



GEOMÁTICA



PÉREZ ROMERO, A.M.

DTO. DE INGENIERÍA
GRÁFICA

E.T.S.I.A.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Bloque 5: Sistemas de posicionamiento Global (GPS-GNSS)

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

VENTAJAS GPS vs. Estación Total

- No requiere visibilidad directa entre los extremos a medir.
- Puede operarse de día y de noche, así como en condiciones climatológicas extremas.
- Mayor alcance y precisión en Geodesia.
- **Sistema de coordenadas común (WGS84 → EPSG 25830,...).**

INCONVENIENTES GPS vs. Estación Total

- Necesita **“ACCESO DIRECTO AL CIELO”**.

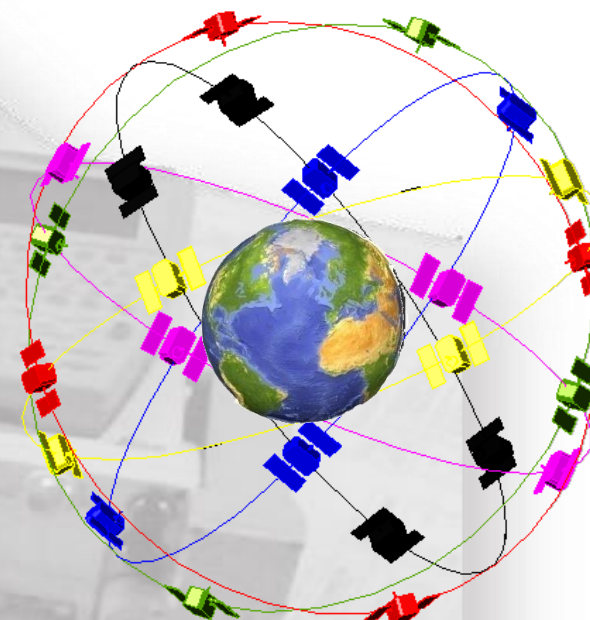
Bloque 5. Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Características generales

- Desarrollado por el Dpto. de Defensa de EEUU.
- Precisión de Navegación → 10 - 15 m (solo GPS).
- Cobertura en todo el mundo.
- 24 horas operativo desde 1994.
- Sistema común de coordenadas.
- Desarrollado para reemplazar los sistemas de navegación tradicionales.
- Accesible para uso Civil y Militar.



Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Sectores o Segmentos GPS

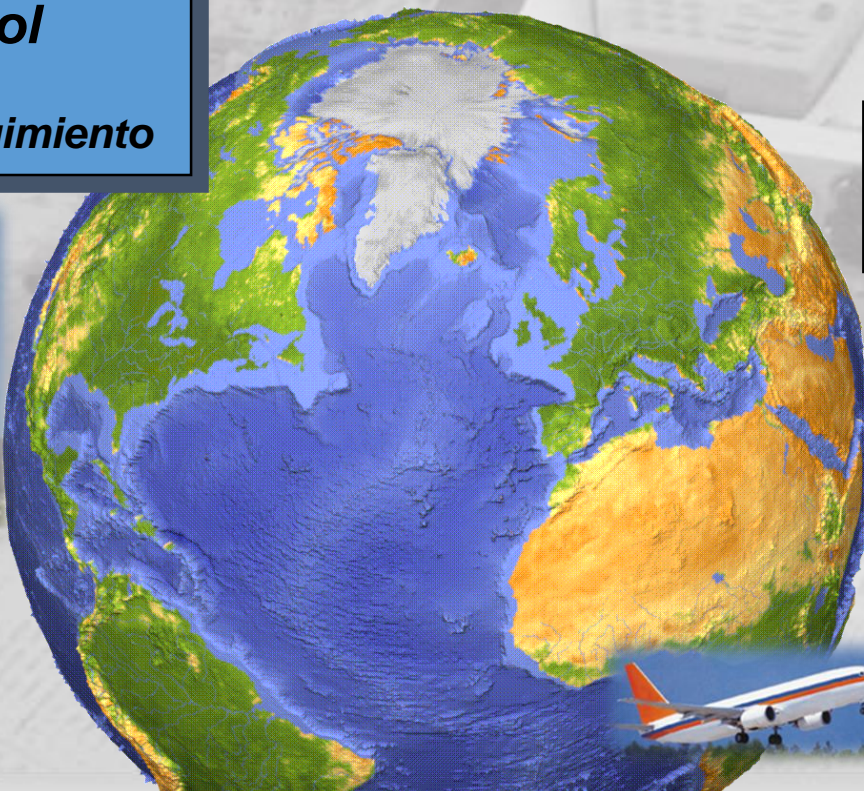


Sector Espacial
NAVSTAR : NAVigation
Satellite Time and Ranging
24 Satélites
20200 Km.

Sector de Control
1 Estación Principal
4 Estaciones de Seguimiento



Sector Usuario
Reciben la señal de los
Satélites



Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Sectores o Segmentos GPS

Sector de Control

1 Estación Principal

4 Estaciones de Seguimiento



Estación de Principal (Colorado Springs)

- Responsable de obtener información de las estaciones de verificación, calcular la posición de los satélites, así como controlar los parámetros de los relojes.

4 Estaciones de Verificación

- Responsables de medir los datos que permiten obtener la Pseudodistancia. Está constantemente rastreando la red de satélites, determinando las efemérides y controlando las señales de los relojes.
- Conectan las distintas Estaciones.
- Responsables de cargar la nueva información en los satélites.

Sistemas de posicionamiento global

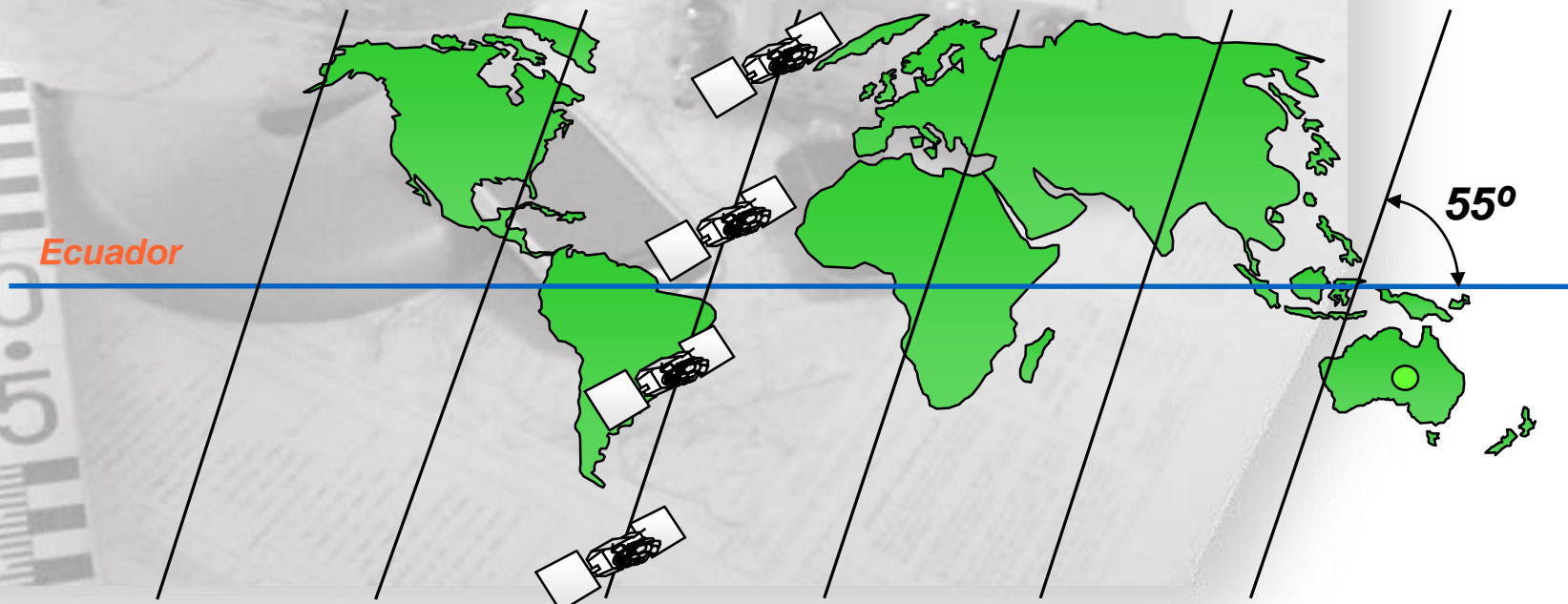
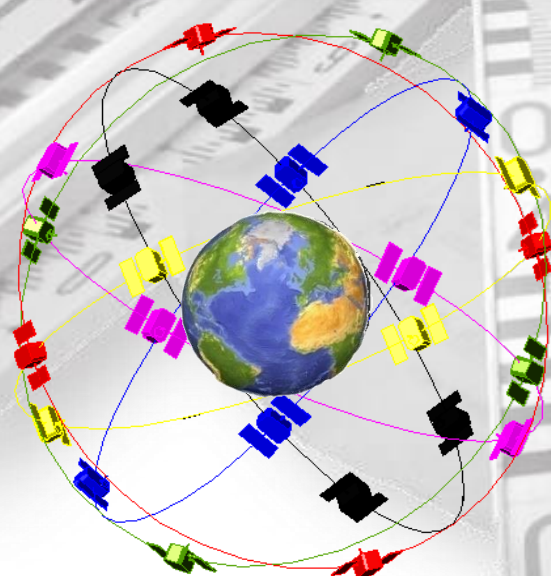
GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Sectores o Segmentos GPS

Sector Espacial
NAVSTAR : NAVigation
Satellite Time and Ranging
24 Satélites
20200 Km.

- 24 Satélites
 - 4 satélites en 6 Órbitas, en planos inclinados 55° respecto al Ecuador
- Los Satélites giran a 20.200 Km. sobre la Tierra
- Órbitas de 12 horas
 - Visibilidad de 4-5 horas



Bloque 5. Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Sectores o Segmentos GPS

Sector Usuario

Reciben la señal de los Satélites

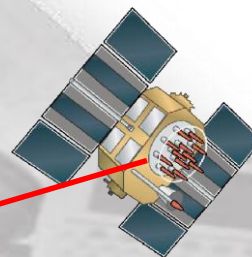


Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la distancia



$$\text{Distancia} = \text{Velocidad} \times \text{Tiempo}$$

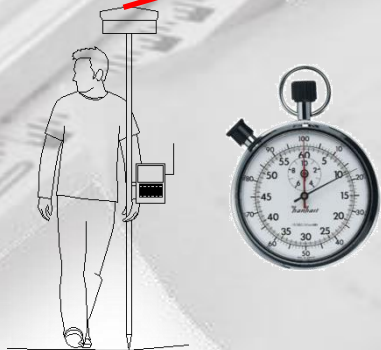
Problema para llevar esto a la práctica:

- La onda de radio viaja a la velocidad de la Luz.

Considerando el error del reloj del receptor de...

1/10 de segundo → 30.000 Km. de error.

1/1,000,000 de segundo → 300 m. de error.



Sistemas de posicionamiento global

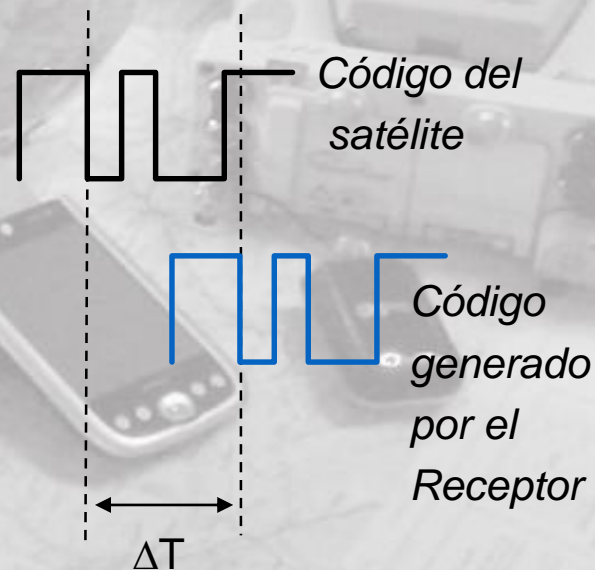
GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la distancia

Determinación de la Distancia Usando el Código

- Pseudodistancias(Código)
 - Cada satélite envía una única señal que se repite cada aprox. 1 msec
 - El receptor compara la señal recibida con la generada por el mismo.
 - El desfase de tiempo (ΔT) nos permite determinar la distancia.
 - El reloj del Receptor tiene que sincronizar con el reloj del satélite.



$$D = V (\Delta T)$$

Sistemas de posicionamiento global

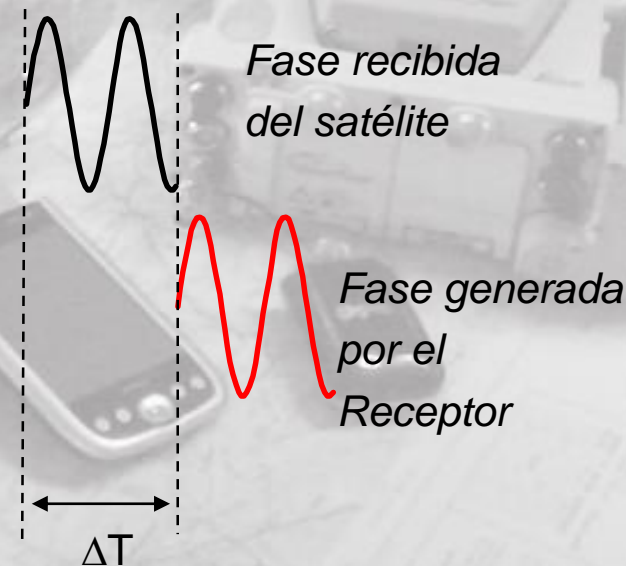
GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la distancia*Determinación de la distancia por la FASE*

- Observaciones de FASE
 - La longitud de onda es de 19 cm en L1 y 24 cm en L2.
 - El Receptor compara la señal de fase por él generada con la recibida.
 - El número entero de longitudes de onda durante la recepción es desconocida (Ambigüedades).
 - Durante el rastreo del satélite, los cambios en la medida de la distancia pueden calcularse (la ambigüedad permanece constante).

$$D = c \Delta T + \lambda N$$



Sistemas de posicionamiento global

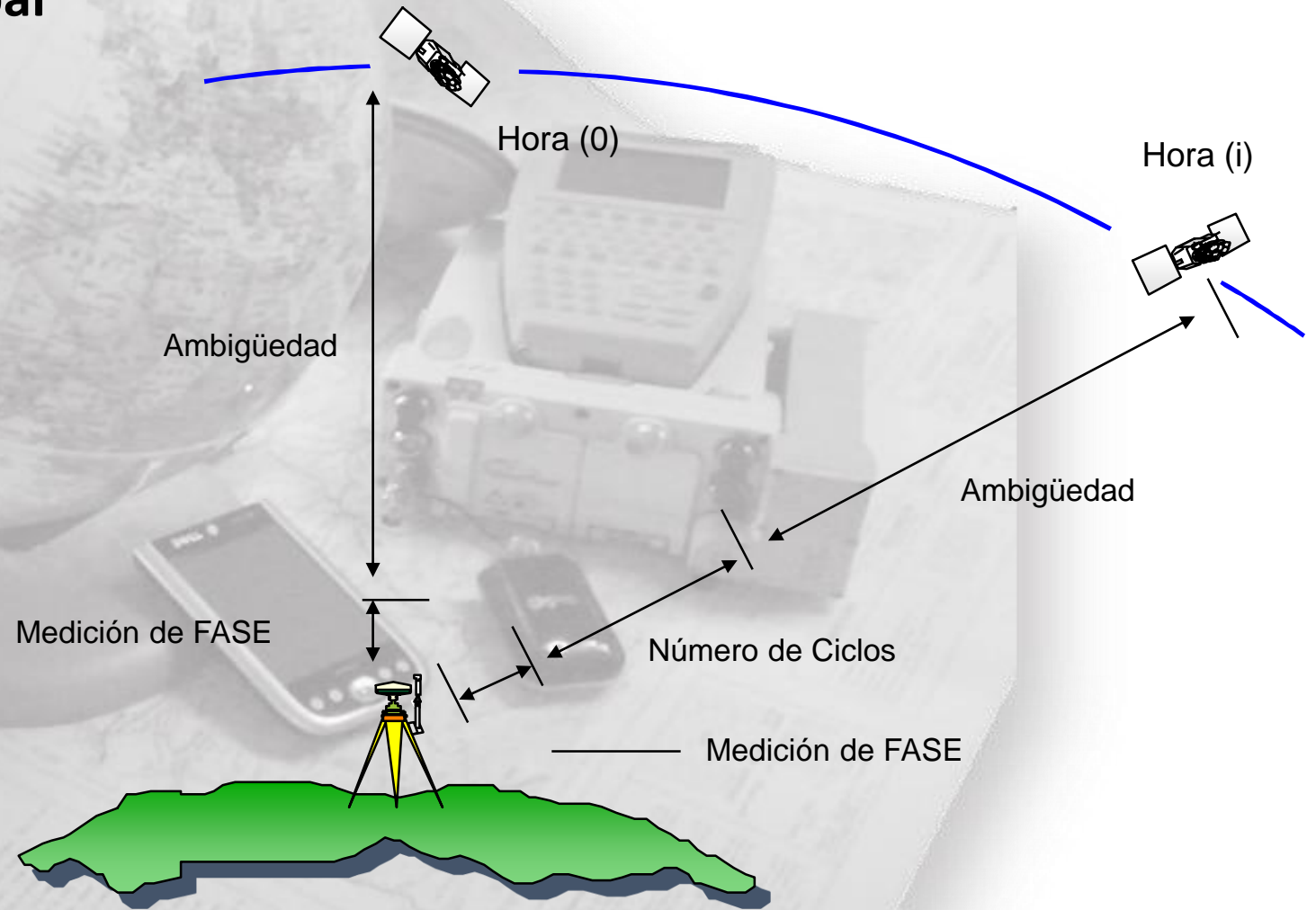
GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la distancia

Ambigüedad inicial en la Fase

La ambigüedad inicial de la Fase debe determinarse, para usar este valor de distancia, como datos de fase medidas a través del tiempo.



Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

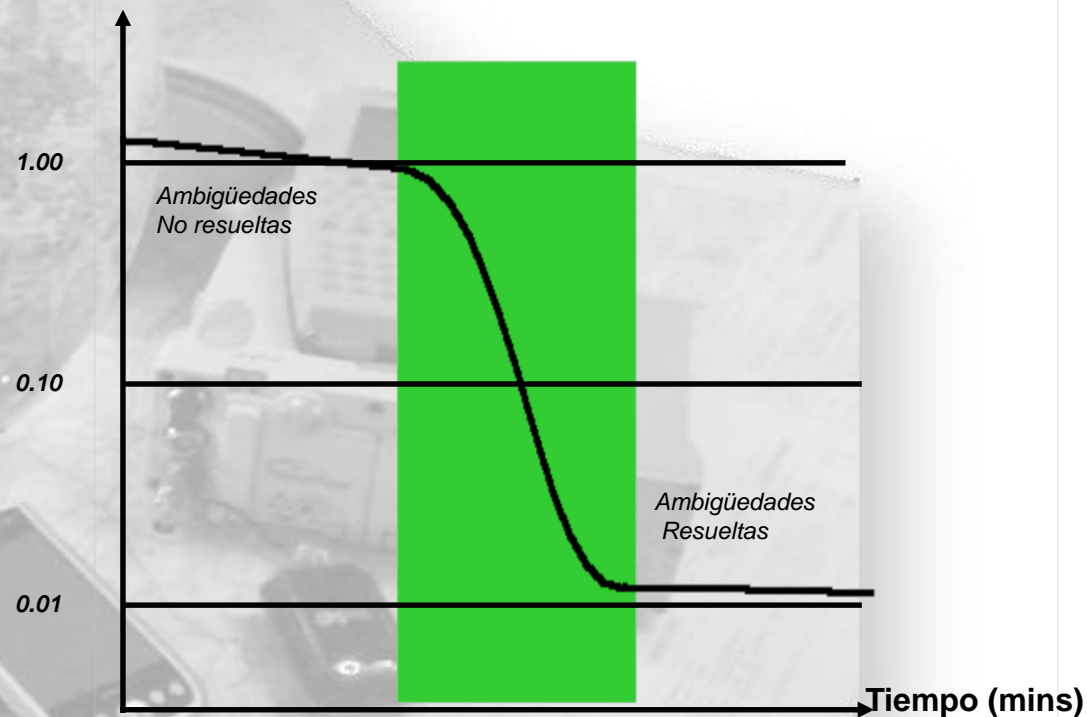
Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la distancia

Resolución de Ambigüedades

Una vez que se resuelven las ambigüedades, la precisión de la medida no mejora significativamente con el tiempo.

Precisión (m)



Estático

0 120

Estático Rápido

0 2 5

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la distancia

Resolución de Ambigüedades

Una vez que se resuelven las ambigüedades, la precisión de la medida no mejora significativamente con el tiempo.

Precisión (m)

1.00

0.10

0.01

Ambigüedades
No resueltas

Ambigüedades
Resueltas

Tiempo (mins)

0 120

0 2 5

Estático

Estático Rápido



Bloque 5. Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la distancia

*Tiempos de observación
para la Resolución de
Ambigüedades*

PLANIMETRÍA

	Número de satélites					
	4		5		6 o +	
Longitud	Mono	Bi	Mono	Bi	Mono	Bi
1-10 Km	60	20	36	12	24	8
10-20 Km	75	25	45	15	30	10
20-50 Km	105	35	75	25	60	20
>50 Km	180	60	135	45	90	30

ALTIMETRÍA

Longitud	Tiempo	Épocas
< 10 Km	30 min	5 segundos
10-20 Km	60 min	10 segundos
20-40 Km	120 min	15 segundos
40-60 Km	240 min	15 segundos

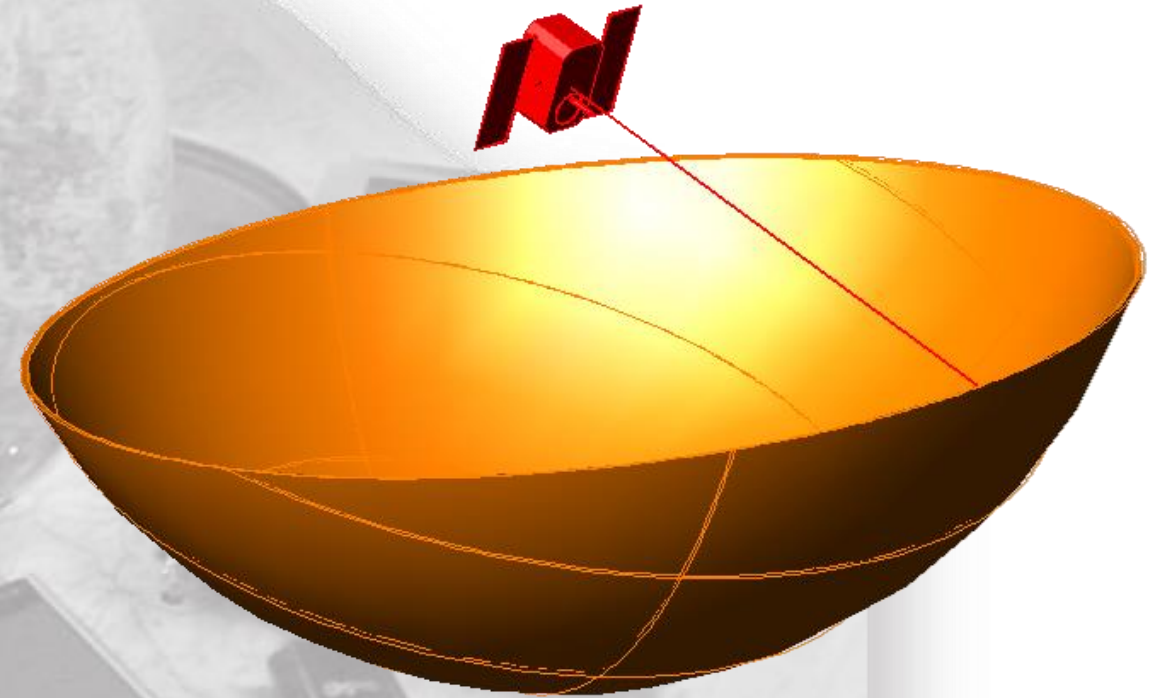
Fuente: US-Army Coprs Engineers (2003)

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la posición



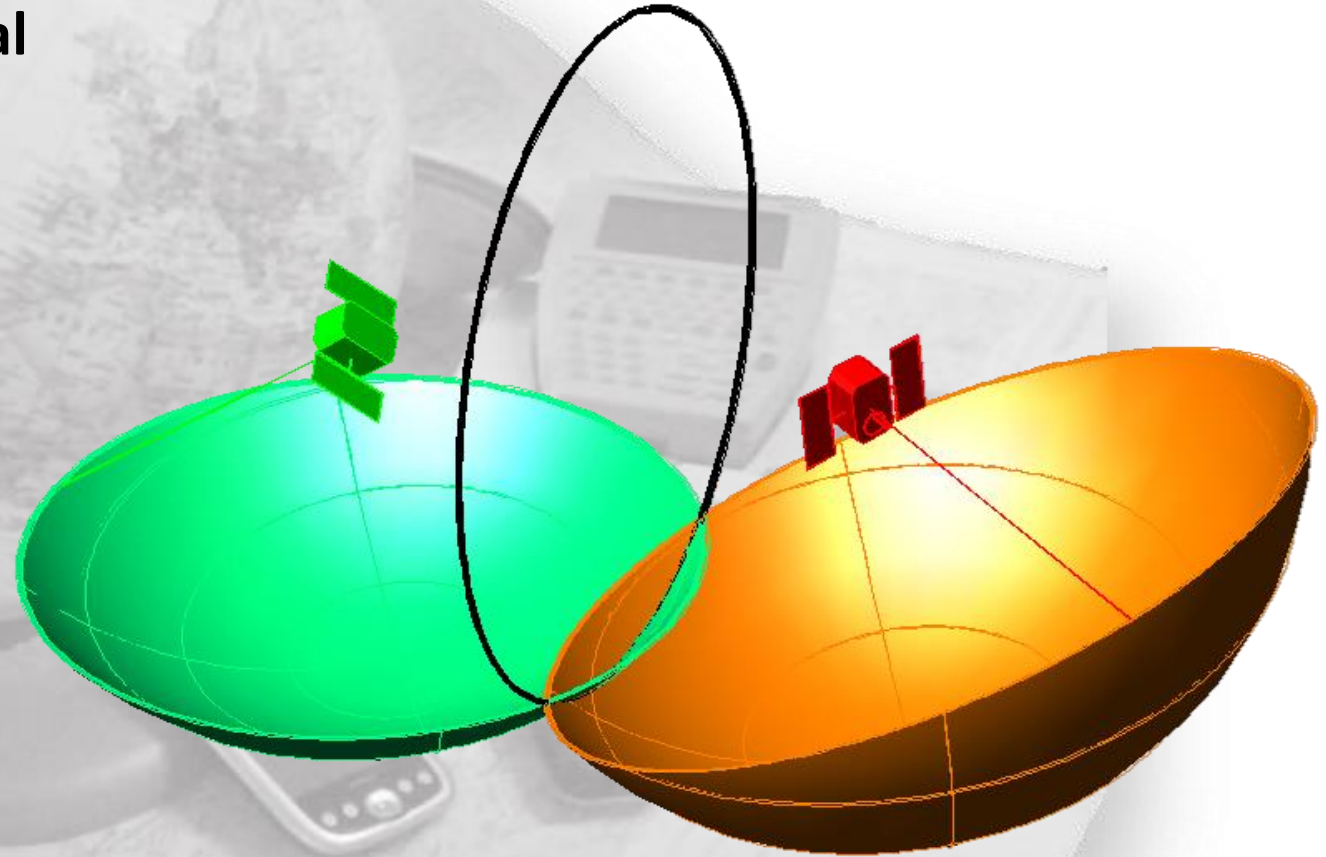
Nos encontramos en la superficie de una esfera de radio, $R1$

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la posición



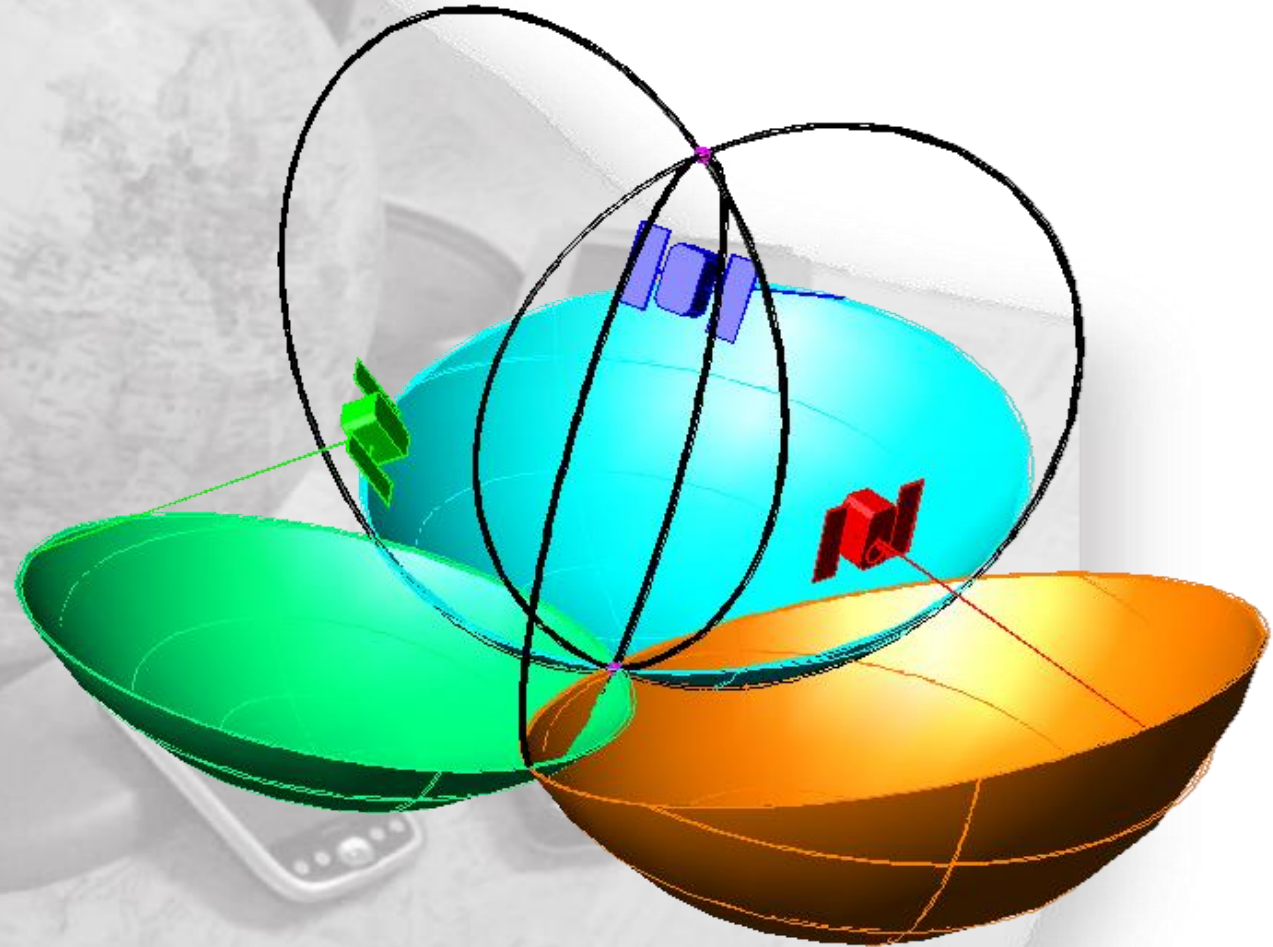
La intersección de 2 esferas determinan una circunferencia en superficie.

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la posición



La intersección de 3 esferas genera dos puntos en superficie, de los dos, el único válido es el de cota más baja.

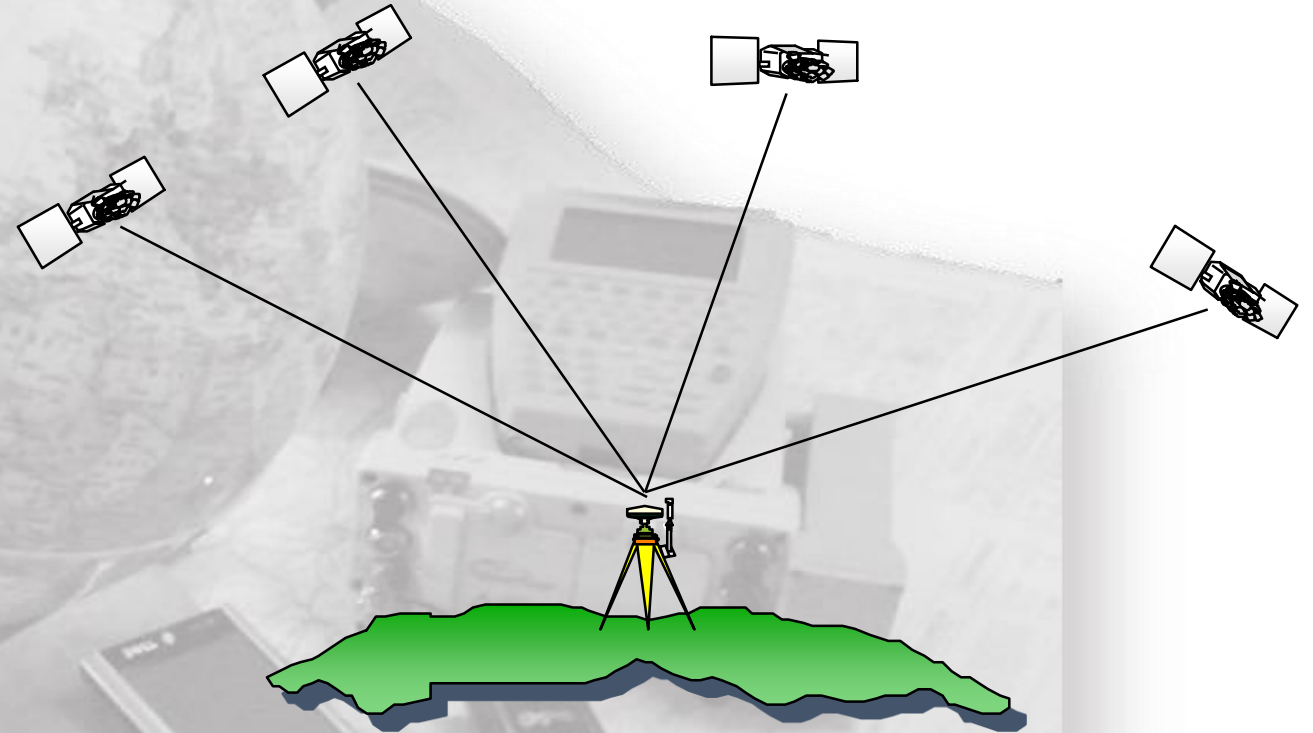
3 Incógnitas a resolver, Latitud, Longitud y Altura.

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la posición



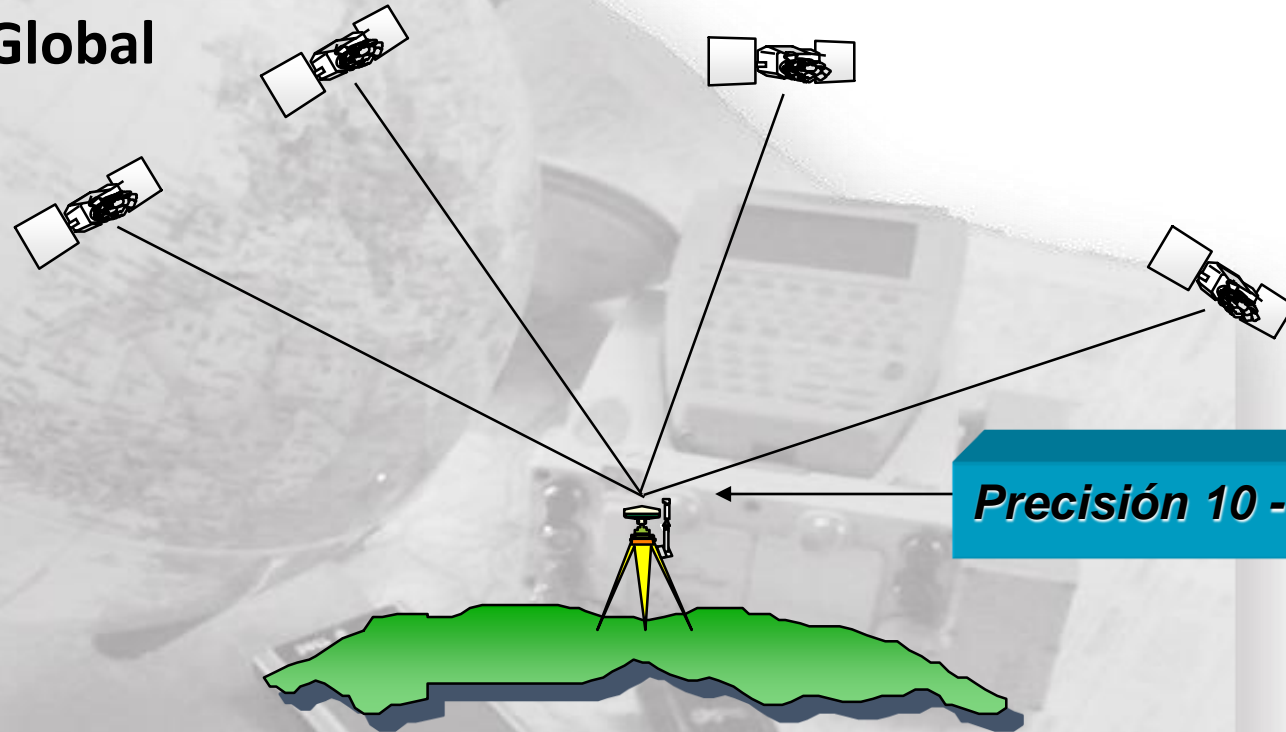
**4 Incógnitas a resolver, Latitud, Longitud, Altura y Tiempo.
Es muy similar a un problema de trisección inversa.**

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Cálculo de la posición



Un sólo equipo recibiendo de forma autónoma se dice que está en modo NAVEGACIÓN, con una precisión de 10 a 15 m (**5 m**).

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

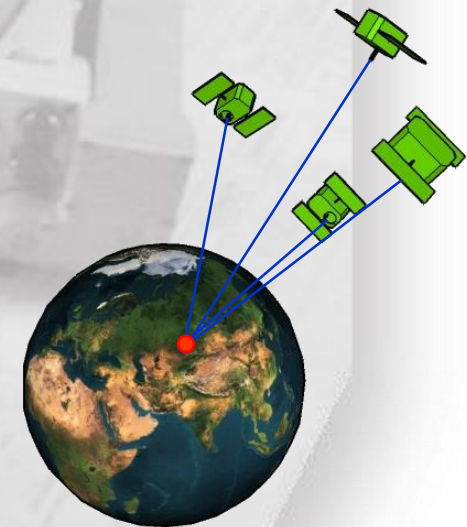
Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Disolución de la Precisión (DOP)

- Describe la contribución de la posición geométrica de los satélites en la incertidumbre de la medida de un punto fijo.
- Es un valor que indica la posición geométrica de los satélites durante el tiempo de la medición.

- **GDOP** (*Geométrica*)
 - Incluye Latitud, Longitud, Altura y tiempo.
- **PDOP** (*Posición*)
 - Incluye Latitud, Longitud, y Altura .
- **HDOP** (*Horizontal*)
 - Incluye Latitud, Longitud.
- **VDOP** (*Vertical*)
 - Incluye la Altura

Pobre DOP



Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Disolución de la Precisión (DOP)

- Describe la contribución de la posición geométrica de los satélites en la incertidumbre de la medida de un punto fijo.
- Es un valor que indica la posición geométrica de los satélites durante el tiempo de la medición.

- **GDOP** (Geométrica)
 - Incluye Latitud, Longitud, Altura y tiempo.
- **PDOP** (Posición)
 - Incluye Latitud, Longitud, y Altura .
- **HDOP** (Horizontal)
 - Incluye Latitud, Longitud.
- **VDOP** (Vertical)
 - Incluye la Altura



Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Sistemas SBAS para navegación

SBAS: Abreviatura inglesa de *Satellite Based Augmentation System* (Sistema de Aumentación Basado en Satélites).

Es un sistema de corrección de las señales que los [Sistemas Globales de Navegación por Satélite](#) (GNSS) transmiten al receptor [GPS](#) del usuario.

Los sistemas SBAS mejoran el posicionamiento Horizontal y vertical del receptor y dan información sobre la calidad de las señales.

Aunque inicialmente fue desarrollado para dar una precisión mayor a la navegación aérea, cada vez se está generalizando más su uso en otro tipo de actividades que requieren del uso de la señal GPS.

[Estos sistemas mejoran sensiblemente la precisión de navegación, pasando de 10-15 m. a 1-2 m.](#)

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Sistemas SBAS para navegación

- **WAAS** (Wide Area Augmentation System), gestionado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.
- **EGNOS** (European Geostationary Navigation Overlay Service), administrado por la Agencia Espacial Europea.
- **MSAS** (Multi-Functional Satellite Augmentation System), operado por Japón.
- **STARFIRE**, gestionado por la empresa John Deere.

En proceso de desarrollo:

- (**GAGAN**) de la India.
- (**SNAS**) de China.
- (**SACCSA**) de Latinoamérica.



Sistemas de posicionamiento global

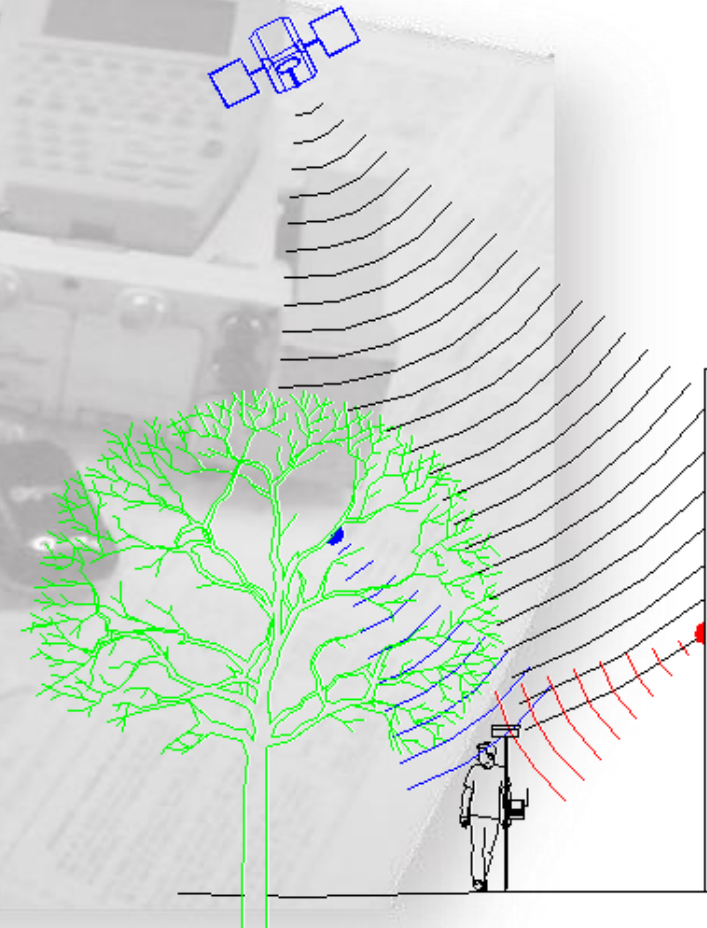
GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Tipos de Errores asociados al sistema

- Errores de Observación:
 - Retraso Ionosférico.
 - Retraso Troposférico.
- Errores del satélite:
 - Incertidumbre de la órbita.
 - Error de sincronización del satélite.
- Errores del Receptor:
 - Reloj del Receptor
 - Ruidos del Receptor.

- Errores de la Estación:
 - **MULTIPATH.**



Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Tipos de Errores asociados al sistema

***¿Cómo mejorar la
Precisión ?***

***Usando el método
Diferencial GPS***

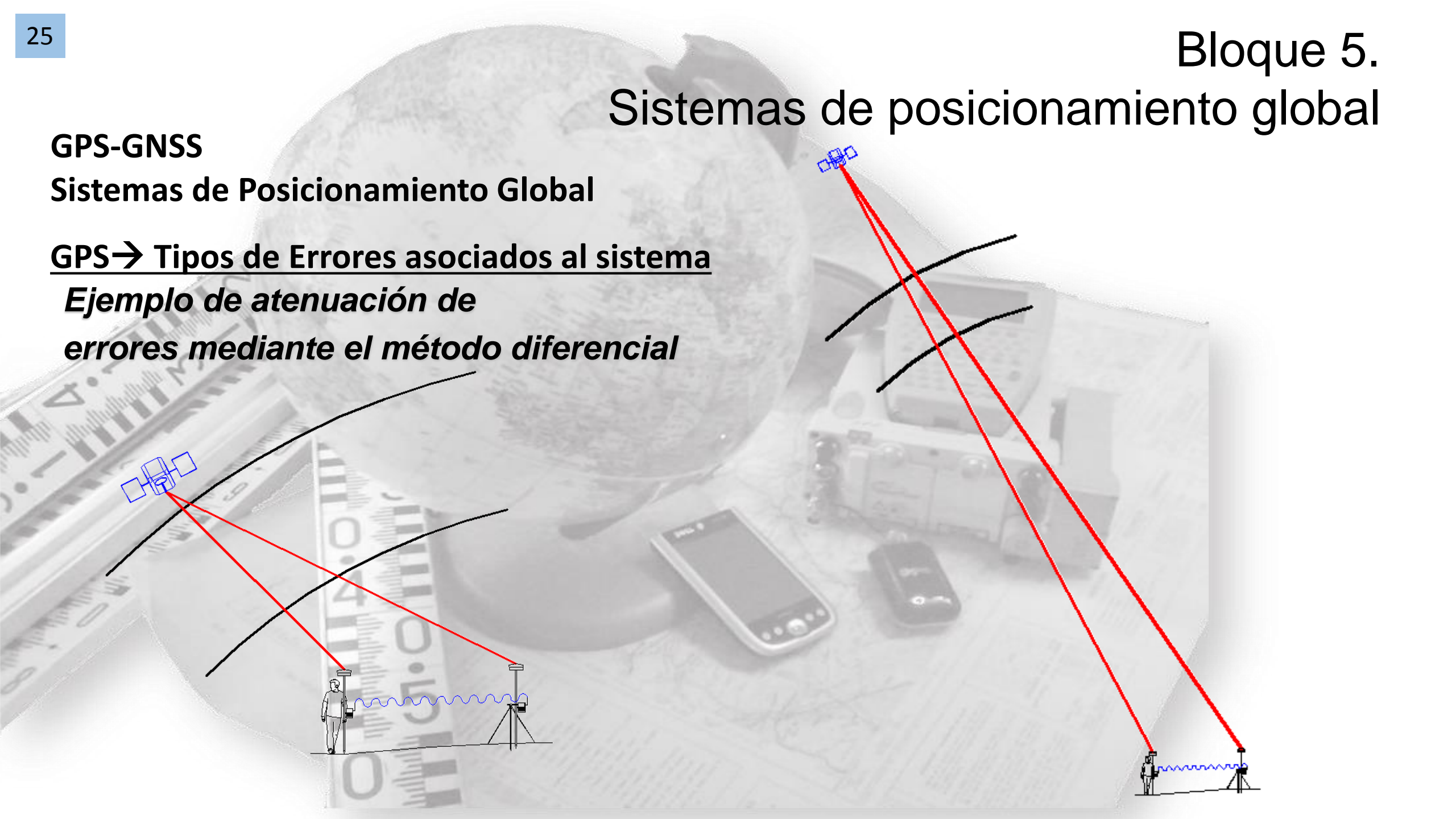
Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Tipos de Errores asociados al sistema

Ejemplo de atenuación de errores mediante el método diferencial



Bloque 5.

Sistemas de posicionamiento global

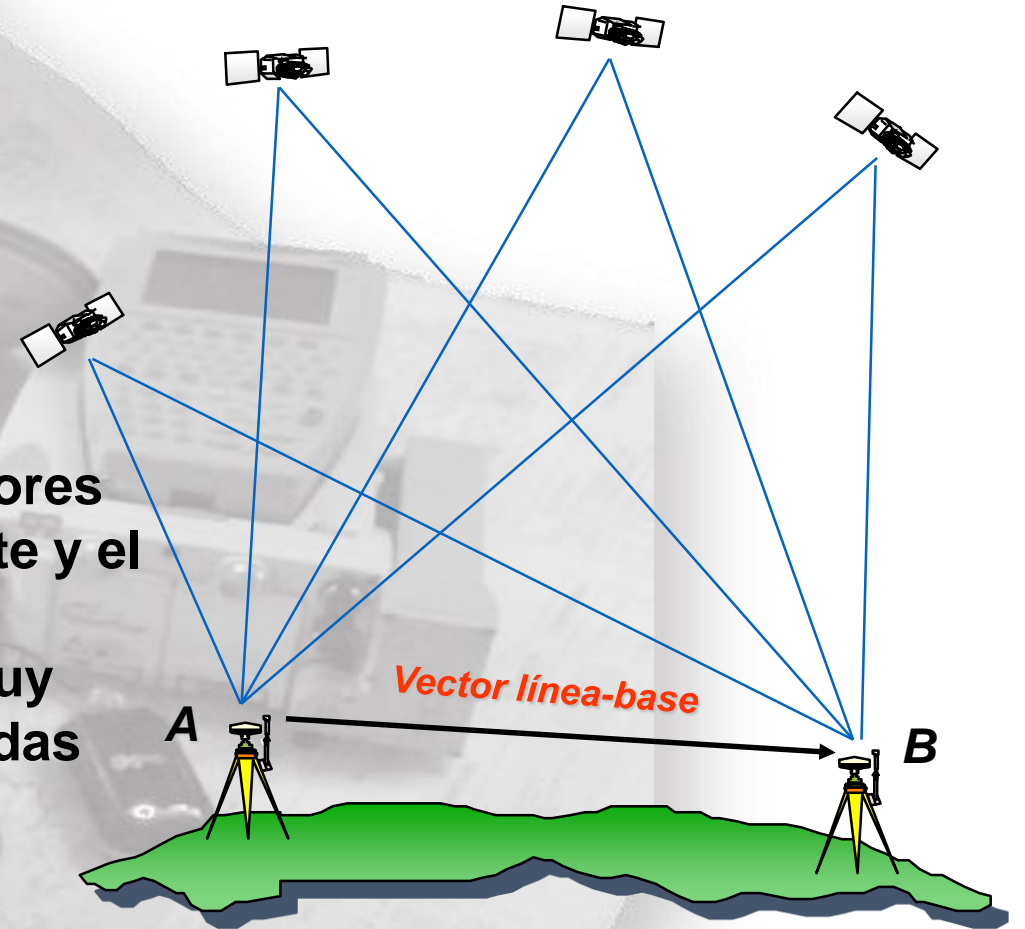
GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Posicionamiento Diferencial

- Es posible determinar la posición de un punto 'B' (rover) en relación a un punto 'A' (master)
 - Las coordenadas del punto de referencia "A" son conocidas.
 - Los satélites son observados a la vez.

Todo esto limita los errores de los relojes del satélite y el receptor, permitiendo obtener precisiones muy superiores a las obtenidas en navegación.



Bloque 5. Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Posicionamiento Diferencial

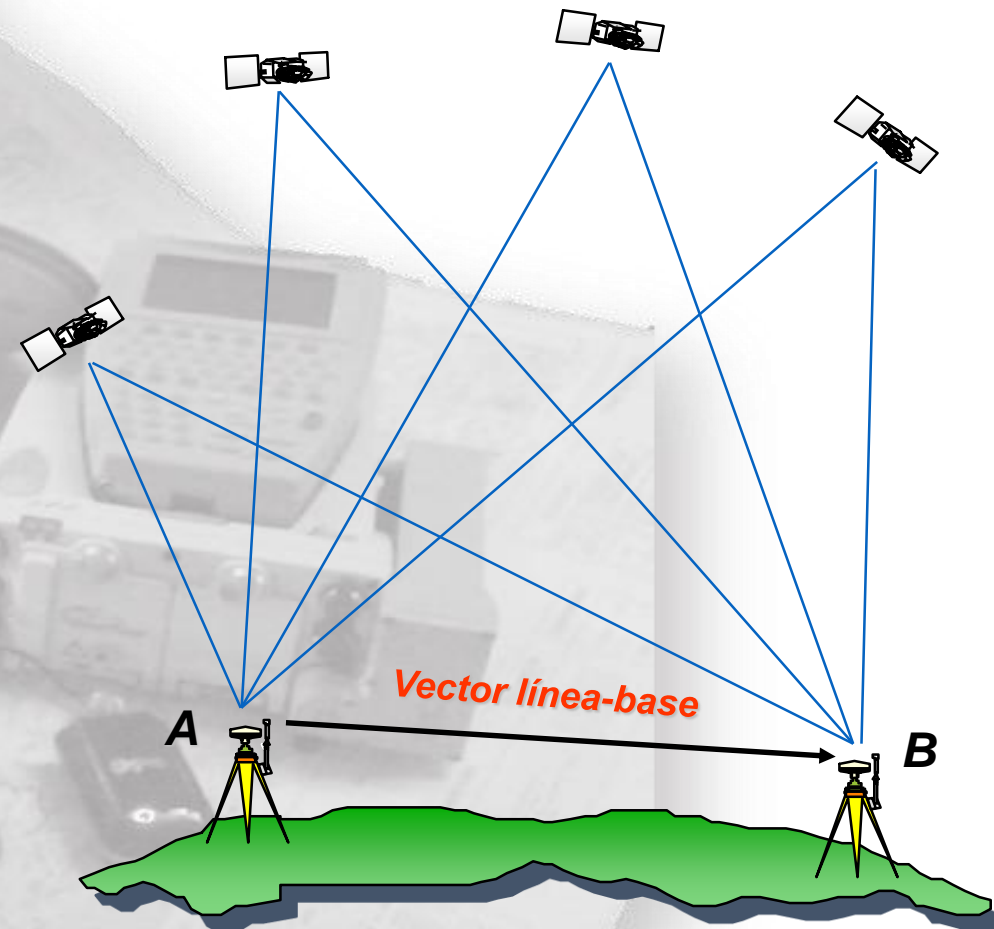
Usando sólo **Código** obtenemos precisiones en distancia de:

0.25 m – 0.5 m

Usando **Código + Fase** obtenemos precisiones en distancia, dependiendo del método de trabajo de:

5 mm – 10 mm + 5 ppm (estático)

1 a 5 cm (cinemático y semi-cinemático)



Bloque 5.

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Métodos de trabajo en modo DIFERENCIAL

- Estático (normal y rápido)
- Cinemático (con y sin inicialización)
- Semi-cinemático (STOP AND GO)



Estos tres métodos se pueden utilizar con código y también con código+fase.

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Componentes básicos de un equipo GPS

- Sensor
- Antena
- Unidad de control / Ordenador
- Programa Base y programa de Proceso de datos
- Radio-modem o conexión a Internet (para equipos RTK)



Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GPS → Tipos de GPS

Tipos de GPS

Navegación

Sin SBAS^(*): 10 a 15 m.

Con SBAS: 1 a 2 m.

Post-proceso

Estático

Código

0,25 – 0,50 m.

Código + fase

5 mm. + 5 ppm.

Semi-cinemático

0,25 – 0,50 m.

1 a 5 cm.

Cinemático

0,25 – 0,50 m.

1 a 5 cm.

Tiempo real

Estático

1 a 5 cm.

Cinemático

1 a 5 cm.

Replanteo

1 a 5 cm.

(*) EGNOS (Europa), WAAS (EEUU) y MSAS (Japón)

Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

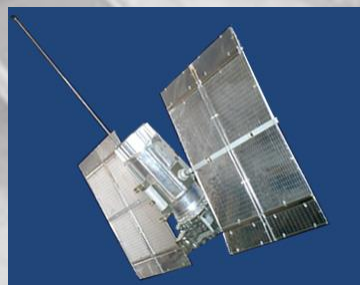
Sistemas de Posicionamiento Global

GNSS Sistema Global de Navegación por Satélite (**GNSS**, en su acrónimo inglés) es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire. Estos sistemas permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas, y otras actividades afines.

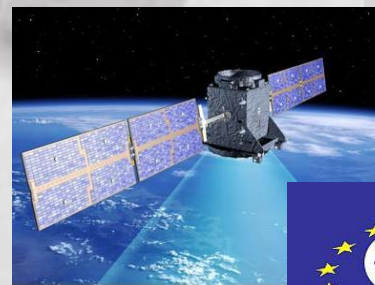
NAVSTAR



GLONASS



GALILEO



Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

GNSS Los equipos de medición actuales son capaces de trabajar con las dos constelaciones operativas a día de hoy (NAVSTAR y GLONASS) y están preparados para utilizar la constelación **GALILEO** en el momento en que esté operativa (a finales de 2016 ya tendrá activadas algunas funciones y en 2020 deberá estar completada) y también **BEIDOU-II**.

Esto aporta una cobertura mayor de satélites, permitiendo lograr mayores precisiones con menos tiempo de observación.

También permite filtrar con más eficiencia los errores MULTIPATH permitiendo medir en lugares imposibles para equipos *“mono-constelación”*.



Sistemas de posicionamiento global

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

Redes de Posicionamiento Terrestre → Un ejemplo: La RAP

En los últimos años están surgiendo redes (privadas y públicas) de antenas receptoras GPS, que están midiendo 24 horas al día y que almacenan esa información para ponerla a disposición de los usuarios mediante INTERNET, de manera que puedan descargarla y realizar el postproceso de sus mediciones.

El último salto cualitativo ha sido la transmisión, por parte de las citadas antenas, de correcciones diferenciales (vía INTERNET y por telefonía móvil), que permiten trabajar a los usuarios con aparatos GPS de Tiempo Real.

Nos ahorran poner una referencia propia.

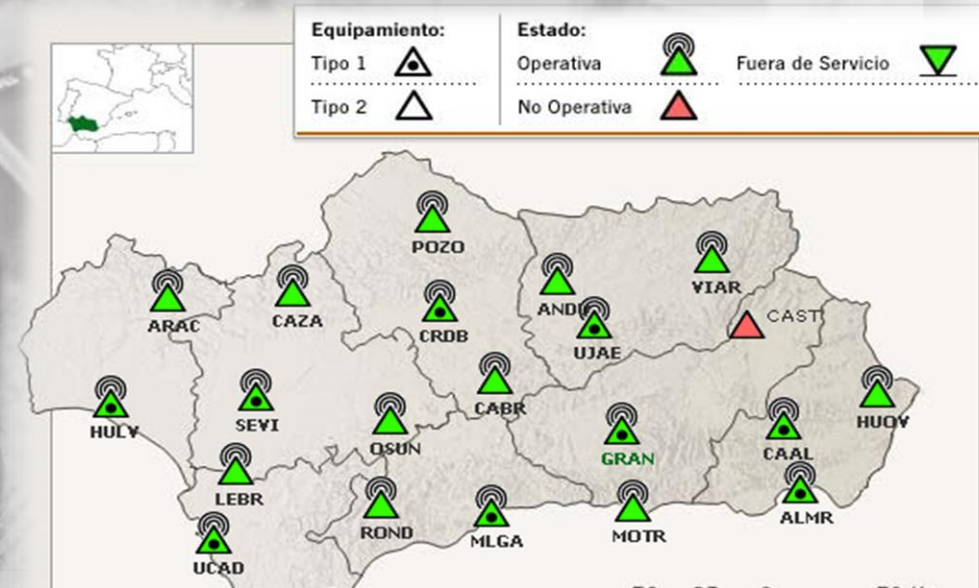
GPS-GNSS

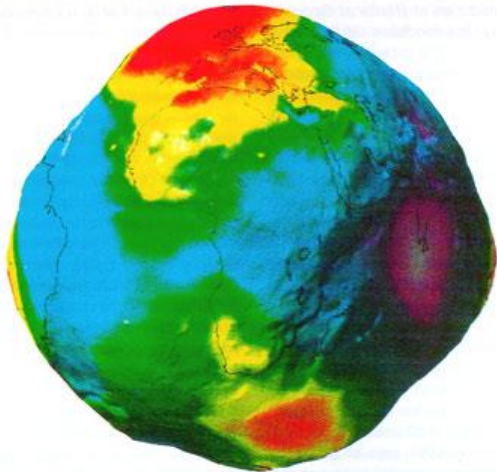
Sistemas de Posicionamiento Global

Sistemas de posicionamiento global

Redes de Posicionamiento Terrestre → Un ejemplo: La RAP

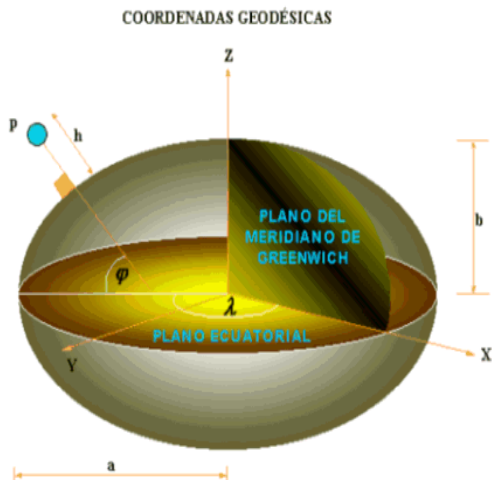
La **Red Andaluza de Posicionamiento (RAP)** es una red de 22 estaciones permanentes GPS que cubre homogéneamente la comunidad autónoma de Andalucía. Estas estaciones, además de crear un marco geodésico de referencia único y estable para levantamientos cartográficos y topográficos, ofrece servicios de descarga de ficheros de observaciones RINEX (servicio RAP-FTP) y de posicionamiento en tiempo real mediante el envío de correcciones diferenciales (servicios RAP-GSM y RAP-IP). Para llevar a cabo una correcta generación de las correcciones para los observables de fase y código en toda Andalucía.



GPS-GNSS**Sistemas de Posicionamiento Global****Sistemas de posicionamiento global****El “problema” de las cotas con GPS-GNSS****Geoide:**

Es la superficie de nivel, equipotencial en el campo de la gravedad, que adopta la forma de un esferoide irregular tridimensional.

Debido a que depende de la distribución de masas en el interior de la Tierra, es imposible representarlo matemáticamente.

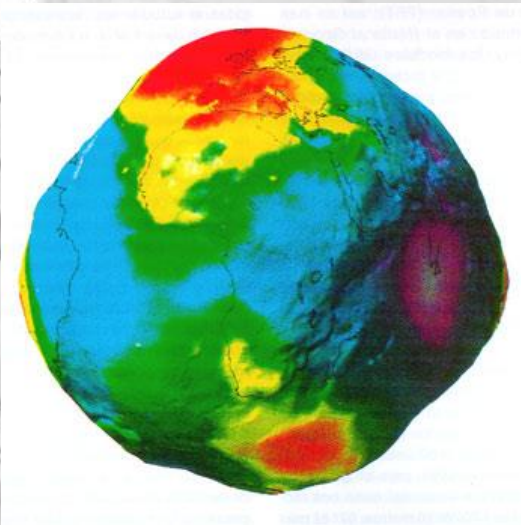
**Elipsoide de referencia:**

Superficie formada por la revolución de una elipse alrededor de su eje menor y usado como dato de comparación en levantamientos geodésicos del globo terrestre. Es la figura matemática que más se aproxima al Geoide, siendo sencilla de definir matemáticamente.

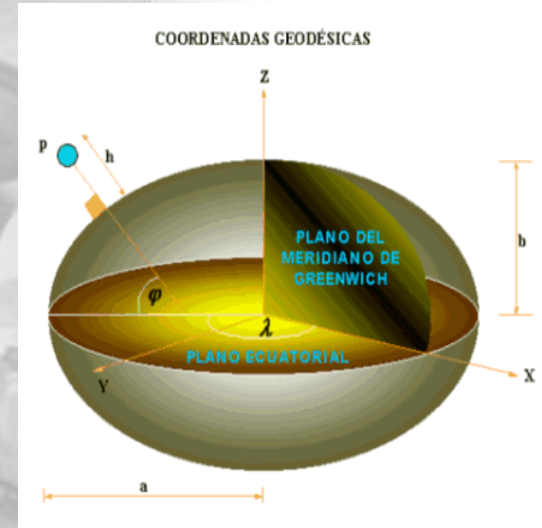
GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

Sistemas de posicionamiento global

El “problema” de las cotas con GPS-GNSS

Geoide



Elipsoide

Cota: Cifra que representa la altitud de un punto con respecto a la superficie de nivel de referencia.

Cota Ortométrica:
Cota Elipsoidal:

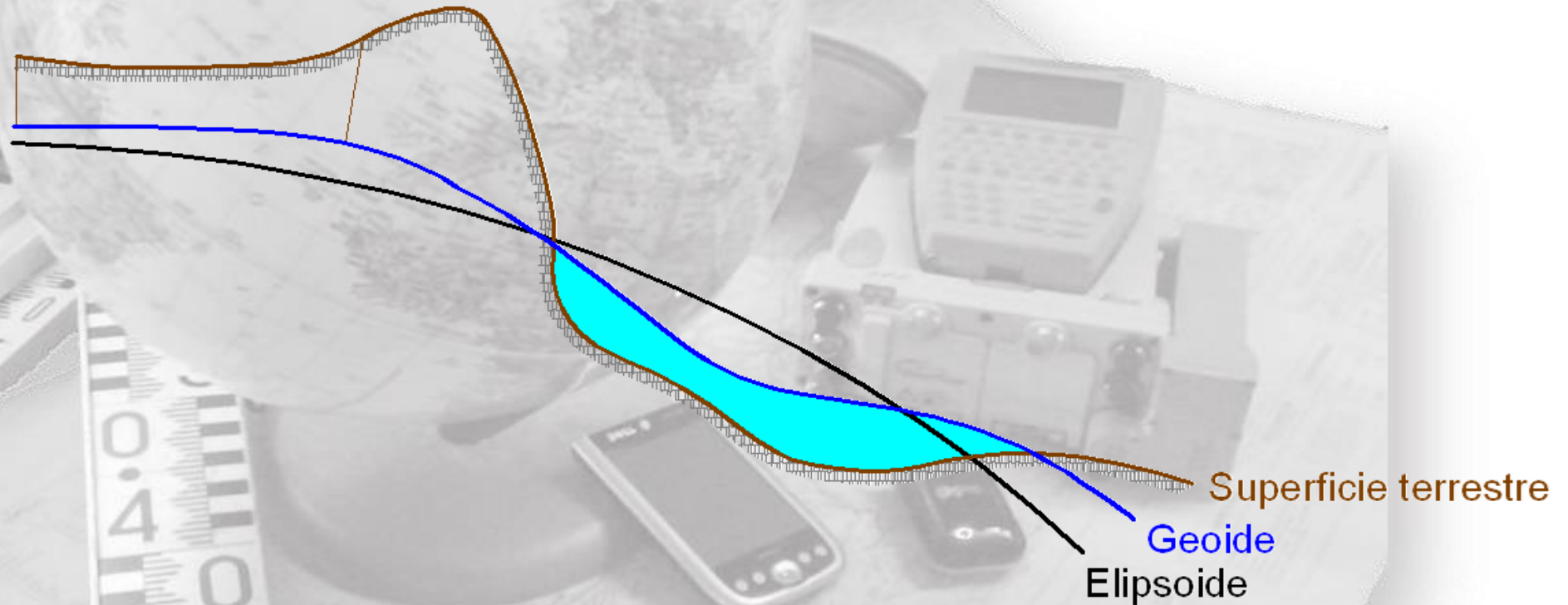
Medida respecto al geoide.
Medida respecto al elipsoide de referencia.

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

El “problema” de las cotas con GPS-GNSS

Sistemas de posicionamiento global

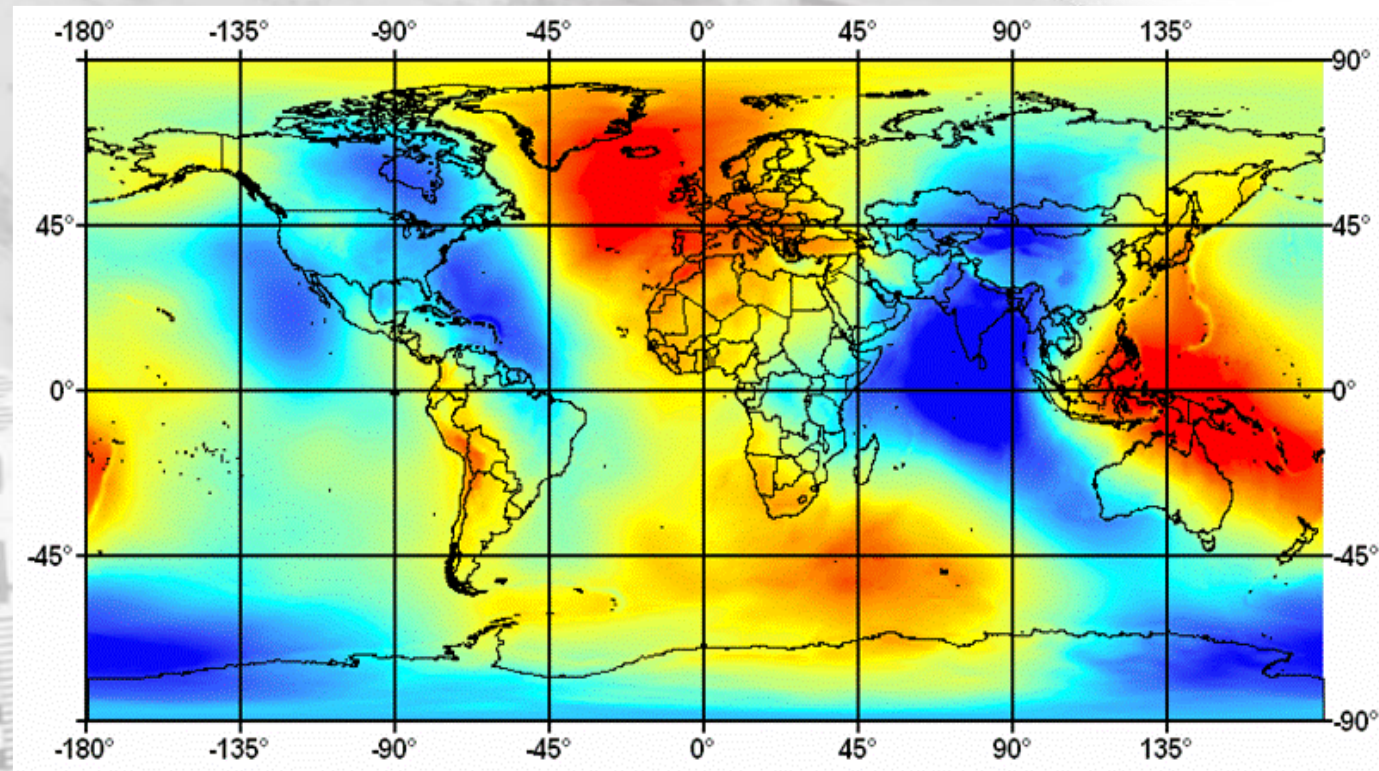


GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

El “problema” de las cotas con GPS-GNSS

Sistemas de posicionamiento global



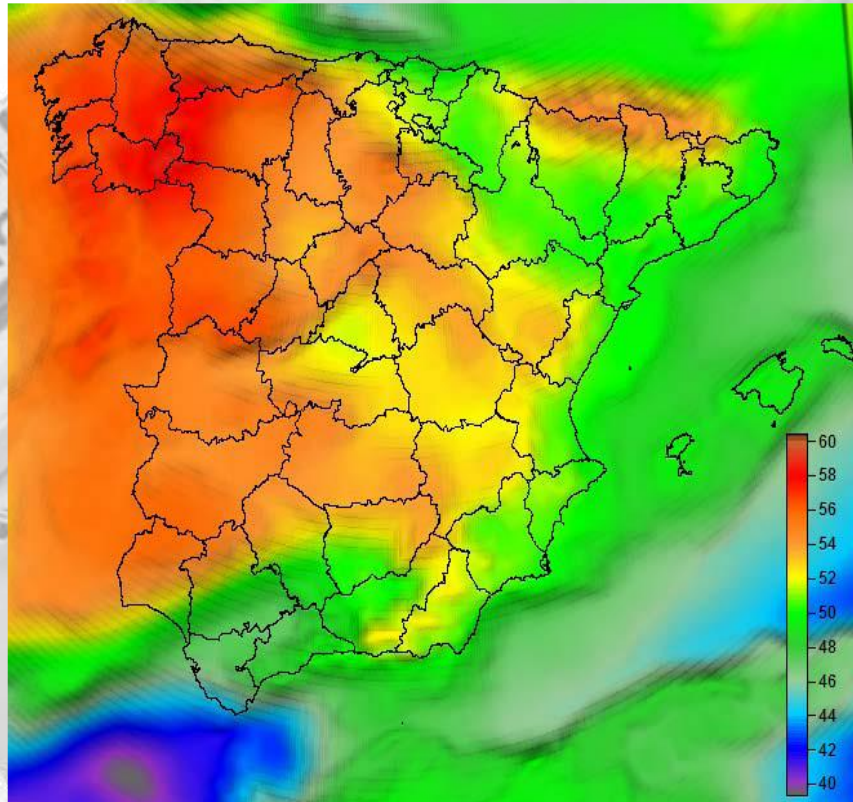
Modelo mundial EGM2008 (Fuente: <http://earth-info.nga.mil>)

GPS-GNSS

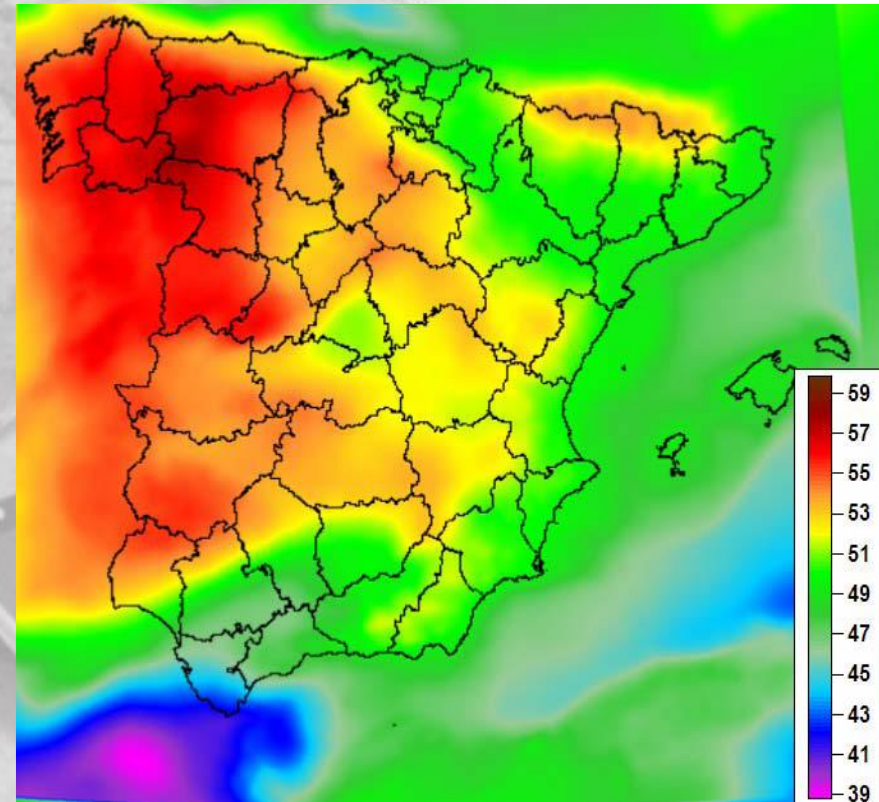
Sistemas de Posicionamiento Global

El “problema” de las cotas con GPS-GNSS

Sistemas de posicionamiento global



Modelo mundial de ondulación del
Geoide EGM2008



Modelo de ondulación del Geoide
EGM2008-REDNAP

GPS-GNSS

Sistemas de Posicionamiento Global

Sistemas de posicionamiento global

Referencias

BOE nº 207, de 29 agosto de 2007

“15822 REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España.

Gabriel Ortiz (SIG, GEODESIA, GPS): <http://www.gabrielortiz.com/>

Instituto Geográfico Nacional (2010).

EL NUEVO MODELO DE GEOIDE PARA ESPAÑA EGM2008 – REDNAP.

Centro de Observaciones Geodésicas. Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica. <ftp://ftp.geodesia.ign.es>

Peñafiel, J. y Zayas, J. (2004).

Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía.

Red Andaluza de Posicionamiento (RAP):

<http://www.juntadeandalucia.es/obraspublicasytransportes/redandaluzadeposicionamiento/rap/>

Sánchez Díaz , F. y Torrecillas Lozano, C. (2009). Mapping interactivo.

http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=504

Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>