

# SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL POR SATELITES GPS

## MODULO INTRODUCTORIO

Leonardo Casanova M.

# ORIGENES DEL GPS

**La navegación se define como la ciencia que ayuda a un vehículo o persona a desplazarse de un lugar a otro.**

**Para navegar es necesario calcular:**

- **Posición**
- **Distancia al destino**
- **Orientación**
- **Tiempo de viaje**

# SISTEMAS DE NAVEGACION

A través de los años, se han desarrollado diferentes sistemas de ayuda a la navegación; orientación astronómica, brújula, sextante, radio navegación etc., destacándose entre ellos los sistemas de radio navegación.

El sistema de radio navegación se caracteriza por los siguientes aspectos:

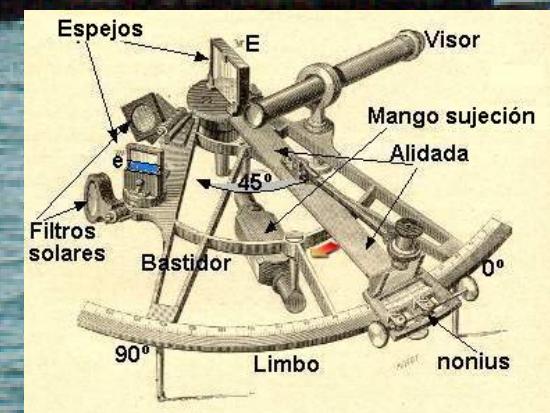
- Utiliza señales radio eléctricas
- Es el usuario o receptor el que procesa estas señales, fija su posición y calcula velocidad y tiempo.



Leonardo Casanova M.



USOS DEL GPS MODULO INTRODUCTORIO



# SISTEMAS DE RADIO NAVEGACION

Los sistemas de **RADIO NAVEGACIÓN TERRESTRE** emiten sus señales desde la tierra. Inicialmente, estos sistemas permitían fijar la posición después de analizar durante 10 o 15 minutos las señales recibidas.

Estos sistemas resultaron de gran utilidad sólo a la navegación marina caracterizada por la baja velocidad de navegación, pero en el caso de la navegación aérea, donde las velocidades de navegación son altas, el largo período de procesamiento de datos la hace inaplicable.

# EL SISTEMA GPS

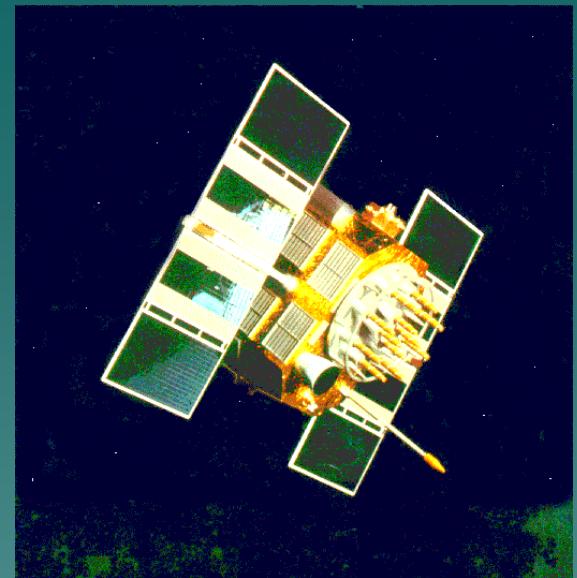
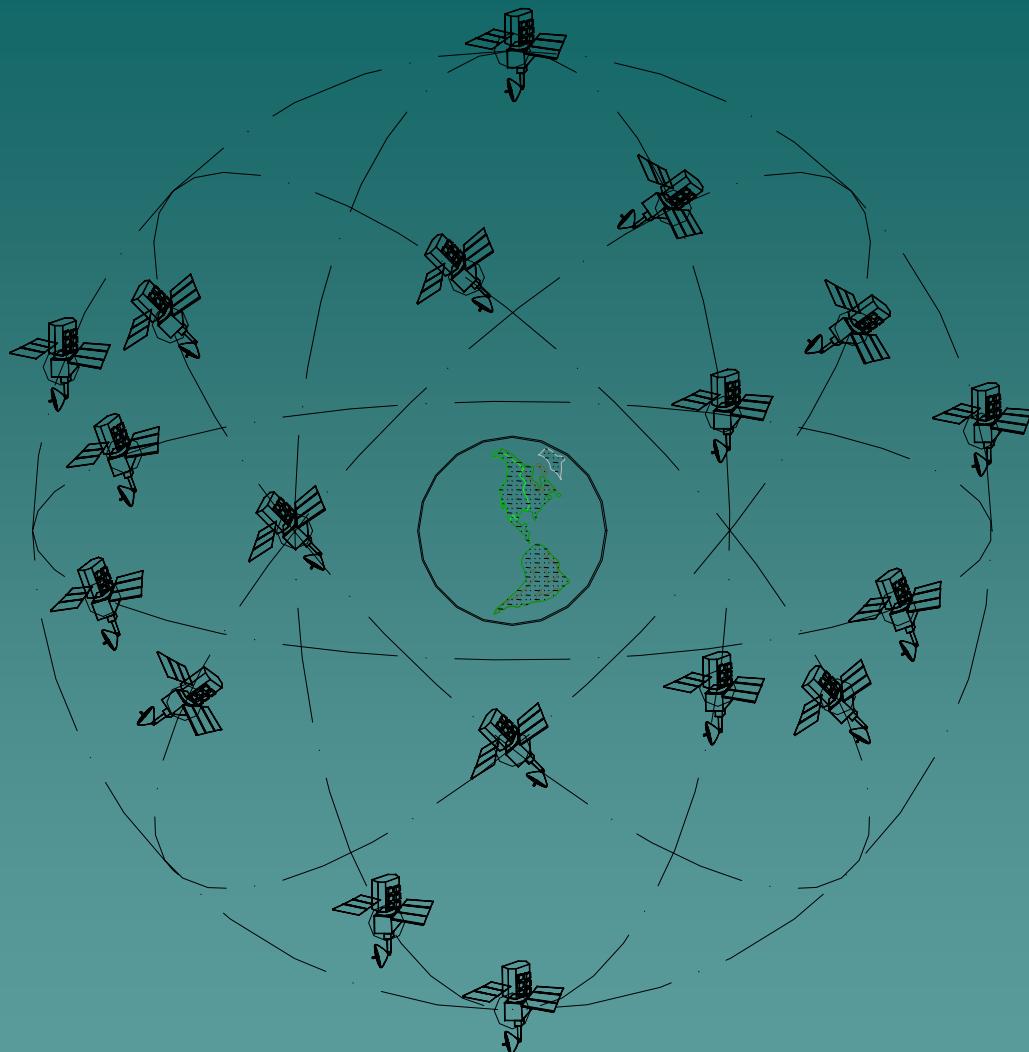
El sistema de navegación GPS es un sistema de radionavegación basado en la emisión de señales desde una constelación artificial de 24 satélites orbitando alrededor de la tierra. Esta constelación recibe el nombre de NAVSTAR (***Navigation Satellite Timing and Ranging***)

El sistema GPS fue desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, con fines puramente militares.

El sistema consta de 24 satélites artificiales (21 regulares más 3 de respaldo) y sus respectivas estaciones en tierra y se encuentra completamente operativo desde el año 1995.

El sistema GPS permite el acceso al público, en una versión degradada, de menor precisión, de las señales emitidas por los satélites.

# EL SISTEMA NAVSTAR



inicios  
puramente  
militares en el  
año 1978

# PARAMETROS EN EL GPS

El sistema GPS calcula con gran precisión y en tiempo real los siguientes parámetros:

- ◆ Posición 3D. (Coordenadas X,Y,Z)
- ◆ Tiempo. Los satélites emiten información temporal en UTC (Universal Time Coordinated)
- ◆ Velocidad del móvil.

# CARACTERISTICAS

- ◆ Es un sistema global diseñado de modo que en cualquier instante y en cualquier lugar del planeta existan en línea de vista al menos 4 satélites.
- ◆ El cálculo de PVT es casi instantáneo permitiendo su aplicación a cualquier tipo de vehículos independiente de la velocidad de los mismos.

# SERVICIOS DE POSICIONAMIENTO EN EL GPS

El sistema GPS ofrece dos sistemas de posicionamiento:

- Estándar, conocido como ***Standard Positioning Service "SPS"***.
- De precisión, conocido como ***Precise Positioning Service "PPS"***

# *Standard Positioning Service*

El servicio SPS utiliza las señales degradadas del GPS con las siguientes características:

- Disponible para cualquier usuario en cualquier parte del mundo
- No tiene restricciones ni límite de uso.
- Ofrece una precisión de 100 m en el plano horizontal y 156 m en altura.
- Permite fijar el tiempo con un error de 340 nseg.

# *Precise Positioning Service*

El servicio PPS ofrece las siguientes características:

- Precisión de 10 m en el plano horizontal y 14 m en el vertical.
- Ofrece información temporal en UTC con una precisión de 100 nseg, referenciada al observatorio de la marina americana UTC (USNO).
- La velocidad puede calcularse con un error de 0.1 m/seg.
- Los usuarios principales del PPS son militares, agencias del gobierno americano, y civiles autorizados.

# PROTECCION DE LAS SEÑALES

El acceso al PPS está controlado mediante dos sistemas criptográficos con el objetivo de ocultar y degradar las señales del GPS.

- El sistema ***“Antispoofing”*** o AS, el cual limita el acceso a las señales a través de criptografía, con el objeto de impedir que un adversario pueda generar o emitir una señal GPS que confunda al receptor.
- El sistema ***“Selective Availability”*** o SA, que modifica o degrada el reloj del satélite, produciendo desviaciones en las marcas temporales (disminuyendo la precisión por inestabilidad de la base de tiempos).

El servicio SPS utiliza las señales degradadas del GPS

# OTROS SERVICIOS GPS

Además del NAVSTAR, existe el sistema Ruso de navegación GLONASS o ***"GLObal Navigation Satelite System"***, que ofrece de forma separada servicios civiles y militares, y sus señales no están encriptadas.

La precisión de las medidas en GLONASS es mayor que en el SPS.

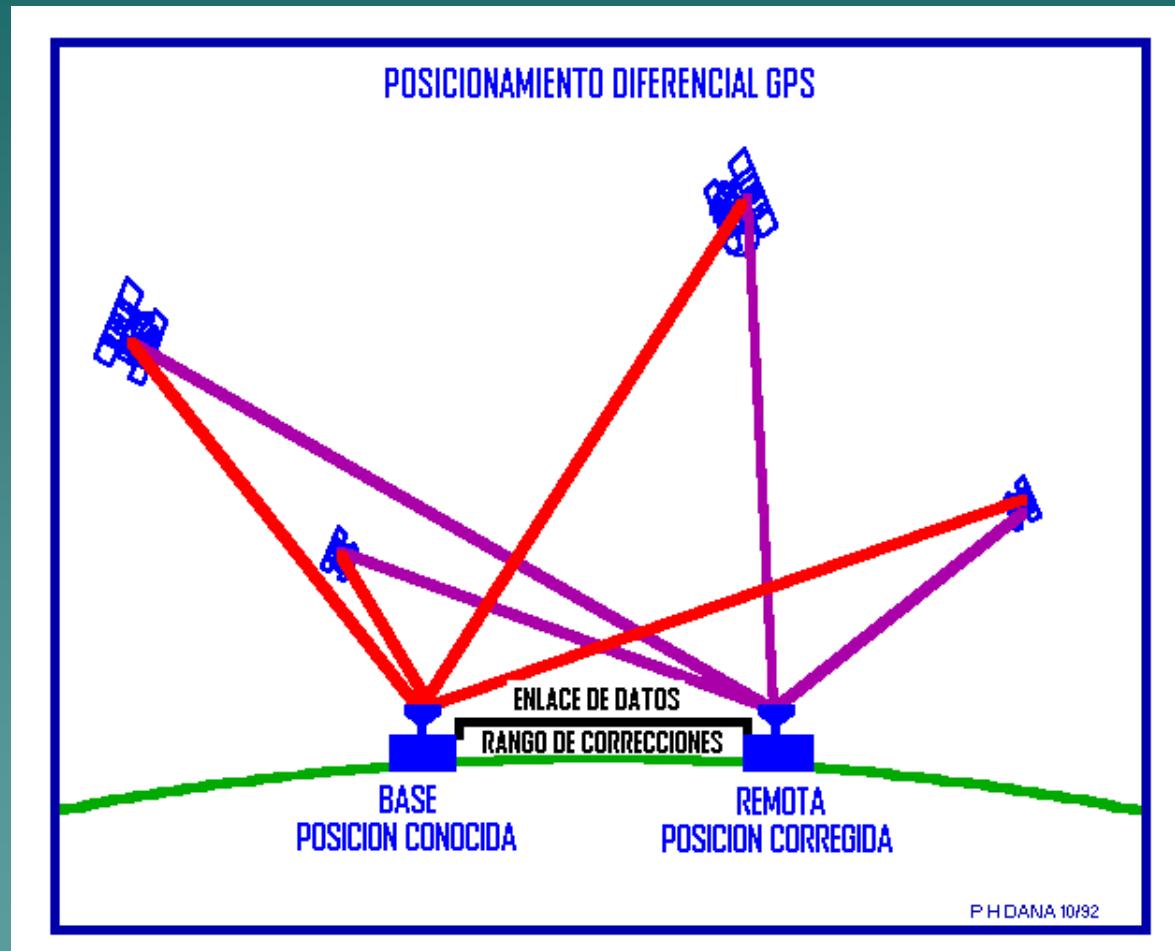
# GPS DIFERENCIAL

El sistema de navegación GPS ha ido evolucionando con el tiempo, y se han implementado aplicaciones a diferentes áreas que incluso requieren de mayores precisiones.

Algunas de las áreas que requieren de mayor precisión son en la Ingeniería Civil, Geología, Minería, Navegación aérea, etc.

Debido a estos requerimientos, se ha implementado la técnica de GPS Diferencial o dGPS, que reducen sustancialmente el error basado en la idea de que es posible reducir el error si se utilizan o correlacionan las distintas medidas de dos o más receptores GPS a los mismos satélites.

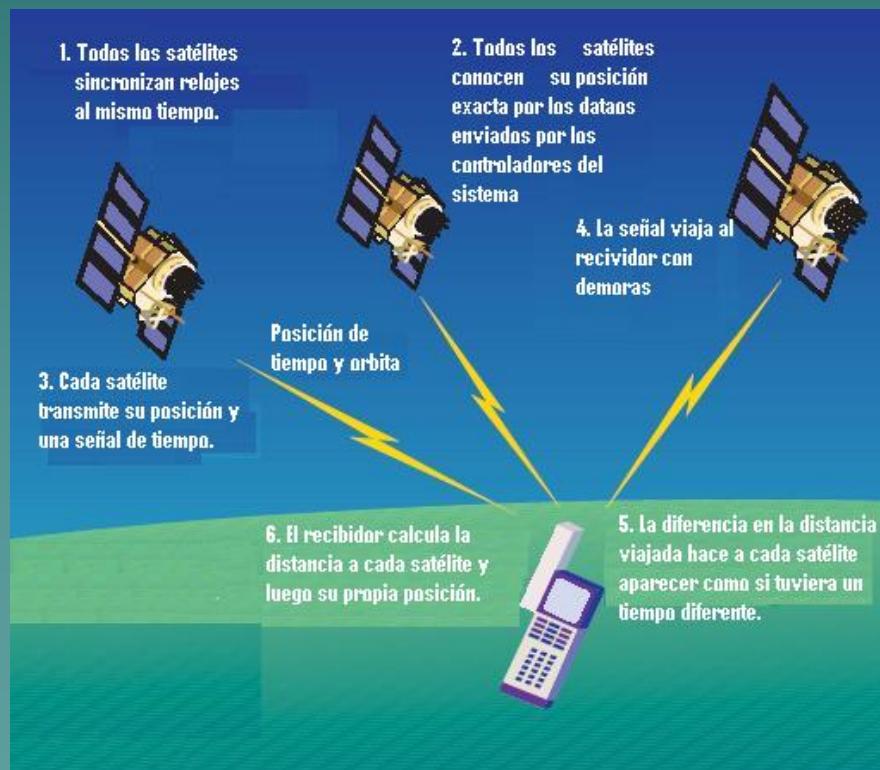
# DIFERENCIAL GPS



# FUNDAMENTOS DEL GPS

El sistema de posicionamiento global por satélite o G.P.S., se basa en la medición de distancias a partir de señales de radio transmitidas por un grupo de satélites artificiales cuya órbita se conoce con precisión y captadas y decodificadas por receptores ubicados en los puntos cuya posición se desea determinar.

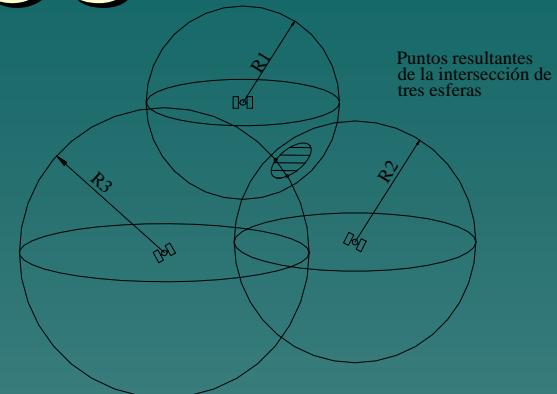
Si medimos las distancias de al menos tres diferentes satélites a un punto sobre la tierra, es posible determinar la posición de dicho punto por trilateración.



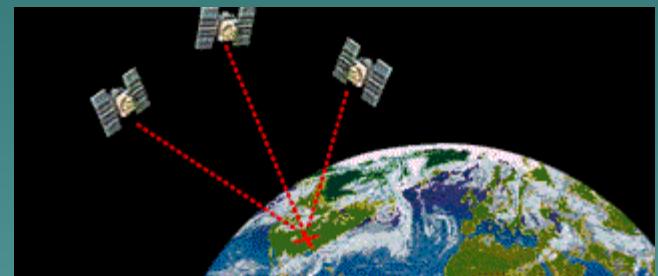
**GPS BLOCK II**  
Serie de 24 satélites puestos en órbita desde 1989 hasta 1994

# FUNDAMENTOS

- ✓ Trilateración Satelital



- ✓ Medición de distancias desde los satélites



- ✓ Medición precisa del tiempo (relojes atómicos)

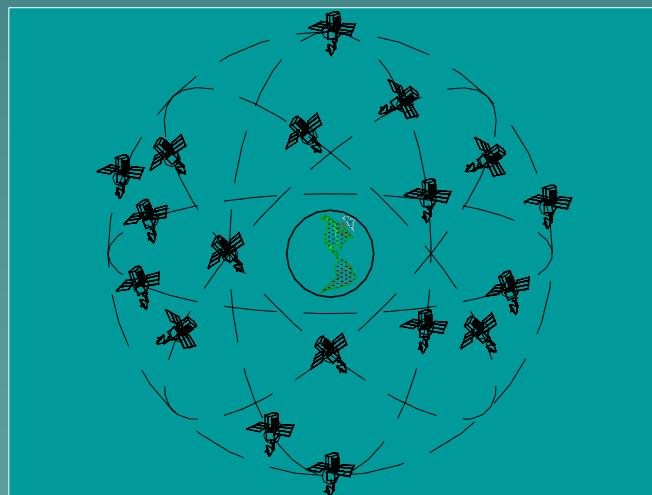
- ✓ Conocimiento preciso de la órbita de los satélites (efemérides)

- ✓ Corrección de errores en la propagación de la onda

- Errores propios del satélite
- Errores por el medio de propagación
- Errores en la recepción

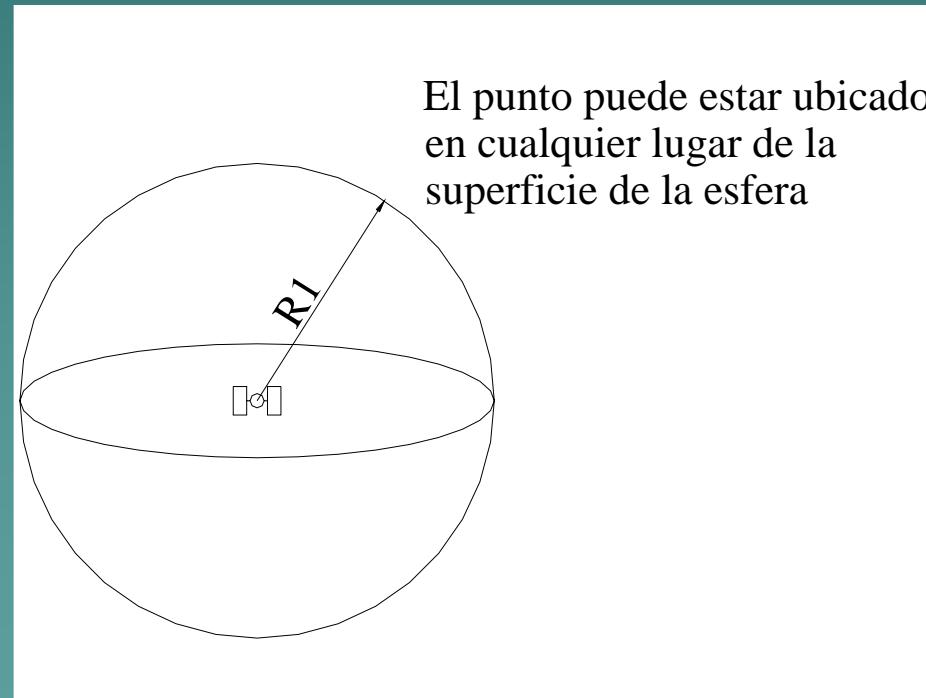
# TRILATERACION SATELITAL

Los satélites del sistema de posicionamiento global se encuentran girando alrededor de la Tierra en órbitas predefinidas a una altura aproximada de 20.200 kilómetros, siendo posible conocer con exactitud la ubicación de un satélite en un instante de tiempo dado, convirtiéndose por lo tanto los satélites en puntos de referencia en el espacio (ver figura)



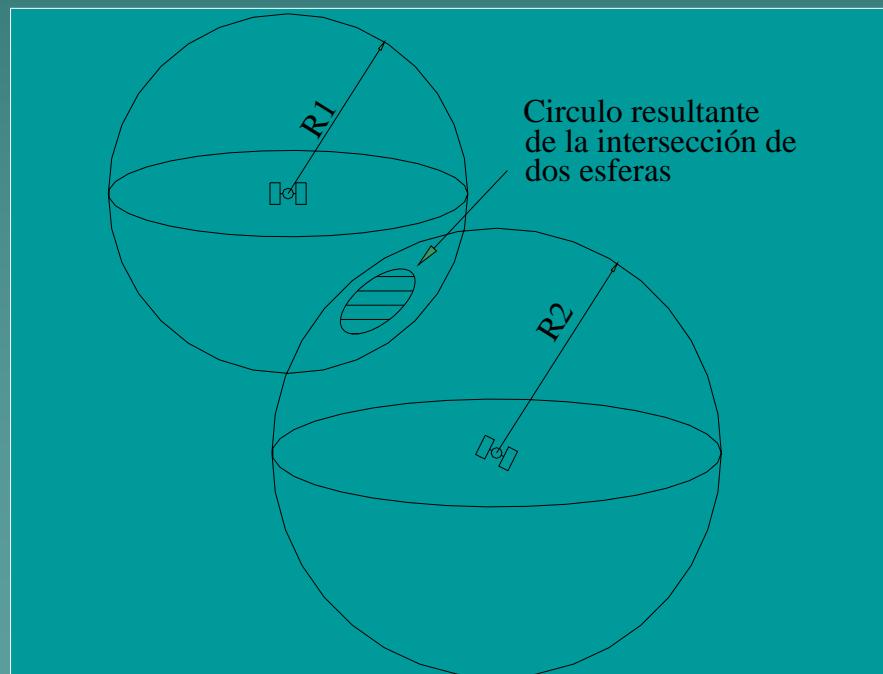
# TRILATERACION SATELITAL

Supongamos que un receptor en la Tierra capta la señal de un primer satélite determinando la distancia entre ambos. Esto solamente nos indica que el receptor puede estar ubicado en un punto cualquiera dentro de la superficie de una esfera de radio  $R_1$  tal y como se muestra en la siguiente figura



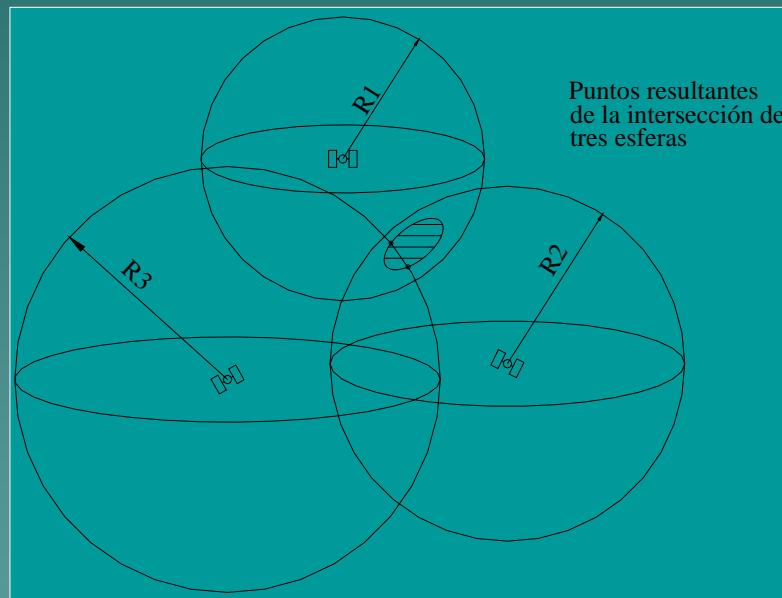
# TRILATERACION SATELITAL

Si medimos la distancia de un segundo satélite al mismo receptor se generará una superficie esférica de radio  $R_2$ , que al intersecarse con la primera esfera se formará un círculo en cuyo perímetro pudiera estar ubicado el punto a medir. (ver figura )



# TRILATERACION SATELITAL

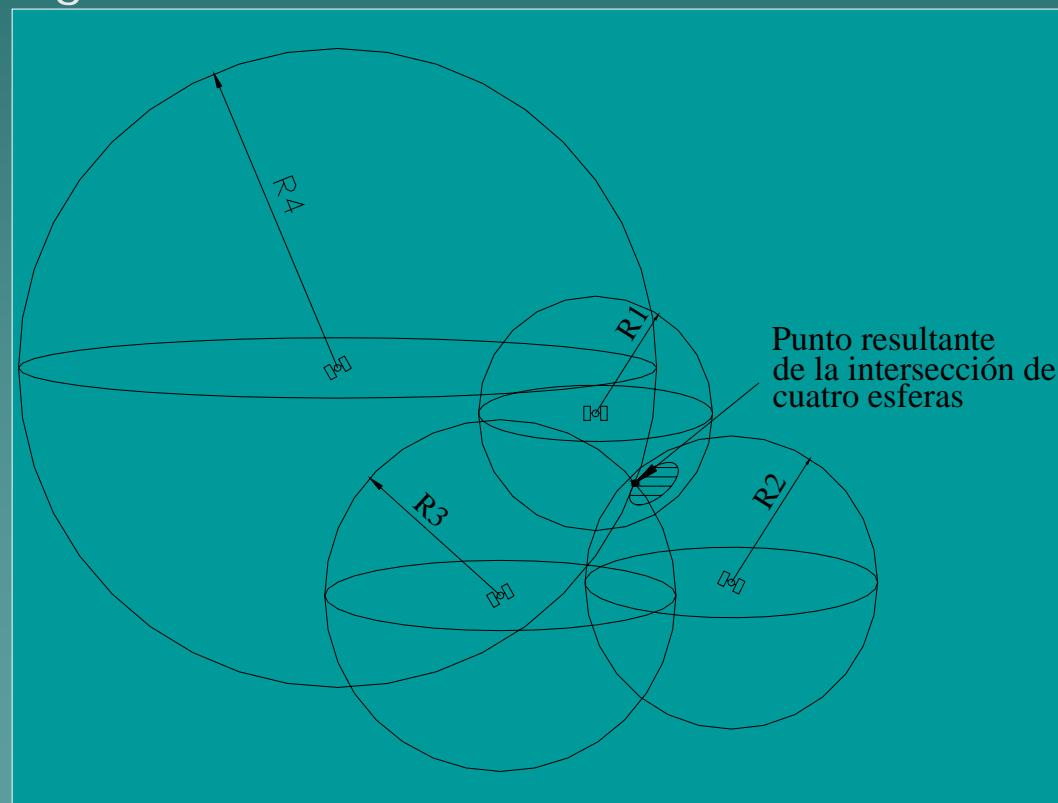
Si agregamos una tercera medición, la intersección de la nueva esfera con las dos anteriores se reduce a dos puntos sobre el perímetro del círculo descrito tal y como se muestra en la siguiente figura.



Uno de estos dos puntos puede ser descartado por ser una respuesta incorrecta, bien sea por estar fuera de espacio o por moverse a una velocidad muy elevada.

# TRILATERACION SATELITAL

Matemáticamente es necesario determinar una cuarta medición a un diferente satélite a fin de poder calcular las cuatro incógnitas  $x$ ,  $y$ ,  $z$  y tiempo ver figura.



# MEDICIÓN DE DISTANCIAS DESDE LOS SATÉLITES

La distancia de un satélite a un receptor se calcula midiendo el tiempo de viaje de la señal de radio desde el satélite al receptor. Conociendo la velocidad de la señal de radio, la distancia se determina por medio de la ecuación de movimiento con velocidad uniforme.

$$D = v \cdot t$$

Siendo:

$D$  = distancia en kilómetros desde el satélite al punto considerado

$v$  = velocidad de la señal de radio, aproximadamente la velocidad de la luz.  $v \approx 300.000 \text{ km/s}$

$t$  = tiempo de viaje de la señal en segundos

# Medición precisa del tiempo

La medición del tiempo de viaje es una actividad difícil de realizar. Debido a la gran velocidad de las señales de radio y a las distancias, relativamente cortas, a la cual se encuentran los satélites de la Tierra, los tiempos de viaje son extremadamente cortos.

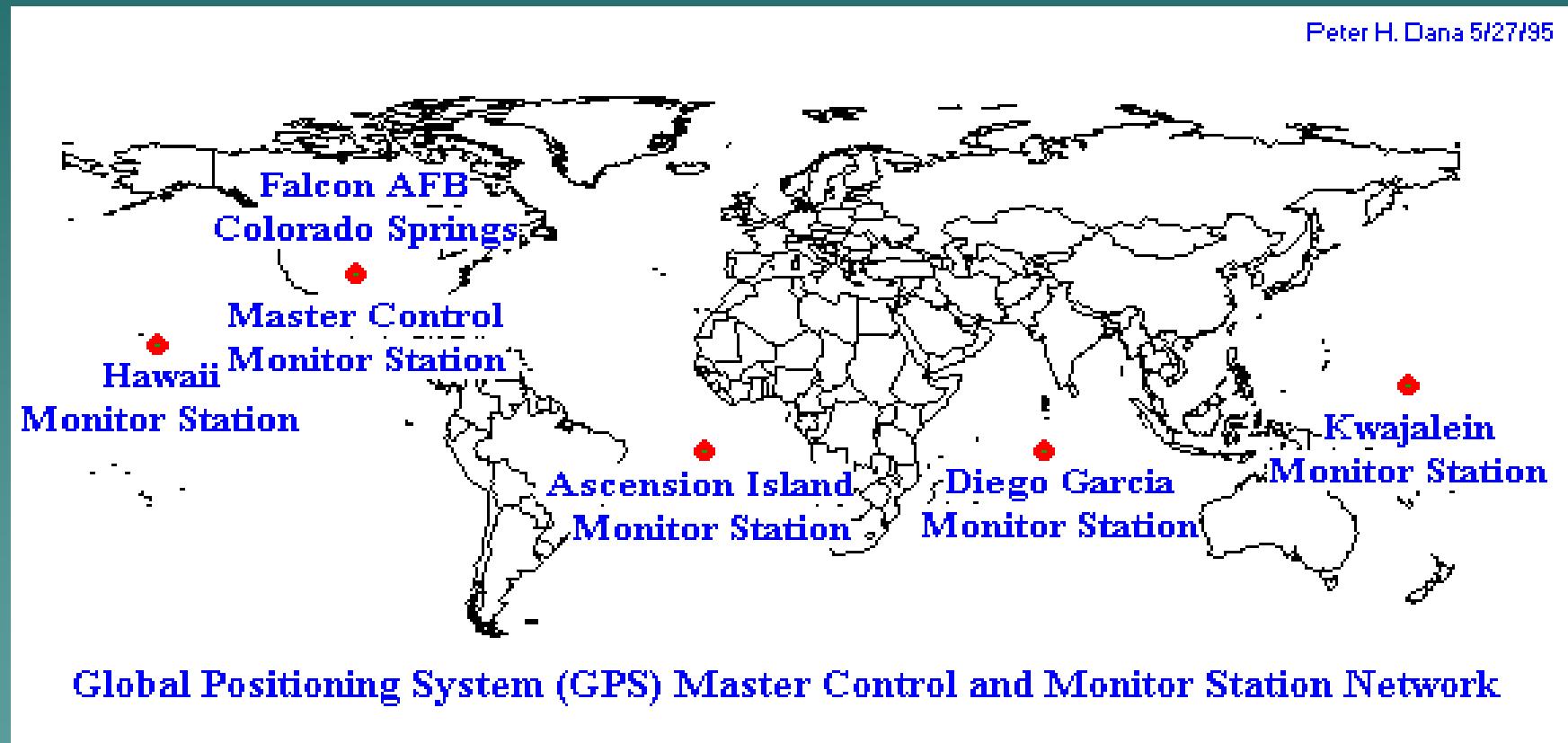
El tiempo promedio que una señal tarda en viajar de un satélite orbitando a 20.200 kilómetros a la Tierra es de 0,067 segundos. Este hecho hace necesario la utilización de relojes muy precisos.

Los satélites portan relojes atómicos con precisiones de un nanosegundo, pero colocar este tipo de relojes en los receptores sería muy costoso. Para solucionar este problema los receptores corrigen los errores en la medición del tiempo mediante una medición a un cuarto satélite.

# Conocimiento preciso de la órbita de los satélites (efemérides)

- ◆ 24 satélites operacionales en el sistema NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging) orbitando la Tierra cada 12 horas a una altura de 20.200 kilómetros.
- ◆ Existen seis diferentes órbitas inclinadas aproximadamente 55° con respecto al Ecuador.
- ◆ Alrededor de cada uno de estos planos giran cuatro satélites que son monitoreados constantemente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.
- ◆ En Tierra existen:
  - >5 estaciones de seguimiento y control:
  - >3 estaciones para la alimentación de datos
  - >1 estación de control maestro. La estación de control maestro calcula, con los datos de las estaciones de seguimiento, la posición de los satélites en las órbitas (**efemérides**), los coeficientes para las correcciones de los tiempos y transmiten esta información a los satélites.

# ESTACIONES DE CONTROL MAESTRAS Y DE MONITOREO



# CORRECCIÓN DE ERRORES EN LA PROPAGACIÓN DE LA ONDA

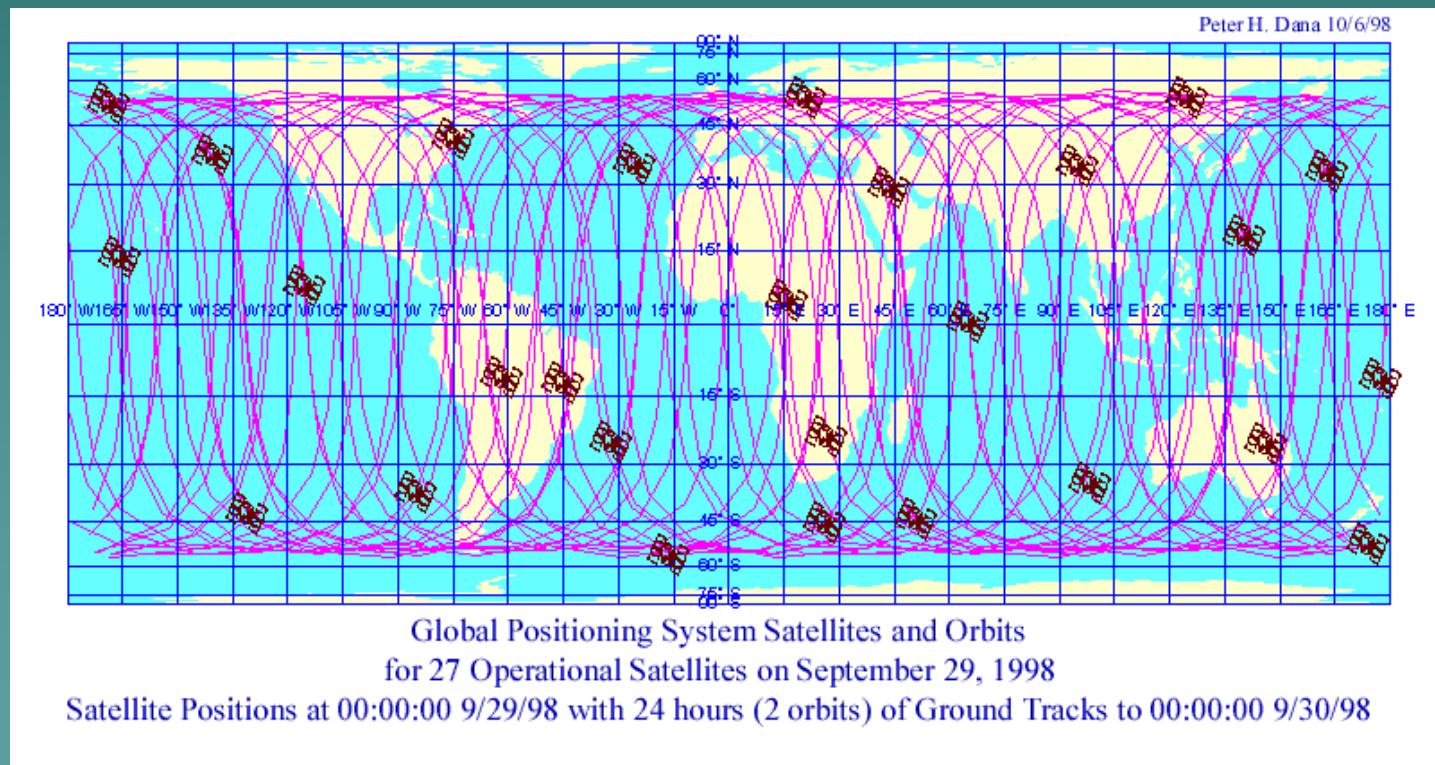
- Errores propios del satélite
- Errores por el medio de propagación
- Errores en la recepción

# ERRORES PROPIOS DEL SATELITE

- ◆ Errores orbitales (o de efemérides)
- ◆ Errores del reloj
- ◆ Errores de configuración geométrica

# Errores orbitales (o de efemérides)

Que afectan la determinación de la posición del satélite en un instante determinado con respecto a un sistema de referencia dado. Estos errores se originan debido a que no se conocen con la exactitud necesaria las órbitas de los satélites.



# ERRORES DEL RELOJ

Aunque sumamente precisos, los relojes atómicos pueden presentar variaciones debido a la deriva propia del instrumento y a la acción de los efectos relativísticos que originan un diferencial del tiempo entre el sistema del satélite y del sistema del G.P.S. Este diferencial de tiempo no es constante para todos los satélites, sin embargo, estos errores, de muy poca magnitud, son ajustados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.



# ERRORES DE CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA

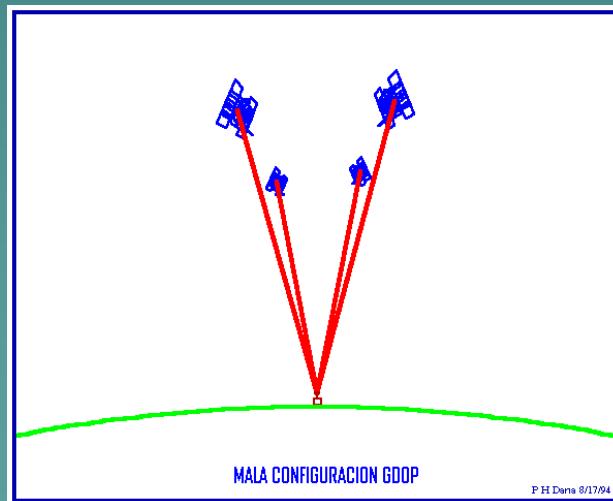
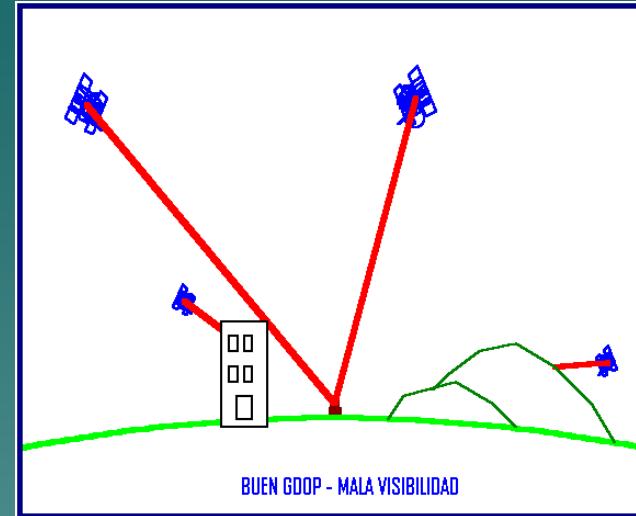
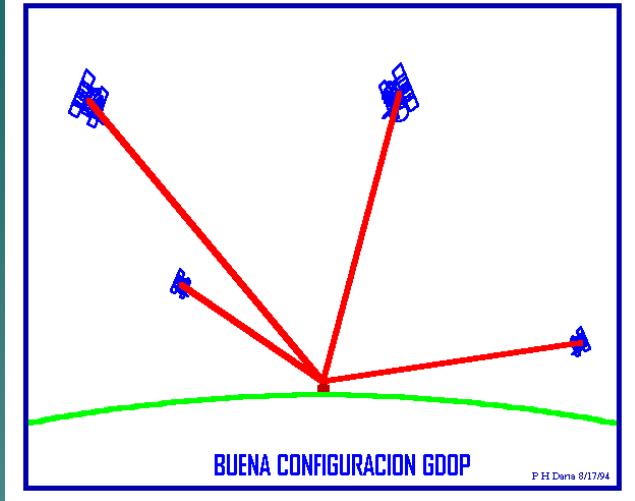
El efecto de la geometría en la ubicación de los satélites utilizados en la determinación de un posicionamiento queda expresado por los parámetros de la dilación de precisión geométrica (DPG).

Los parámetros de la DPG resultan en una medida compuesta que refleja la influencia de la geometría de los satélites sobre la precisión combinada de las estimaciones del tiempo y posición de la estación.

Los cuatro parámetros de la dilación de precisión geométrica son:

- >PDOP: dilación de precisión para la posición
- >HDOP: dilación de precisión horizontal
- >VDOP: dilación de precisión vertical
- >TDOP: dilación de precisión del tiempo

# CONFIGURACIONES GDOP



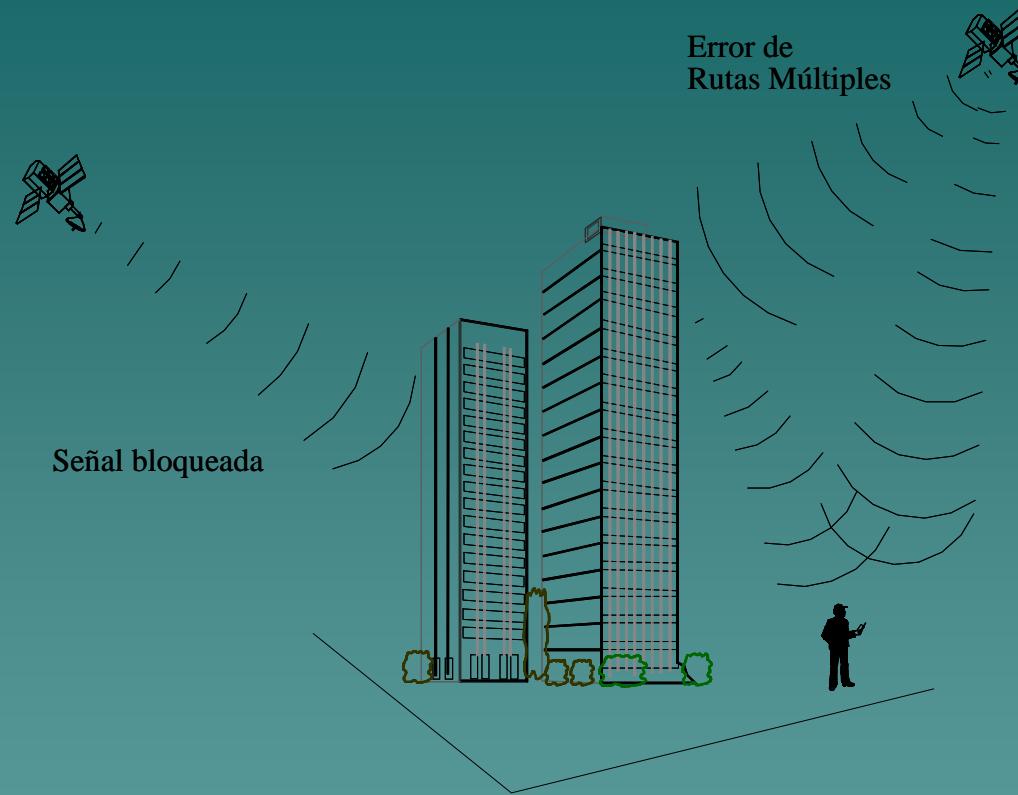
USOS DEL GPS MODULO  
INTRODUCTORIO

# ERRORES ORIGINADOS POR EL MEDIO DE PROPAGACION

- ◆ El error por ruta múltiple (multipath).
- ◆ Refracciones ionosféricas
- ◆ Refracciones troposféricas

(Reducen la velocidad de la señal. Actualmente los receptores de G.P.S. toman en cuenta estas demoras haciendo las correcciones pertinentes.)

# ERROR DE MULTI PATH (RUTAS MÚLTIPLES)

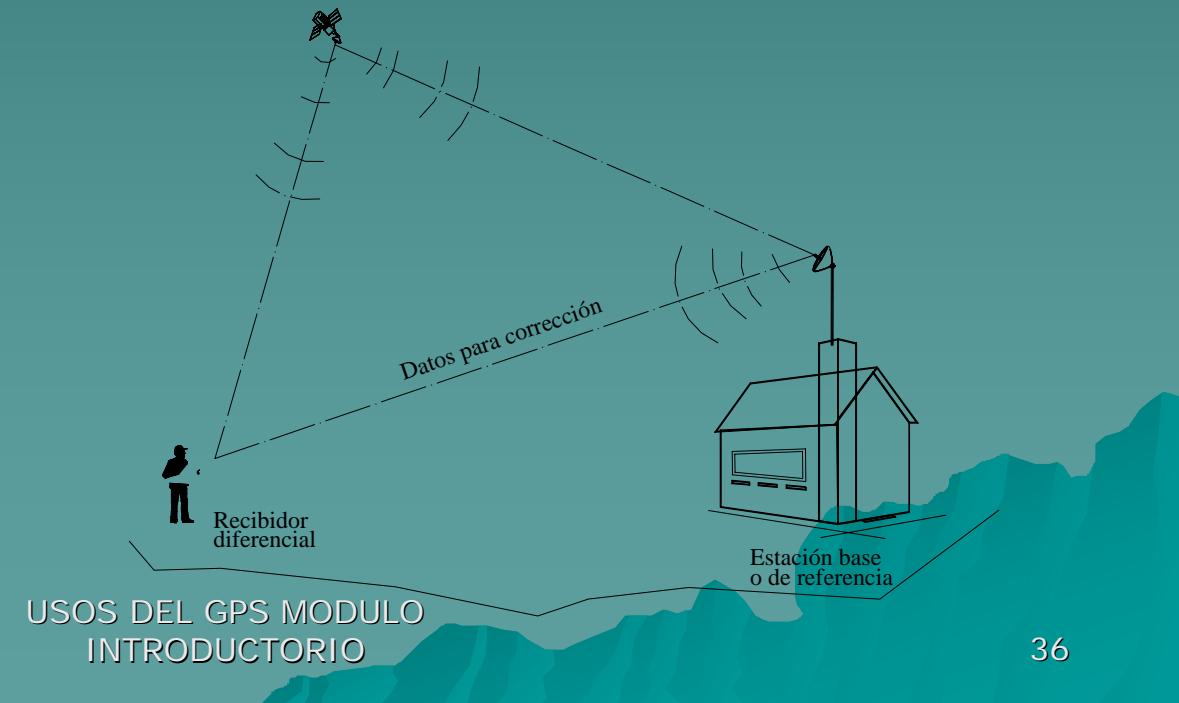


- Refracción de la onda al penetrar diferentes capas con diferentes densidades (error corregido por los receptores).
- Error por ruta múltiple (antenas de filtrado de señales).

# ERRORES EN LA RECEPCION

- El ruido
- Centro de fase de la antena
- Errores del reloj oscilador
- Error de disponibilidad selectiva

(Corrección diferencial)



# ERROR DE DISPONIBILIDAD SELECTIVA

El error de disponibilidad selectiva (S/A), es una degradación de la señal del satélite causada en forma intencional por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

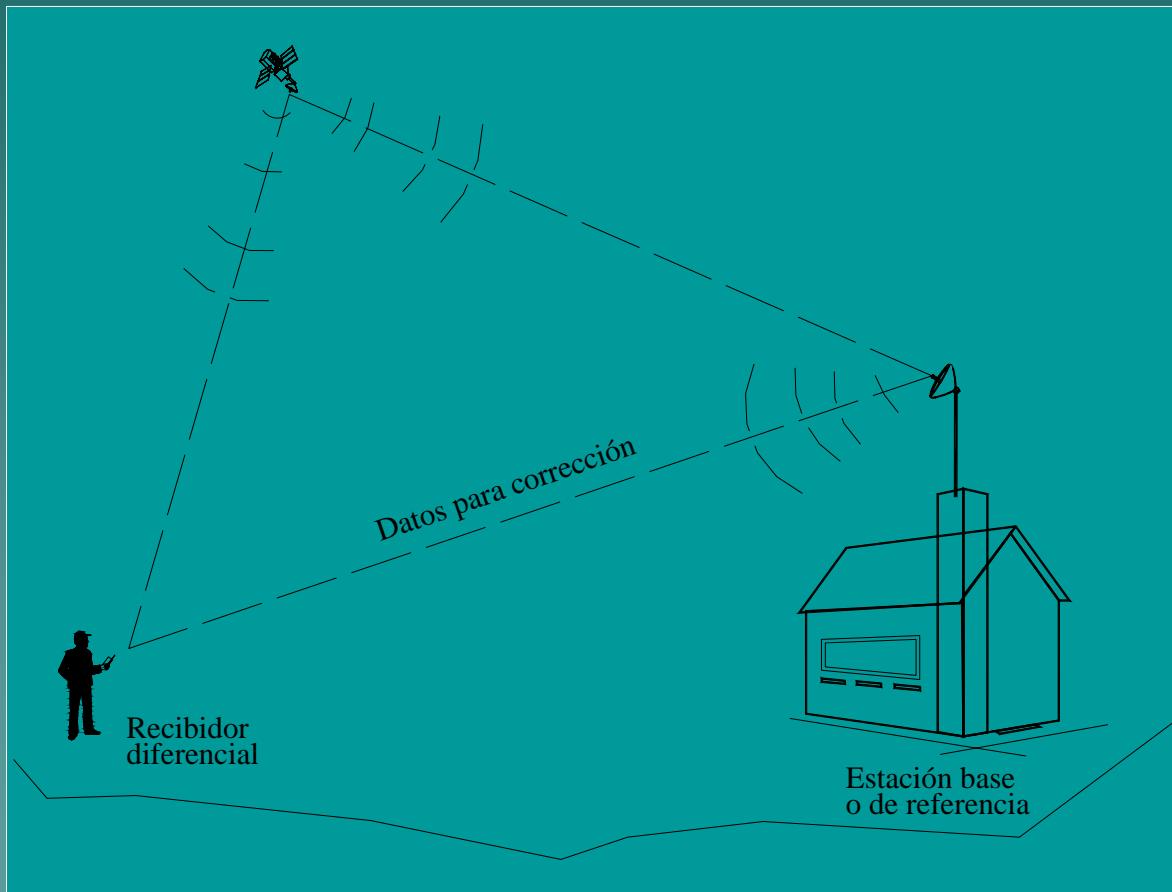
El error de disponibilidad selectiva se corrige mediante la técnica de la ***CORRECCIÓN DIFERENCIAL***, en la cual se usa un receptor en una estación base cuya posición sea conocida con precisión y un receptor en el punto que se desea ubicar, recolectando datos simultáneamente. Tal y como se muestra en la siguiente figura.

# GPS DIFERENCIAL

Aprovechando la propiedad de que dos receptores situados lo suficientemente cerca, recibirán los mismos errores sistemáticos, el error de posicionamiento puede reducirse de la siguiente forma:

- Un receptor GPS se sitúa en una localización estática, cuya precisión se conoce con absoluta precisión. A este receptor le llama ***estación base o de referencia***.
- En todo momento, la estación de referencia calcula su posición a partir de GPS, por lo que se encuentra en condiciones de evaluar las condiciones necesarias.
- Las medidas de los demás receptores GPS se modifican con las correcciones efectuadas por la estación de referencia.

# CORRECCIÓN DIFERENCIAL

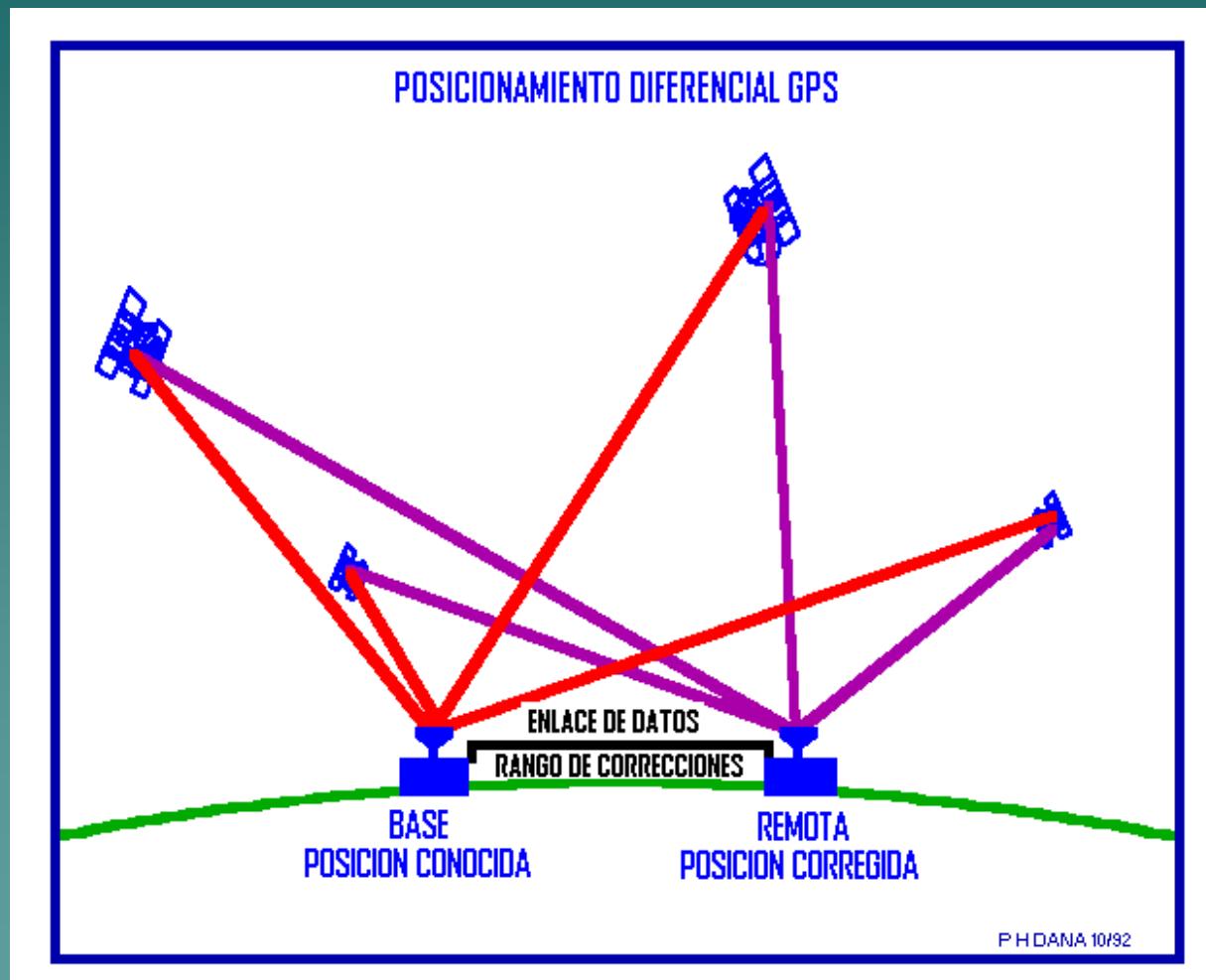


# CORRECION DIFERENCIAL

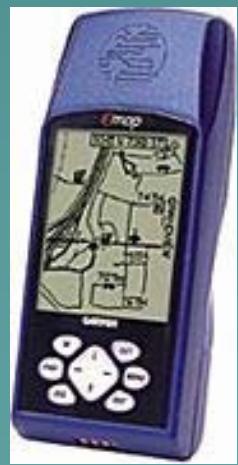
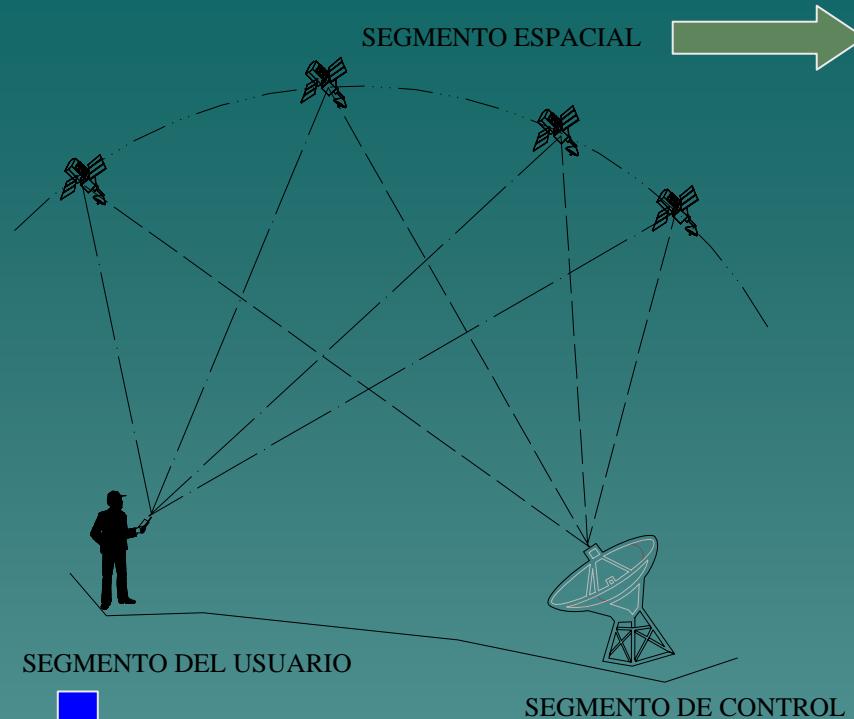
La corrección de las medidas efectuadas por los receptores GPS puede hacerse de dos formas:

- Modo ***post-procesado***. Los resultados son almacenados por los receptores, y posteriormente se corrigen en computadora mediante la aplicación de un software especializado.
- En ***tiempo real***. Las correcciones son enviadas en todo momento a los receptores, que las aplican a todas sus mediciones.

# CORRECCION DIFERENCIAL



# COMPONENTES DEL SISTEMA GPS



R  
E  
C  
E  
P  
T  
O  
R

- Antena con preamplificador .
- Sección de radio frecuencia o canal.
- Micro procesador para reducción, almacenamiento y procesamiento de datos.
- Oscilador de precisión para la generación de los códigos pseudoaleatorios utilizados en la medición del tiempo de viaje de la señal.
- Fuente de energía eléctrica.
- Interfases del usuario (pantalla, teclado de comandos).
- Memoria de almacenamiento.

- 24 Satélites
- 2 Señales de radio L1 con frec. 1.575,43 MHz y L2 con frecuencia de 1.227,6 MHz. L1 con PRN > PPS
- Transmisión de información por bloques (5 en total)

**Bloque 1:** Parámetros para corrección del tiempo y refracción ionosférica.

**Bloques 2 y 3:** Información orbital precisa para el cálculo del esfemérides.

**Bloques 4 y 5:** información orbital aproximada de todos los satélites del sistema en operación, tiempo universal coordinado, información ionosférica e información especial.

# PRECISIONES CON GPS

En general la exactitud (Relativa o Absoluta), obtenida en mediciones con G.P.S. depende de los siguientes factores

- ◆ Equipo receptor
- ◆ Planificación y procedimiento de recolección de datos
- ◆ Tiempo de la medición
- ◆ Programas utilizados en el procesamiento de datos.

# APLICACIONES

## ◆ Transporte

- Aéreo
- Marítimo
- Terrestre
- Espacial

## ◆ O. aplicaciones → Ver siguiente lámina.

# OTRAS APLICACIONES

