



El GPS en los levantamientos hidrográficos

24 octubre 2012

C.F. José Manuel Millán Gamboa



El GPS en los levantamientos hidrográficos

- Breve historia del posicionamiento
- La llegada del GPS: el «engaño»
- Cálculo de parámetros de transformación
- Geodesia y topografía
- Perfiles de playa
- Midiendo mareas
- Batimetría sin lectura de mareas
- Midiendo el nivel del mar



Breve historia del posicionamiento

Levantamiento hidrográfico:



- ✓ Obtención de una sonda
- ✓ Punto de coordenadas conocidas
- ✓ Marea determinada



Posicionamiento en la mar acorde a los avances tecnológicos de cada época:

Observaciones
astronómicas

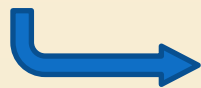


Global Positioning System (GPS)



Breve historia del posicionamiento

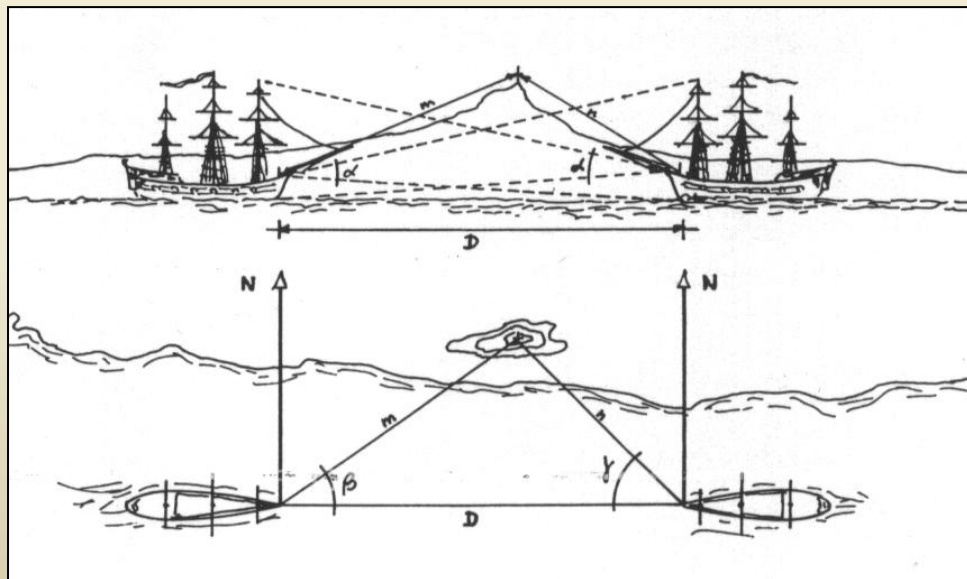
- Red de vértices a lo largo de la geografía española



Red de Control Hidrográfico (RCH)

- Inicio con observaciones astronómicas propias y redes de triangulación.

Método de
«altura de topes»



Siglo XVIII



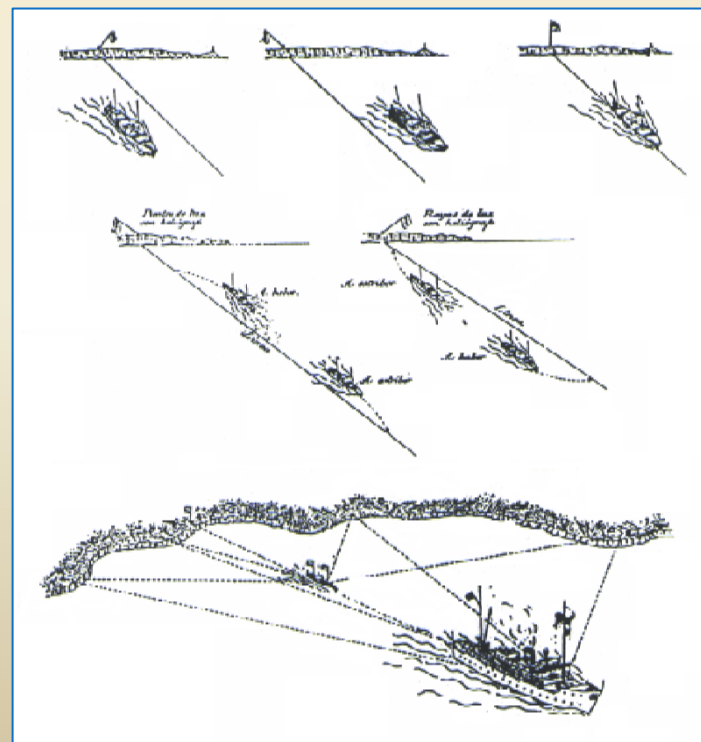
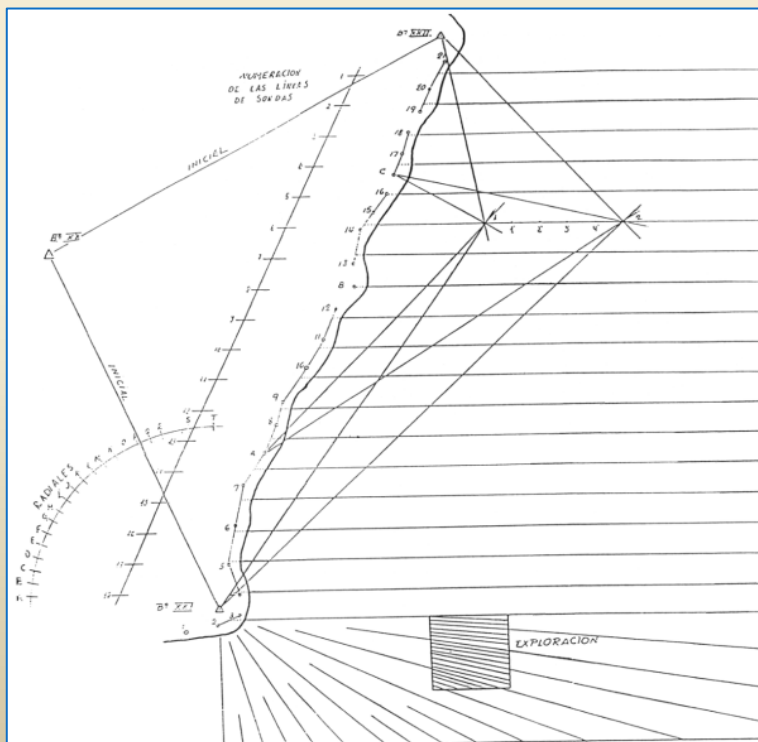
Breve historia del posicionamiento

- Redes secundarias muy próximas a la costa.

Método clásico:

- ✓ Dirección
- ✓ Posicionamiento

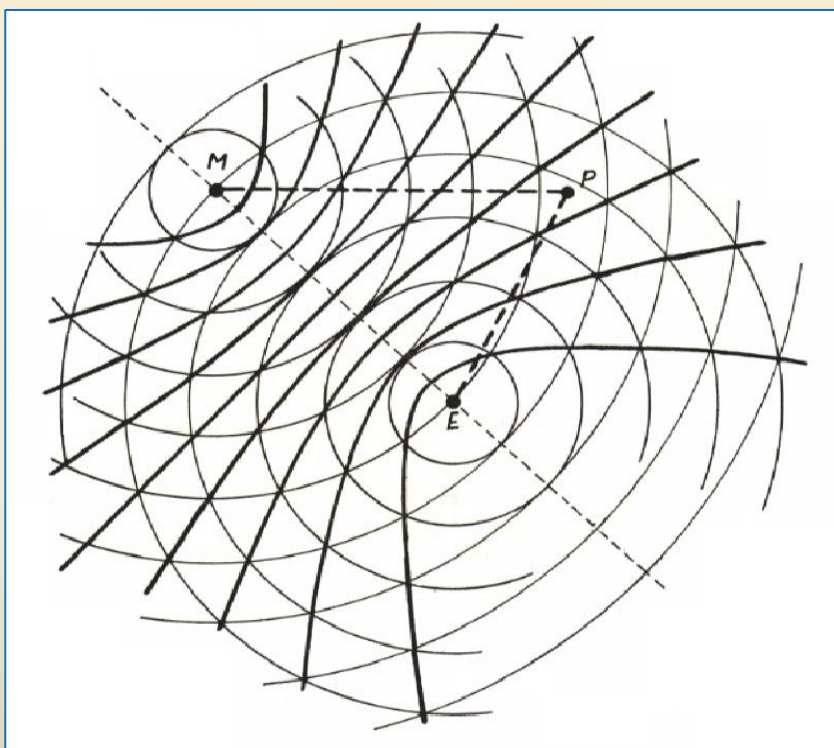
1ª mitad Siglo XX





Breve historia del posicionamiento

- Segunda mitad siglo XX: **posicionamiento radioeléctrico**



DECCA

Cartas especiales:
hipérbolas roja y verde

Mayor frecuencia de obtención de datos



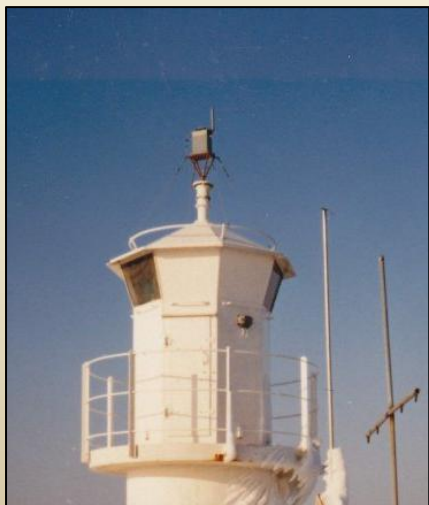
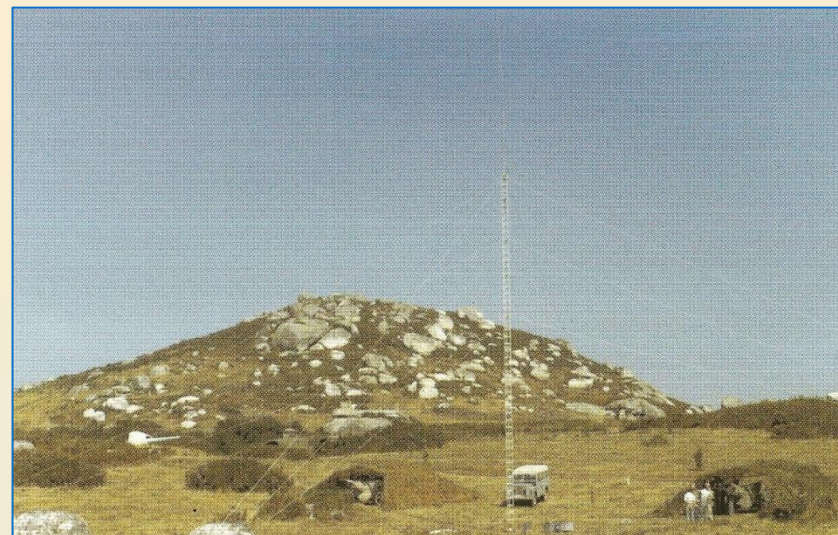
Sistema de navegación



Breve historia del posicionamiento



RAYDIST

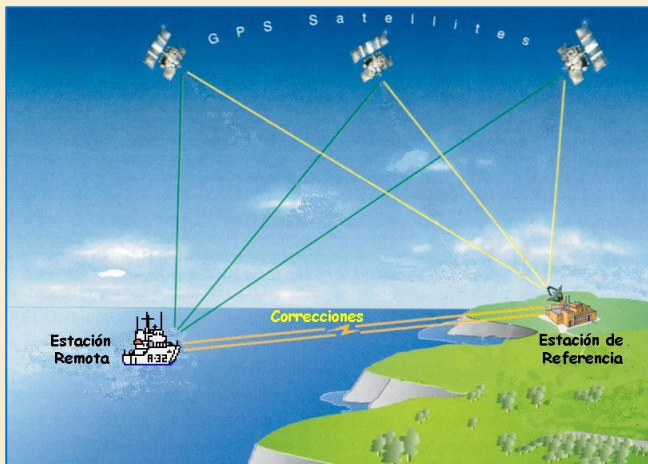


TRISPONDER

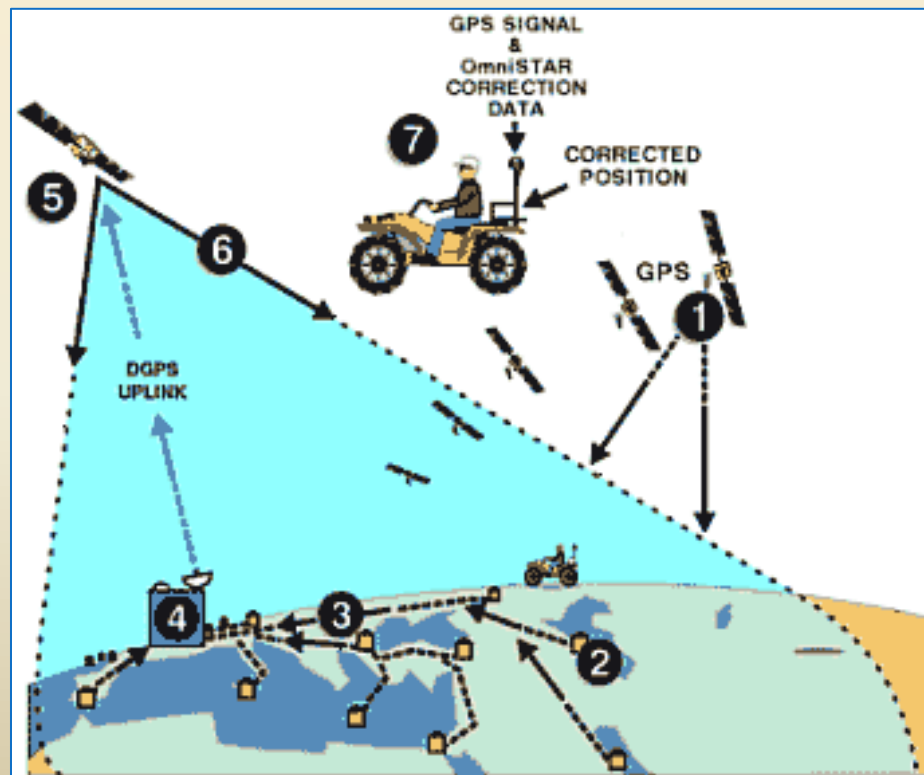




Breve historia del posicionamiento



DGPS

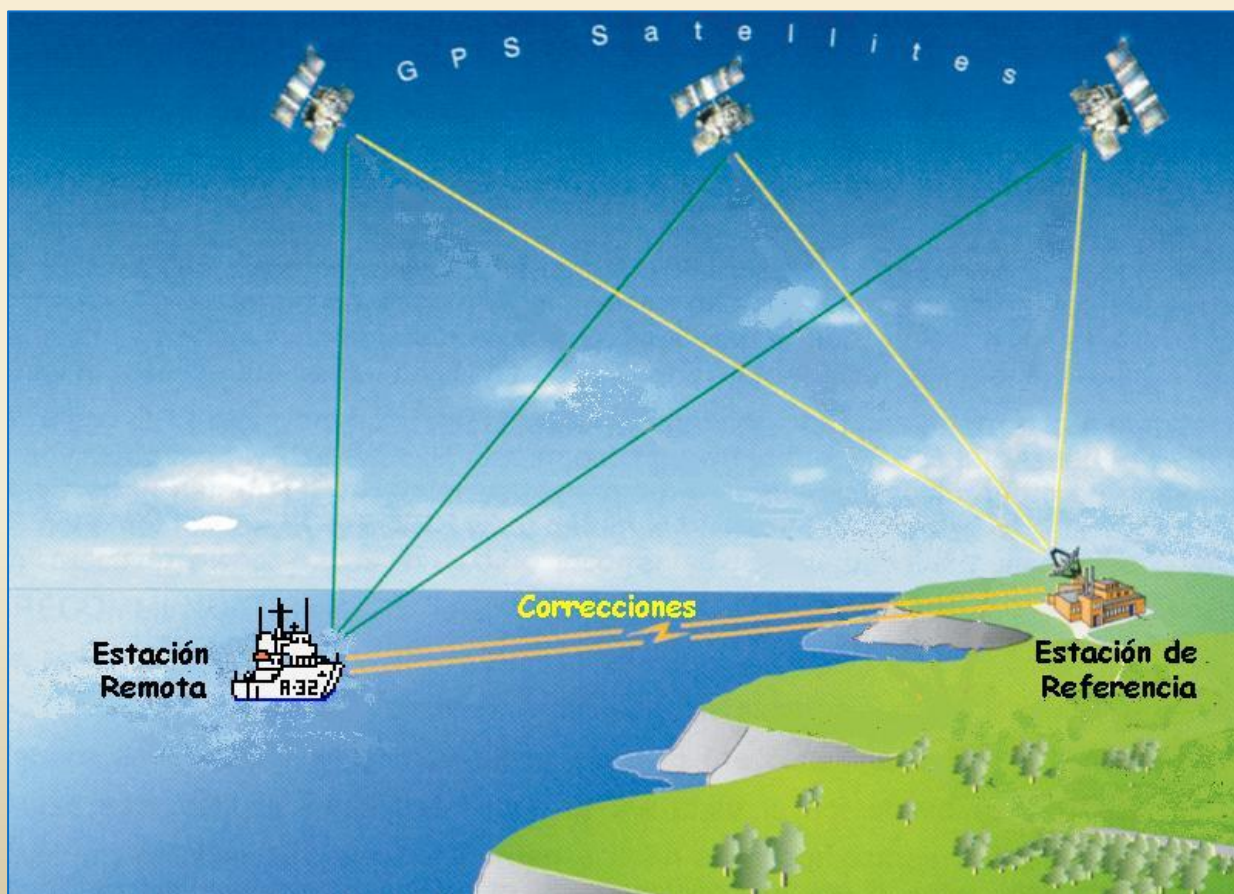


DGPS-SAT



La llegada del GPS: el «engaño»

En el año 1993 se empezó a emplear el GPS diferencial como sistema de posicionamiento para los levantamientos hidrográficos.





La llegada del GPS: el «engaño»

Problema: falta de coordenadas en datum WGS84

Posible solución: calcular parámetros de transformación entre ambos sistemas, pero...

cartografía nacional mantenía referencia ED50 !

Solución final: «engañar» al sistema...

introduciendo coordenadas ED50 en el receptor GPS de referencia como si se tratara de coordenadas WGS84.



La llegada del GPS: el «engaño»

cálculo en WGS84

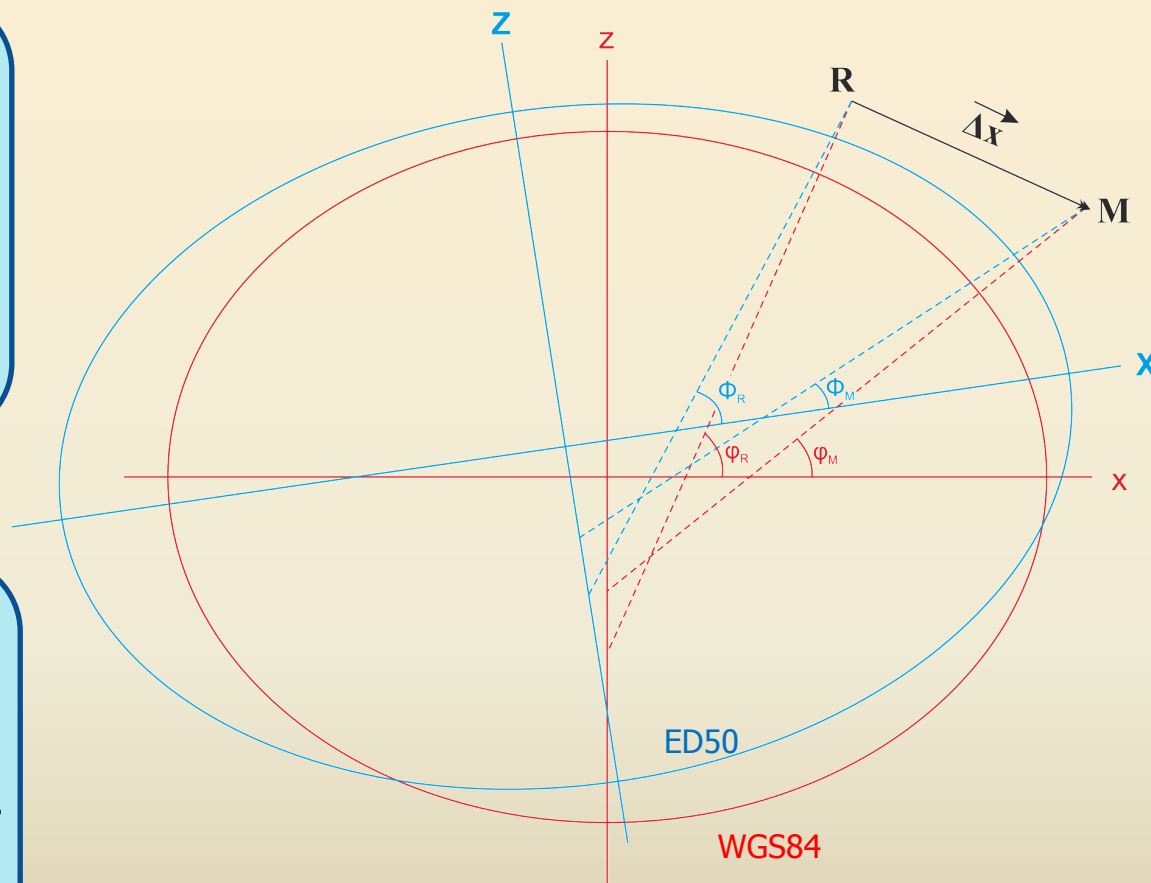


Consecuencia nº1: error en doble proceso entrada y salida coordenadas ED50

empleo vector Δx



Consecuencia nº2: error en cálculo posición ED50

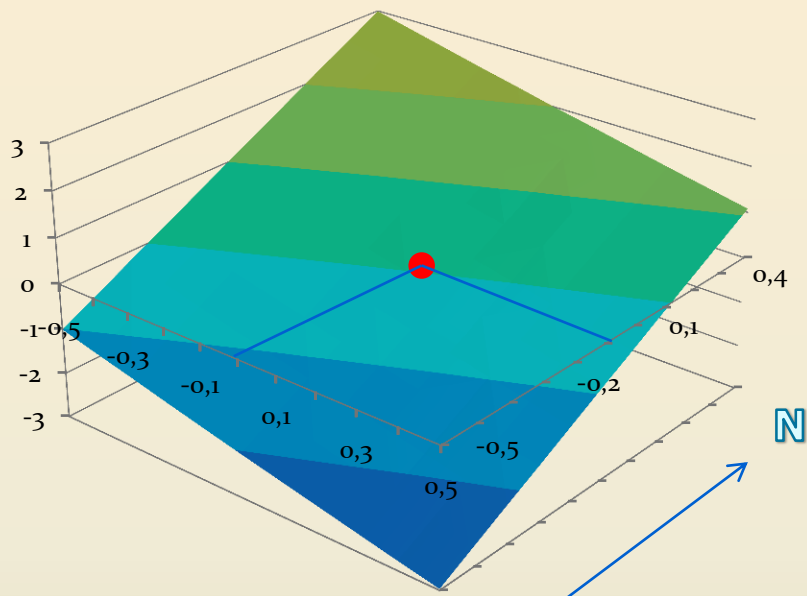


Error se incrementa con la distancia relativa

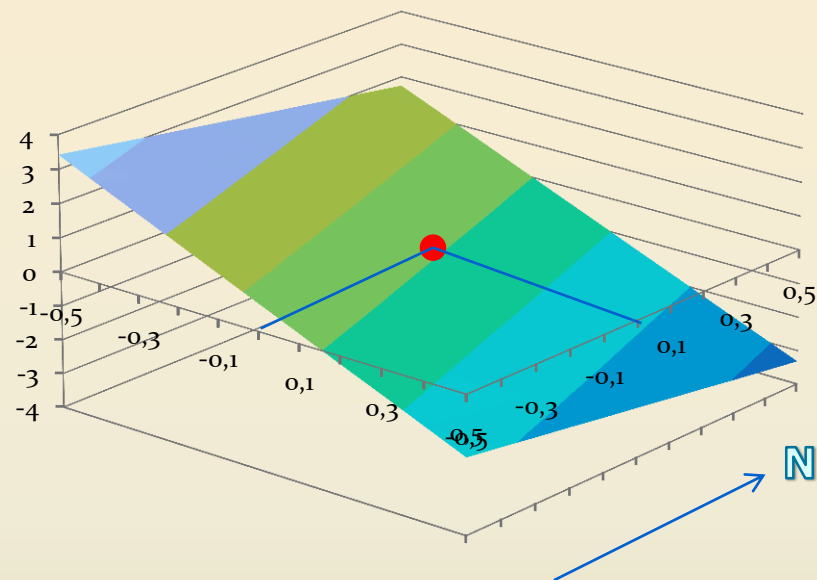


La llegada del GPS: el «engaño»

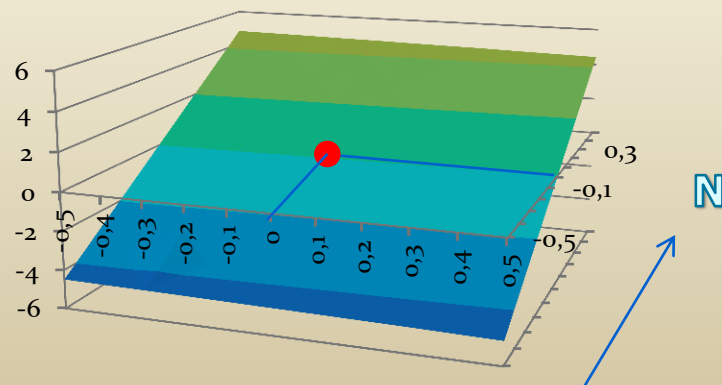
Error en latitud (m)



Error en longitud (m)

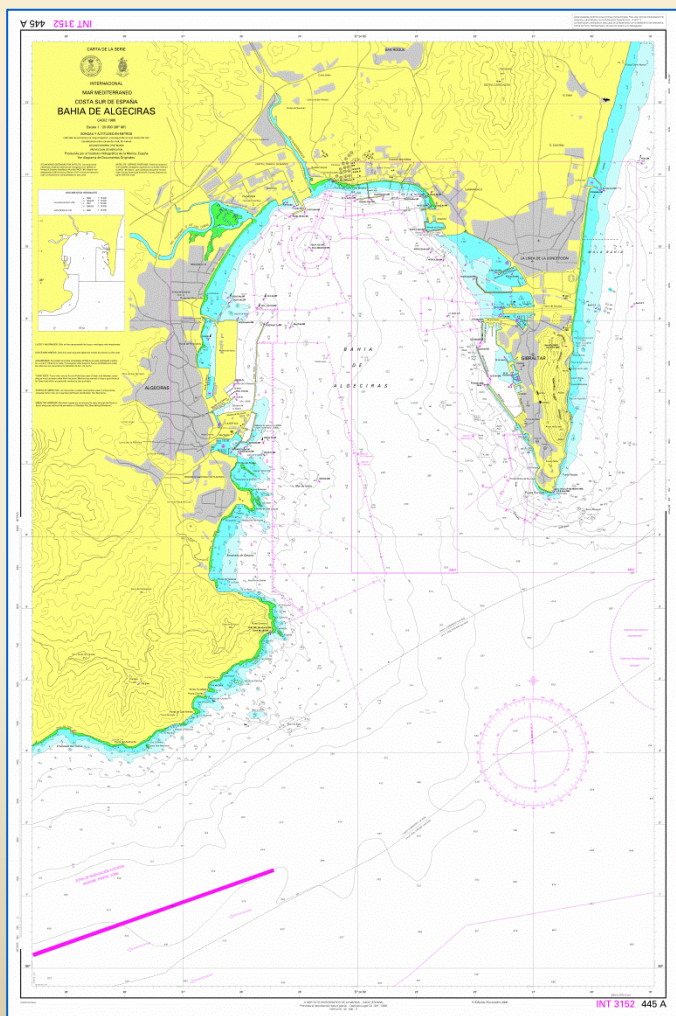


Error en altura (m)





La llegada del GPS: el «engaño»



← 9 MN →

13 MN

Escala = 1:25.000



Graficismo = 5 m

Error en latitud < 1,5 m

Error en longitud < 1,5 m

Error en altura < 2 m

No afecta



Errores asumibles

Para escalas 1:50,000, con extensiones de 30 MN, el graficismo es 10 m y los errores máximos no superan los 4 m.



Cálculo de parámetros de transformación

- Necesidad para el navegante de $\Delta\varphi$ y $\Delta\lambda$ en la carta
- Necesidad en la producción de ENC (Electronic Navigational Chart)
- Necesidad carta náutica de papel en WGS84 (evitando engaño)



Disponer de toda la información terrestre y de línea de costa en la nueva referencia WGS84.



Solución: obtención de parámetros de transformación
ED50 a WGS84

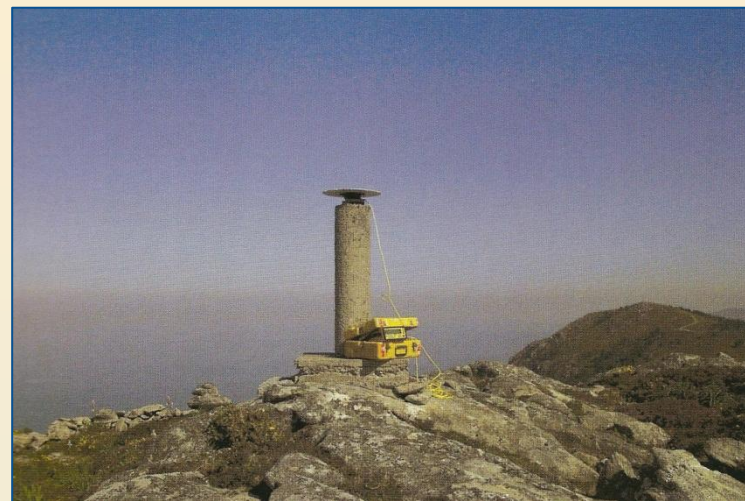


Cálculo de parámetros de transformación

- Para su cálculo fue necesario la obtención de conjuntos de dobles coordenadas en ambos sistemas.

GPS bifrecuencia de 12 y 9 canales y post-procesado con efemérides precisas

ZONA	AÑO	ZONA	AÑO
CÁDIZ	1993	HUELVA	1999
MURCIA	1993	VALENCIA	1999
CARTAGENA	1993	GUIPUZCOA	1999
CASTELLÓN	1993	PONTEVEDRA	1999
CORUÑA	1993	GRANADA	2000
CANTABRIA	1993	GERONA	2000
CÁDIZ	1994	ASTURIAS	2000
ALMERÍA	1994	TARRAGONA	2000
MENORCA	1996	ESTRECHO	2000
MÁLAGA	1998	ASTURIAS	2001
MAZARRÓN	1998	VIZCAYA	2001



Observación:

181 vértices IGN y RCH

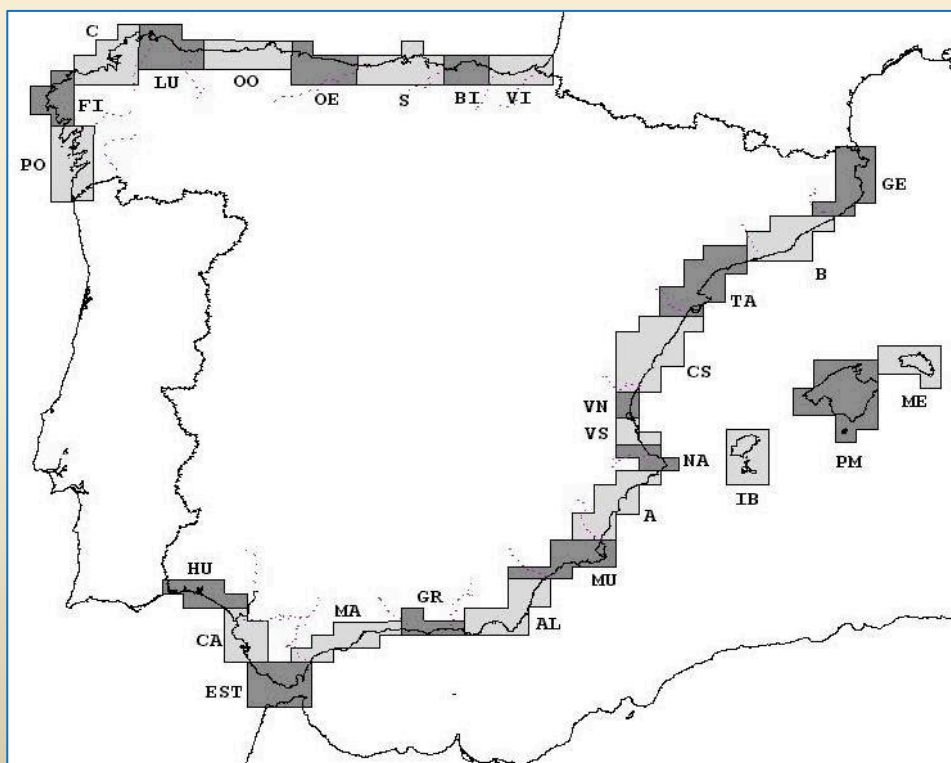
Cálculo: 351 vértices sumando nuevos IGN ETRS89 (170)



Cálculo de parámetros de transformación

Modelo de *7 parámetros de Molodensky*.

Errores obtenidos: < 25 cm latitud y longitud y < 50 cm altura



Cobertura provincial empleando conjuntos de hojas del MTN escala 1:50.000.

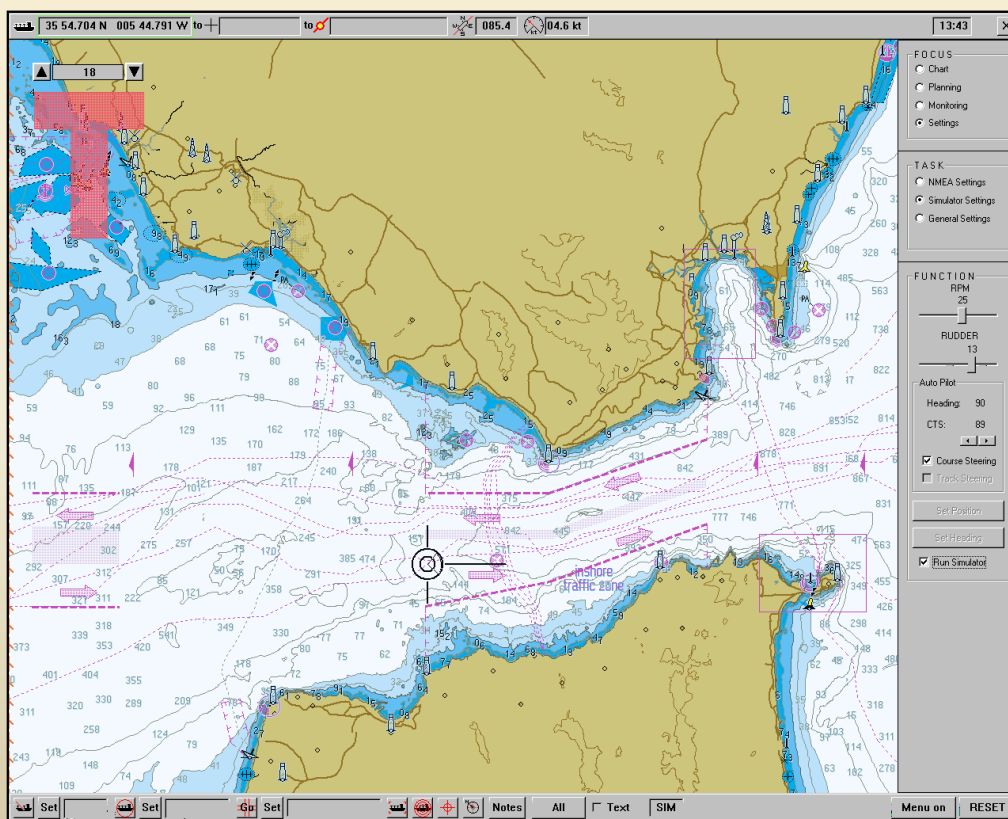
Zonas especiales por interés estratégico-militar y navegación: Estrecho de Gibraltar y otra para Finisterre.

División en zonas conflictivas



Cálculo de parámetros de transformación

La ENC fue el primer producto cartográfico oficial del Estado publicado en la nueva referencia global WGS84 (1995).





Geodesia y topografía

- Obtención de vértices RCH
- Obtención de vértices para apoyo fotogramétrico
- Taquimetrías (RTK)

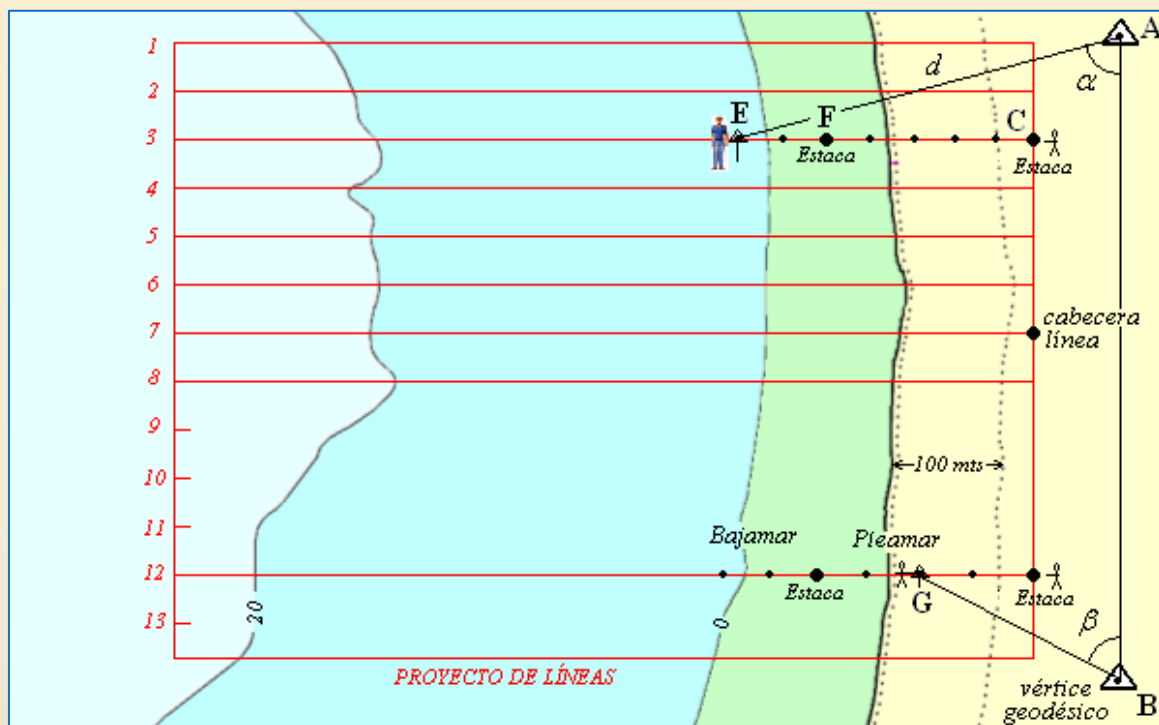


Perfiles de playa

- Concepto GEO-METOC.
- Conocimiento **Perfiles de Playa** permite evaluación posibilidades éxito operaciones de desembarco mediante:
 - ✓ Estudio del **gradiente** incluyendo zona cubierta por las aguas y la seca.
 - ✓ Empleo **modelos de oleaje** en las distintas condiciones meteorológicas y de marea.
- **Interés geodésico** en estudio de dos referencias verticales: batimétrica y terrestre.



Perfiles de playa



Desde veril 20 m hasta
pleamar + 100 m

Referencia batimétrica:

- **CERO HIDROGRÁFICO**

Referencia terrestre:

- **NIVEL MEDIO DEL MAR**
- **ALTURA ELIPSOIDAL**
(WGS 84)

Procedimiento:

- Control horizontal
- Control vertical

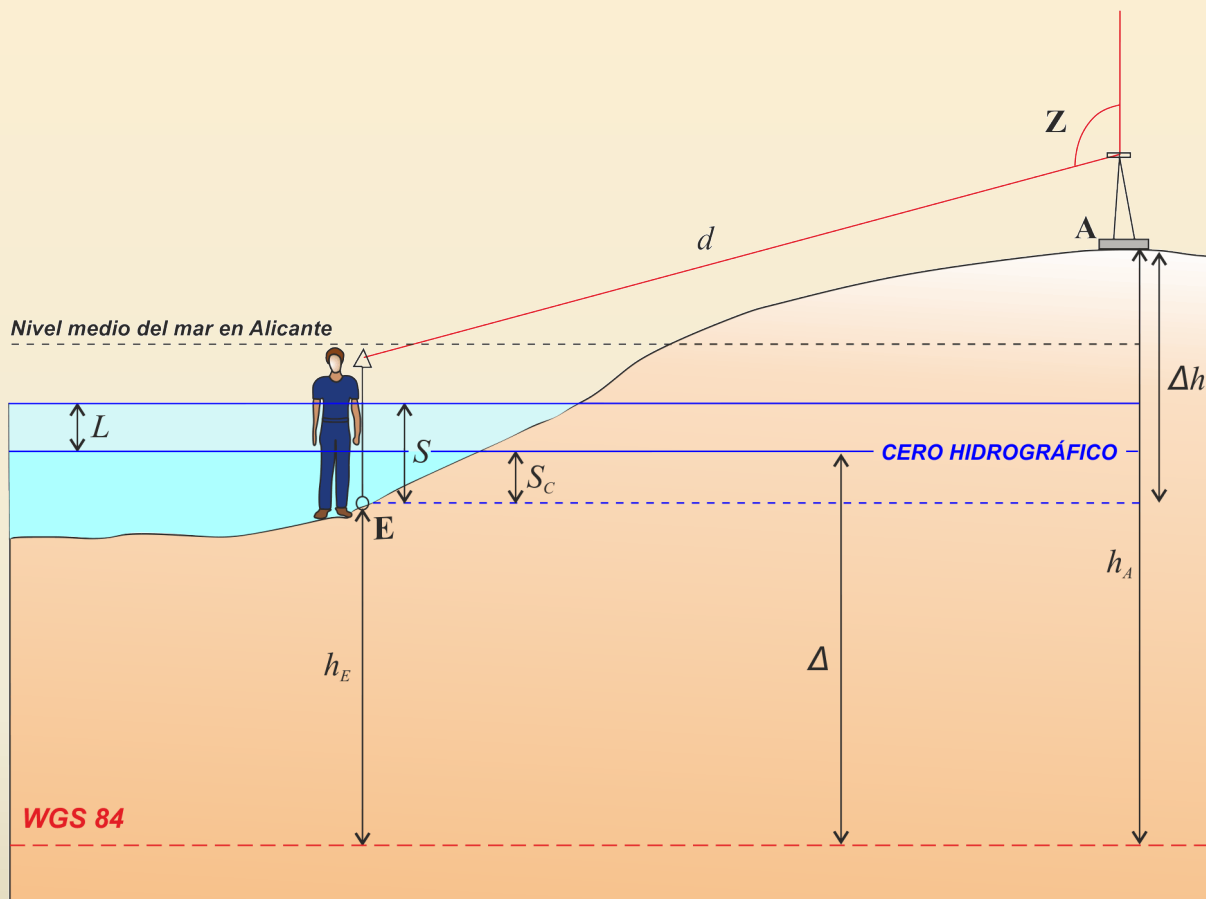
Radiación



Necesidad de unificar
la referencia vertical
Se unifica a la batimétrica



Perfiles de playa



Vértice A obtenido mediante observación **GPS** implica su altura es elipsoidal h_A y se obtendrán alturas elipsoidales h_E de cada punto de estacionamiento.

El desvío Δ se calcula sustituyendo alturas ortométricas por alturas elipsoidales:

$$\Delta = h_E + S_C = (h_A - \Delta_h) + (S - L)$$



Perfiles de playa

Consecuencia:

Debido a que en la Sección de Oceanografía del IHM se conoce, a partir del CERO HIDROGRÁFICO, la altura MSL del nivel medio del mar en la zona con variaciones de unos 30 cm sería posible obtener un dato de la **ONDULACIÓN N** del geoide en esa zona simplemente sumando este valor MSL al desvío Δ calculado:

$$N = \Delta + \text{MSL}$$

En un trabajo efectuado en la Playa de Matas Blancas en Fuerteventura se obtuvo un $\Delta = 43,34$ m. El MSL calculado en el lugar es de 1,36 m, por tanto:



$$N = \Delta + \text{MSL} = 43,34 + 1,36 = 44,70 \text{ m}$$

La N en aquella posición es $N = 43,15$ m según EGM08-REDNAP, lo que da una diferencia entre ondulaciones calculadas de 1,55 m.



Perfiles de playa

Cuestión:

¿Por qué no realizar las observaciones en el agua (puntos E) con GPS?

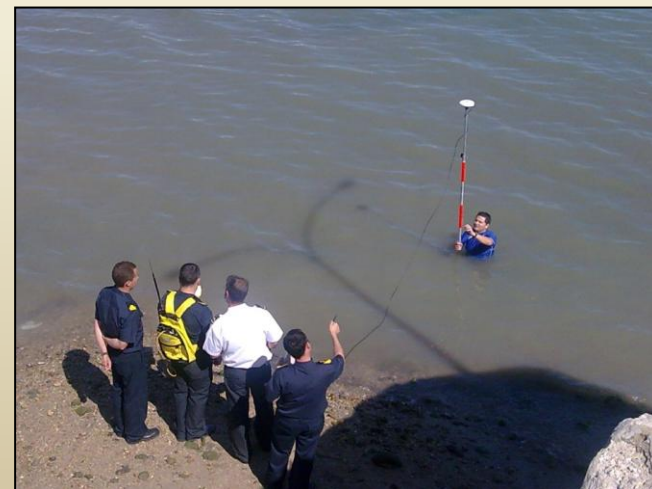
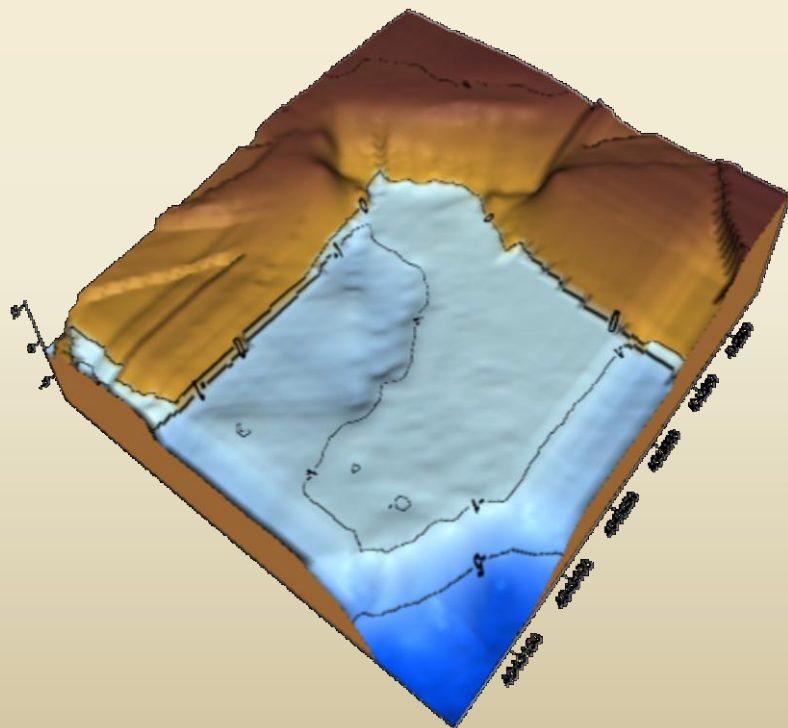
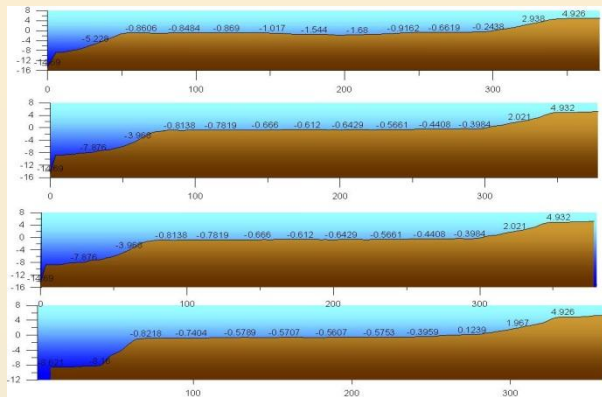
- ✓ Se necesita la mayor exactitud en altura posible.
- ✓ De la forma descrita, con prisma y operario en el agua, no es posible por evitar mojar el equipo.

No obstante, se verán a continuación pruebas que permiten pensar en la utilización directa de un **bote** dotado de **sondador** y **GPS** con este fin.



Perfiles de playa

Ejemplo de resultado gráfico de obtención de perfiles de playa en el puerto deportivo Elcano en Cádiz empleando GPS en modo RTK.





Perfiles de playa



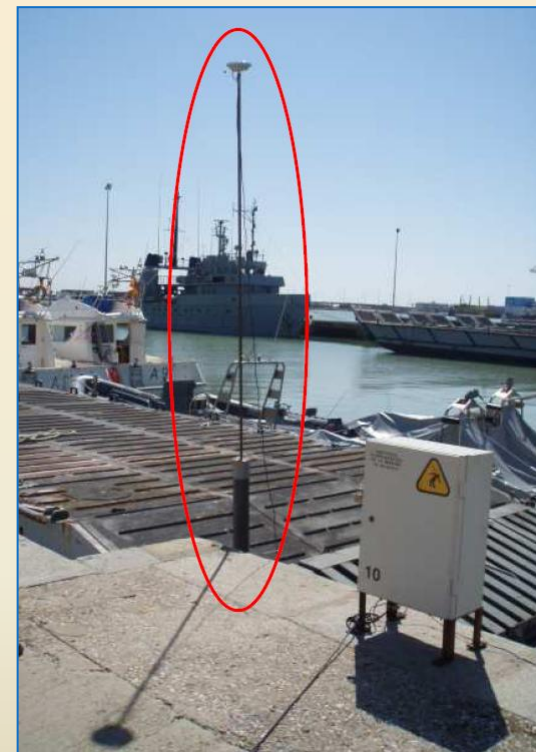
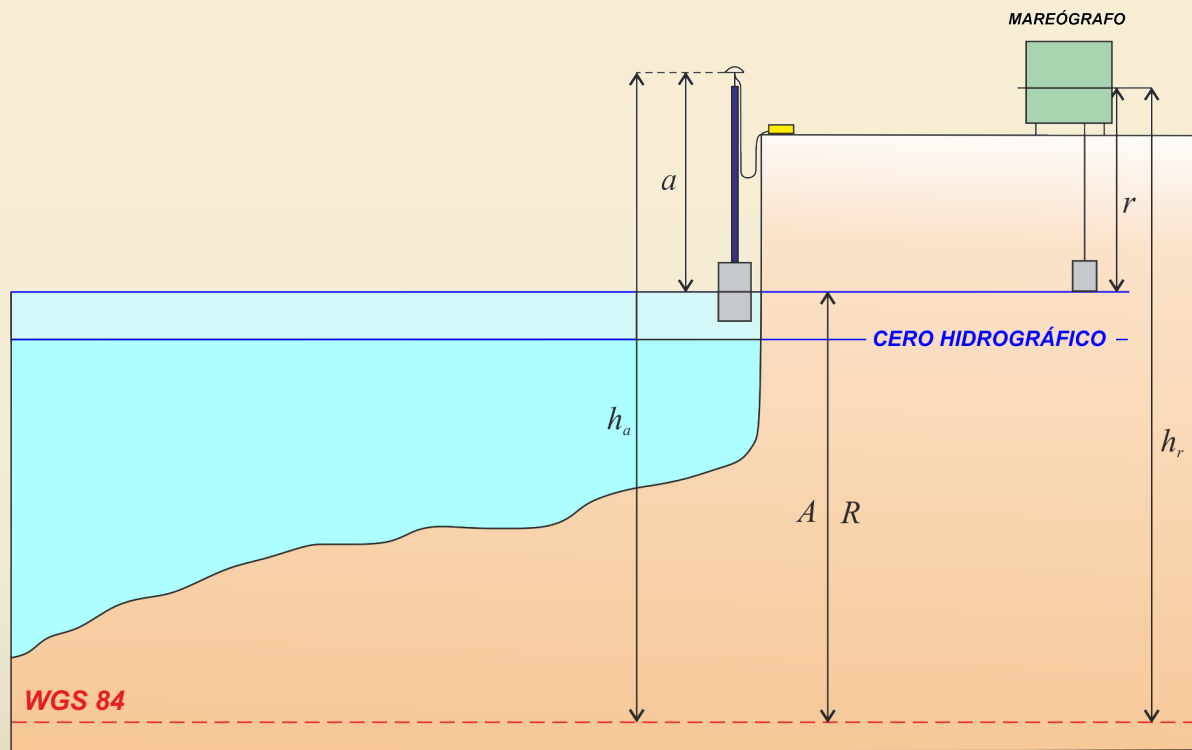
Trabajo efectuado en la
playa de El Retín
próxima a Barbate.

Con el empleo del sistema
GPS en modo RTK
(correcciones diferenciales)
y posterior post-procesado
de la observación se
consiguen precisiones
mejores de 10 cm.



Midiendo mareas

GPS con observación de código y fase. Estación de referencia UCA-RAP a unos 6 km.
Requiere post-procesado.



Lectura de mareas en el conjunto GPS – flotador:

$$A = h_a - a$$

Lectura de mareas en el mareógrafo:

$$R = h_r - r$$

$$\delta = A - R$$



Midiendo mareas

Datos estadísticos:
(3 días)

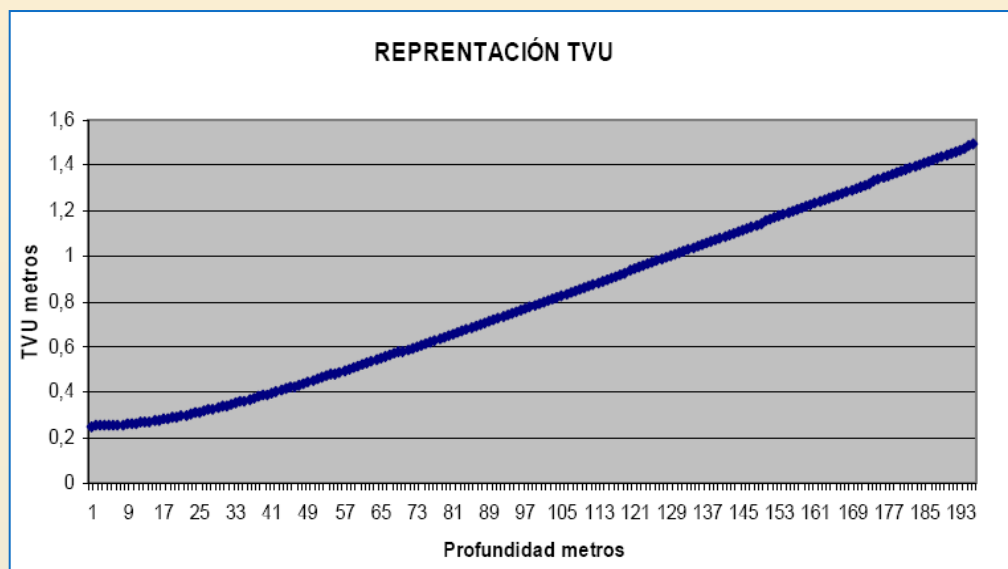
$2\sigma = 96\% = 2,8\text{ cm}$

$\delta = A - R$ (cm)	
Media	1,911230982
Error típico	0,045760981
Mediana	1,66558509
Moda	2,75441491
Desviación estándar (σ)	1,388753424
Varianza	1,928636074
Curtosis	-0,163513162
Coefficiente de asimetría	0,737549536
Rango	6,03
Mínimo	0,00441491
Máximo	6,03441491



Midiendo mareas

Incertidumbres permitidas en la medida de la profundidad según la publicación S-44 de la OHI



Detalle de incertidumbres

Profundidad (m)	1	2	4	6	8	10	14	18	25	50
Error permitido (cm)	25,01	25,04	25,30	25,40	25,70	26,10	27,10	28,40	31,30	45,10

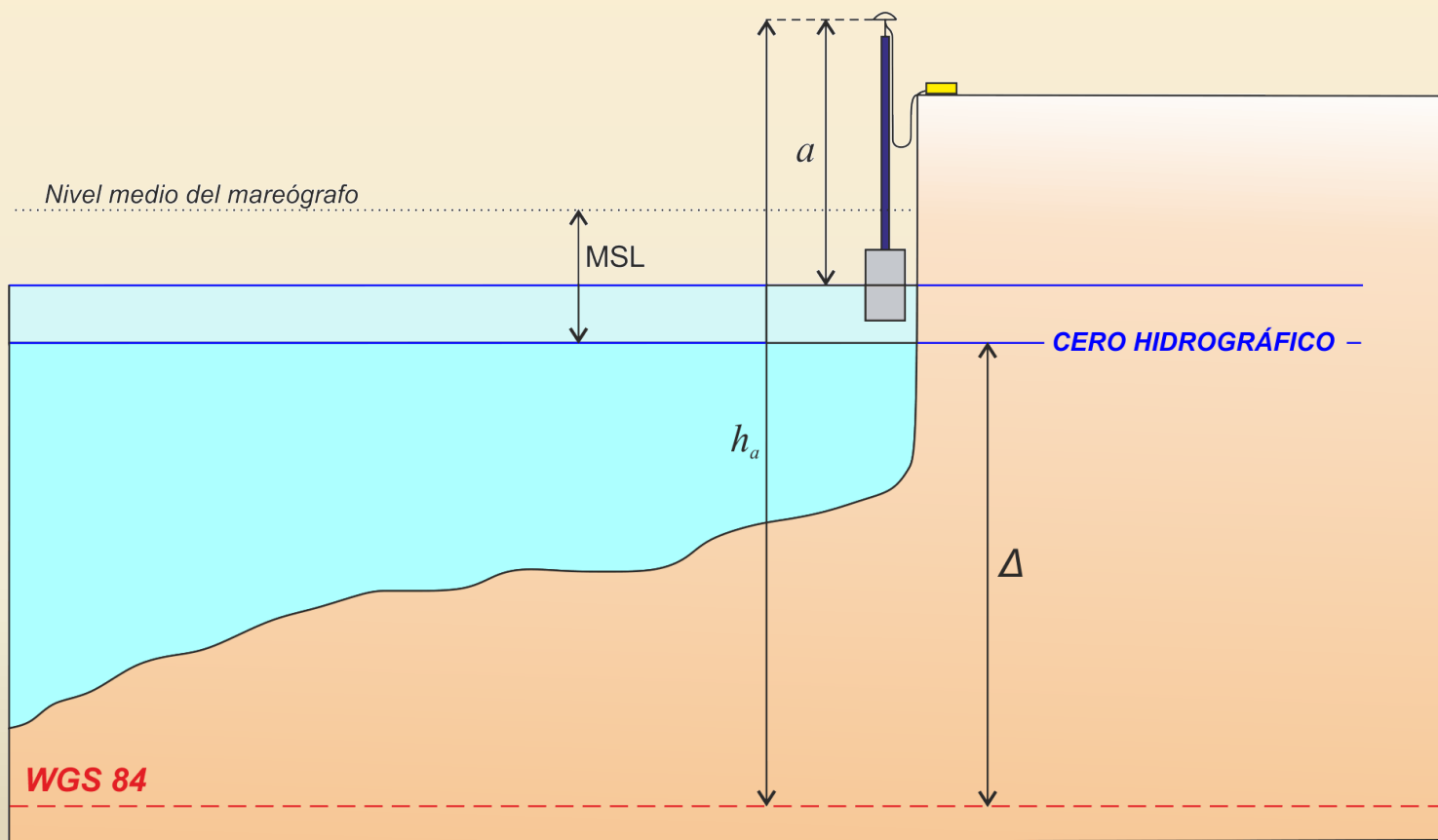
Parte de un valor constante de 25 cm



Midiendo mareas

El Cero Hidrográfico puede referirse al elipsoide:

————— - MSL

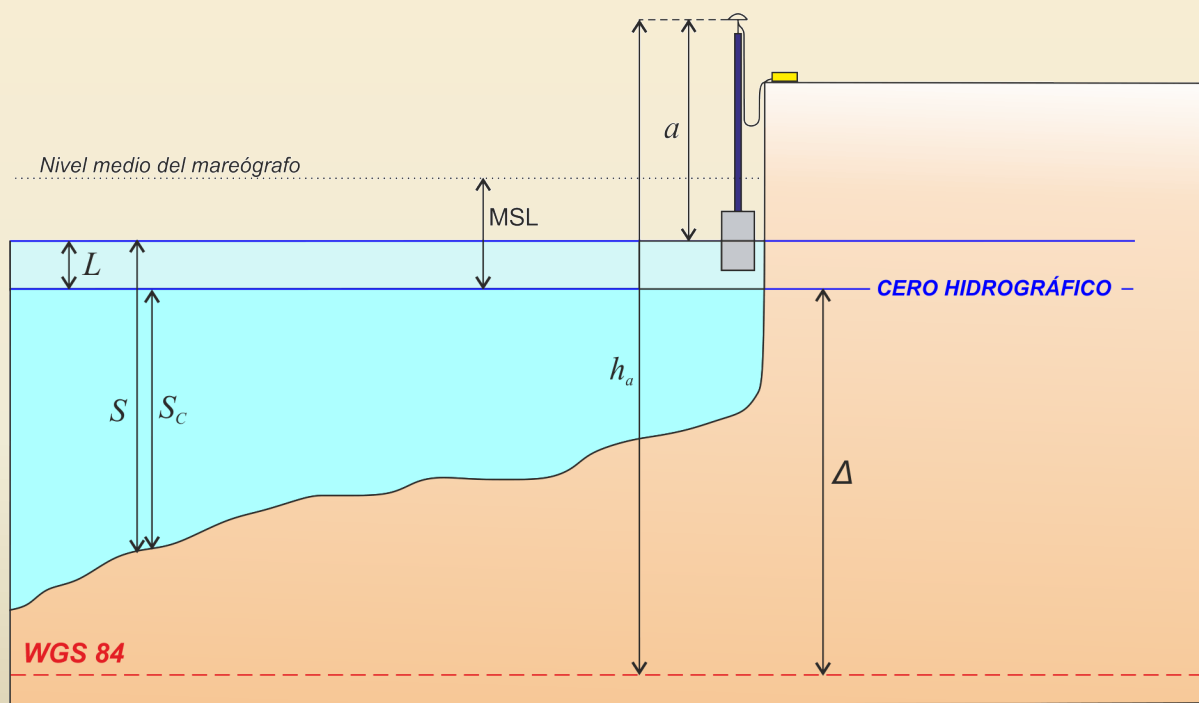


μ es un factor que comprende todos los factores correctores de esa media: previsión a largo periodo, correcciones meteorológicas, viento, etc.



Midiendo mareas

Por tanto, una vez conocida la diferencia entre Cero Hidrográfico y elipsoide (Δ), y dentro de una zona dentro de la cual se pueda considerar constante, se puede reducir cualquier altura al cero hidrográfico a partir de las alturas elipsoidales.

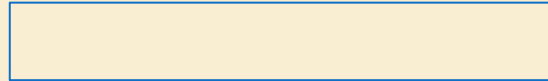
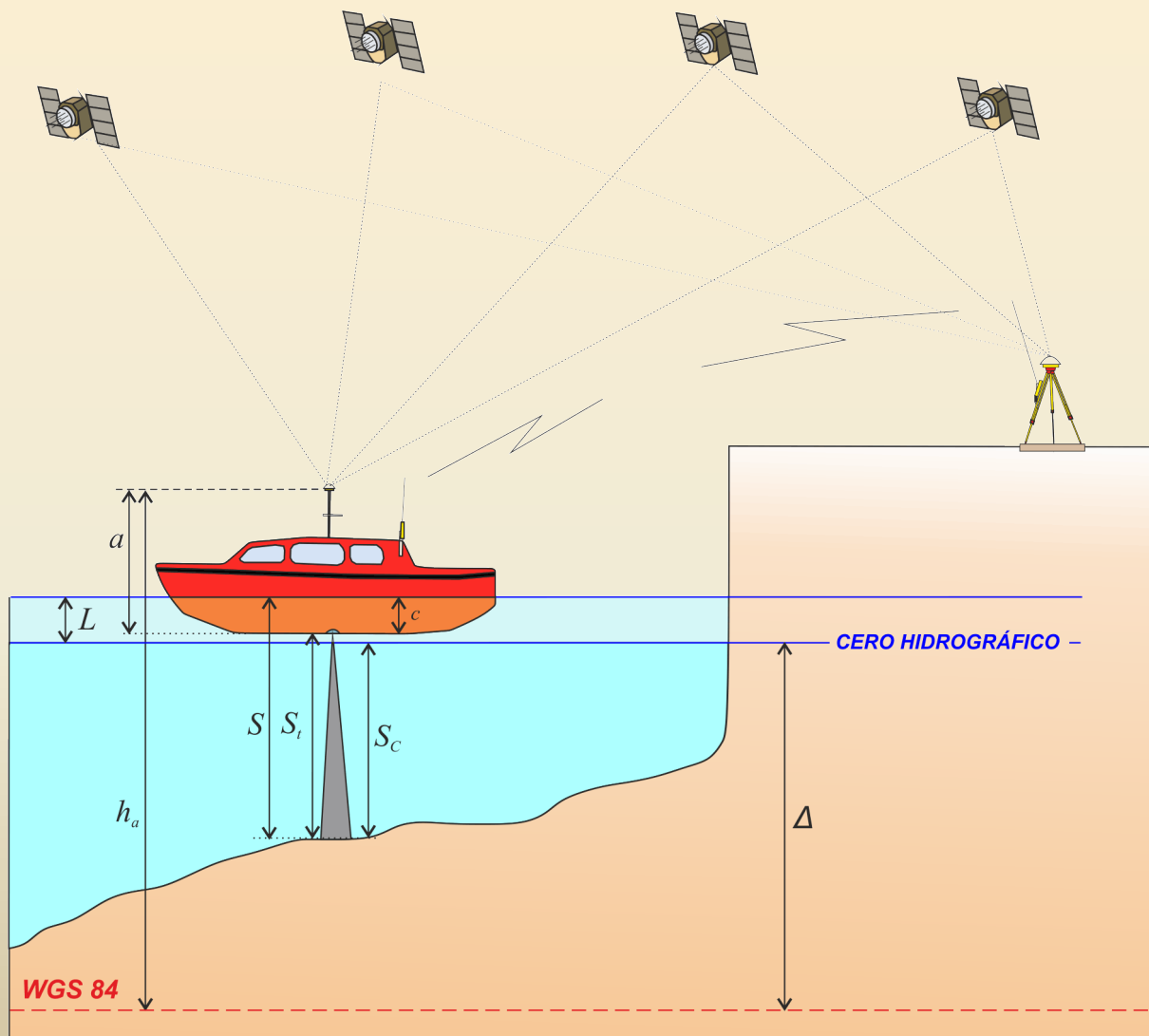


Es posible reducir directamente una observación de sonda en una plataforma con RTK al cero hidrográfico.

Primer paso para la **batimetría con RTK** sin necesidad de contar con equipo de lectura de mareas



Batimetría sin lectura de mareas



Se ha supuesto Δ constante y conocido en la estación de mareas

Válido para distancias de 20 km y con amplitud de marea constante

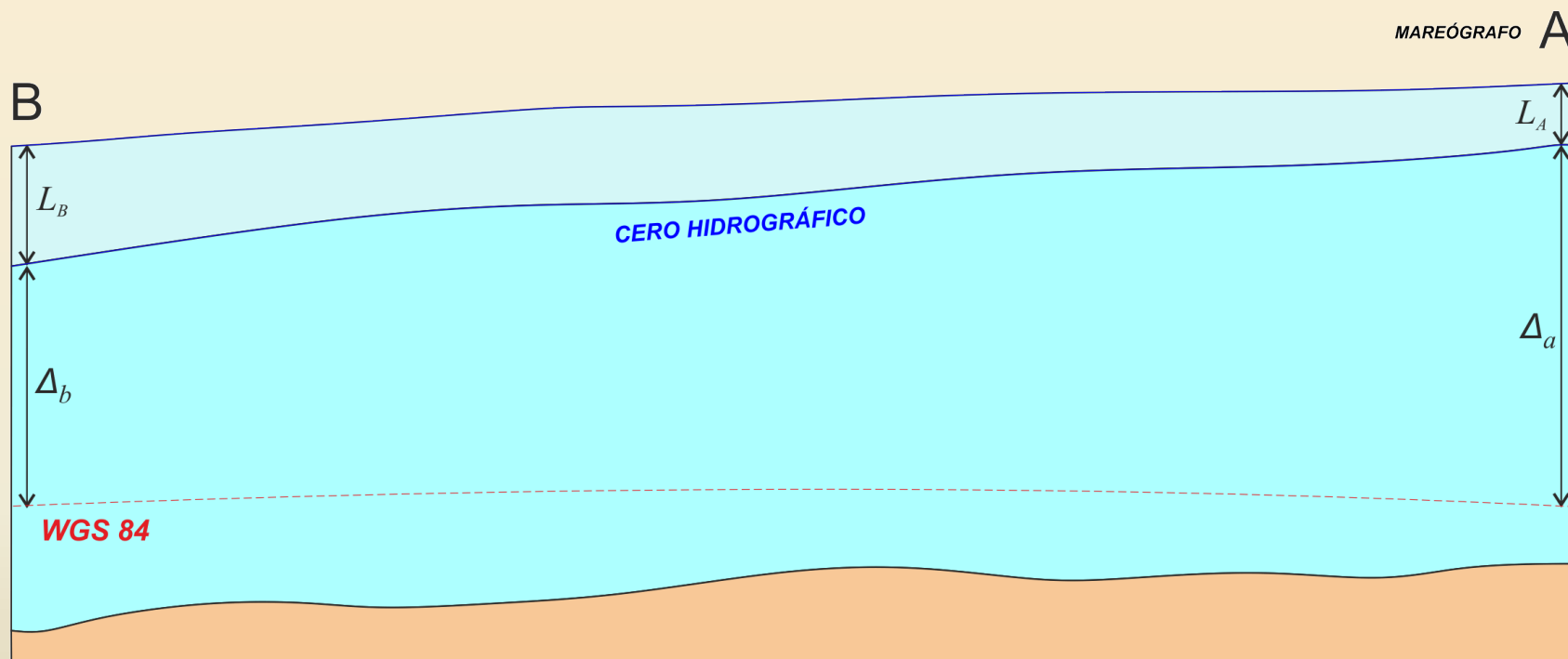
Ventajas:

- Ahorro logístico y de tiempo
- Conocimiento S_c en tiempo real



Batimetría sin lectura de mareas

Caso real:



Necesario obtener un modelo del comportamiento de Δ y de la amplitud de marea.



Batimetría sin lectura de mareas

Estamos en disposición de iniciar un modelado de la separación Elipsoide – Cero Hidrográfico para las costas españolas:

- Disponemos de abundantes Ceros Hidrográficos actualizados a lo largo de la costa.
- Podemos medir las alturas elipsoidales de los clavos de estas Estaciones de Mareas.
- Podemos fondear mareógrafos.
- Podemos medir la marea con embarcaciones.



Batimetría sin lectura de mareas

Actualmente los Modelos desarrollados de Separación entre el Cero Hidrográfico y el Elipsoide WGS-84 son:

- En EE.UU. – **V DATUM** (de la NOAA)
- En el Reino Unido - **VORF** (Vertical Offshore Reference Frame)
- En Australia – **AUSHYDROID**
- Francia tiene modelada la marea pero no tiene un modelo con nombre específico



Midiendo el nivel del mar

Estudio universidad sueca

- La forma tradicional de observar el nivel del mar emplea mareógrafos que están sobre la superficie terrestre.
- Sin embargo, un estudio más apropiado para entender los procesos de variación del nivel del mar sería separarlo de la influencia terrestre tal como realizan los satélites radar.
- Pero con mucho menor coste se puede establecer una estación de medida que emplee un marco de referencia global como el usado por los sistemas GNSS.



Midiendo el nivel del mar

Efecto Multipath

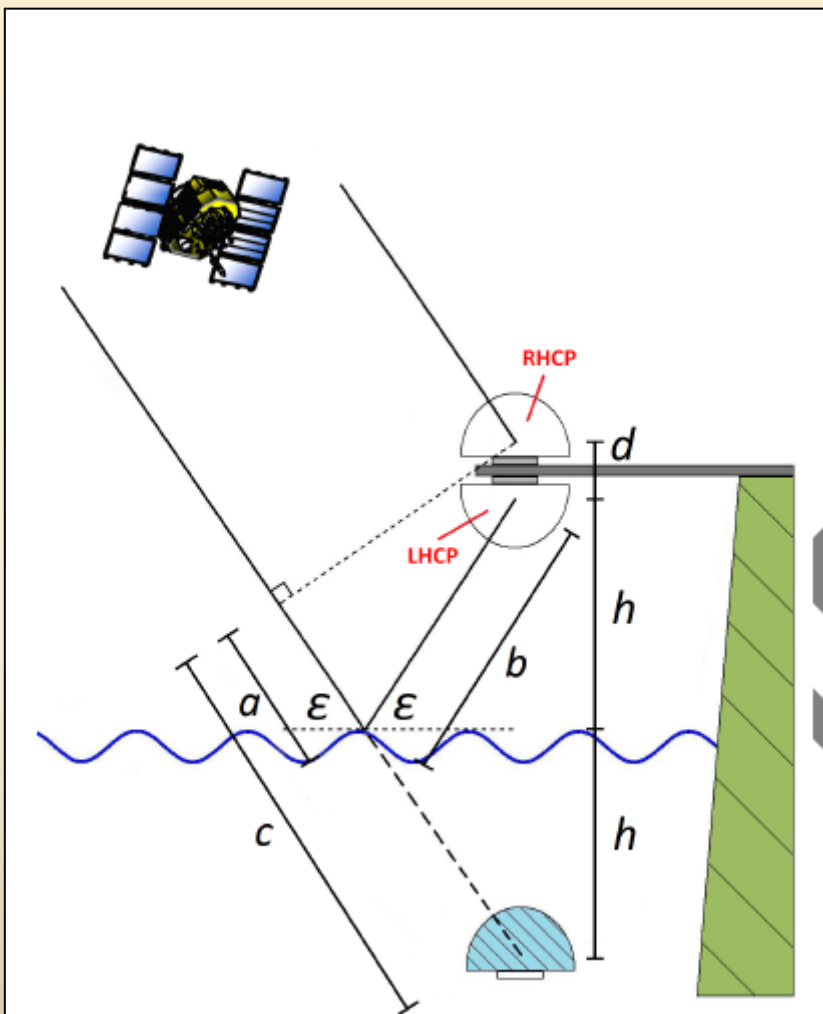


Aprovechar este efecto para comparar señales GNSS **directas** con las señales **reflejadas** por la superficie del mar.

Perdida de **3db**.

Desviación típica de **4 cm** con medidas en otras dos estaciones separadas 18 y 33 km.

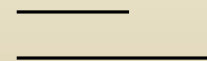
Midiendo el nivel del mar



2 antenas acopladas y alineadas en la vertical, cada una de ellas acoplada a un receptor GPS bifrecuencia y con polarizaciones derecha e izquierda.

El sistema se basa en el estudio de la fase de la señal portadora recibida en cada receptor.

RHCP recibe la señal directa
LHCP recibe la señal reflejada y se comportaría como una antena virtual (azul)





Muchas gracias