

La Red de Mareógrafos

La Red de Mareógrafos	1
1 ¿Qué es un mareógrafo?.....	2
2 ¿Por qué se produce la marea?	2
2.1 La marea astronómica	2
2.2 La marea observada.....	6
3 ¿Para qué se mide la marea?	7
4 Sistema de altitudes nacional	7
5 Nivel Medio del Mar en Alicante	9
6 Inicios de la Red	10
7 Instalaciones.....	12
8 Instrumentación	13
9 Sistemas de referencia.....	14
10 Registro y adquisición de datos.....	15
11 Nuestra Red de Mareógrafos	16

1 ¿Qué es un mareógrafo?

Un mareógrafo es un medio o instrumento que nos permite registrar de forma numérica, gráfica o digital los movimientos verticales del mar.

2 ¿Por qué se produce la marea?

El movimiento más visible del mar es el oleaje, producido generalmente por fenómenos atmosféricos, como el viento, y variable en función de la configuración geográfica costera.

El movimiento vertical de subida y caída de agua, que puede observarse dos veces en algo más de una día, es la marea.

2.1 La marea astronómica

Las interacciones gravitatorias generan fuerzas de atracción que son mayores en los puntos más cercanos a los centros de masa y menores en los más alejados. Si se considera la Tierra como una esfera sin continentes y rodeada totalmente de agua estas fuerzas transforman la masa de agua en un elipsoide cuyo eje mayor siempre se dirige al cuerpo más cercano. Por ello, los rangos y periodos de marea se ven afectados por la posición que en cada momento tengan el Sol, la Luna y la Tierra en los movimientos de sus respectivas órbitas.

- El periodo de rotación de la Tierra sobre su eje es el día medio solar, y su duración de 24 horas. Durante este periodo las mareas generan dos máximos y dos mínimos alternos cada seis horas.
- El periodo de rotación de la Tierra sobre su eje respecto a la luna es el día medio lunar y su duración es de 24,84 horas solares. Las mareas experimentan dos máximos y dos mínimos alternos cada 6,21 horas.

Fases de la Luna

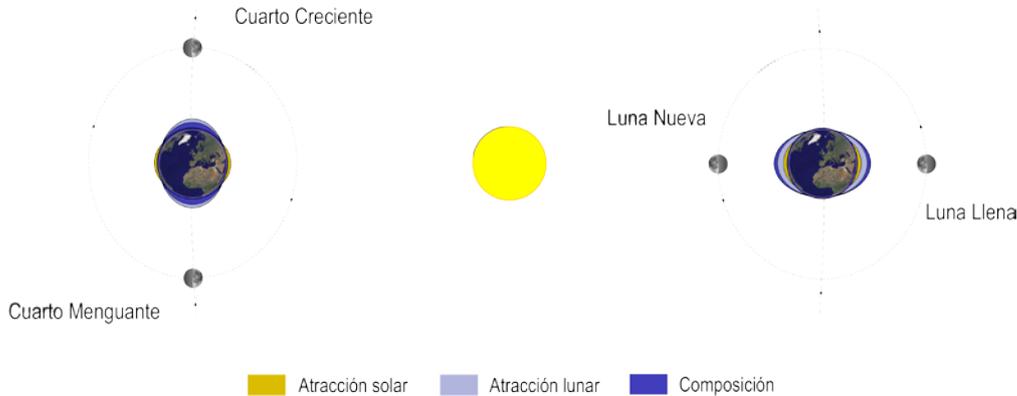
Las posiciones relativas Sol-Tierra-Luna alteran la amplitud de las mareas.

- **Marea muerta o de cuadratura**
Se da cuando la Luna está en cuarto creciente o en cuarto menguante. El Sol, la Tierra y la Luna se encuentran en cuadratura.
Los rangos de marea máximos y mínimos son menores.

- **Marea viva o sizigia**

Es la marea de Luna llena y Luna nueva. El Sol, la Tierra y la Luna se encuentran alineados.

La marea es de mayor amplitud, registrándose los valores más altos y bajos.



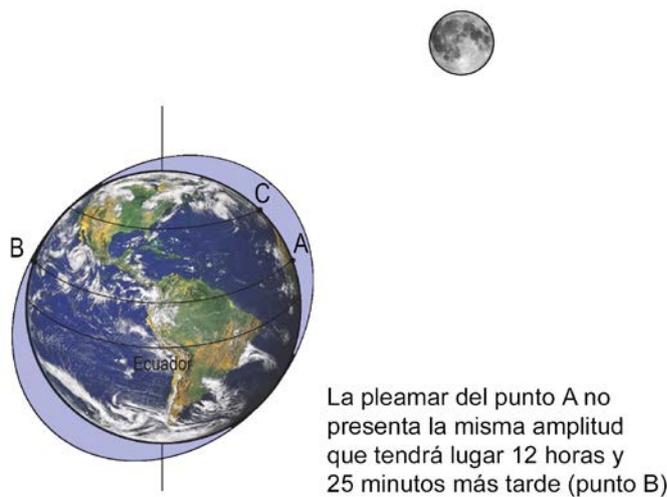
Declinación

La inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de la eclíptica en su movimiento alrededor del Sol da lugar a las estaciones y provoca que las fuerzas de atracción con respecto al ecuador sean asimétricas.

La inclinación del plano orbital de la Luna respecto al ecuador de la Tierra genera desigualdades diurnas en la marea.

La Luna, por su cercanía a la Tierra, hace que estas desigualdades sean mayores que las del Sol.

Esto da lugar a dos máximas diarias de marea que dependen de la latitud del lugar:



La pleamar del punto A no presenta la misma amplitud que tendrá lugar 12 horas y 25 minutos más tarde (punto B)

- En latitudes medias, la pleamar en un punto es mayor que la que tiene lugar 12 horas más tarde. En esta zona tienen lugar **mareas mixtas**.
- En el Ecuador, las dos pleamares son prácticamente iguales. Estas mareas se denominan **semidiurnas**.
- En latitudes altas, sólo existe una marea alta al día dándose las **mareas diurnas**.

El plano orbital de la Luna está inclinado $5,145^\circ$ respecto a la eclíptica. Los dos puntos donde cruza a la eclíptica se denominan nodos lunares: nodo ascendente, cuando cruza de sur a norte, y nodo descendente, cuando lo hace de norte a sur.

Esta declinación también provoca desigualdades diurnas en la marea.

Visto desde el hemisferio norte, la Tierra gira alrededor del Sol, la Luna alrededor de la Tierra y la Tierra sobre su eje en el sentido contrario a las agujas de un reloj. Pero el movimiento de los nodos lunares sobre la eclíptica en el sentido de las agujas provoca una regresión de éstos. Son necesarios 18,61 años para que el nodo complete su recorrido y vuelva a su posición original. Este fenómeno va variando la máxima declinación lunar durante el periodo del ciclo nodal. El resultado es una pequeña variación de los rangos de marea y desigualdades en las mareas observadas por los mareógrafos. Esta alteración es significativa y puede observarse en un ciclo nodal completo (18,61 años).

Distancia Tierra-Luna

La Luna describe una elipse excéntrica alrededor de la Tierra:

- *Perigeo*, punto en el que la Luna está en el punto más cercano a la Tierra. Provoca mayor atracción, dando lugar a rangos de marea más amplios
- *Apogeo*, la Luna está en el punto más alejado de la Tierra provocando amplitudes más pequeñas

Distancia Sol-Tierra

La Tierra gira alrededor del Sol describiendo una órbita elíptica y algo excéntrica:

- *Perihelio*, punto donde la Tierra se encuentra más cercana al Sol, las fuerzas que generan las mareas son mayores experimentándose los mayores rangos de marea.
- *Afelio*, es el punto más alejado del Sol. Aquí las fuerzas son menores y, por lo tanto, los rangos de marea más pequeños.

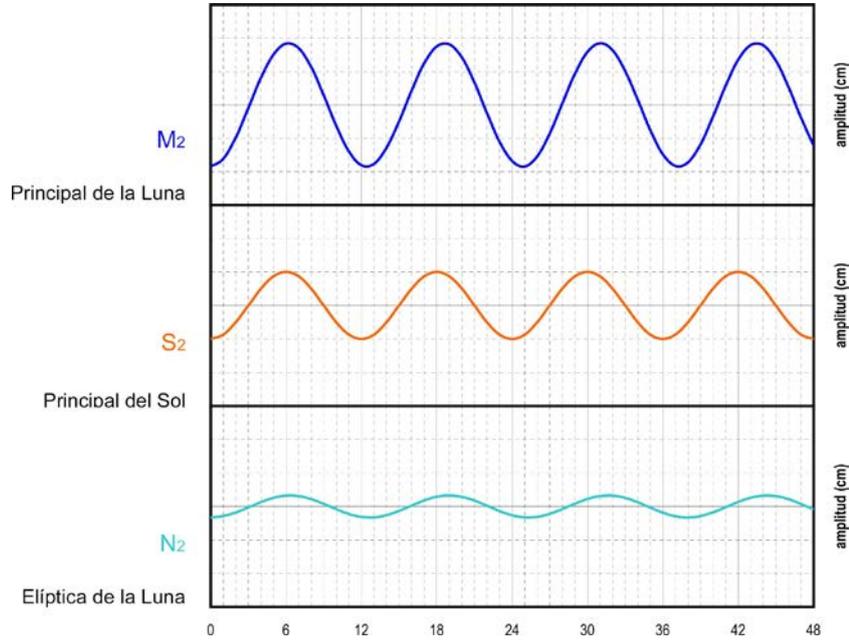
Constituyentes armónicos de la marea

El carácter astronómico de la marea se genera básicamente por las disposiciones astronómicas que dan las distancias, declinaciones y movimientos relativos de la Tierra, la Luna y el Sol.

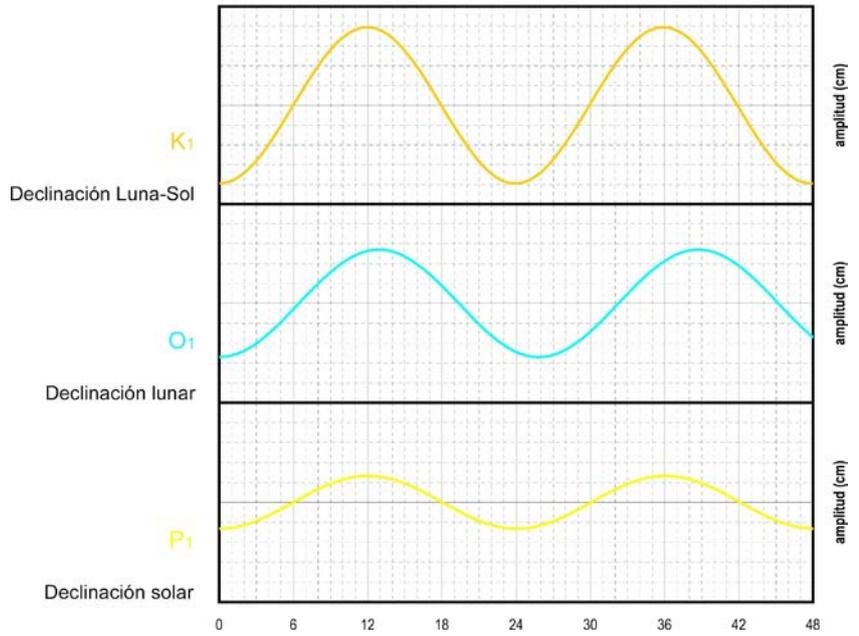
El efecto del movimiento de los astros se puede representar como la suma de diversas ondas con diferentes amplitudes y periodos de tiempo. Esto se conoce como constituyentes armónicos de la marea. La composición de los constituyentes permite obtener una marea teórica.

Los principales constituyentes de la marea astronómica son:

Semidiurnos



Diurnos



2.2 La marea observada

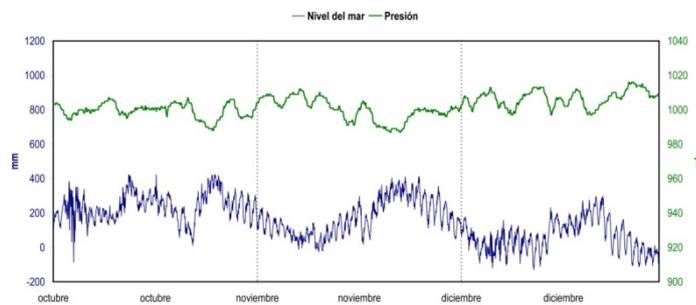
A parte de los factores de naturaleza astronómica, existen otros factores como los meteorológicos (presión atmosférica, viento, lluvia, aporte de agua de los ríos) que junto con factores físicos (configuración de la costa, profundidad del agua, relieve del fondo marino, salinidad) afectan la marea.

Presión atmosférica

La presión atmosférica actúa a modo de émbolo que empuja la superficie del agua.

Cuando la presión aumenta el agua sufre un empuje mayor, provocando una bajada de nivel del mar y de forma inversa, cuando la presión disminuye, el nivel del agua se eleva.

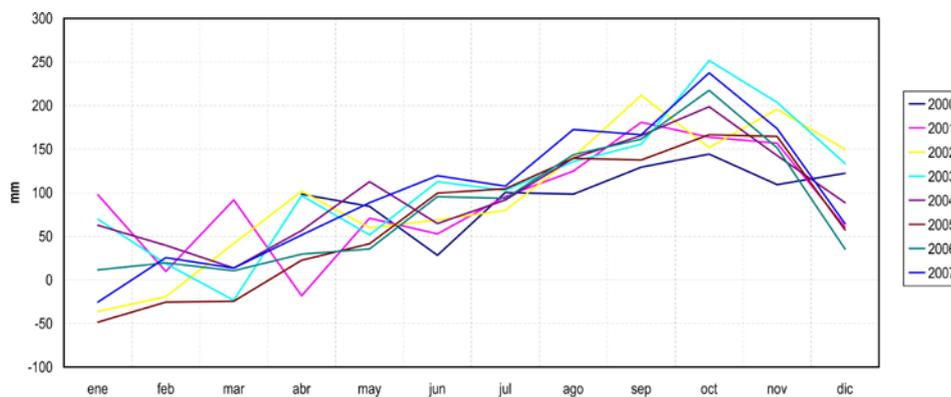
La variación de 1 mb en la presión altera en 1 cm el nivel del agua.



Valores referidos al Nivel Medio del Mar durante el periodo de octubre-diciembre de 2007

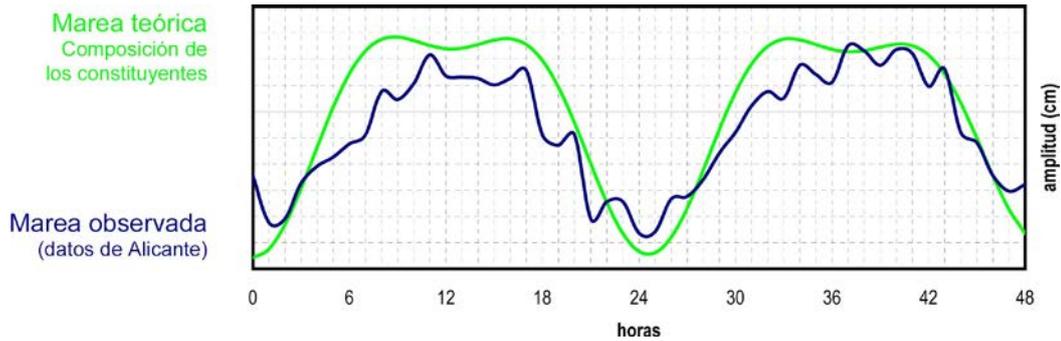
Variabilidad estacional

Es un fenómeno relacionado con la presión atmosférica, el viento predominante en cada época del año y la variación de la temperatura del agua, provocando variaciones en el rango de marea.



Niveles medios mensuales referidos al Nivel Medio del Mar

Comparación marea teórica con marea observada:



3 ¿Para qué se mide la marea?

El nivel del mar es un parámetro que se aplica en el control de procesos dinámicos costeros, de cambio climático, navegación marítima, obras portuarias, aplicaciones geodésicas y medioambientales, control de tsunamis y actividad volcánica...

Además, en la actualidad, la medida del nivel del mar con un mareógrafo y un receptor GPS de forma simultánea en la misma ubicación permite controlar los movimientos verticales de la costa y el cambio global del nivel del mar.

No obstante, el objetivo del IGN con la medida de la marea era obtener un nivel de referencia altimétrico para la cartografía terrestre.

4 Sistema de altitudes nacional

En 1857, el IGN inicia la elaboración del Mapa Topográfico Nacional. La representación planimétrica del territorio nacional necesitaba de un sistema de referencia altimétrico, con un origen materializado con una altitud establecida sobre el que se apoyaría todas las altitudes nacionales.

Las condiciones del mar Mediterráneo en la bahía alicantina, la meteorología y la línea de ferrocarril Madrid-Alicante, en funcionamiento desde 1858 (las líneas férreas eran útiles para los itinerarios de nivelación), se ubicó en Alicante el origen de referencia fundamental de altitud.

NP1 es un disco de bronce que está situado en el primer peldaño de la entrada principal del Ayuntamiento de Alicante, que materializa este origen de altitudes.

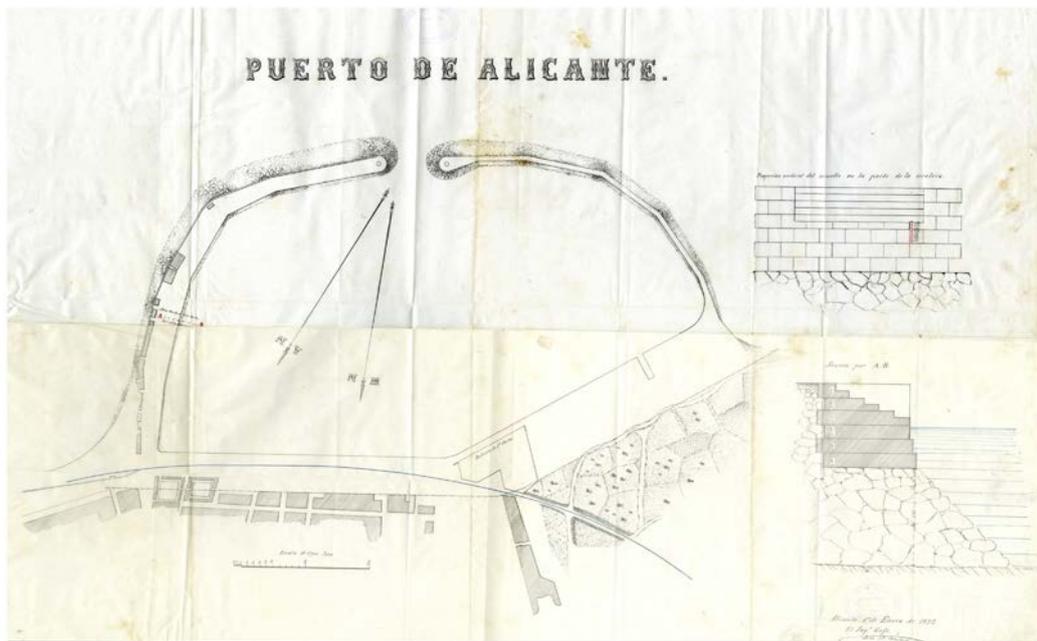
El plano de referencia (altitud) quedará definido por el **Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA)**.



5 Nivel Medio del Mar en Alicante

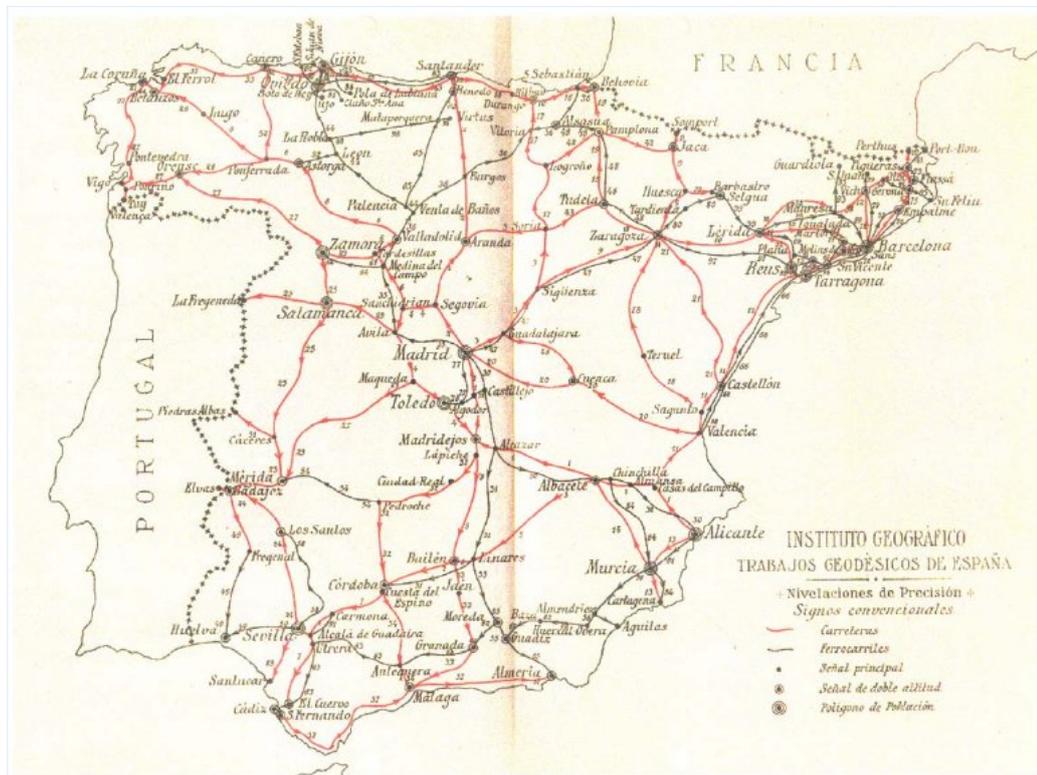
Desde julio de 1870 a febrero de 1874, se hicieron observaciones sobre una regla de mareas, situada sobre una señal metálica "Z", recibida en la berma de los cimientos y siempre por debajo del nivel del agua, en una escalera del muelle de Levante del puerto Alicante. El promedio de dichas observaciones estableció el NMM respecto al cero del puerto.

Mediante nivelación de precisión se calculó el desnivel existente entre la señal Z y la NP1, cuya altitud se establecería en 3,4095 m.



6 Inicios de la Red

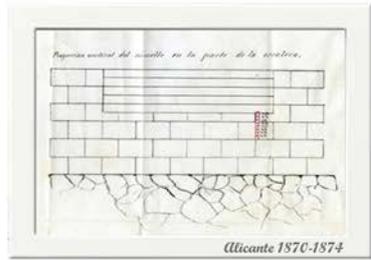
Desde 1871 a 1925 se extienden los trabajos de nivelación por toda la península (Red de Nivelación de Precisión).



Dicha red enlaza las costas del litoral peninsular y, con el fin de estudiar las diferencias entre el nivel del mar entre las diferentes costas, se inicia la instalación de mareógrafos en Santander y Cádiz.

En Sta. Cruz de Tenerife, para establecer el origen de altitudes de las Islas Canarias, se instalará otra estación.

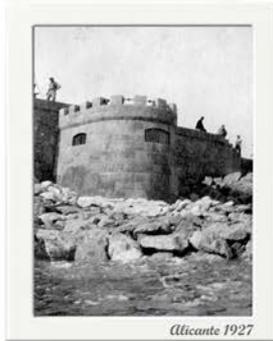
En 1950 se instala en La Coruña otra estación mareográfica y en años sucesivos se ampliará la red con instalaciones en nuevas ubicaciones.



Alicante 1870-1874



Santander 1876-



Alicante 1927



Cádiz 1880-1925



Sta. Cruz de Tenerife 1927 - 1956



Castagena 1927



Alicante 1957



Coruña 1945



Almería 1978-1985

Sta. Cruz de Tenerife 1958-1990



Almería 1986



Sta. Cruz de Tenerife 1992



Puerto del Rosario 1999 - 2018



Castagena 2005



Los Cristianos 2007



Puerto de la Cruz 2008



Alborán 2016

7 Instalaciones

El mar abierto es un agente altamente corrosivo del que debe resguardarse cualquier instalación que se construya si ha de perdurar por largo tiempo.

La mayoría de las estaciones mareográficas se encuentran en el interior de los puertos.

Cada estación consta de una caseta dentro de la cual se encuentra un pozo que conecta con el mar, ya sea directamente o a través de un sistema de filtrado, que evita registrar el oleaje (movimientos de corto periodo). Sobre el pozo se sitúa el sistema de medida.

Siempre que es posible, quedan instalados dos sensores por estación, asegurando así series temporales continuas de datos y detección de posibles errores instrumentales en la medida.



Registrador mecánico, codificador digital y sensor radar



Pozo y flotadores

Señal BM sobre el pozo

8 Instrumentación

El más sencillo e intuitivo es la regla de mareas, una escala graduada sobre la que se mide directamente la altura del mar.

Algo más complicados son los registradores mecánicos de flotador. Transmiten el movimiento del agua con una boya, que a través de un cable mueve el mecanismo que lleva un trazador, dibujando sobre una banda de papel una línea continua que refleja el movimiento del mar. La banda de papel está fija a un tambor que, con un mecanismo de relojería la hace girar con el paso del tiempo.

Más modernos, los codificadores angulares también registran el movimiento del mar con una boya, pero el cable de esta mueve una rueda magnética que traduce sus impulsos en un valor de distancia en formato digital.

Lo último que se está instalando son sensores radar que emiten impulsos cortos de radar que se reflejan en el agua y regresan al sensor en forma de eco. El tiempo que transcurre en el recorrido completo es proporcional a la distancia al agua, que en formato digital queda directamente almacenado en la base de datos correspondiente. La mayor ventaja de este sistema es su sencillez de instalación, que no tienen necesidad de estar en contacto con la lámina de agua para registrar las variaciones del nivel del mar y la posibilidad de trabajar al aire libre.



Adie
mecánico de flotador



Thomson
mecánico de flotador



R20 y OWK16
*mecánico de flotador
codificador angular*



VegaPuls WL62 y WL61
sensores radar

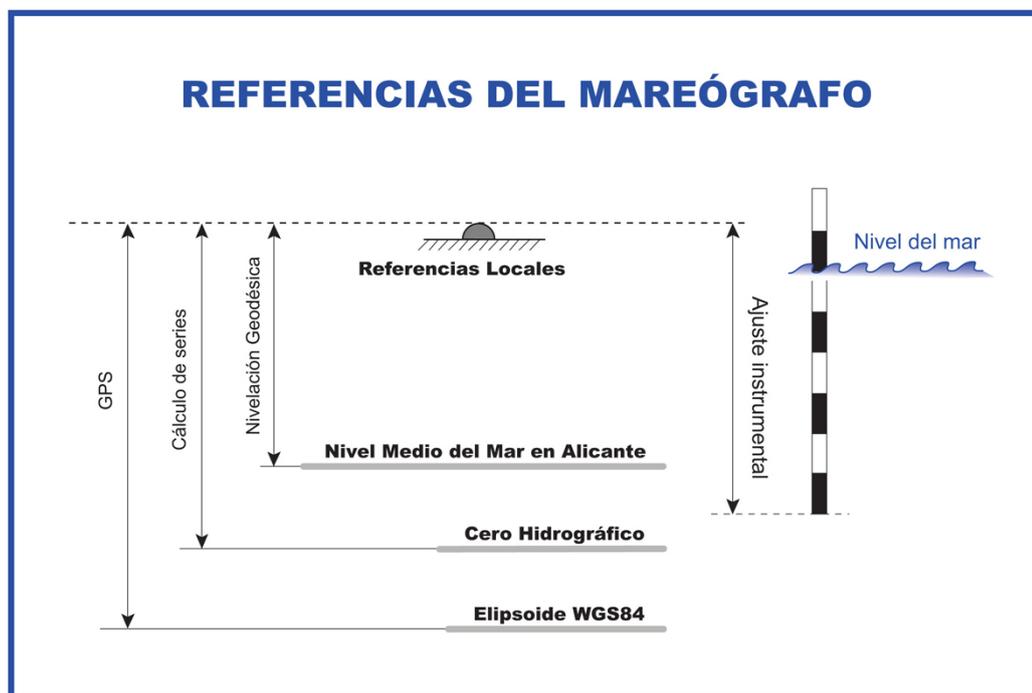
9 Sistemas de referencia

Un problema fundamental en la medida del nivel del mar para el estudio de su movimiento vertical respecto al terreno es la referencia u origen de medida. Este origen de medida debe ser calibrado, referenciado y comprobado periódicamente.

Para poder relacionar el movimiento del mar las medidas se realizan a una señal situada en el brocal del pozo o en el cantil del muelle de cada estación. Las medidas registradas en cada mareógrafo corresponden a la distancia de la superficie del agua a este clavo de nivelación, denominado Tide Gauge Bench Mark (TGBM) y que pertenece a la Red de Nivelación Nacional.

La existencia de movimientos verticales orogénicos o de asentamiento de los sustratos que yacen bajo las ubicaciones de los mareógrafos, hace necesario referir el nivel del mar a una segunda señal, relativamente cercana y que se considera estable. Esta señal es la Joint Mark (JM), también perteneciente a la RN.

Las nivelaciones periódicas entre la BM y la JM permiten obtener un valor absoluto del NM y el estudio y control de los posibles movimientos relativos verticales de la zona costera como la variación del nivel del mar a largo plazo.



10 Registro y adquisición de datos

Cuando se lee una regla de mareas estamos obteniendo el dato numérico correspondiente a la distancia del mar a la señal de referencia establecida.

Para obtener los valores numéricos de un registro gráfico se leían de manera manual con una regla. Para obtener el nivel del mar referido a la señal de nivelación correspondiente, había que aplicar a los datos la escala gráfica y la distancia entre el origen de medidas instrumental y la señal de referencia.

Ahora, siempre que es posible, se escanean las gráficas, y con programas que interpretan las imágenes, se redibujan para luego obtener las distancias del agua a la señal de referencia directamente en formato digital.

Con los codificadores angulares y los sensores radar las comunicaciones cobran un papel fundamental. Se ha de cuidar que los datos digitales registrados por estos sensores lleguen en tiempo y forma correcta al centro de almacenamiento y procesamiento.

En la actualidad, los datos de todas las estaciones son transmitidos en tiempo casi-real a la base de datos mareográficos.

Puedes acceder a ellos a través de la página web del IGN (www.ign.es) o en el servidor ftp del Área de Geodesia (<ftp://ftp.geodesia.ign.es>)

11 Nuestra Red de Mareógrafos

