

# Charla de GPS

---

Eduardo Ostertag Jenkins, Ph.D.

Club Aéreo de Santiago

[Eduardo.Ostertag@obcom.cl](mailto:Eduardo.Ostertag@obcom.cl)

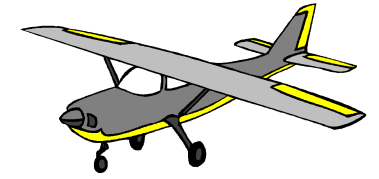
# Introducción a la Charla





Global Positioning System

---



# Global Positioning System



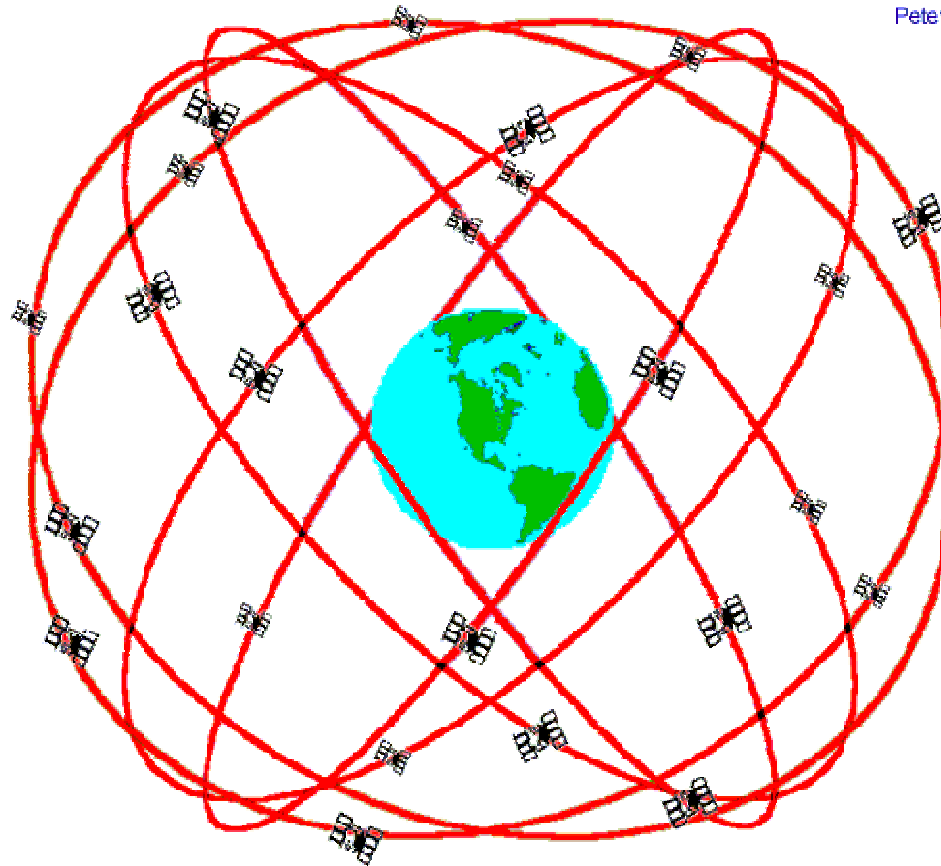
# Global Positioning System (parte 1)

---

- El sistema opera desde finales del 1993.
- Propietario: Departamento de Defensa de U.S.A.
- Intermediario civil: Guardia Costera U.S.A.
- Está controlado por estaciones de monitoreo.
- Posee de 24 Satélites en 6 órbitas de 20.200 Km.
- Cada órbita toma aproximadamente 12 horas.
- Los Rusos poseen un sistema similar: GLONASS.

# Global Positioning System (parte 2)

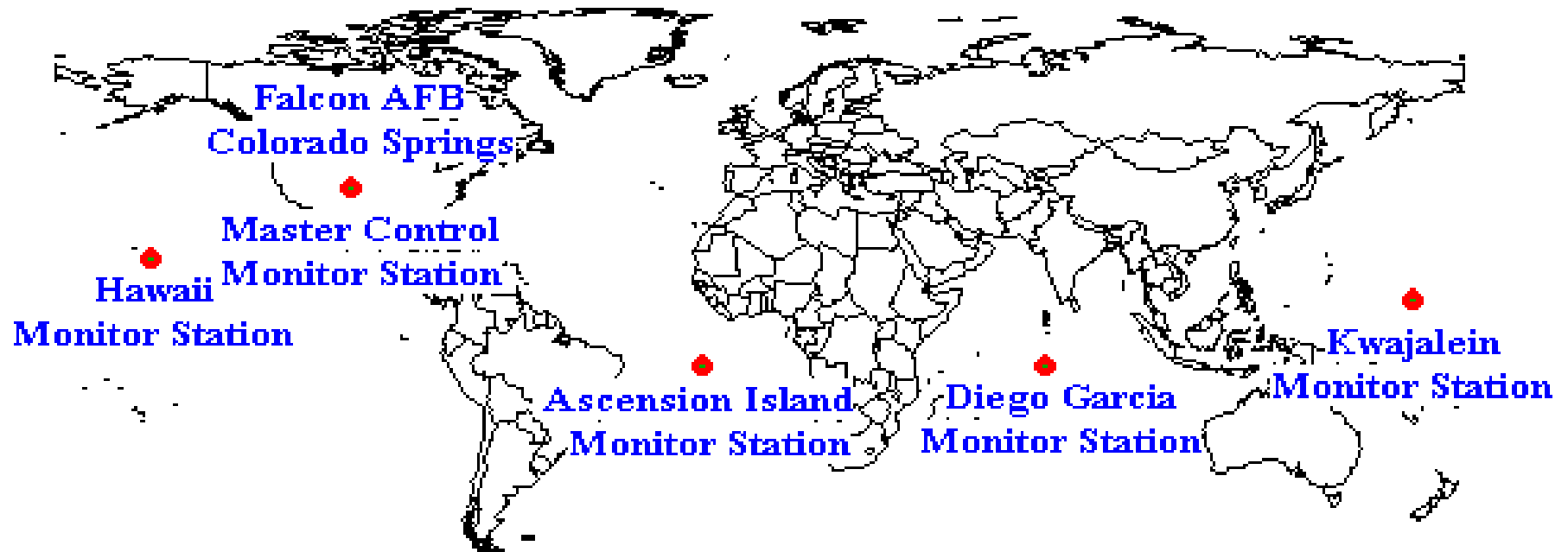
Pete H. Dana 9/22/98



**GPS Nominal Constellation**  
**24 Satellites in 6 Orbital Planes**  
**4 Satellites in each Plane**  
**20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination**

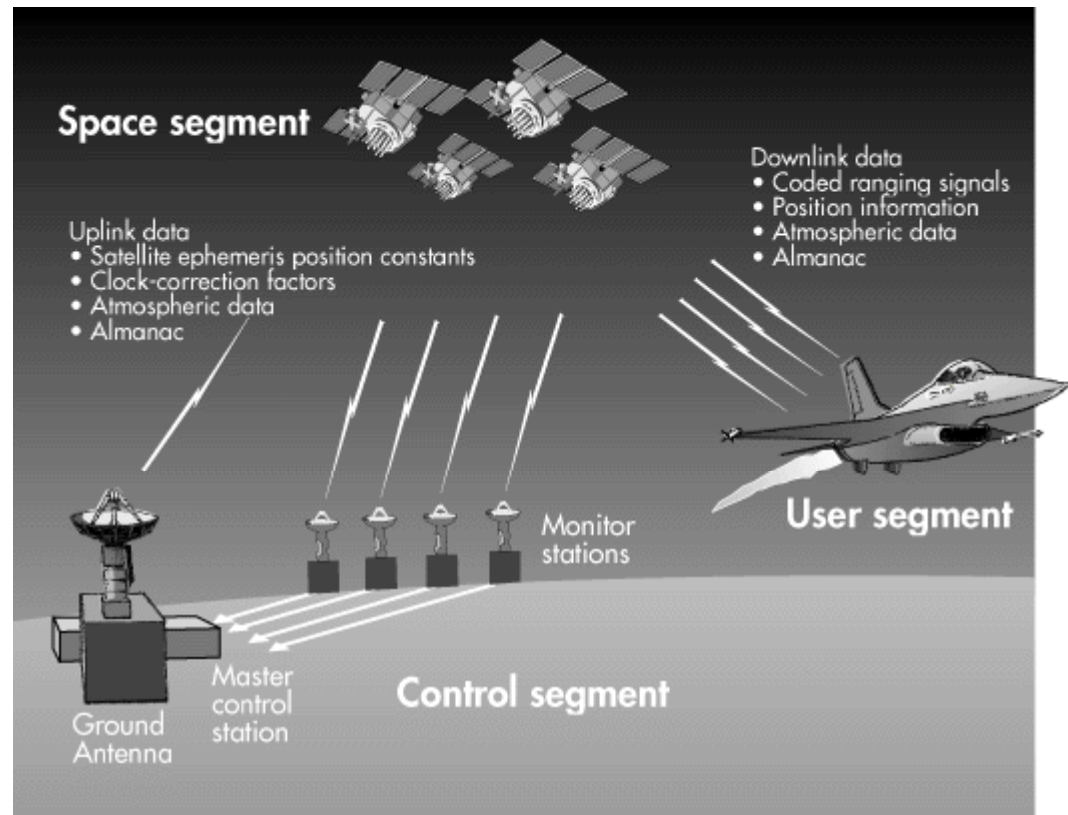
# Global Positioning System (parte 3)

Peter H. Dana 5/27/95



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

# Global Positioning System (parte 4)



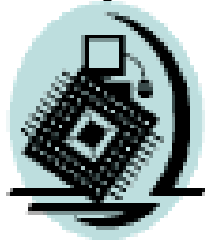
El Sistema GPS está compuesto por tres segmentos: Control, Espacio y Usuario.



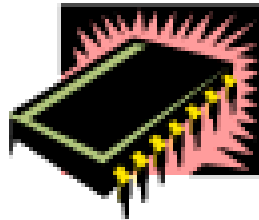
# Conceptos Básicos de un Receptor GPS

# ¿Qué es un Receptor GPS?

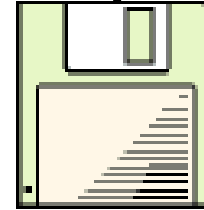
Un receptor GPS  
es un  
**COMPUTADOR**



Procesador  
(CPU)

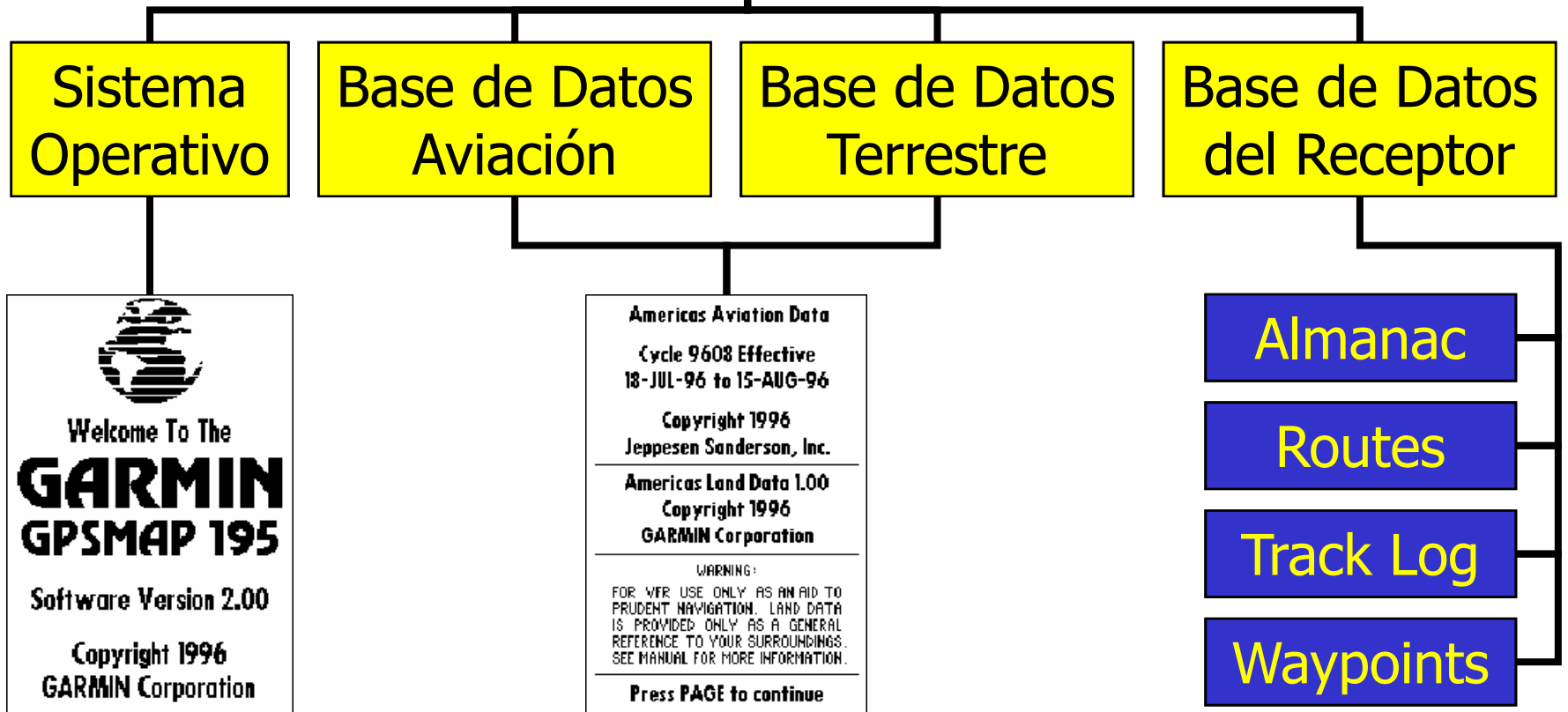


Memoria  
(RAM)



Almacenamiento  
(EPROM)

# Información almacenada en la EPROM



# En esencia, ¿qué hace un Receptor GPS?



Usando señales de Satélites entrega:

**POSICIÓN**  
**VELOCIDAD**  
**TIEMPO**

**PVT**



## ¿Cómo determina un Receptor la PVT?

---

- La posición la determina utilizando el concepto de “Triangulación”.
- Para triangular, necesita conocer la ubicación de los Satélites y determinar la distancia a éstos.
- Para determinar la distancia, necesita mediciones de tiempo muy precisas y sincronizadas.
- También necesita corregir los errores asociados al sistema GPS.
- Finalmente, utilizando el DATUM determina la Latitud, Longitud y Altitud.



Posición por Triangulación

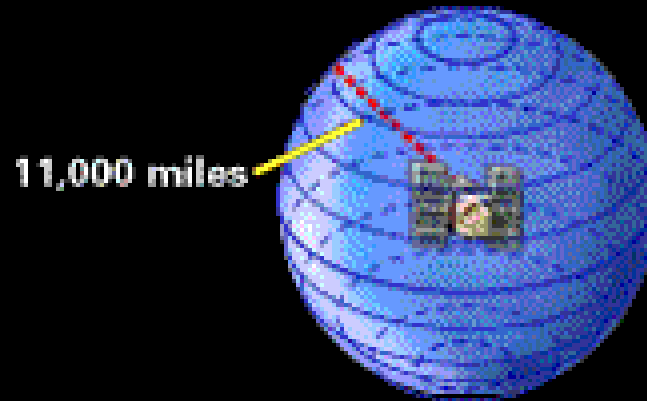
---



# Posición por Triangulación

# Concepto de Triangulación (parte 1)

We are somewhere on this sphere

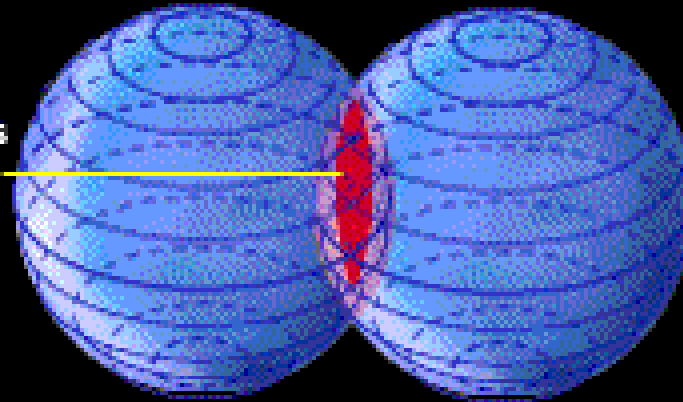


Un primer Satélite nos dice que estamos en la superficie de una esfera de 11.000 millas de radio.

## Concepto de Triangulación (parte 2)

A second satellite narrows down our location

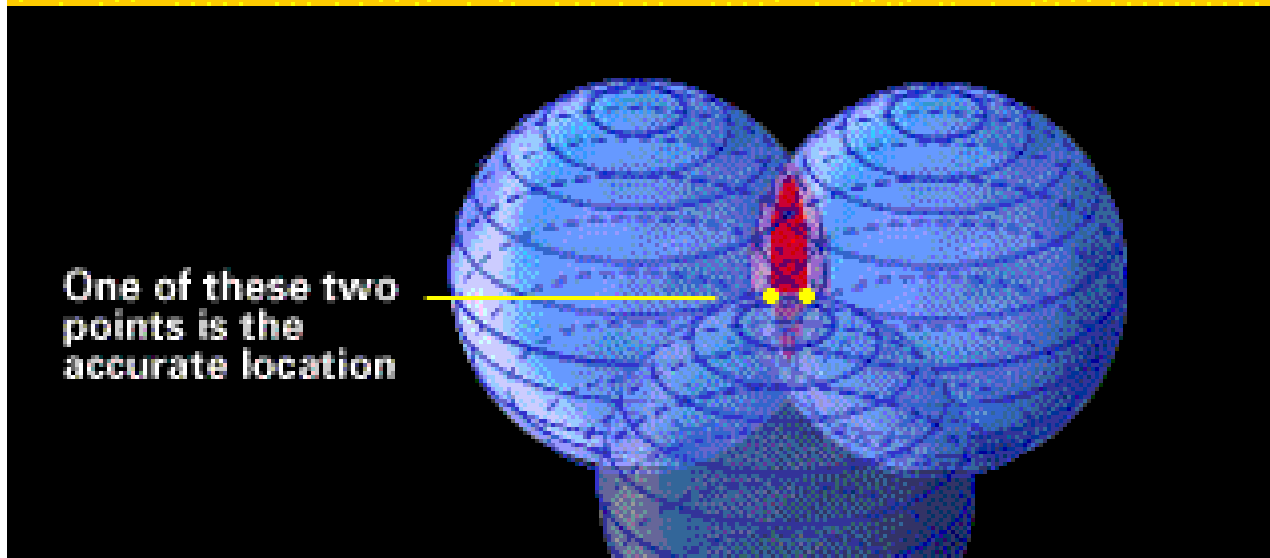
Two measurements  
put us somewhere  
on this circle



Un segundo Satélite no dice que estamos en el perímetro del círculo de intersección de las esferas de los dos Satélites.

## Concepto de Triangulación (parte 3)

A third satellite puts us at either two points



Un tercer Satélite no dice que estamos en alguno de los dos puntos de intersección de las esferas de los tres Satélites.



## Concepto de Triangulación (parte 4)

---

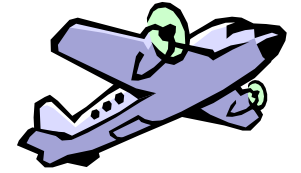
Un de estos dos puntos se puede normalmente descartar debido a que: (1) indica una posición muy alejada de la Tierra, o (2) se mueve a una velocidad imposible (muy grande). Pero...

- ¿Cómo se sabe dónde están los Satélites?
- ¿Cómo se determina la distancia a ellos?



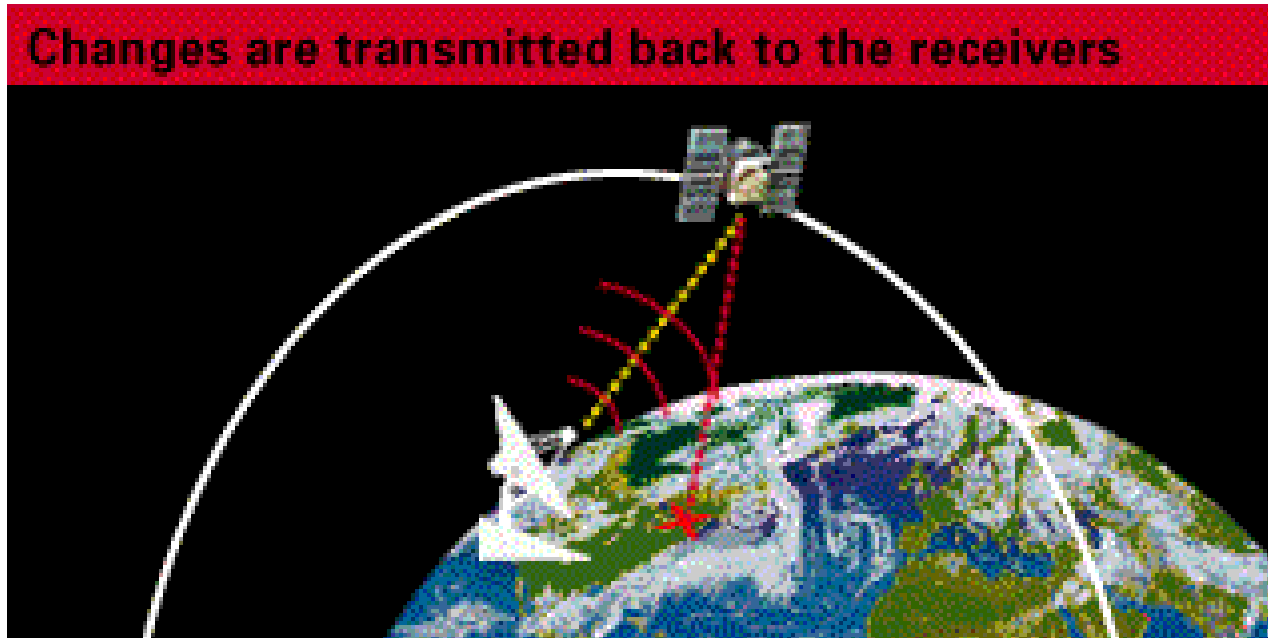
Distancia a un Satélite

---



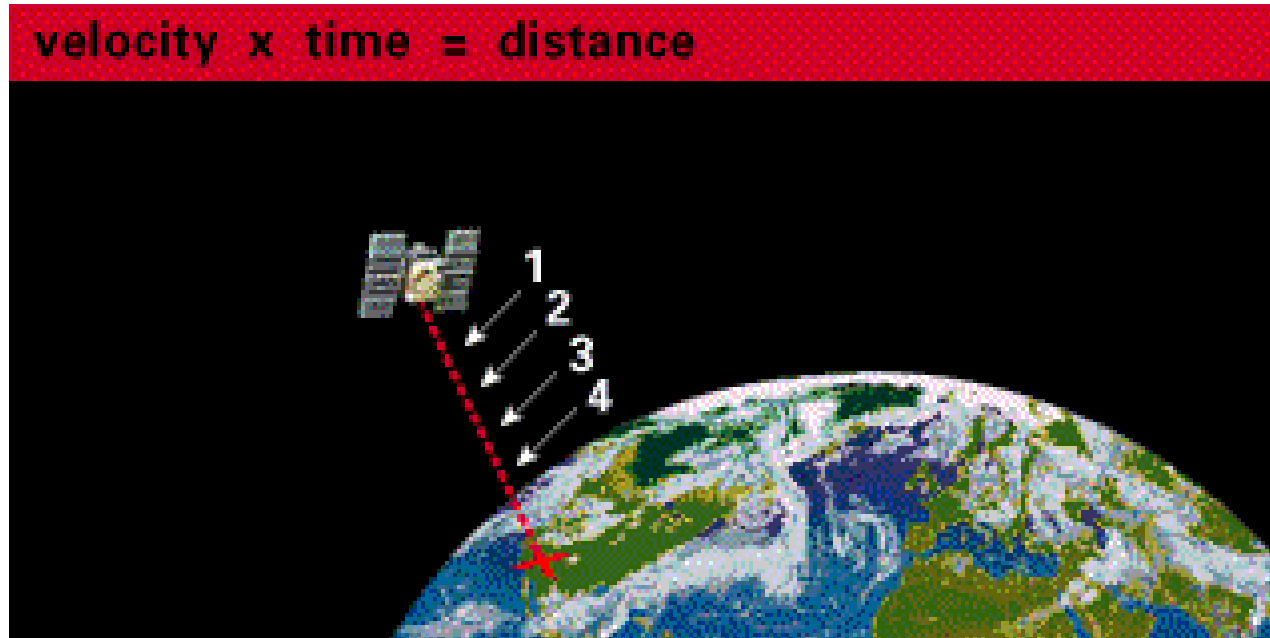
# Distancia a un Satélite

## Distancia a un Satélite (parte 1)



El Receptor usa el Almanaque de Satélites y la información que los Satélites transmiten para saber dónde ubicarlos.

## Distancia a un Satélite (parte 2)



La distancia se determina con la fórmula:  
$$\text{DISTANCIA} = \text{VELOCIDAD} * \text{TIEMPO}$$
donde VELOCIDAD  $\approx$  186.000 millas/sec



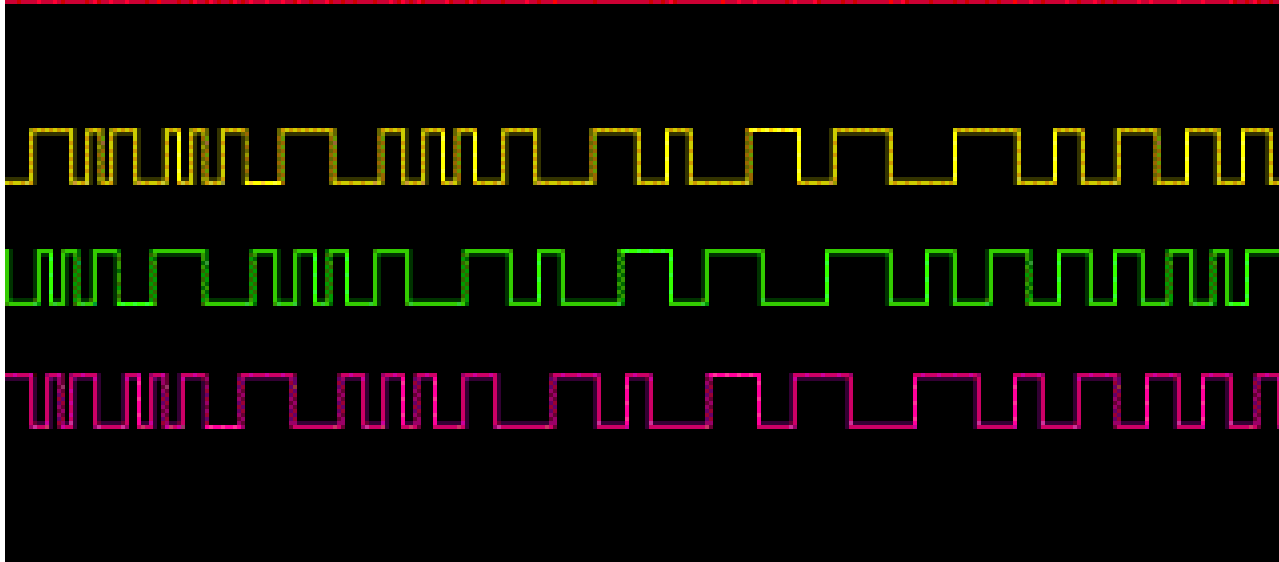
## Distancia a un Satélite (parte 3)

---

- Pero...¿Cómo obtenemos la variable TIEMPO?
  1. Supongamos que el Satélite y el Receptor GPS se ponen a cantar “Los Pollitos dicen 😊” justo al mismo tiempo.
  2. Como el Satélite se encuentra muy lejos, su canto lo escucharemos atrasado respecto del canto del Receptor.
  3. Si demoramos el canto del Receptor GPS hasta que concuerde con el canto del Satélite, obtendremos el **TIEMPO** que le tomó a la música llegar hasta nosotros.

## Distancia a un Satélite (parte 4)

Each satellite has a unique Pseudo Random Code



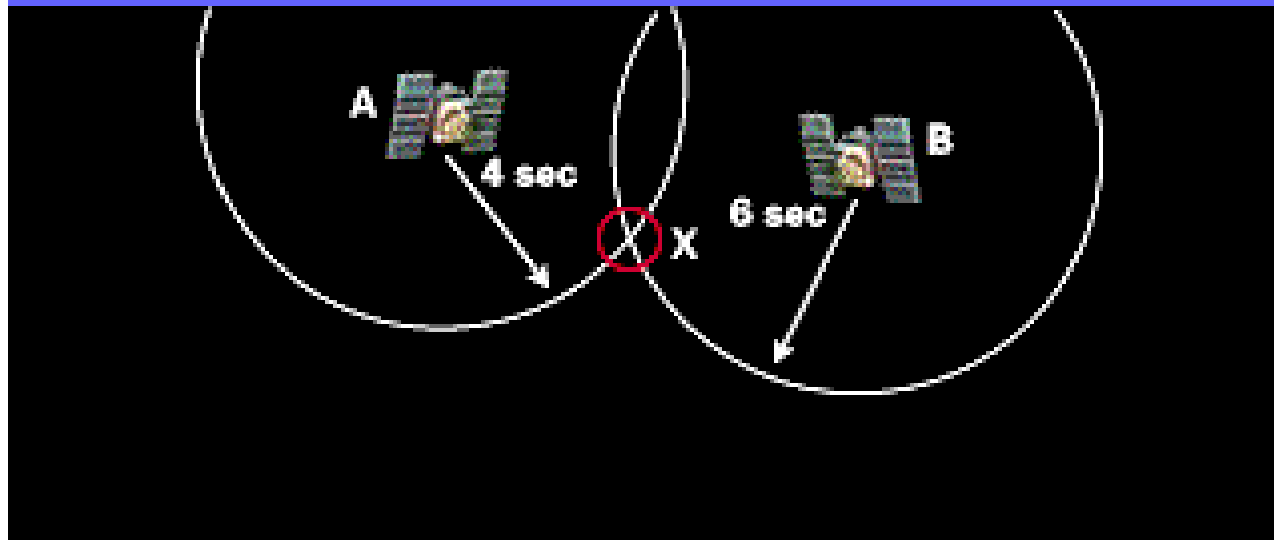
La "música" de los Satélites:  
Cada uno posee una señal única que lo  
identifica (Pseudo-Random Code).



# Sincronización de Relojes

# Sincronización de Relojes (parte 1)

## Expanded Topic: Eliminating clock errors

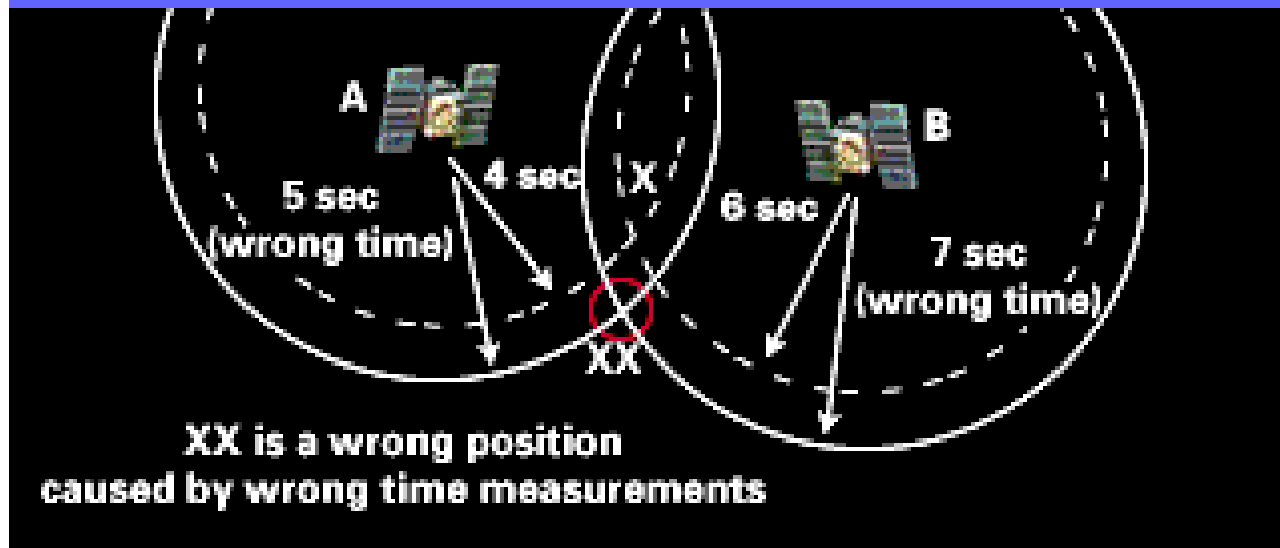


En base a dos Satélites, el Receptor GPS calcula su ubicación (punto X).

(Como vimos, el otro punto se puede descartar por "imposible")

## Sincronización de Relojes (parte 2)

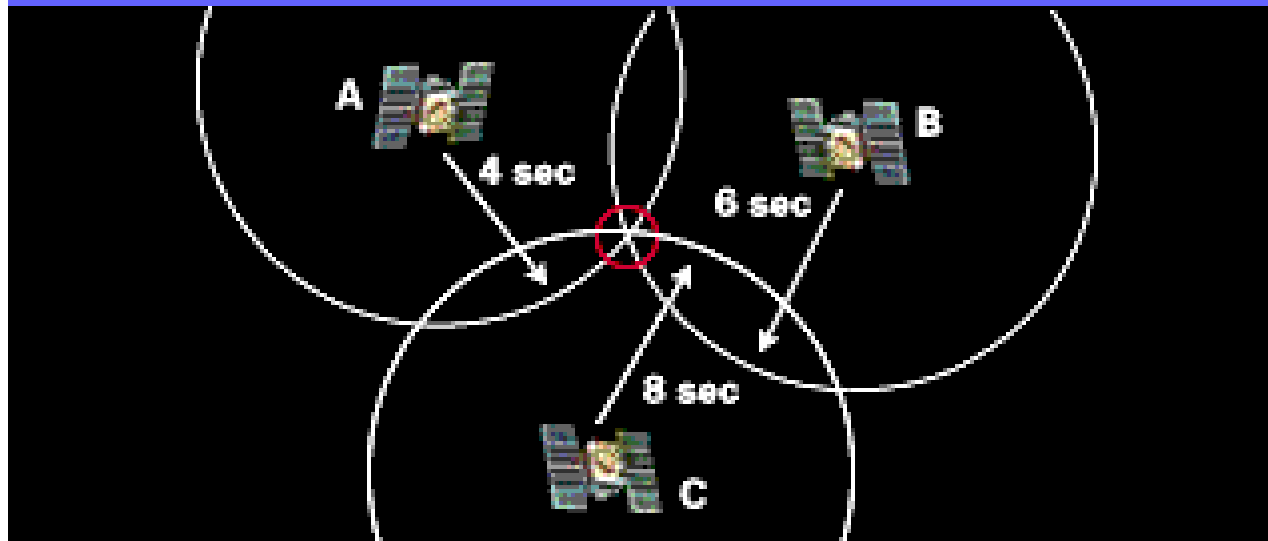
### Expanded Topic: Eliminating clock errors



Como el reloj del Receptor GPS está de sincronizado en 1 segundo, calcula una posición incorrecta (punto XX).

## Sincronización de Relojes (parte 3)

### Expanded Topic: Eliminating clock errors



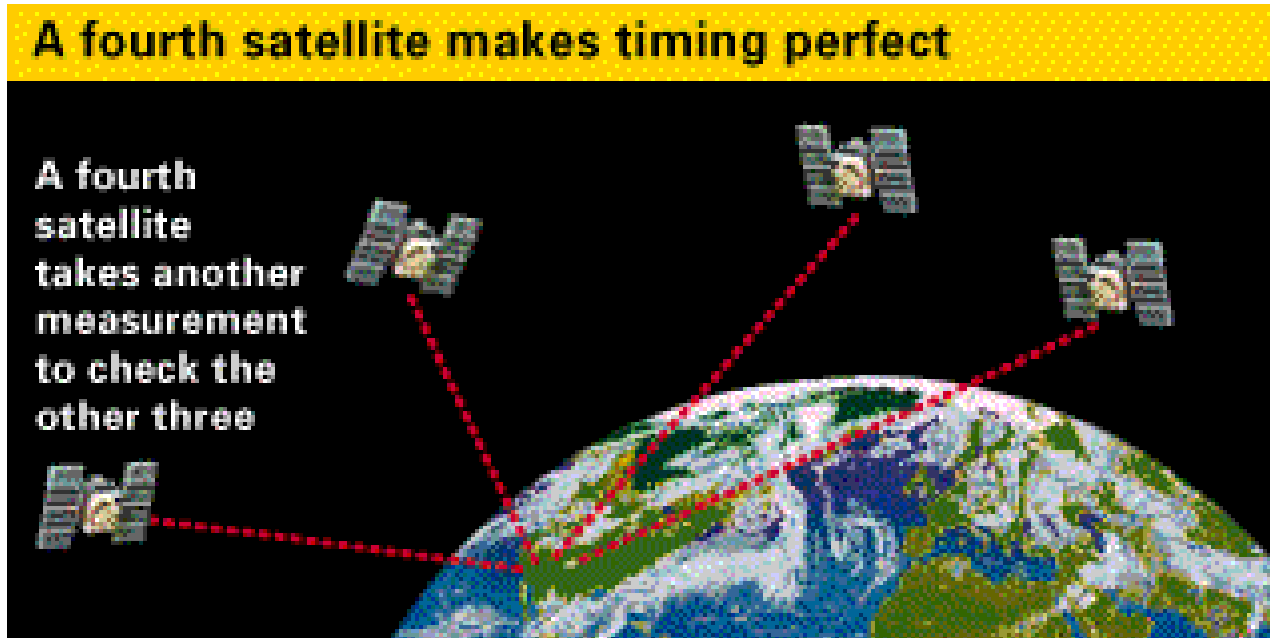
Si usara tres Satélites y además estuviera sincronizado, el Receptor GPS calcularía también la ubicación correcta (punto X).



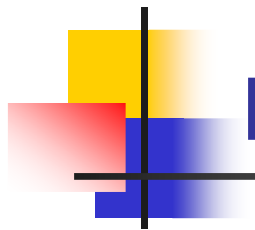
## Sincronización de Relojes (parte 5)

### A fourth satellite makes timing perfect

A fourth satellite takes another measurement to check the other three

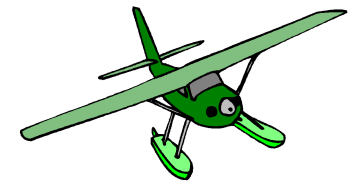


En tres dimensiones, se necesitan cuatro Satélites para sincronizar la hora del Receptor con la hora del Sistema GPS.



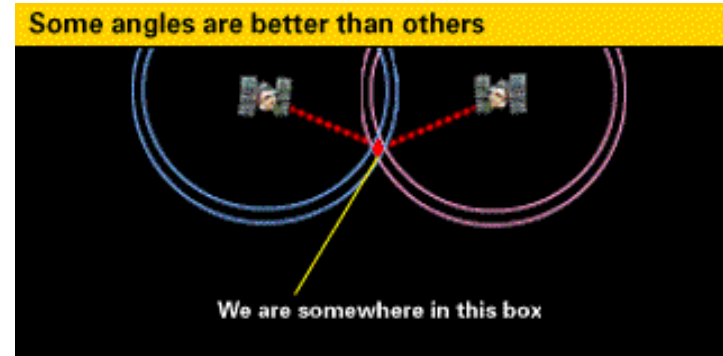
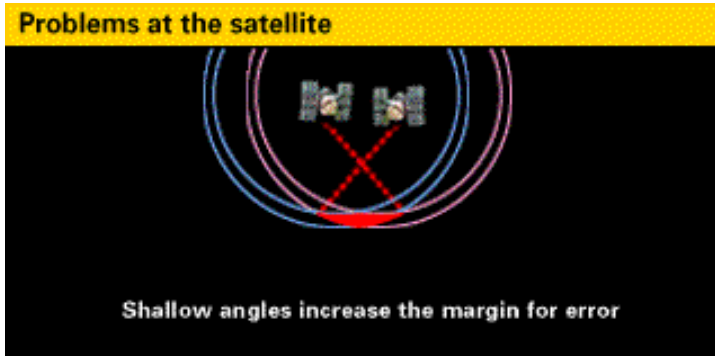
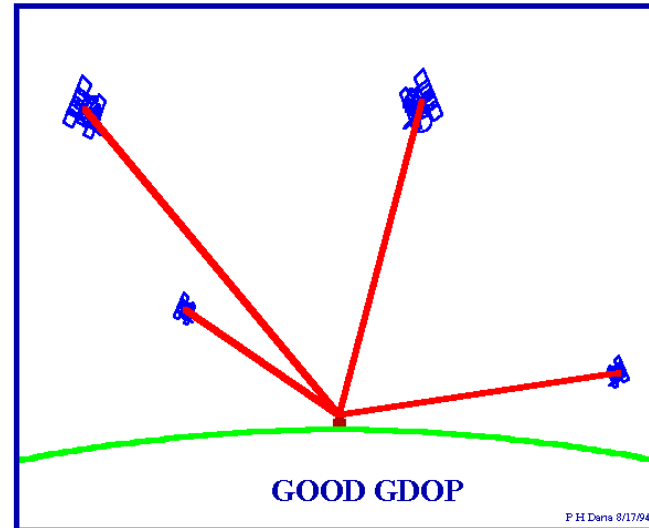
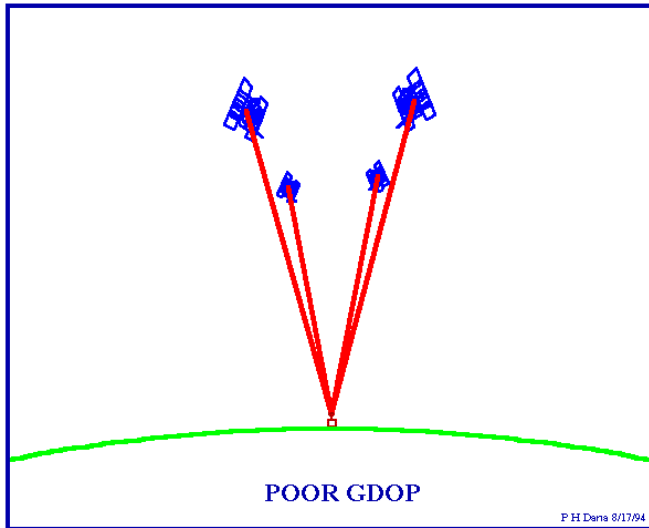
Fuentes de Error

---



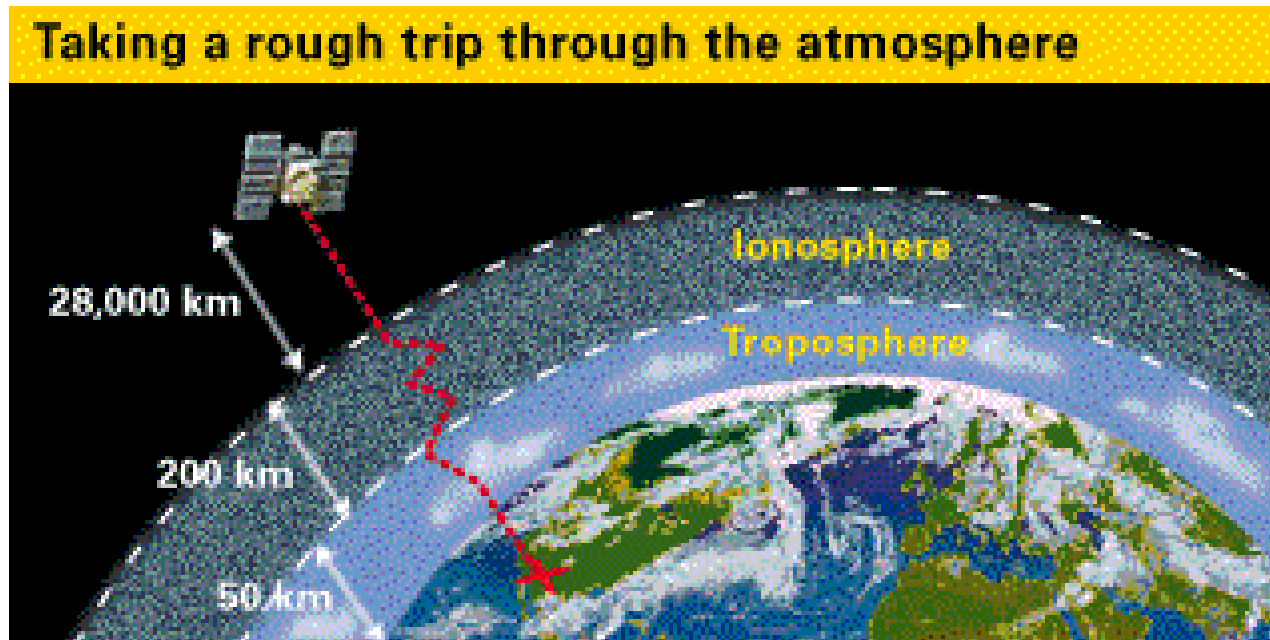
# Fuentes de Error

# Fuentes de Error (parte 1)



GDOP: Dilución de Precisión Geométrica:  
Genera errores de hasta 25 metros.

## Fuentes de Error (parte 2)

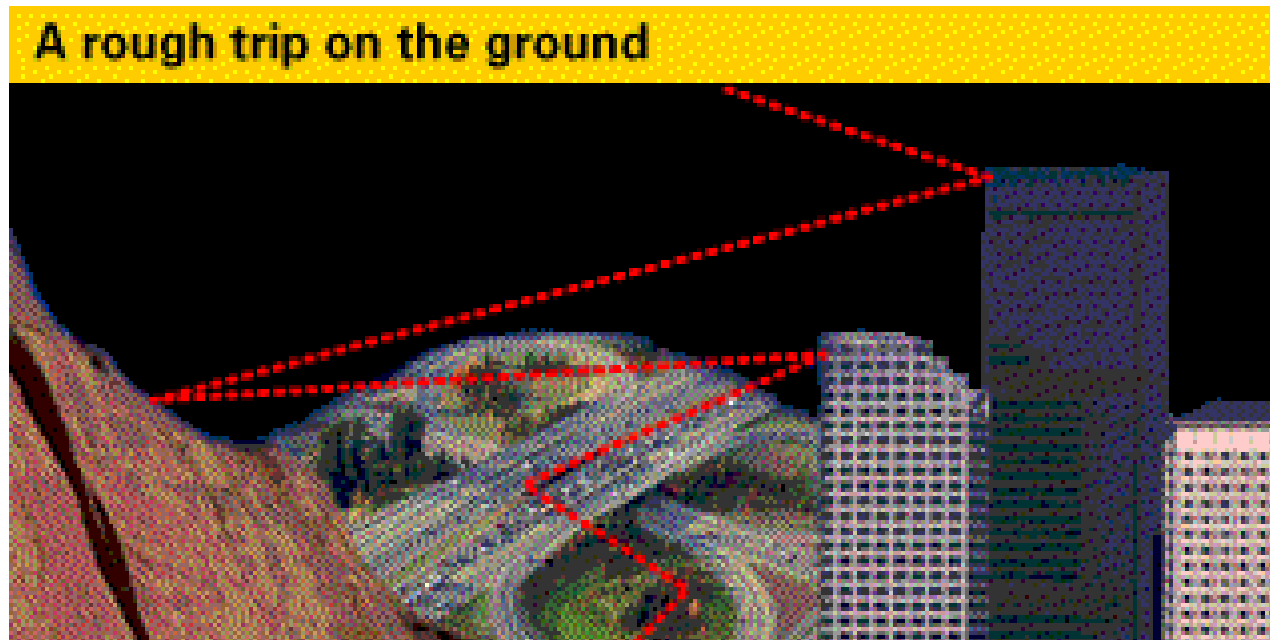


Efectos Atmosféricos:

Ionósfera genera errores de hasta 10 metros.

Tropósfera genera errores de hasta 1 metro.

## Fuentes de Error (parte 3)



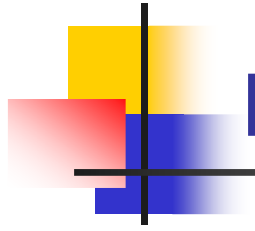
Multi-Path (sombras o fantasmas):  
Normalmente en ciudades con edificios altos.  
Genera errores de hasta 0,5 metros.



## Fuentes de Error (parte 4)

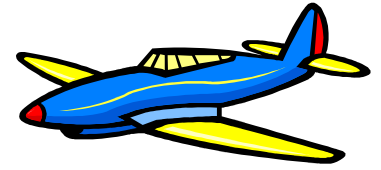
---

- Fallas en los relojes de los Satélites:
  - Errores de hasta 1 metro.
- Fallas en Receptores (no corregibles por el sistema):
  - Magnitud del error: en general, indeterminado.
  - Se sabe de errores de más de 100 kilómetros.
- Errores Humanos (no corregibles por el sistema):
  - Programación incorrecta de los Waypoints y Rutas.
  - Selección incorrecta del DATUM.
  - No saber usar o interpretar el equipo Receptor.
  - Magnitud del error: indeterminado.



Latitud, Longitud y Altitud

---

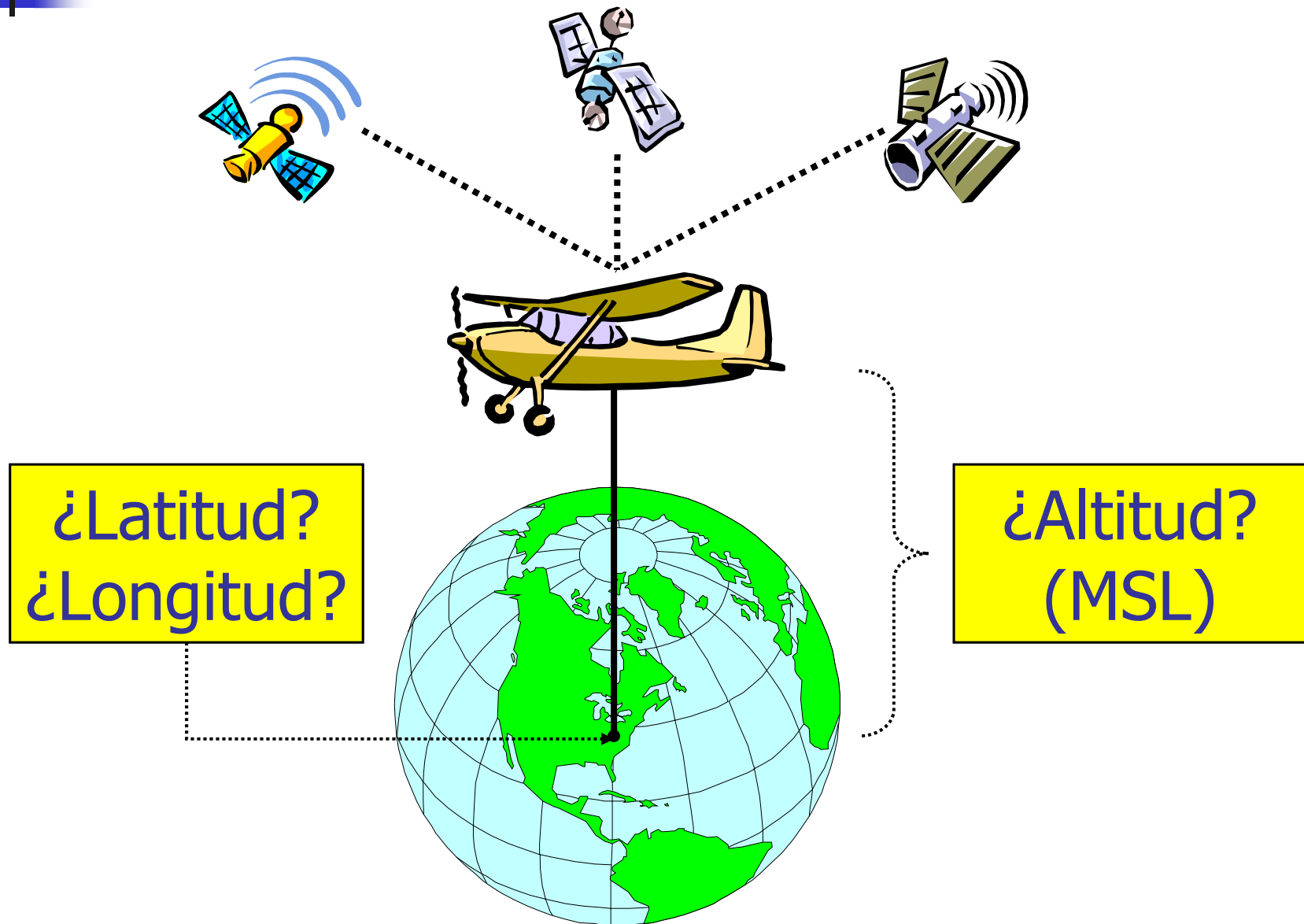


**Latitud**

**Longitud**

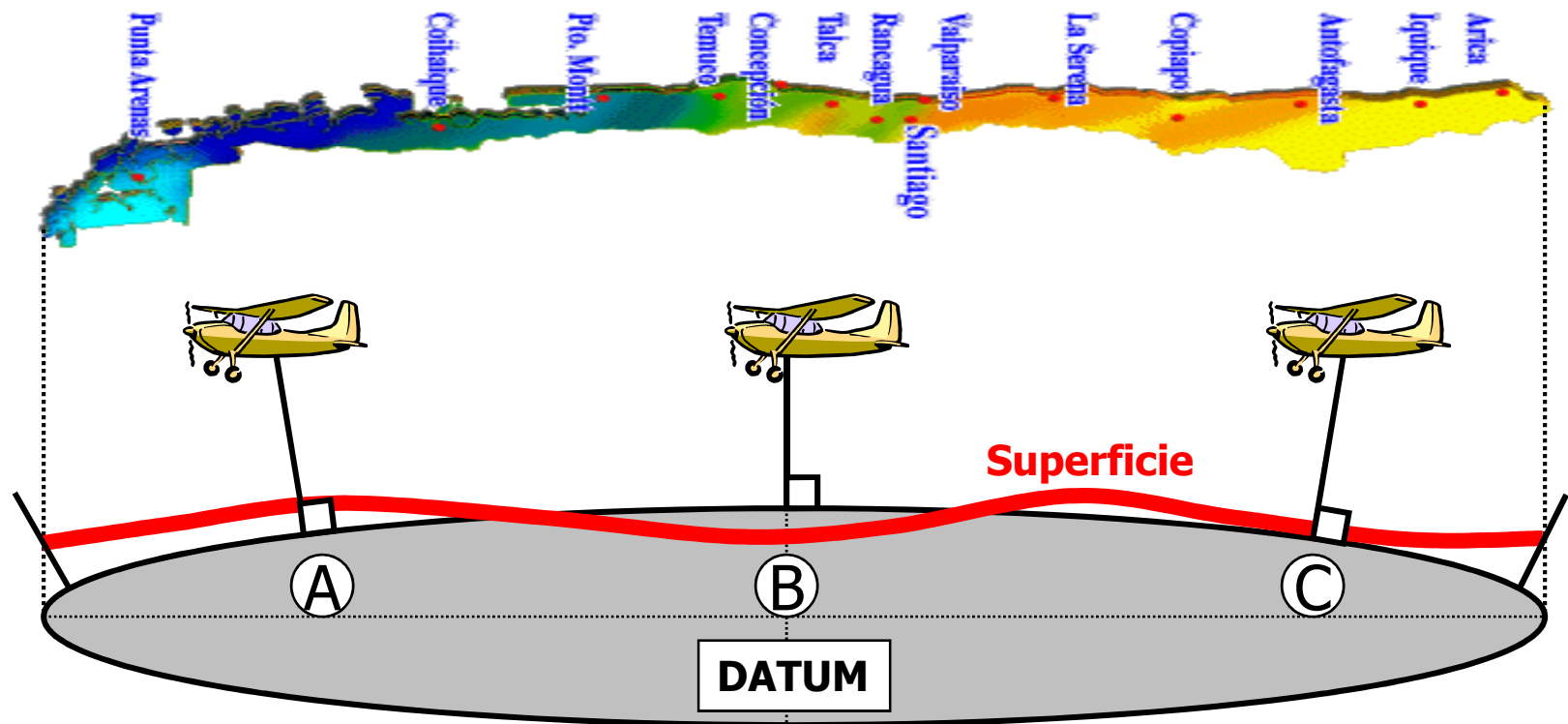
**Altitud**

# Perdón, pero...¿Dónde estamos?



# El Receptor GPS sólo conoce el DATUM

Un DATUM define un elipsoide que se usa para representar una superficie (Terrestre, MSL, etc.)

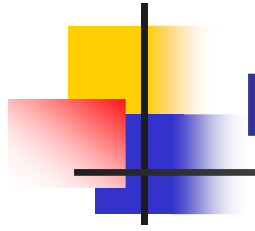




# DATUM, más DATUM, muchos DATUM

---

- El DATUM estándar para el sistema GPS es el “World Geodetic System 1984” (WGS-84)
- La DGAC aun entrega las coordenadas de algunas pistas usando el DATUM “South American 1969”
- Nuestras cartas aeronáuticas usan el DATUM “Provisorio Sudamericano La Canoa Venezuela 1956”
- Las diferencias de posición entre dos DATUM puede ser importante, especialmente en Altitud (cientos de pies)
- Cuidado cuando lea un coordenada en una carta y quiera almacenarla como un Waypoint: ¿DATUM de la carta?
- Lo mismo cuando quiera encontrar un Waypoint en una carta: ¿cuál es el DATUM que está usando el GPS?



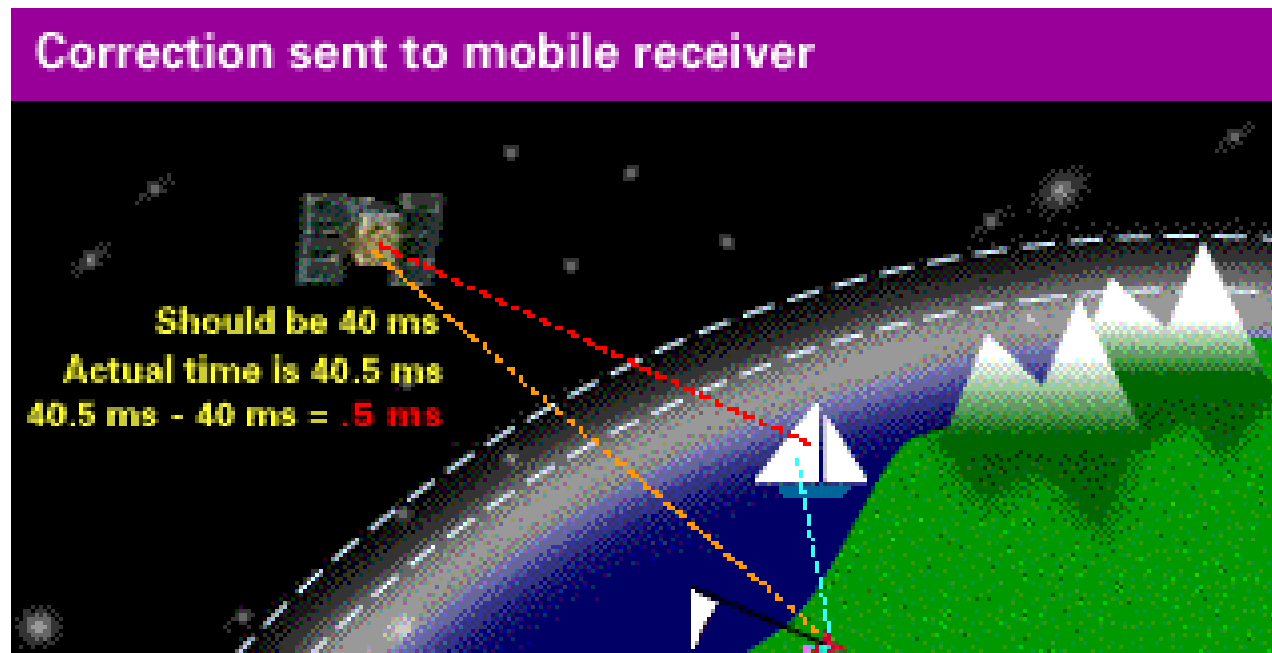
DGPS: GPS Diferencial



# GPS

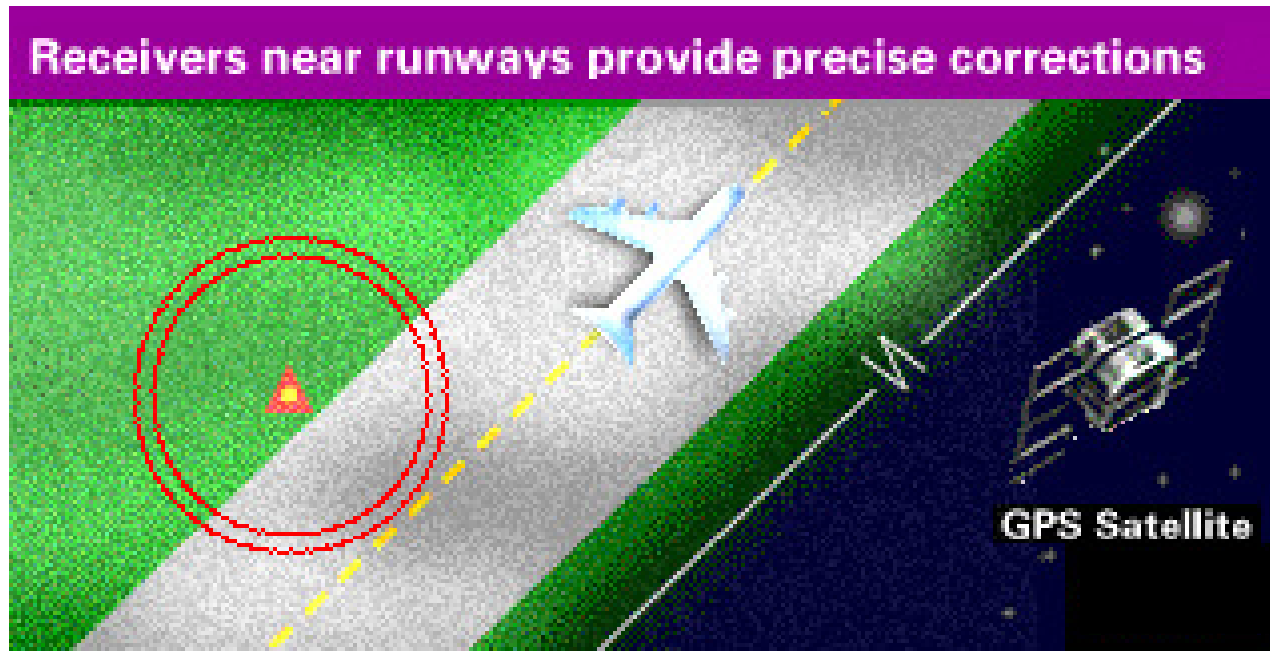
# Diferencial

# DGPS: GPS Diferencial (parte 1)



Un equipo en tierra reporta a estaciones Receptoras la diferencia de su posición (conocida) con la que informan los Satélites.

## DGPS: GPS Diferencial (parte 2)



La precisión del DGPS a distancias menores de 1mn de la estación es de milímetros. Para distancias mayores, es sólo de centímetros.



## DGPS: GPS Diferencial (parte 3)

---

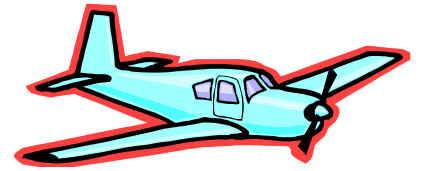
### DGPS terminó por matar el "Selective Availability"

- Selective Availability: error intencional introducido por el DOD para disminuir la precisión de los Receptores no Militares (por ejemplo: los de los enemigos).
- Se eliminó a partir del 2 de Mayo de este año (2000).
- En teoría, ahora los Receptores Civiles tiene la misma precisión que los Receptores Militares:
  - Precisión horizontal: 22,0 metros (antes 100)
  - Precisión vertical: 27,7 metros (antes 156)
  - Precisión tiempo UTC: 200 nanosegundos (antes 340)



Uso del Receptor GPS

---



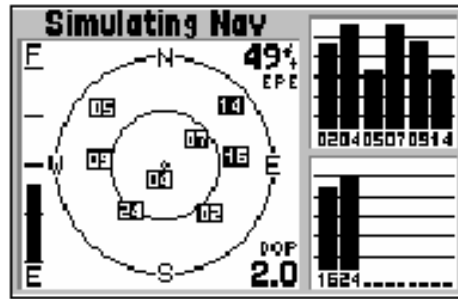
# Uso del Receptor GPS

# Teclado de un Receptor GPS

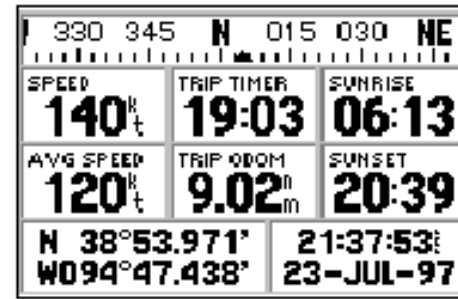


- ON/OFF
- IN/OUT o ZOOM
- PAGE (reset)
- QUIT
- MENU (▼)
- EDIT/ENTER
- MARK
- NRST
- WPT
- ROUTE
- GOTO
- CURSOR (◀▶)

# Páginas típicas de un Receptor GPS



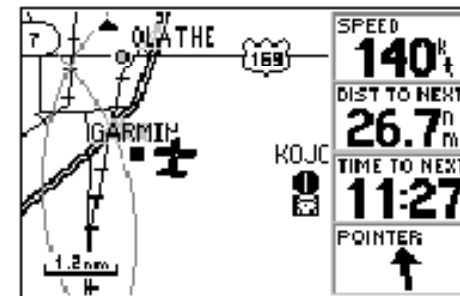
Satellite Status Page



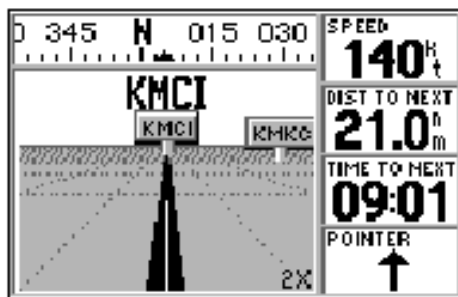
Position Page

Waypoint	Distance	Active Goto
→ KMCI	22.2 <sup>m</sup>	
-----	----- <sup>m</sup>	
-----	----- <sup>m</sup>	
-----	----- <sup>m</sup>	
-----	----- <sup>m</sup>	
-----	----- <sup>m</sup>	
TOTAL		22.2 <sup>m</sup>

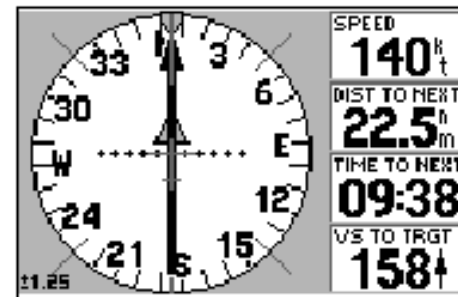
Active Route Page



Map Page

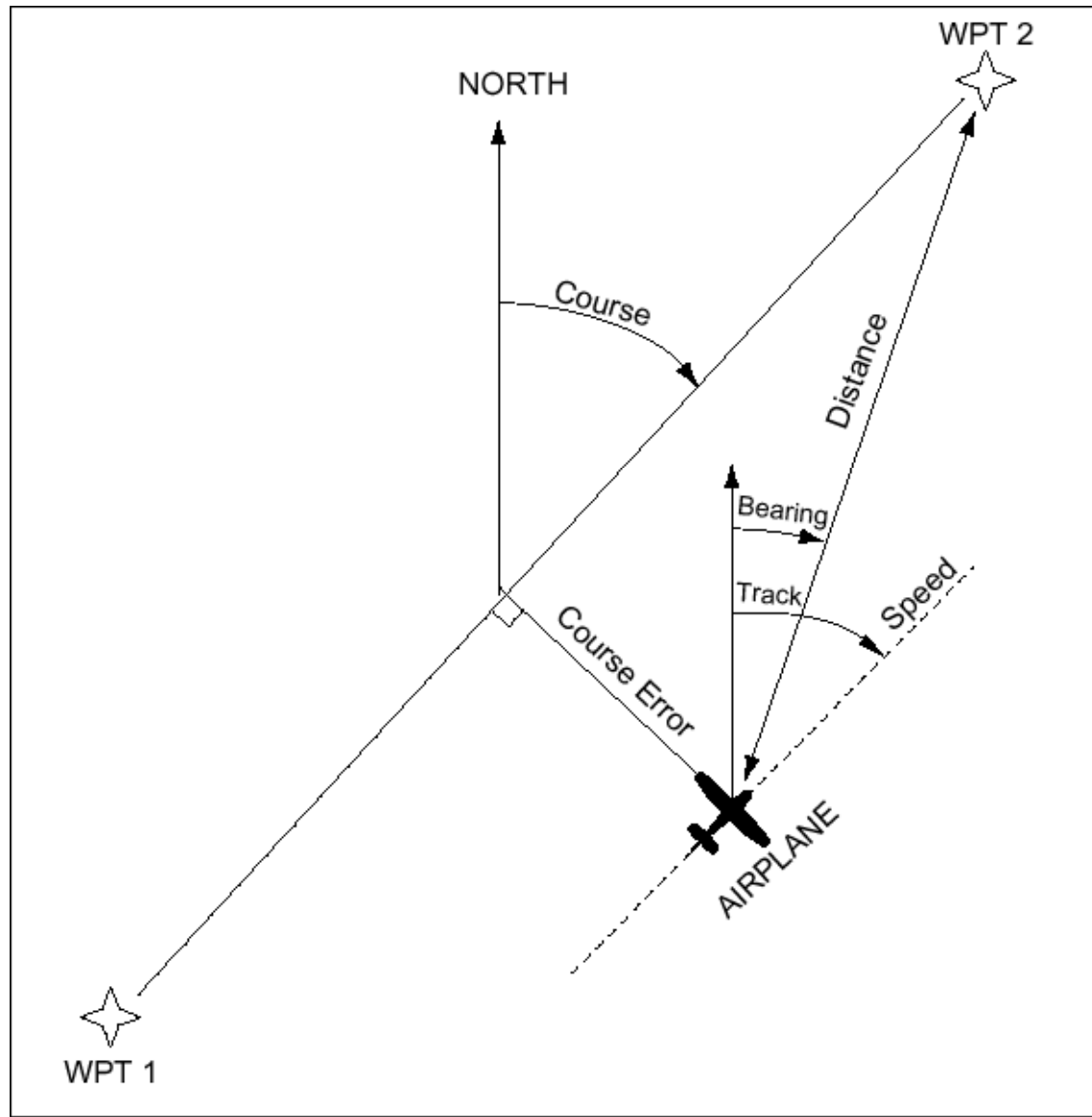


Highway Page

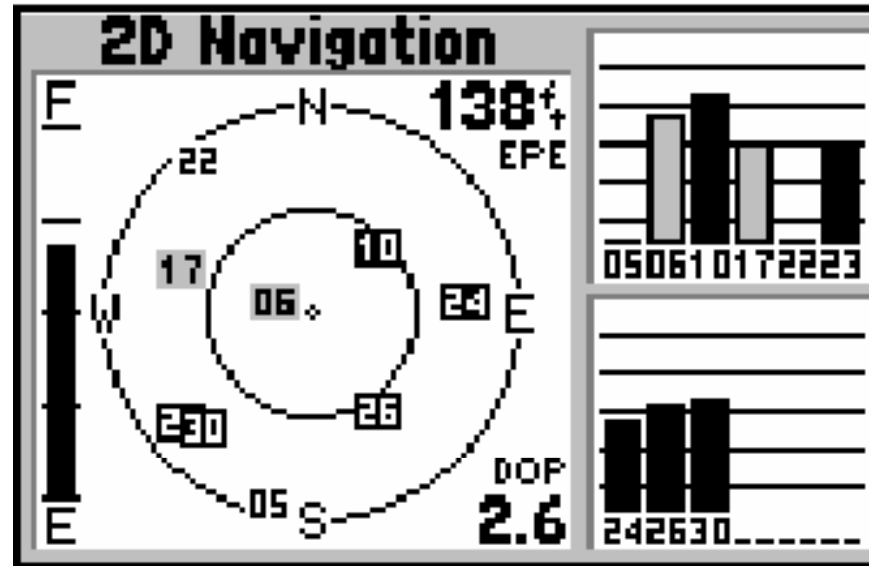


HSI Page

# Terminología usada en Receptores



# Página de Satélites



- Recepción de Satélites (negro: actualmente en uso)
- Posición de los Satélites respecto del horizonte
- EPE: Estimated Position Error (distancia)
- DOP: Dilution of Precision (Excelente:1...Pésimo:10)
- Nivel de carga de la Batería (Alkaline,Lithium,NiCad)

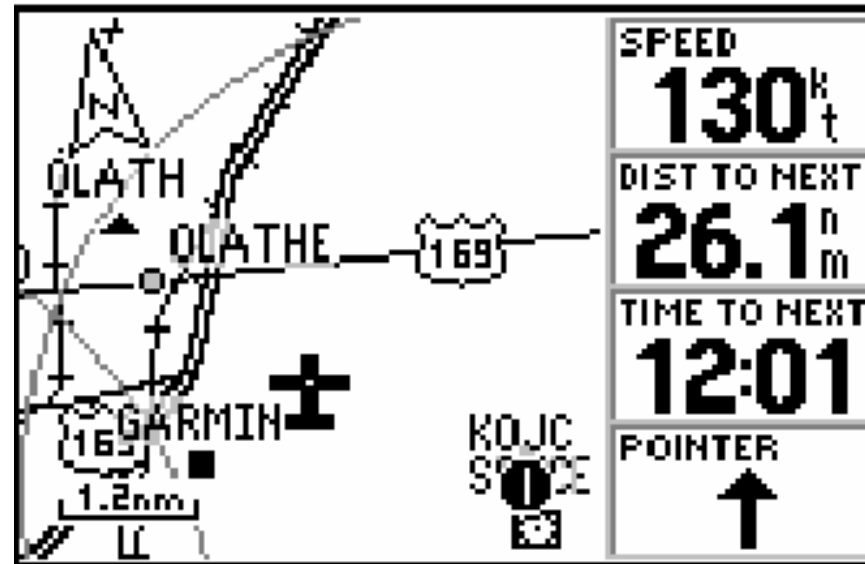


# Página de Posición

330 345 N 015 030 NE		
SPEED <b>140<sup>k</sup><sub>t</sub></b>	TRIP TIMER <b>19:03</b>	SUNRISE <b>06:13</b>
AVG SPEED <b>120<sup>k</sup><sub>t</sub></b>	TRIP ODOM <b>9.02<sup>n</sup><sub>m</sub></b>	SUNSET <b>20:39</b>
N 38°53'58.3" W094°47'26.3"		21:37:53E 23-JUL-97

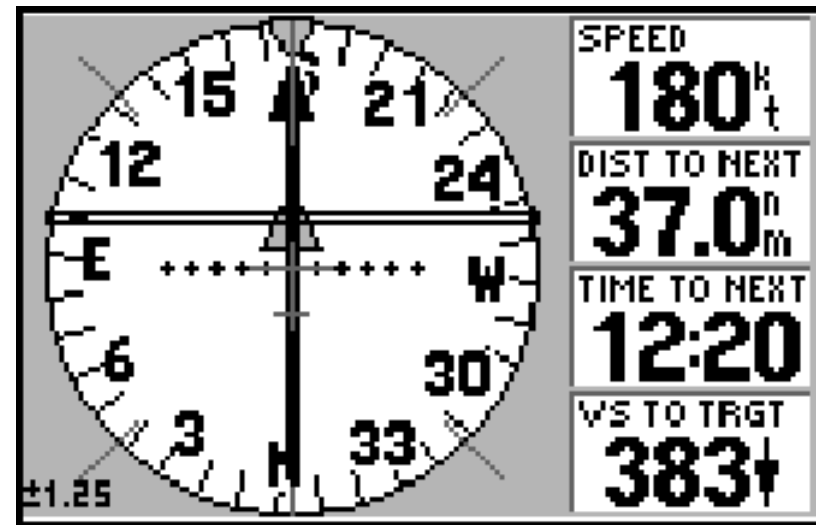
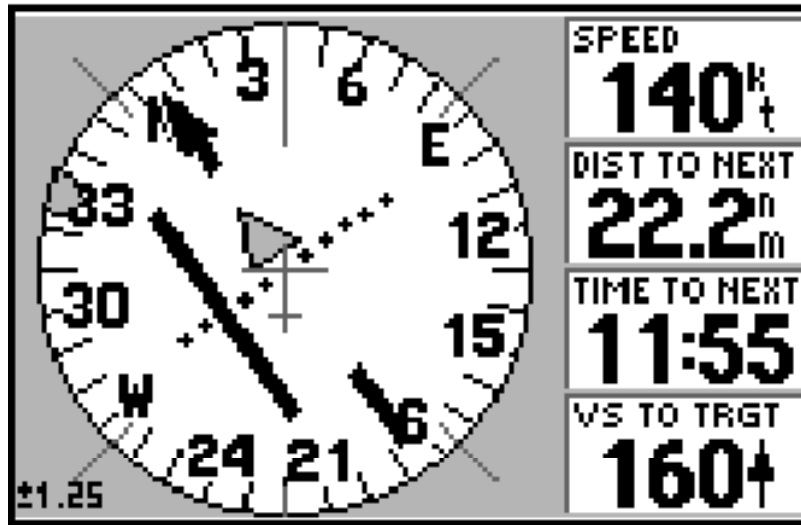
- Borrar "Timers" y "TrackLog" antes del vuelo
- ¿Qué tipo de hora está usando (UTC, Local)?
- ¿Tiene la hora "Local" correctamente definida?
- Recomendando cambiar "Sunrise" por "Altitude"
- Formato de las Coordenadas (HH°MM'SS.S")

# Página de Mapa Móvil



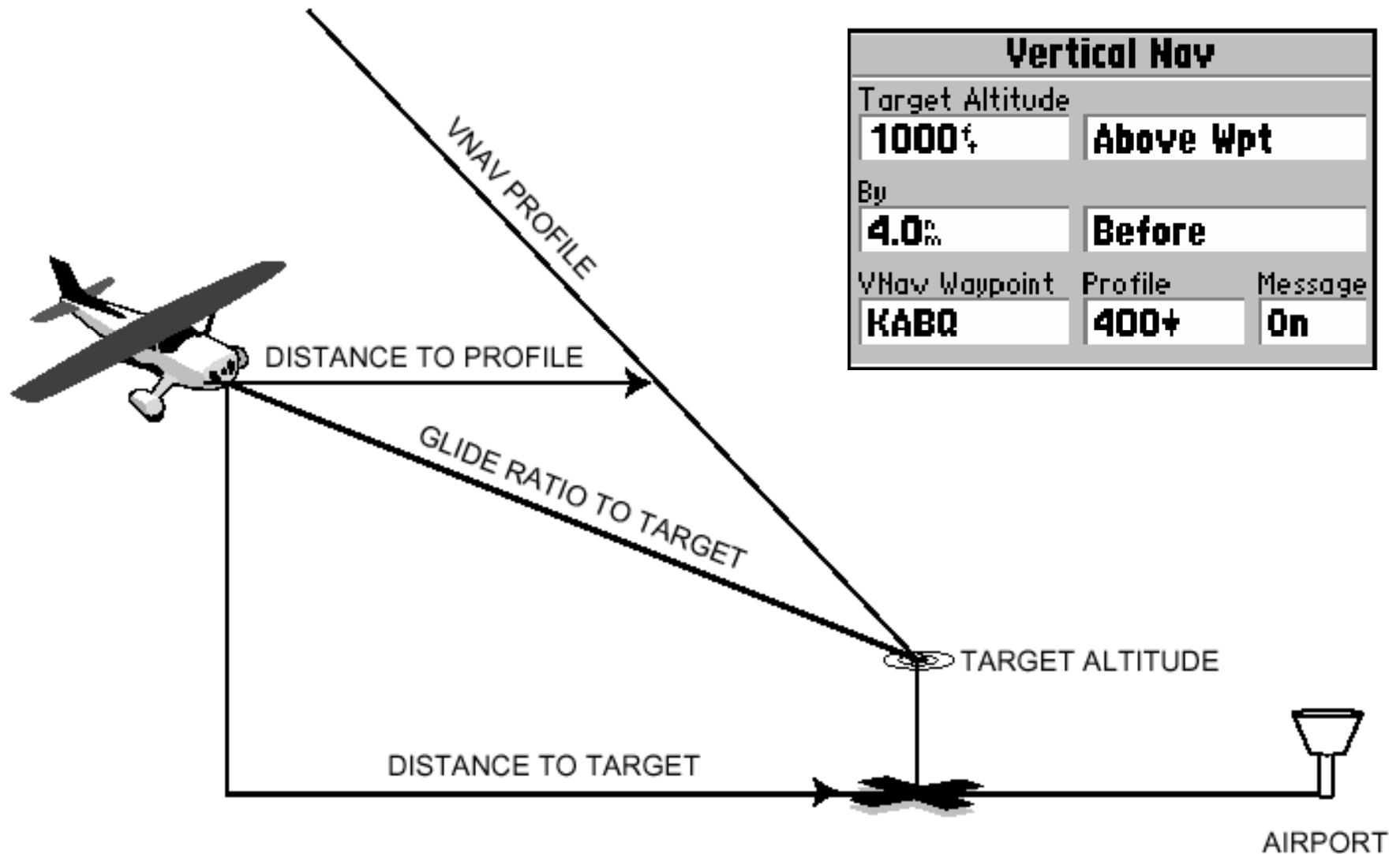
- Vista "Track-up" versus "North-up"
- Vea lo que quiere ver (Menu ▼ Map Setup)
- Determinación de Distancia-Curso a un punto
- Creación de un Waypoint (Tecla Enter)

# Página HSI: Horizontal Situation Indicator

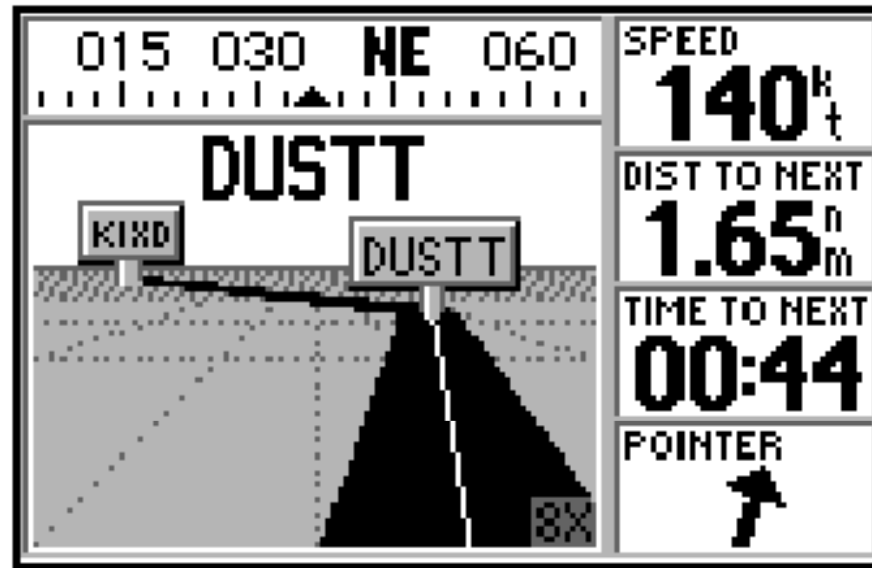


- Vea lo que quiere ver (Menu ▼ Change Fields)
- Cambio de escala del CDI ( $\pm 1.25$  distancia)
- Uso del "Bug Indicator" (Automático, Manual)
- Uso del "Vertical Navigation" (VNAV)

# Configuración de Navegación Vertical



# Página de Vista de Carretera



- Veá lo que quiere ver (Menu ▼ Change Fields)
- Cambio del Tamaño (8X) (Tecla Zoom)

# Página de Ruta Activa

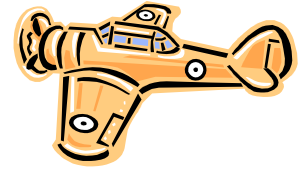
<b>KIXD-KOSH</b>		<b>Active Route</b>
Waypoint	◀ Distance ▶	
<b>KIXD</b>	----- <sup>n</sup> <sub>m</sub>	
▶ <b>KCID</b>	<b>207</b> <sup>n</sup> <sub>m</sub>	
<b>KOSH</b>	<b>395</b> <sup>n</sup> <sub>m</sub>	
-----	----- <sup>n</sup> <sub>m</sub>	
-----	----- <sup>n</sup> <sub>m</sub>	
		<b>TOTAL</b> <b>395</b> <sup>n</sup> <sub>m</sub>

- Vea lo que quiere ver (◀ Tecla-Cursor ▶)
- Use lo que corresponde: VOR, NDB, INT, WPT
- Saltarse uno o más Waypoints en la Ruta
- Reactivación de una Ruta (GPS "mareado")
- Garmin 195 y 295: agregar IAC a su Ruta



Recomendaciones de uso

---



# Recomendaciones de uso del Receptor GPS



# Recomendaciones de uso (parte 1)

---

- Cuidado con el “Encendedor del Avión”:
  - Enchufar después de prender el motor
  - Desenchufar antes de apagar el motor
  - Siempre tenga pilas buenas instaladas y de repuesto
- Un Receptor GPS es de uso personal:
  - Demasiado importante los datos almacenados
  - Demasiado fácil que alguien los modifique
  - No se presta el cepillo, ni la peineta, ni el GPS 😊
- Utilice información actualizada y confiable:
  - Cuidado con las Coordenadas del “AIP Chile Volumen I”
  - Trate de mantener su base de datos Jeppesen al día
  - Trate de usar la última versión del Sistema Operativo



## Recomendaciones de uso (parte 2)

---

- Use en el Aire lo que preparó en Tierra:
  - Agregar un Waypoint o modificar una Ruta toma tiempo
  - y mientras tanto, ¿quién está mirando hacia afuera?
- No espere ni busque la perfección:
  - Un Receptor GPS tiene errores de varias decenas de metros
  - 1 segundo de coordenada es aprox. 30 metros de error
  - Todos los segundos malos son aprox. 1852 metros de error
  - Si a esa distancia no ve la pista, el problema no es el GPS
- Una buena recepción de Satélites es esencial:
  - Trate de usar una antena que se pega a la ventana.
- Una buena posición facilita el uso y la lectura:
  - Trate de conseguir un soporte para la caña.



## Recomendaciones de uso (parte 3)

---

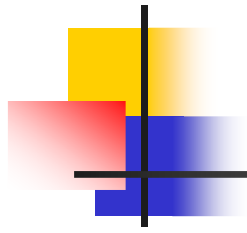
- Los manuales no matan, la ignorancia sí:
  - Trate de leer y entender el manual de su Receptor GPS
  - Si necesita ayuda, recuerde que tiene amigos que lo pueden ayudar
- Por último, recuerde siempre la “Ley de Murphy”:
  - Si algo malo puede ocurrir, ocurrirá en el peor momento
  - Los GPS tiene la manía de fallar cuando uno más los necesita
  - Use el GPS sólo como herramienta de apoyo a la navegación...
  - ...y no olvide nunca los otros elementos: cartas, plotters, etc.



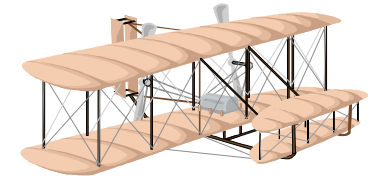
# Referencias y Bibliografía

---

- All About GPS
  - Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, California
  - [www.trimble.com/gps/index.htm](http://www.trimble.com/gps/index.htm)
- Global Positioning System Overview
  - Peter H. Dana, Ph.D., The University of Colorado at Boulder
  - [www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)
- Global Positioning Primer
  - The Aerospace Corporation, El Segundo, California
  - [www.aero.org/publications/GPSPRIMER/index.html](http://www.aero.org/publications/GPSPRIMER/index.html)
- GPS FAQ (Frequently Asked Questions) Page
  - The U.S. Coast Guard Navigation Center
  - [www.navcen.uscg.mil/faq/gpsfaq.htm](http://www.navcen.uscg.mil/faq/gpsfaq.htm)
- Understanding GPS Principles and Applications
  - Elliott D. Kaplan, Editor
  - Copyright © 1996 Artech House, Inc.
  - ISBN 0-89006-793-7



Muchas gracias



**Muchas gracias**  
**por su asistencia**