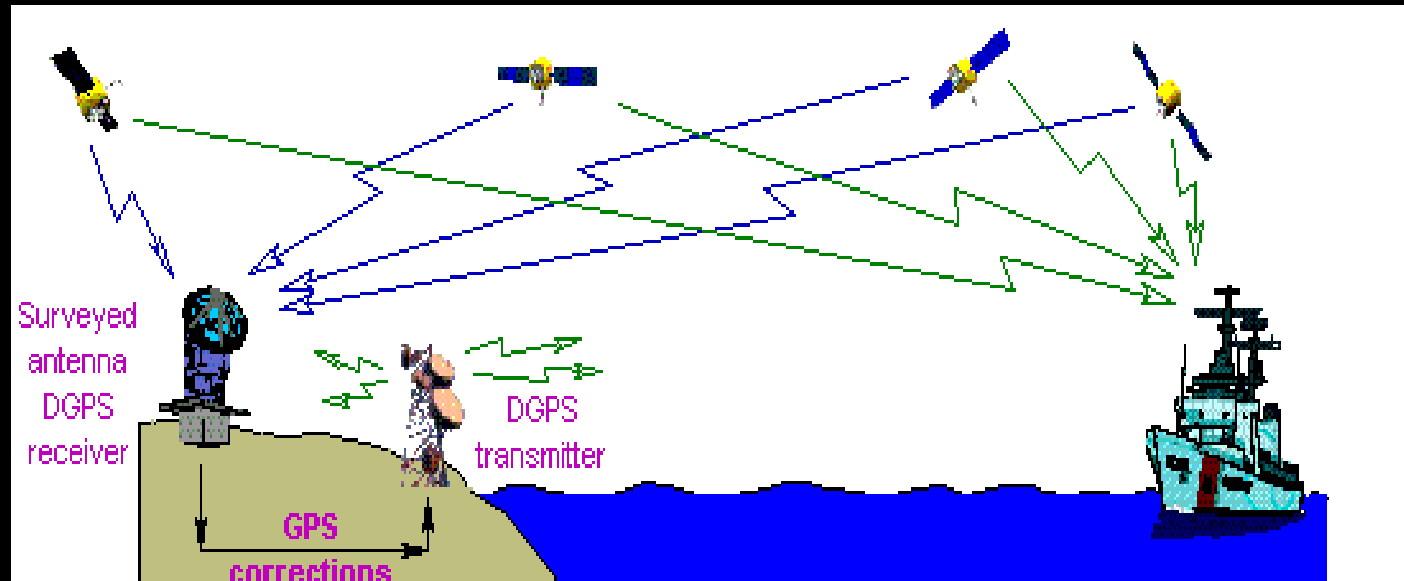
Incertidumbre de la precisión debida a la ubicación geométrica de los satélites.

TDOP. Incertidumbre en la posición debida a la sincronización de los relojes.

GDOP. Factor que representa en conjunto el PDOP y TDOP.

Para una medición confiable el GDOP. Debe ser menor a 5.

Medición en modo Diferencial

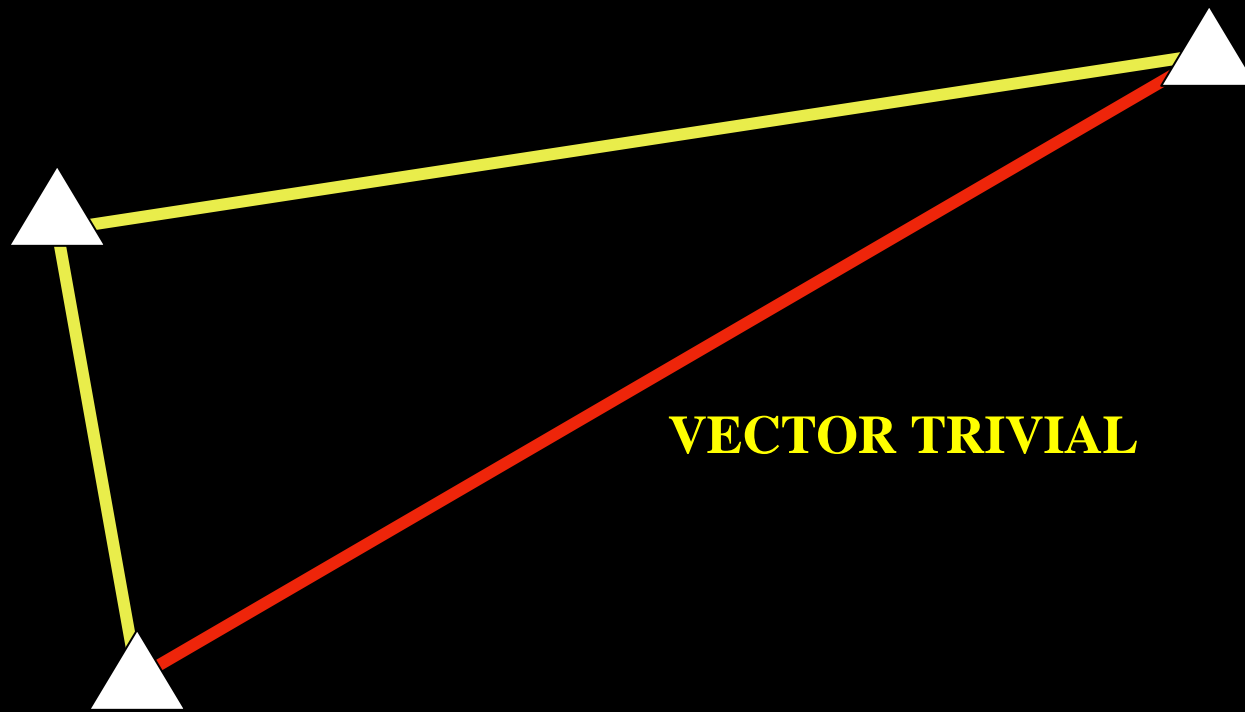


- **La medición en modo diferencial con post - procesamiento, cancela los errores debido a los relojes, efemérides y disponibilidad selectiva.**

LINEA BASE

- Cuando se resuelve la ambigüedad de fase se obtiene la línea base, lo que realmente hace el GPS. Es darnos la línea base muy exacta.
- La precisión de la línea base no se obtiene en el proceso, esta se determina una vez concluido el ajuste.
- **NUNCA DEBEMOS DECIR QUE SE ESTA AJUSTANDO UNA LINEA BASE**

DISEÑO DE REDES



VECTOR TRIVIAL

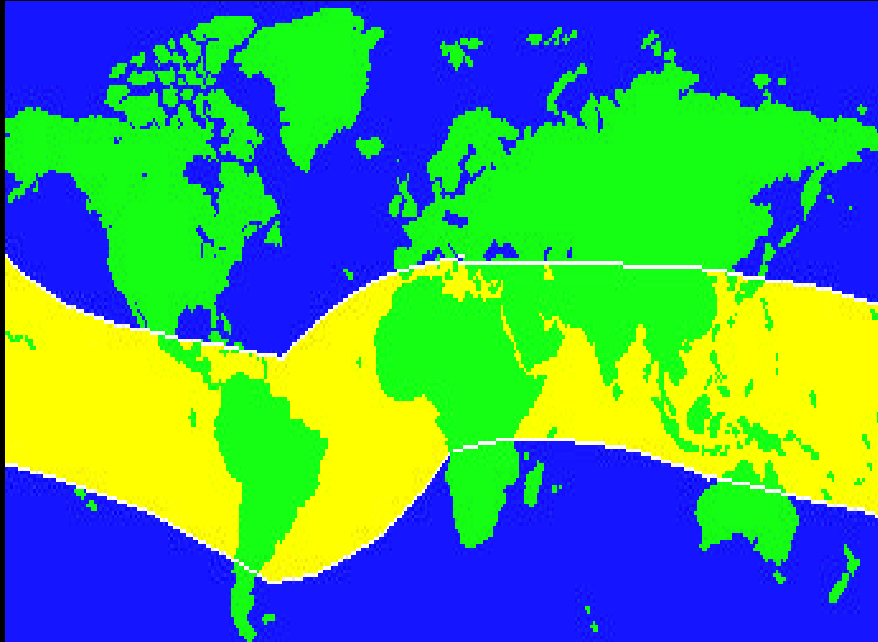
RECOMENDACIONES

- **Cada estación debe ser ocupada dos veces bajo condiciones diferentes para identificar errores groseros**
- **Estaciones próximas deben ser ocupadas simultáneamente, porque la solución de ambigüedades funciona mejor sobre distancias cortas.**
- **Para proyectos medianos, el uso de 4 a 10 receptores es ideal.**
- **Un cierto número de líneas base debe ser observado dos veces para controlar la exactitud y fiabilidad.**

CLASES MODO DIFERENCIAL

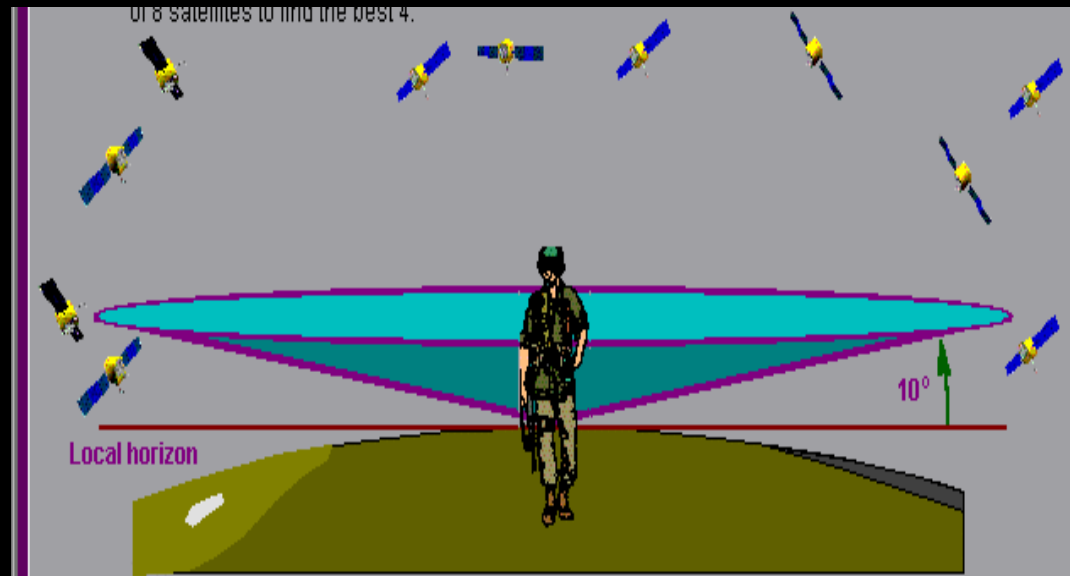
CATEGORIAS DE MEDICION	Orden	Base error	95% confiable error línea base
Geodinámica, Global – Regional mediciones de deformación.	AA	(cm) 0,3	(ppm) (1:a) 0,01 1:10000000
Sistema de referencia Geodésica Nal Red Primaria. Regional – local; deformaciones Geodinámicas	A	0,5	0,1 1: 1000000
Sistema de referencia Geodésica Nal Red secundaria, conectada a la red Primaria NGRS, Geodinámica local, medición de las deformaciones, mediciones de alta precisión, mediciones de ingeniería.	B	0,8	1 1: 100000
Sistema de referencia Geodésica Nal Bases terrestres, dependiendo del control de las mediciones en el mapa, información de la tierra, y requerimientos de ingeniería.	C	1	1
	1	1.0	
	2-I	2.0	10 1: 10000
	2-II	3.0	20 1: 50000
	3	5.0	50 1: 20000
			100 1: 10000

PLANIFICACION DE MISIONES



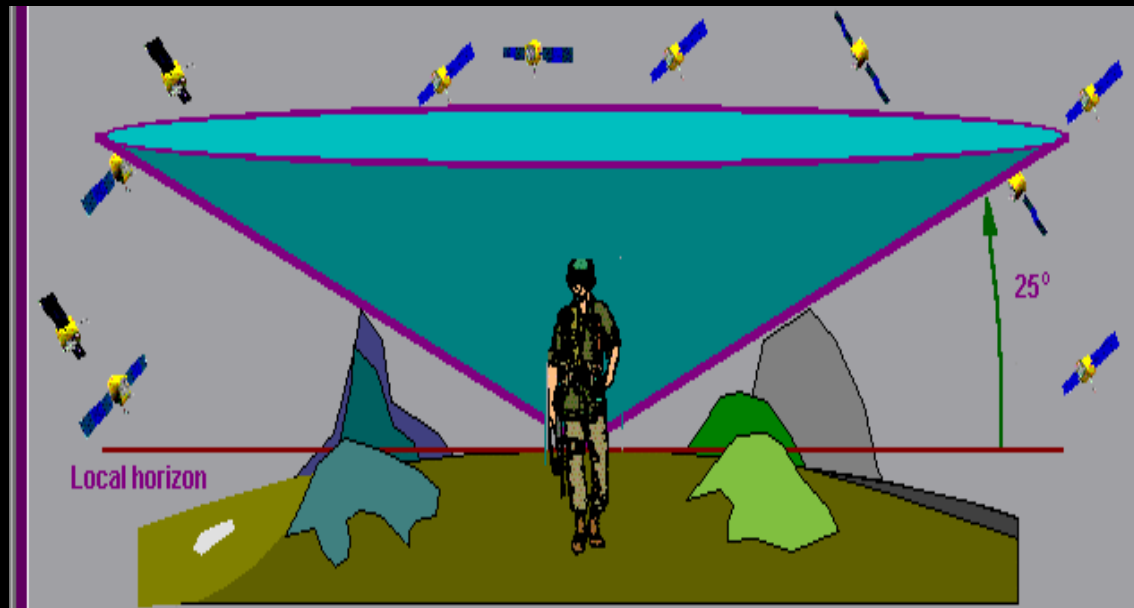
- **Es determinar el tiempo o ventana optima para la recolección de datos GPS.**
- **Es la parte más importante para cualquier proyecto.**

ANGULO DE ENMASCARAMIENTO



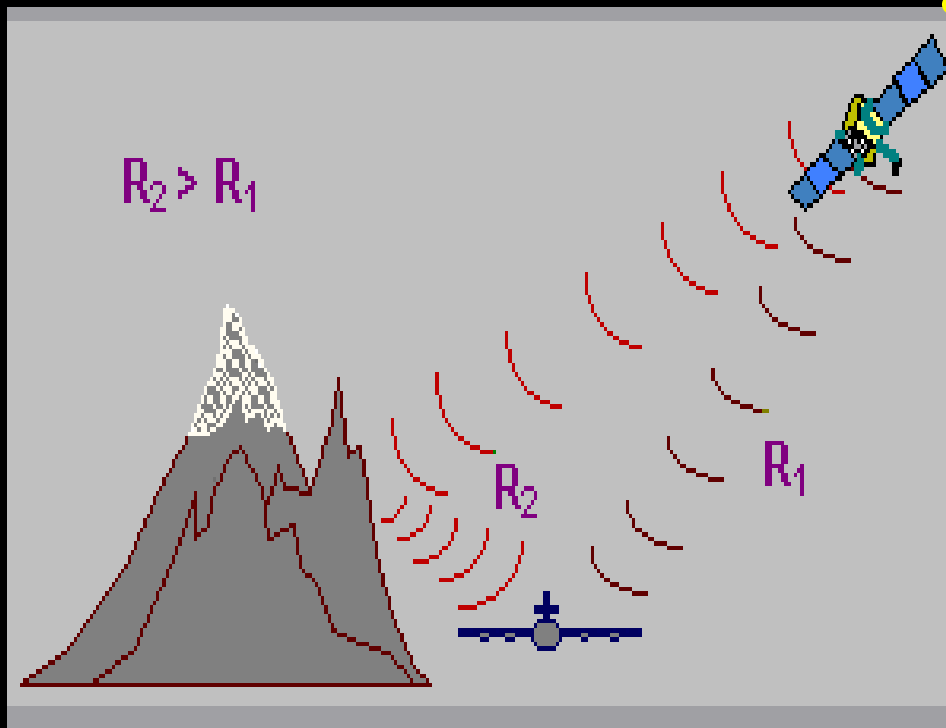
- Lo más recomendable cuando se está trabajando con GPS. Es el ángulo de enmascaramiento, debido a que se disminuye el error probable en el momento de realizar el ajuste.
- Por lo general este debe ser de 10°

OBSTRUCCIONES



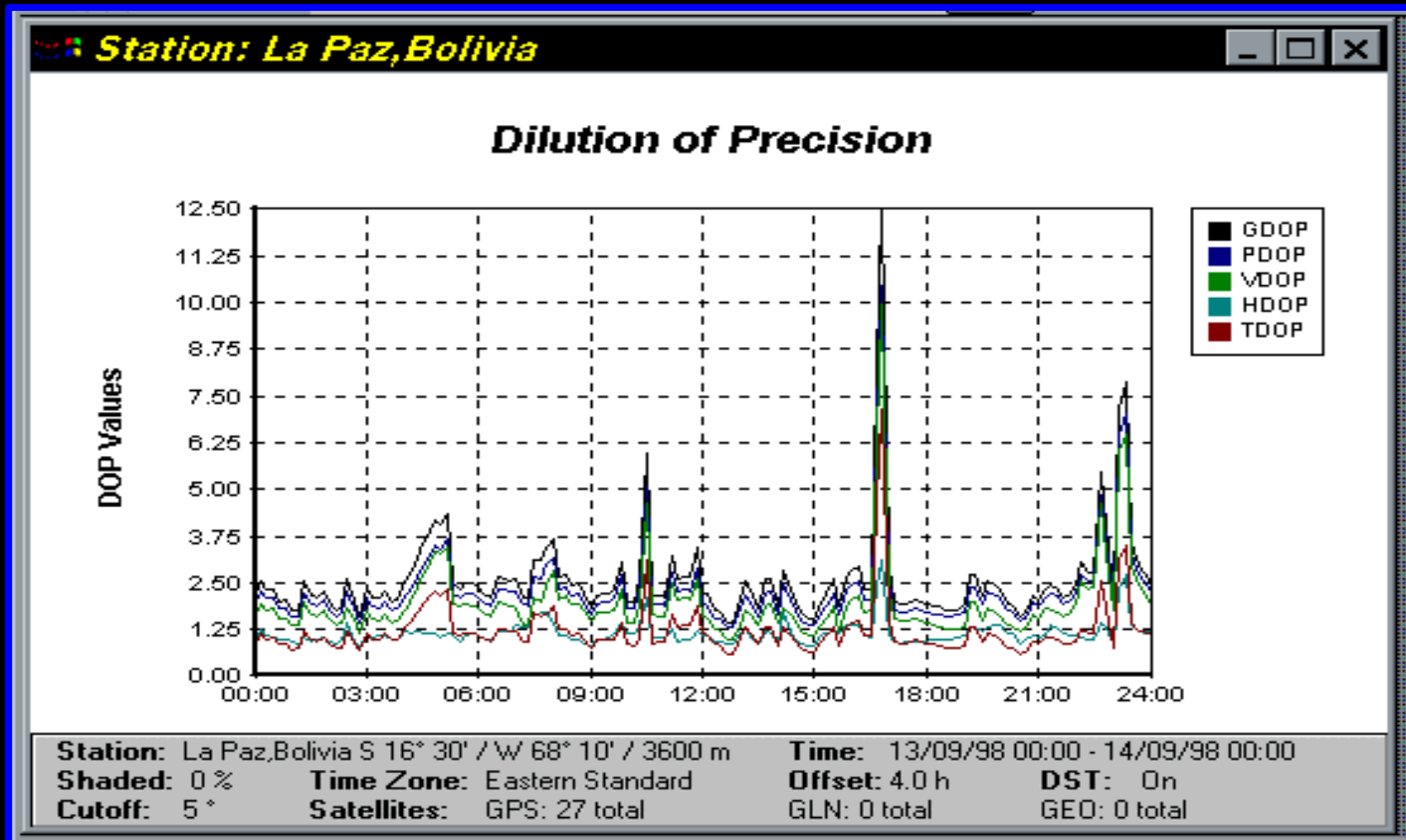
- **Cuando existen obstáculos cerca del punto a ser observado, es necesario elevar el ángulo de enmascaramiento, con el fin de evitar el efecto multipath.**

MULTI PATH



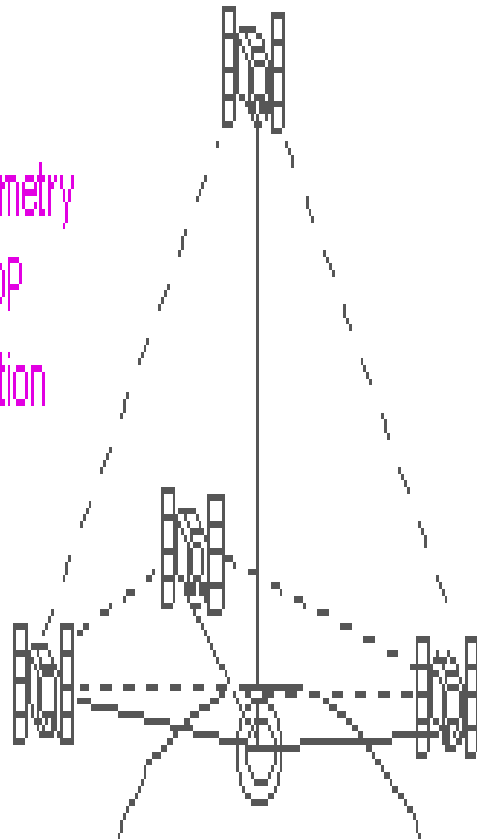
- Es la señal del satélite distorsionada por causa de los rebotes, este efecto influye enormemente debido a que aumenta el tiempo de llegada de la señal desde el satélite a la antena del receptor

RESUMEN DE LOS DIFERENTES DOP

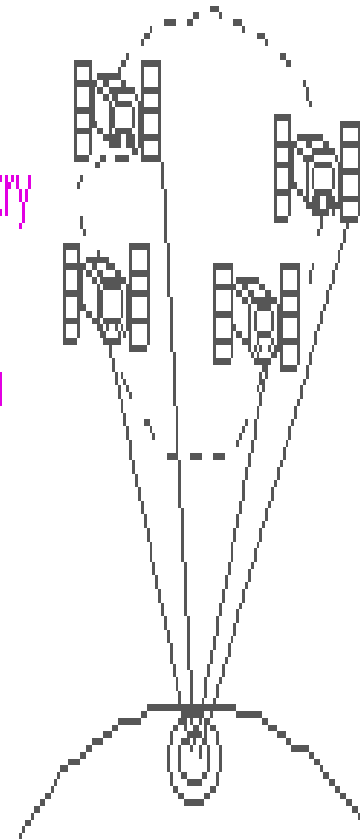


Lo mas importante el GDOP

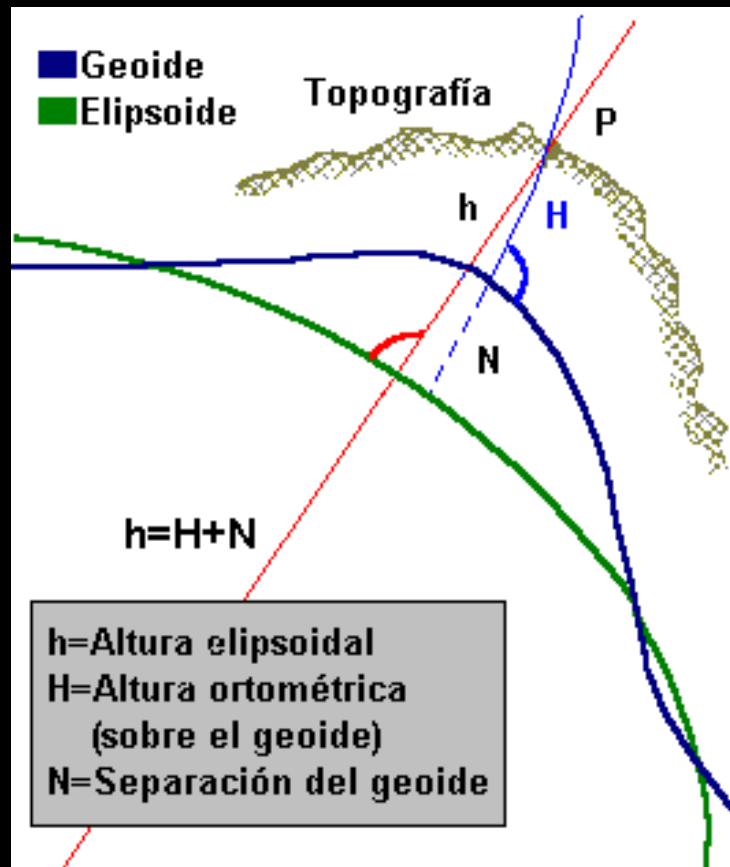
GOOD Geometry
GOOD GDOP
GOOD Position



POOR Geometry
POOR GDOP
POOR Position

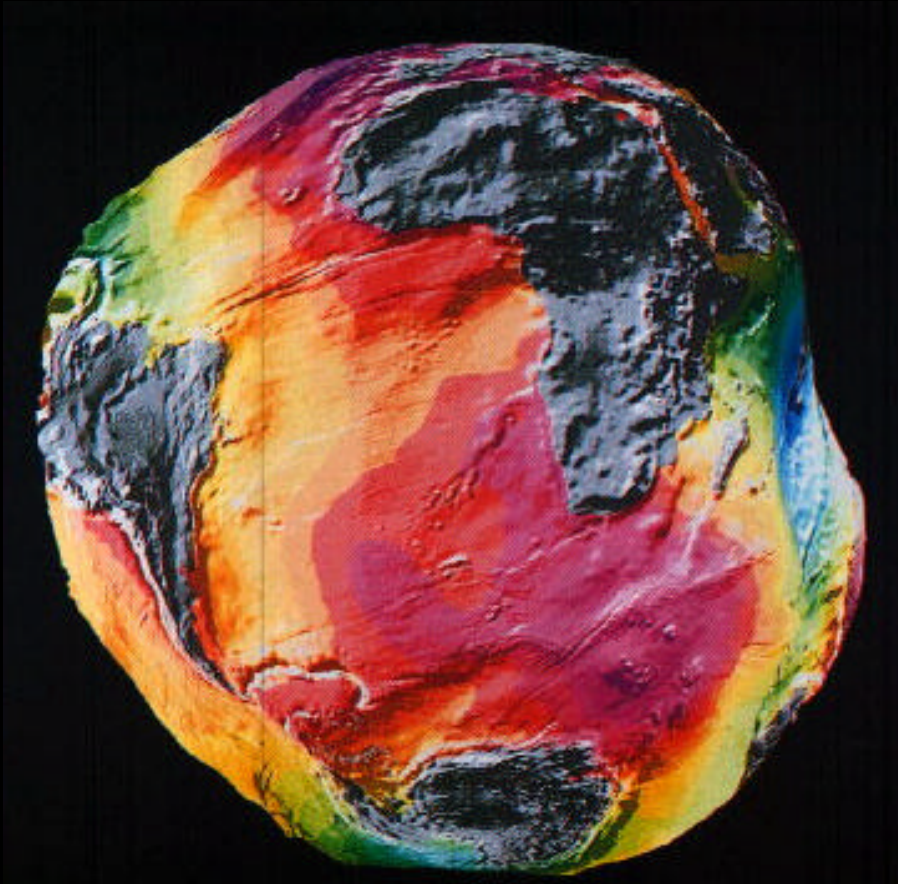


Altitud



- En Geodesia se utilizan generalmente dos superficies de referencia: el **GEOIDE** y el **ELIPSOIDE**.

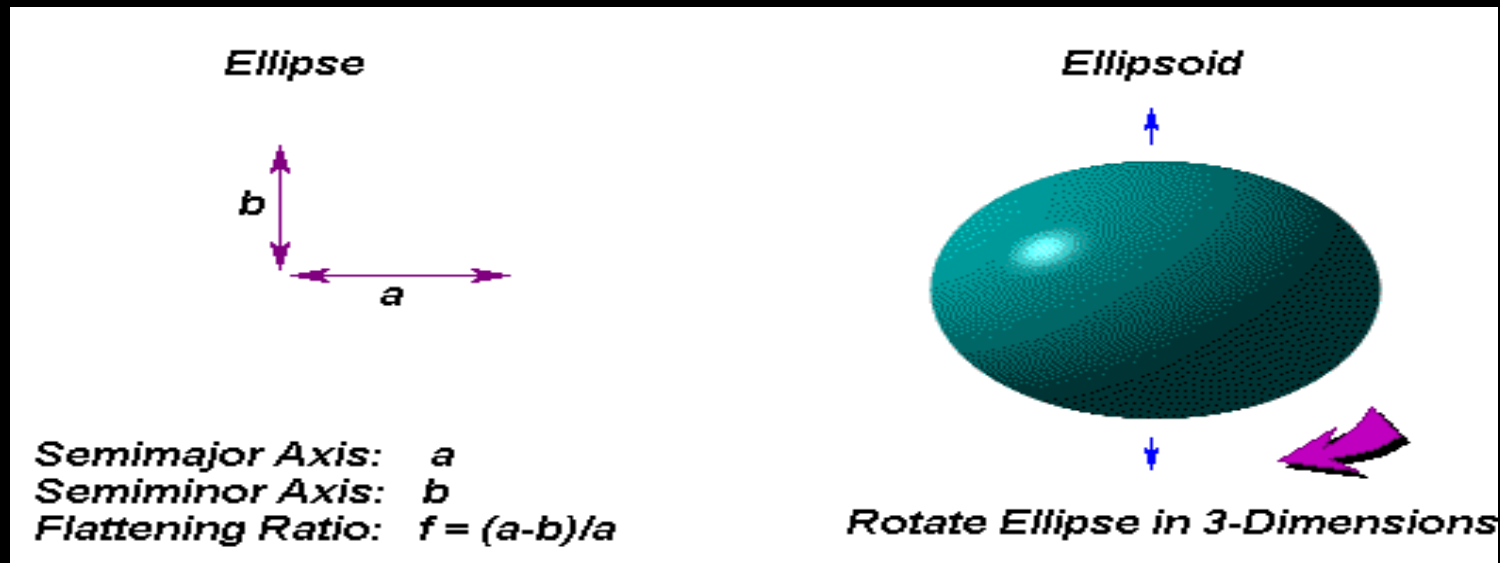
Geoide



El geoide es la superficie equipotencial del campo gravitacional que más se asemeja a los océanos.

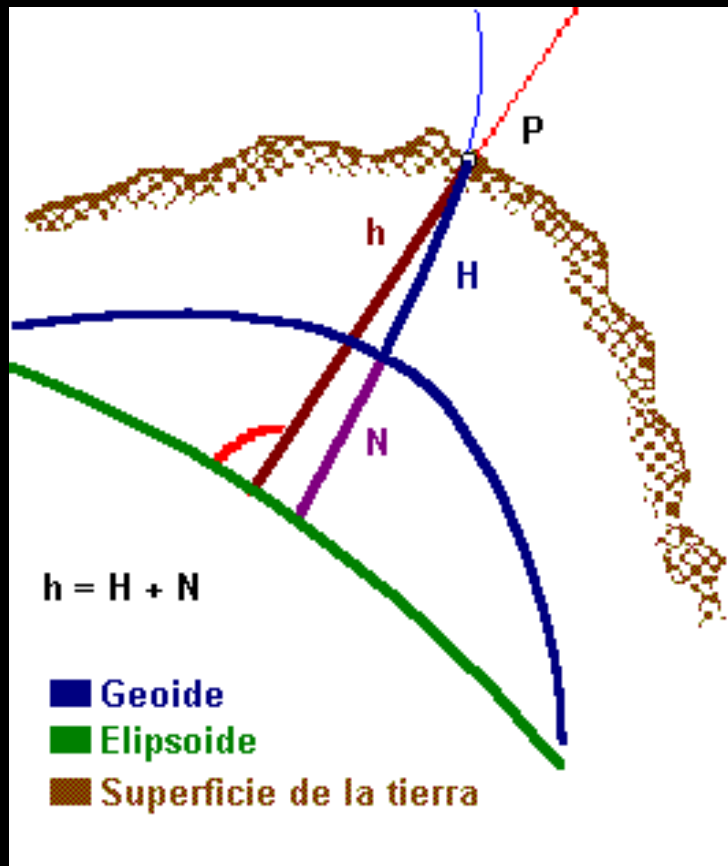
La altura del geoide sobre el elipsoide se llama separación geoidal.

Elipsoide



- El elipsoide está definido por sus semi ejes y su excentricidad.

DIFERENTES ALTURAS



- **Altura Elipsoidal**

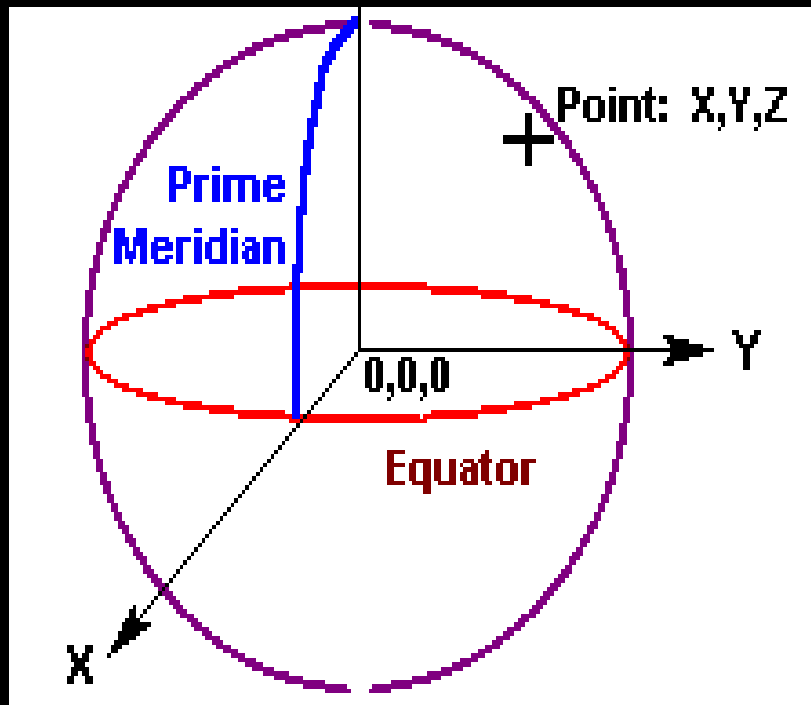
La altura sobre el elipsoide a lo largo de una perpendicular desde la superficie del elipsoide al punto P se llama altura elipsoidal de P.

- **Altura ortométrica.**

La altura sobre el Geoide medida a lo largo de la línea de plomada a través de P, se llama altura sobre el geoide o altura ortométrica.

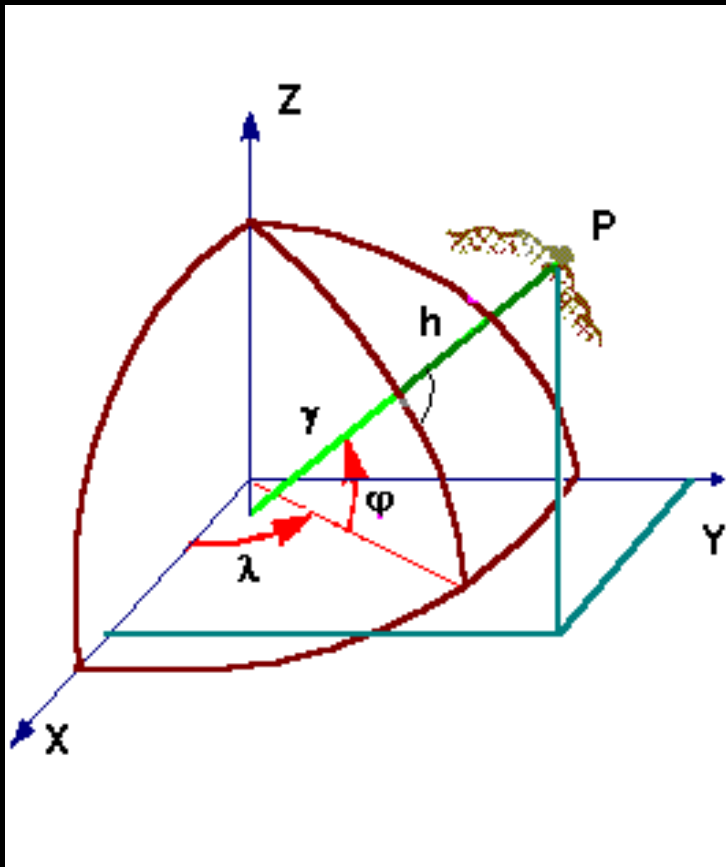
Esta altura también es conocida como altura sobre el nivel medio del mar.

COORDENADAS CARTESIANAS



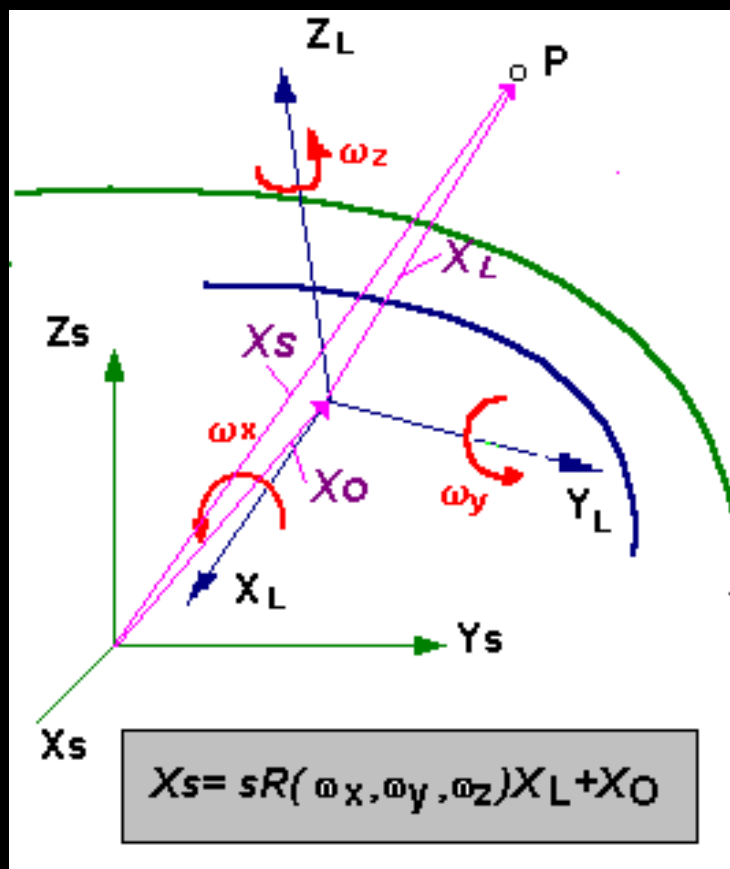
- **Un sistema de Coordenadas tridimensionales no es muy fácil de poder explicar, por eso se recurre a otros sistemas de Coordenadas.**

COORDENADAS ELIPSOIDALES



- El sistema más usado comúnmente consiste en ubicar un punto por su longitud, latitud y altura.

TRANSFORMACION DE COORDENADAS



- Las Coordenadas medidas con GPS. Están en el Datum de los satélites.
- Para poder comparar dichas coordenadas con mediciones anteriores es necesario hacer una transformación de Datum

TRANSFORMACION DE COORDENADAS

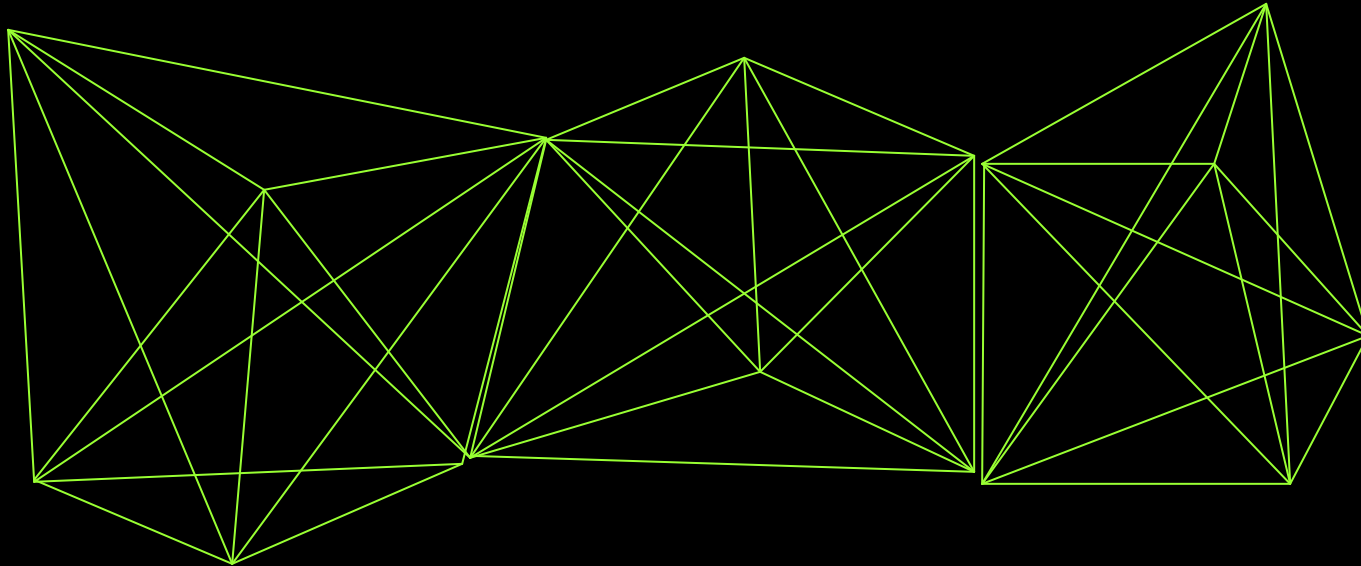
- **Para realizar esta transformación es necesario calcular:**

Origen del elipsoide local, respecto al origen del WGS-84 (tres traslaciones).

Las rotaciones para colocar paralelos los ejes de ambos elipsoides.

El factor de escala.

POSICIONAMIENTO ESTATICO



- **Método clásico de medición, el error medio cuadrático es de $3\text{mm} + 0.7 \text{ ppm}$.**
- **Las mediciones realizadas deberán estar de acuerdo al tipo de resultados que se desean obtener, para precisiones altas lo aconsejable es observar como mínimo 72 Hrs. Continuas**

POSICIONAMIENTO ESTATICO

- **El error medio cuadrático para redes de alta precisión es de $3\text{mm} + 0.01 \text{ ppm}$. El tiempo de observación debe ser 72 hrs. Las aplicaciones para este tipo de observaciones son:**

**Mediciones de control geodinámico,
geodesia de alta precisión.**

RED GEODESICA MUNDIAL

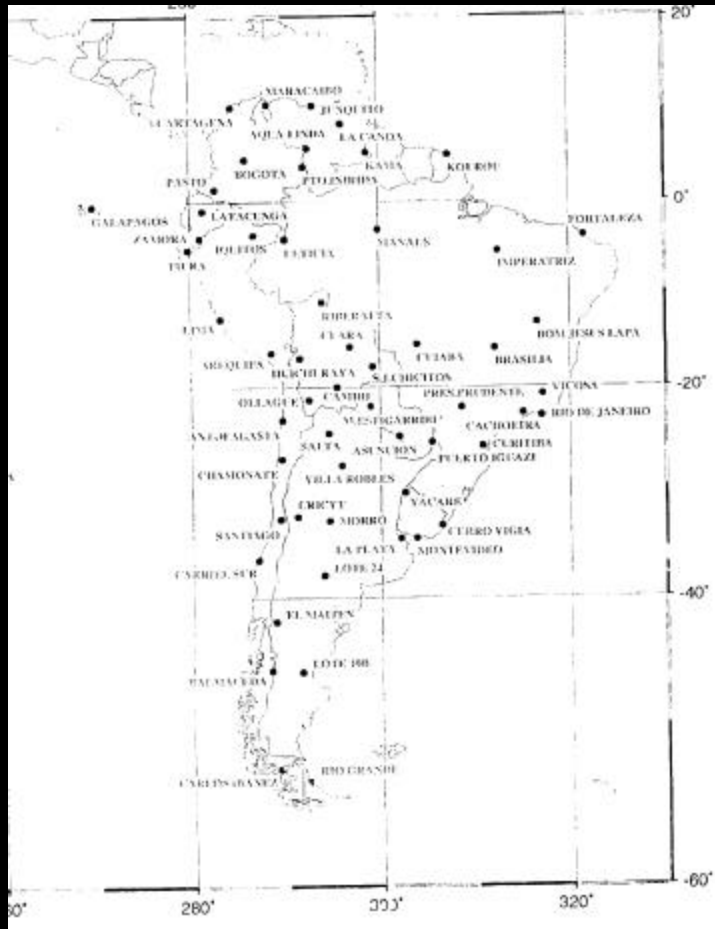
GPS TRACKING NETWORK International GPS Service for Geodynamics



REDES GEODESICAS NACIONALES

- **Las redes geodésicas de control horizontal anteriores al GPS. Tienen una precisión de 1:100.000**
- **Lo cual quiere decir que por cada 100.000 m. Existe 1 m. De error.**
- **La Red GPS. IGM. Esta clasificada dentro la clase “A”, 0.3mm + 0.1 ppm.**
- **1 m. De error en 10 000 000 m.**

SIRGAS



- Trabajo realizado por la totalidad de los países de Sud América.
- En la actualidad representa la red geodésica más precisa del mundo.
- Su error esta estimado en 2 cm. En forma absoluta.
- Red clase “AA” 2mm + 0.01ppm