



OO. AA Medio Ambiente.COM

**Oposiciones a la Escala de Técnicos Facultativos Superiores de
OO.AA. del MMA.**



**Grupo de temas específicos
Sistema general de acceso libre**

Tema 27

- 1 ESTUDIOS DE INGENIERÍA MARÍTIMA Y COSTERA: PRINCIPALES FUENTES DE DATOS. TIPOS DE MODELOS NUMÉRICOS.**
- 2 MODELOS FÍSICOS A ESCALA REDUCIDA: SEMEJANZA HIDRÁULICA Y EFECTOS DE ESCALA. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS FÍSICOS CON FONDO MÓVIL. SEGUIMIENTO REMOTO DEL LITORAL.**



OO. AA Medio Ambiente.COM



| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ESTUDIOS DE INGENIERÍA MARÍTIMA Y COSTERA: PRINCIPALES FUENTES DE DATOS. TIPOS DE MODELOS NUMÉRICOS. | 1 |
| 1.1 | INTRODUCCIÓN _____ | 1 |
| 1.2 | PRINCIPALES FUENTES DE DATOS _____ | 1 |
| 1.2.1 | Estudios ecocartográficos ----- | 1 |
| 1.2.2 | Métodos de Prospección Submarina. ----- | 2 |
| 1.2.3 | Fuentes de datos de oleaje ----- | 8 |
| 1.2.4 | Estudios y actuaciones ----- | 18 |
| 1.3 | TIPOS DE MODELOS NUMÉRICOS _____ | 19 |
| 2 | MODELOS FÍSICOS A ESCALA REDUCIDA: SEMEJANZA HIDRÁULICA Y EFECTOS DE ESCALA. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS FÍSICOS CON FONDO MÓVIL. SEGUIMIENTO REMOTO DEL LITORAL. | 20 |
| 2.1 | INTRODUCCIÓN _____ | 21 |
| 2.1.1 | Tanques de oleaje 35 y 45 x 6,50 m ----- | 21 |
| 2.1.2 | Laboratorio de Experimentación Marítima ----- | 23 |
| 2.1.3 | Canal de Oleaje y Viento de Gran Escala ----- | 25 |
| 2.1.4 | Tanque de oleaje multidireccional ----- | 27 |







1 ESTUDIOS DE INGENIERÍA MARÍTIMA Y COSTERA: PRINCIPALES FUENTES DE DATOS. TIPOS DE MODELOS NUMÉRICOS.

1.1 INTRODUCCIÓN

Los estudios relacionados con la ingeniería marítima son la base para el conocimiento y modelización del medio marino así como de las variables que determinan su funcionamiento. Todo ello fundamental para el adecuado dimensionamiento de las estructuras marítimas (puertos, diques, muelles, etc.) así como de otras actuaciones en el entorno costero como la regeneración de playas y otro tipo de actuaciones ambientales.

Las variables o campos objeto de estudio son principalmente las variables relacionadas con el clima marítima, y en especial el oleaje, y las relacionadas con el conocimiento del fondo marino (batimetrías, cartografías submarinas etc.).

El estudio y la toma de datos en el medio marino no es una tarea fácil, y no ha sido hasta hace pocas décadas cuando, gracias a instrumentación más sofisticada que utiliza tecnologías de última generación, cunado se ha podido abordar el estudio del medio marino con mayor precisión y obteniendo datos de mayor calidad.

1.2 PRINCIPALES FUENTES DE DATOS

La Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico lleva cabo los estudios necesarios tanto para lograr alcanzar un mayor conocimiento del medio marino y del marítimo terrestre, destinados en este caso a obtener la información más general para realizar actuaciones sobre la costa (excluyendo la concreta redacción de proyectos), como los estudios de investigación para el conocimiento e innovación de la gestión de la costa.

1.2.1 Estudios ecocartográficos

Las ecocartografías del litoral español comprenden una serie de estudios de ingeniería marítima y ecología del medio marino, con sus resultados perfectamente estructurados en un Sistema de Información Geográfica (GIS) y bases de datos asociadas.

Entre otras cosas incluyen:

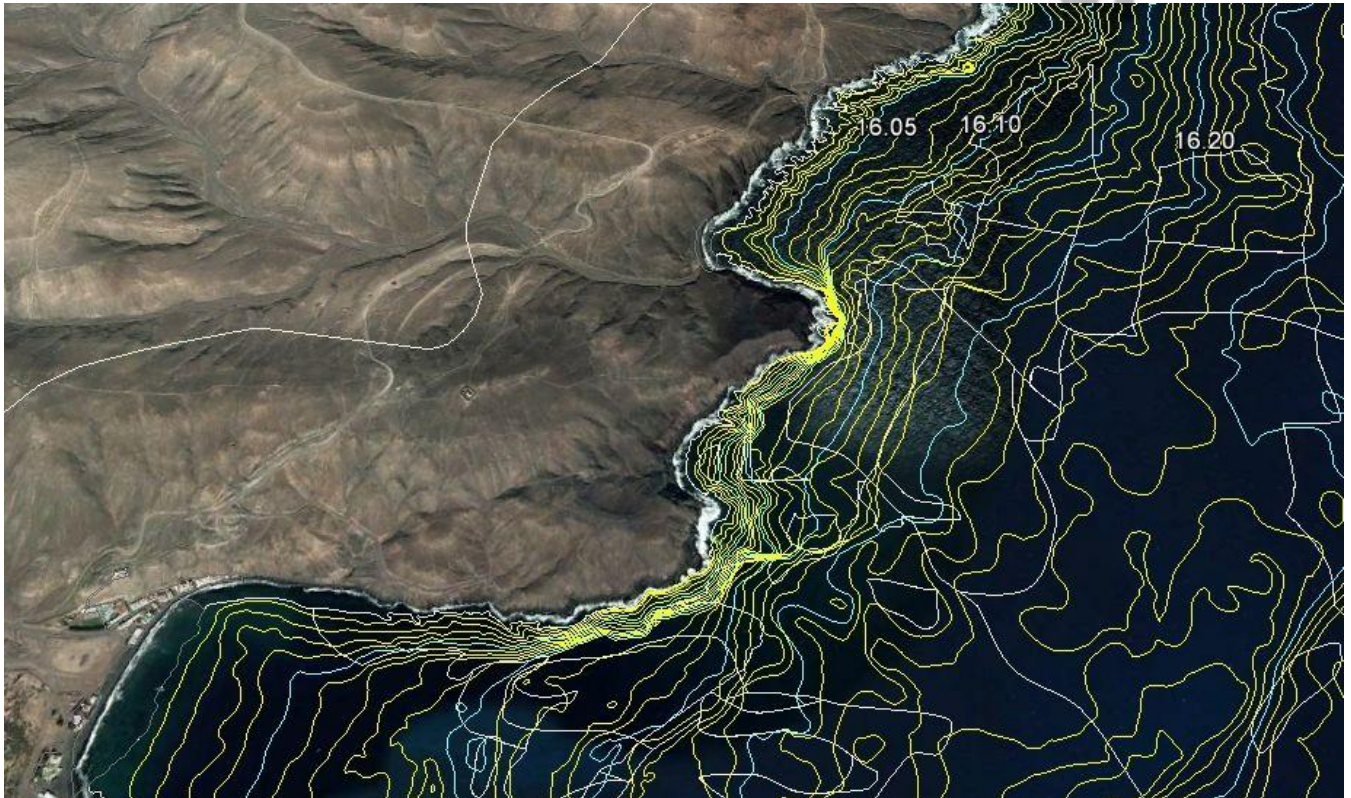
- Una batimetría de detalle realizada con sonda Multihaz de la plataforma costera sumergida, a escalas 1:1.000 y 1:5.000.
- Información y cartografiado de las comunidades bentónicas y la biocenosis y se ha elaborado una base de datos de todas las especies, analizado diferentes parámetros, entre los cuales cabe citar la abundancia, la riqueza específica y la diversidad.
- Elaboración de una serie de mapas temáticos indicando, entre otras variables, los usos y clasificación del suelo, geología, espacios naturales protegidos y recursos pesqueros. También se han elaborado una serie de fichas temáticas relativas a los puntos en los que se han tomado muestras y en las que se recoge toda la información obtenida.
- Información detallada de la franja costera, en relación con sus condicionantes ambientales y patrimoniales más significativos, información estructurada en un Sistema de Información Geográfica (GIS) para poder realizar un estudio rápido y eficaz de la misma, además de facilitar la actualización y ampliación de la misma en función de las necesidades existentes en cada momento.



Objetivos del estudio

El objetivo de estos estudios es la obtención de un soporte cartográfico detallado de un área de costa determinado, junto con una descripción de la misma, que contenga datos relativos a las comunidades naturales, paisaje y elementos patrimoniales, todo ello tanto terrestre como marino.

Se ha generado un Sistema de Información Geográfica (GIS) de toda la información del estudio de manera que sirva de herramienta de gestión para la planificación y toma de decisiones para posibles actuaciones en la costa.



Por otra parte, se pueden distinguir los distintos métodos de prospección submarina:

1.2.2 Métodos de Prospección Submarina.

Geofísica

La Geofísica es la ciencia que estudia los fenómenos físicos de la Tierra. La prospección geofísica es la ciencia y técnica que a través de fenómenos físicos naturales o inducidos deduce la distribución del terreno. Las técnicas geofísicas de alta resolución permiten disponer, mediante inversiones económicas relativamente reducidas, de una información inestimable y normalmente inevitable para conocer las condiciones generales del lugar y para colaborar en la identificación de las singularidades y de los rasgos topográficos, geomorfológicos y geológicos más significativos. Posibilita una reducción del número de sondeos mecánicos a realizar, por suministrar una información de tipo continuo, con los consiguientes beneficios en tiempo y en costos de inversión. A su vez, se posibilita una visión conjunta de los rasgos y fenómenos geológicos.

La identificación de posibles yacimientos de arena para regeneración de playas también se hace mediante técnicas de prospección geofísica (aunque éstas tienen otras muchas aplicaciones). Se basan en el empleo de ondas sonoras y sistemas de posicionamiento de alta precisión, determinando las características estratigráficas y litológicas de sedimentos superficiales y subsuperficiales.



Principales equipos

Los principales equipos empleados para recoger datos geofísicos en programas de exploración marina son sondas, sonares de barrido lateral y perfiladores de fondos. Los tres sistemas son aparatos acústicos montados sobre barcos que funcionan emitiendo ondas sonoras en el agua, las cuales se propagan a través de los distintos medios existentes (agua, roca, sedimento), son reflejadas por ellos y acaban regresando al punto de emisión.

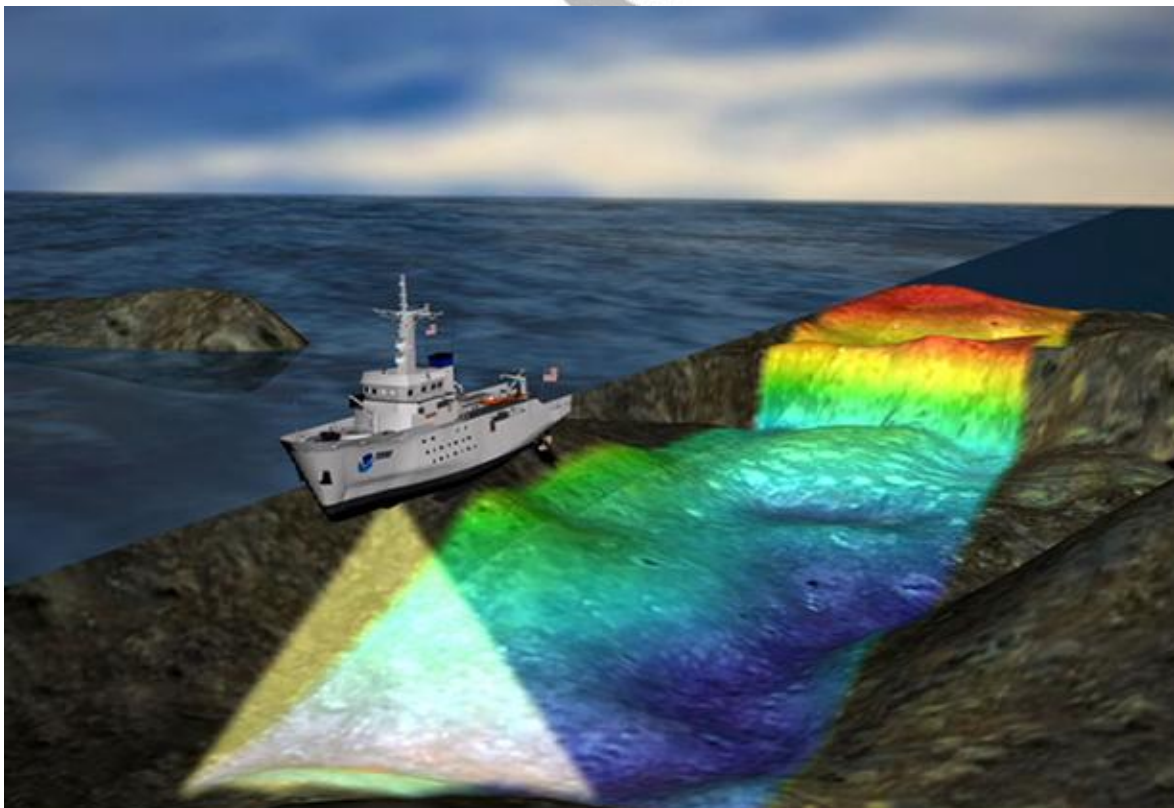
Midiendo la diferencia temporal entre el inicio de la emisión y la llegada de las señales de retomo reflejadas y conociendo la velocidad de transmisión del sonido en los distintos medios atravesados, se obtiene la distancia existente entre el emisor y el elemento reflejante.

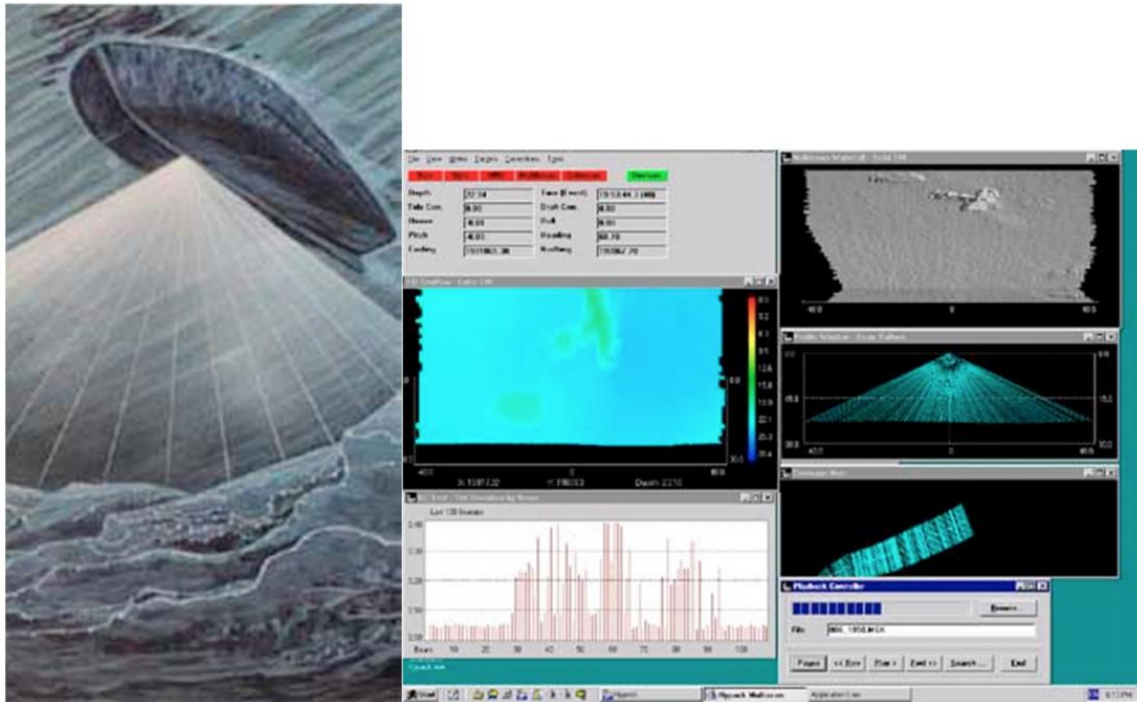
- **Ecosondas.**

Se emplean para realizar campañas batimétricas, midiendo la profundidad de agua existente en cada punto. Pueden ser de haz simple (emiten un haz de ondas sonoras del orden de 70 de amplitud) o multihaz (cubriendo un rango de unos 90° como máximo, aunque por razones de precisión no se aconseja superar los 60°). Éstas se emplean también para definir el perfil real de un dique en talud.

Las de alta frecuencia tienen gran precisión porque no penetran en el sedimento, proporcionando con exactitud la distancia hasta el fondo marino. Sin embargo, deben ser empleadas en profundidades reducidas ya que sufren cierta dispersión. Las de baja frecuencia tienen menor precisión ya que penetran en la arena del fondo, proporcionando la posición de la capa más compacta que existe por debajo de aquélla. La ventaja es que se pueden emplear en grandes profundidades.

El rango óptimo de frecuencias se extiende de **15 a 200 kHz** y se elige en función de calado, naturaleza del fondo y tipo de equipo. Los transductores se sitúan generalmente en el casco del barco con el haz orientado verticalmente hacia el fondo. El haz puede comprender o bien un sólo pulso, o bien una banda de pulsos que se distribuyen con un ángulo variable a babor y estribor del barco.



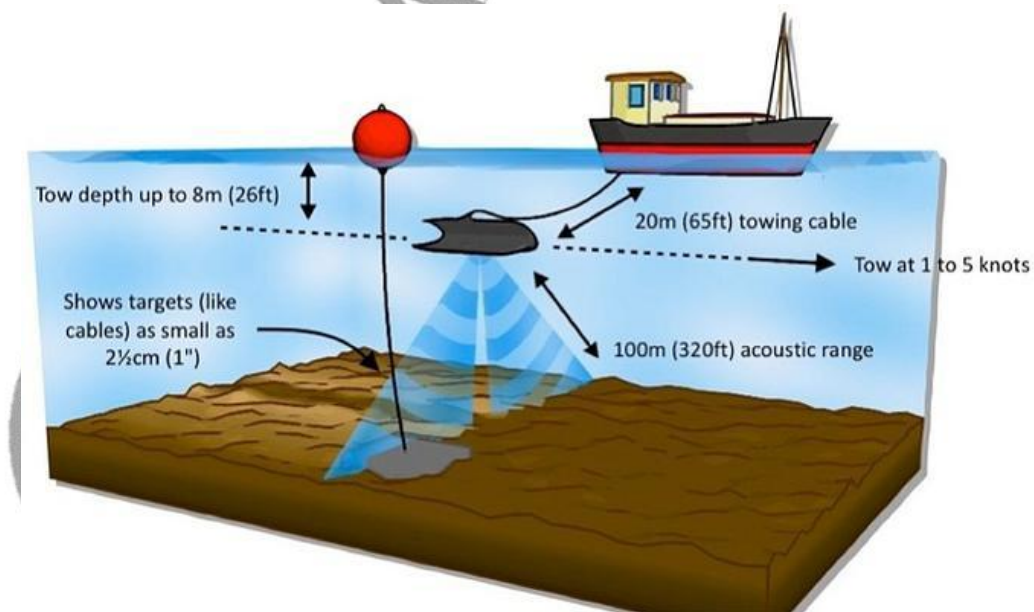


- **Sonar de barrido lateral.**

La técnica de los sonares de barrido lateral se desarrolló a finales de 1950 a partir de experimentos utilizando la ecosonda inclinada respecto a la vertical.

Se emplea para determinar la topografía del fondo marino. Se emiten señales acústicas cubriendo un rango de 80° a ambos lados de la trayectoria seguida por el barco (a diferencia de los otros dos aparatos que emiten señal sólo en la vertical).

La imagen que se obtiene del fondo se parece a una fotografía aérea continua, con lo que se pueden distinguir distribución espacial de los sedimentos del fondo, afloramientos rocosos, bancos de arena, etc. Puede ayudar a determinar la dirección del movimiento de los sedimentos. Es sensible al movimiento del barco, por lo que se debe emplear en situaciones de calma.





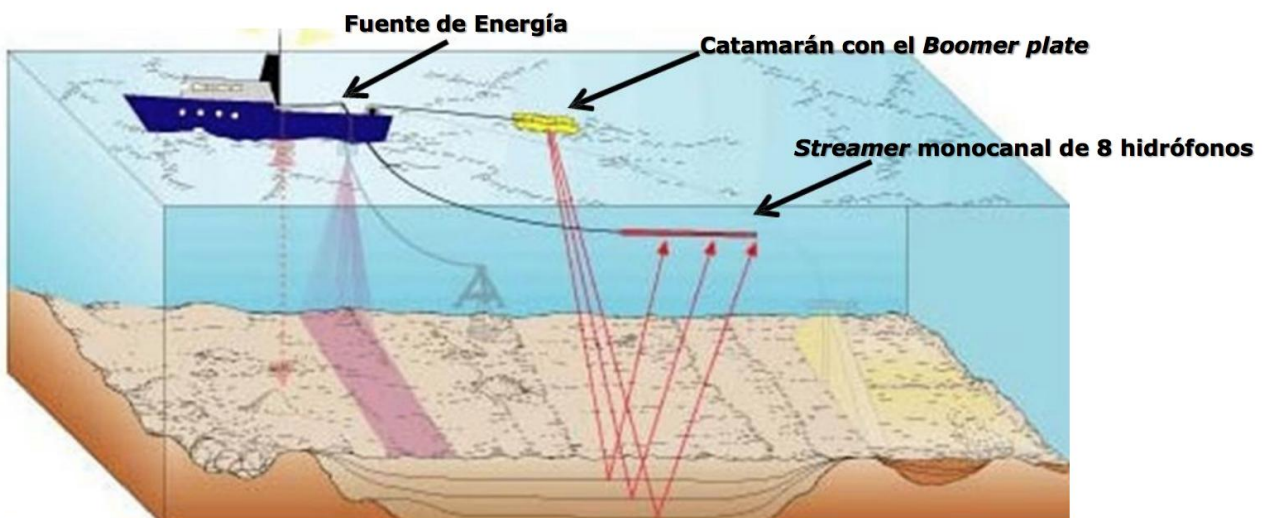
- **Perfilador sísmico de fondos.**

Se emplea para determinar la estratigrafía de elementos situados por debajo del fondo marino a poca profundidad. Funciona de manera análoga a las sondas, con la diferencia de que emite ondas sísmicas, de menor frecuencia y mayor potencia que las sonoras. Se obtiene una sección transversal geológica del material subsuperficial, que siempre debe ser contrastada con la información obtenida directamente de muestras de sedimentos con vibrocores. Estos sistemas de sismica de reflexión consisten en interpretar los sucesivos frentes de ondas, que son reflejadas en las discontinuidades o contactos de diferentes capas en profundidad.

Tipos

- Tipo Boomer

El principio general del funcionamiento del sistema PERFILADOR SÍSMICO DE SUBFONDO (SBP) *tipo Boomer* está dado por la emisión de ondas sonoras a través del *boomer plate* con una frecuencia característica hacia el fondo marino, las cuales inciden en las interfases existentes (agua-sedimento, sedimento-roca y entre sedimentos de distintas propiedades acústicas), generando la reflexión de las ondas hacia la superficie del mar donde son recibidas por el receptor streamer. El sistema SBP tipo Boomer requiere despliegue del receptor separado de la fuente emisora como se muestra en la figura.



- Tipo Pinger

El SBP tipo Pinger es un sistema perfilador con transductor cerámico como fuente sísmica, compuesto por 4 dispositivos básicos: un transmisor generador de señal, un transductor (o arreglo de transductores), un receptor y un ordenador de control y registro de datos. Este sistema puede obtener mayor resolución que utilizando fuentes boomers con menores niveles de penetración en el subfondo marino.

El principio general del funcionamiento del sistema SBP tipo Pinger está dado por la emisión de ondas sonoras a través del transductor (o arreglo de transductores) con una frecuencia característica hacia el fondo marino, las cuales inciden en las interfases existentes (agua-sedimento, sedimento-roca) produciéndose una onda reflejada y su retorno al transductor.

- Tipo Chirp



El SBP con modulación CHIRP es un sistema perfilador con transductores cerámicos que permite mayor resolución mediante la modulación de onda. Compuesto por 4 dispositivos básicos: un transmisor generador de señal, un transductor (o arreglo de transductores), un receptor y un ordenador de control y registro de datos.

Generalmente un único método de prospección geofísica no proporciona suficiente información por sí mismo, por lo que se debe completar con datos adicionales de otros métodos geofísicos y sobre todo con toma directa de muestras de sedimentos, bien superficiales con cucharas toma muestras, bien en profundidad mediante vibrocores (tubos que se hincan en el suelo hasta una cierta profundidad, tomando una muestra de material, denominada testigo, que conserva la distribución espacial de los sedimentos).

Otros métodos de prospección submarina

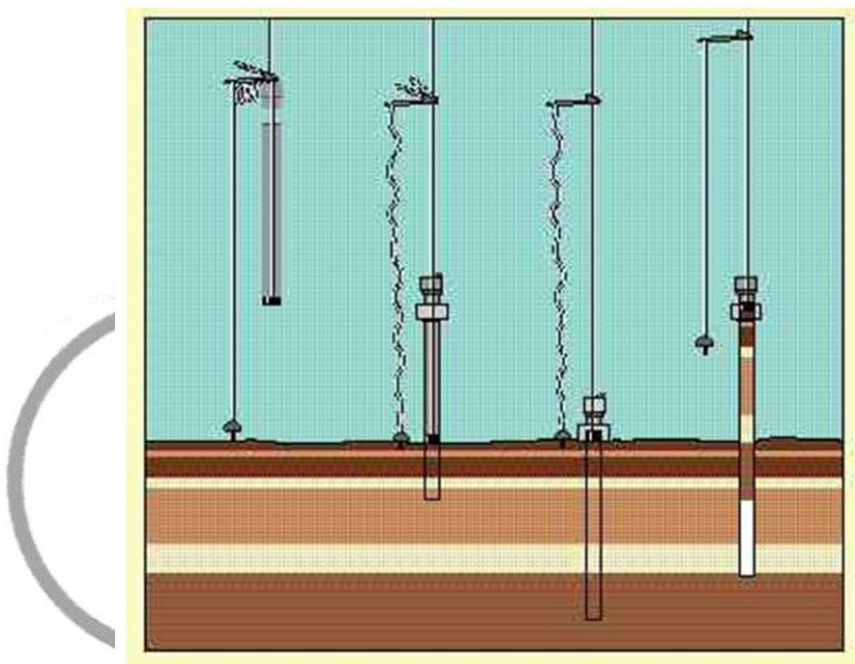
- **Gravimetría.**

Se deposita en el fondo marino un aparato (sparkle) que realiza una pequeña explosión (y por tanto produce un microsismo). En una serie de puntos situados alrededor del emisor se mide el valor de la aceleración de la gravedad. Así se puede definir la existencia de fallas o de cavidades

- **Técnicas de sondeo y muestreo.**

Para la toma de muestras superficiales puede acudir al uso de submarinistas cuando las profundidades de calado son muy reducidas. En calados intermedios y desde plataformas de apoyo de las mencionadas pueden efectuarse sondeos mecánicos, a rotación o percusión. Para mayores profundidades básicamente son cuatro las técnicas a emplear:

- a) cucharas: consisten en un mecanismo bivalvo tal que descendiendo por gravedad merced a un cable, en su posición de apertura se cierra al tirar del mismo.
- b) toma-muestras por gravedad: actúan penetrando en el terreno por su propio peso.
- c) toma-muestras por vibración (vibrocores): consisten en una tubería metálica que se hincan en el terreno por medio de vibraciones que se aplican en el cabezal. También puede ser que la excitación sea a vibropercusión.





- d) toma-muestras a rotación: equipos compactos que permiten prospecciones en el interior del terreno, (hasta 10-20 m de profundidad), autónomos, controlados y arrastrados desde barcos.

Para aguas muy profundas el primer y gran problema proviene de la necesidad de utilizar un barco de dimensiones considerables, especialmente para la ejecución de las perforaciones. Los equipos más empleados son: los toma-muestras a percusión, a presión y de pistón hidráulico.

- **Ensayos in situ.**

La tendencia actual se decanta hacia el uso de técnicas de ensayo directos, in situ, dadas las dificultades de extracción de muestras de calidad, suficientemente inalteradas como para considerarlas realmente como tales. Las técnicas empleadas exigen un elemento transmisor-accionador que posibilite el acceso a la cota del terreno más superficial. Básicamente son dos las posibilidades:

1. Por medio de una tubería guía vertical, que conecte mediante cables flexibles el propio equipamiento prospector con el barco-plataforma de apoyo;
2. Desarrollando equipos autónomos, dirigidos y operados mediante control remoto, que se apoyan en superficie y suministran suficiente reacción como para hincarse en el terreno.

A parte de la prospección por medio de penetrómetros dinámicos se emplean el ensayo del molinete, el piezocono, y el presiómetro. Para analizar la capacidad portante de los fondos a la hora de instalar un emisario submarino, se emplean lanzaderas de agua manejadas por buzos especializados.

Barcos perforadores: Un barco de perforación es una embarcación marítima que ha sido equipado con los equipos de perforación. Se utiliza con mayor frecuencia para la perforación exploratoria mar adentro de petróleo, pozos de gas en aguas profundas o para *perforaciones científicas*. El buque de perforación también puede ser utilizado como una plataforma para llevar a cabo trabajos de mantenimiento o bien la completación tales como tuberías de revestimiento y de instalación de instalaciones submarinas o árboles. A menudo se construyen cumpliendo con las especificaciones de diseño de la compañía de producción de petróleo y / o los inversores, pero también se puede hacer una modificación del casco para equiparlo con un sistema posicionamiento dinámico para mantener su posición sobre el pozo.





1.2.3 Fuentes de datos de oleaje

El estudio del oleaje y las mareas y, en general, del clima marítimo, como se ha comentado, es fundamental para el dimensionamiento de obras y actuaciones en el entorno costero.

El estudio del clima marítimo se puede realizar en base a cuatro fuentes de datos de oleaje:

- **Base de Datos Visuales del Cedex**

Adquiridas al National Climatic Data Center de Asheville (Carolina del Norte). Se incluyen observaciones visuales desde barcos en ruta por el litoral español desde 1945.

Es fiable en condiciones moderadas, no en extremas, por la tendencia del observador a la exageración. La Información que se obtiene principalmente es: **H, T y Dirección**.

Divididas en:

- *Oleaje Sea* (Mar de Viento),
- *Swell* (Mar de Fondo): abandona el área de generación y se propaga a través de la superficie marítima sin estar sometido al viento.

La principal ventaja de este método es la extensión de datos Espacio y Tiempo, y su inconveniente la Heterogeneidad en la Toma de datos y su procesado, ya que los datos se acumulan en rutas de navegación.

También incluye información del viento, en poder del CEDEX y adquiridas a USA. En cuanto al viento hay datos de dirección e intensidad desde 1850.

- **Mediciones de Puertos de Estado**

Para obtener datos del medio marino, de las olas, de cara a su predicción y análisis, el organismo que engloba a los puertos españoles, **Puertos del Estado**, ha desarrollado un complejo sistema de monitorización y previsión del medio marino.

Una **red de boyas de aguas profundas**, formada por **quince** estaciones equipadas con boyas oceanográficas complejas, que permite medir distintos parámetros oceanográficos: oleaje, corrientes, temperatura del agua y salinidad; y meteorológicos: viento, temperatura del aire y presión atmosférica.

Además de estas boyas, los puertos españoles cuentan con una **red de boyas costeras**, que facilitan datos del oleaje en aguas poco profundas. La red costera se compone de **9 estaciones de Puertos del Estado** más **3 de AAPP** y próximamente se fondearán otras 3 mediante convenios con AAPP.

Además de la red de boyas de aguas profundas y la costera, existe, una **red de mareógrafos**, que consta de cuarenta estaciones y que son utilizadas para la monitorización del nivel del mar en tiempo real, y una red de radares HF (alta frecuencia) en tierra para medir la corriente superficial y oleaje.

Estos cuatro sistemas de medida, una auténtica innovación no sólo en España sino en toda Europa, forman parte de un sistema oceánico-meteorológico de los puertos españoles que ofrecen información de libre acceso a todos los ciudadanos a través del portal de Puertos del Estado (www.puertos.es).

También forman parte del mismo, además de las boyas, los mareógrafos y los radares, los **Sistemas de predicción**: del nivel del mar, de marea astronómica, de oleaje y de corrientes, temperatura y salinidad en aguas Españolas; el grupo de análisis del clima, para describir estadísticamente el clima marítimo presente y futuro; y el Banco de Datos Oceanográficos, que incorpora información tanto de las redes de medida como de los modelos de predicción.



Las aplicaciones de esta importante innovación de los puertos españoles, son múltiples. Gracias a los sistemas de medida y de predicción, se consiguen importantes beneficios en ingeniería marítima, puertos, análisis del cambio climático, navegación y pesca, entre otros sectores.

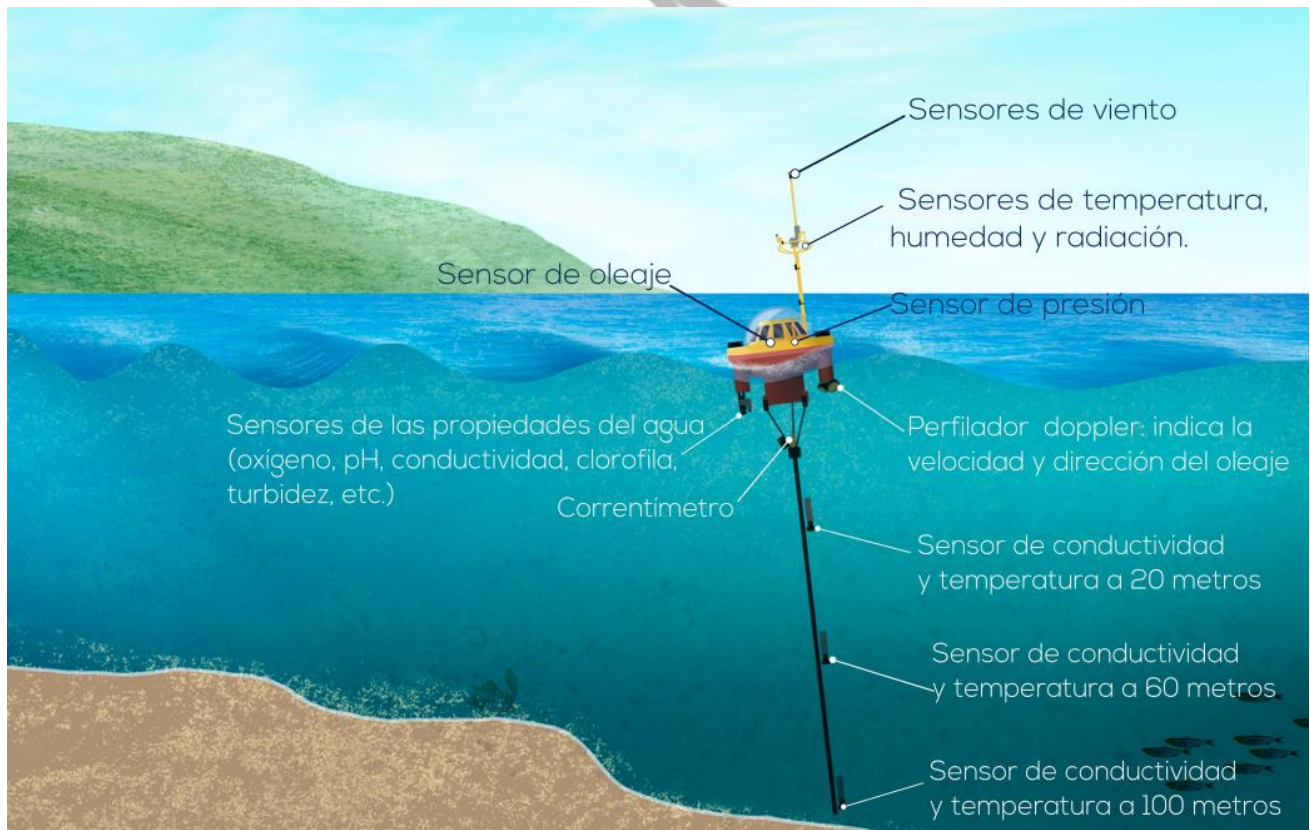
Medición

Es relevante destacar cómo se miden las olas. Las boyas, en contra de lo que muchas veces pueda parecer por las informaciones rápidas que se ofrecen sobre este asunto, no miden las olas aisladamente, una a una, sino que se registran durante un cierto periodo de tiempo, más o menos cada media hora.

Ello se debe a que el oleaje es un fenómeno irregular por lo que hay olas de distintas alturas que se suceden una tras otra. Los instrumentos más utilizados para medir las olas son las *boyas acelerométricas*. Se trata de unas plataformas flotantes que siguen y registran sus movimientos. Las medidas recogidas por la red de boyas durante media hora, son las que se procesan para obtener los parámetros de altura, periodo y dirección del oleaje, esenciales en el medio marino, y que conforman lo que se conoce como "estado de la mar." Uno de los más utilizados es el parámetro "altura significativa" que es la media del tercio de olas más altas. Es un parámetro que se utiliza mucho ya que coincide bastante bien con lo que un observador experimentado estimaría que miden las olas a simple vista.

En síntesis, puede decirse que el sistema de los puertos españoles en cuanto a la previsión y el análisis del medio marino, conforma un sistema de monitorización y predicción, en especial gracias a su red de boyas, de primer nivel tecnológico, apoyado en la innovación y modernización permanente, y en el análisis concienzudo y preciso de los resultados que se obtienen. Para un país eminentemente costero como España, es esencial mantener en primer nivel la apuesta por la innovación, en especial en su red de boyas, y el permanente control y mantenimiento de las mismas.

Se muestra a continuación un esquema de los elementos que componen una boya:





• **Red de Boyas de Aguas Profundas.**

Las boyas de la Red de Aguas Profundas se caracterizan por estar fondeadas lejos de la línea de costa a gran profundidad (más de 200 metros de profundidad). Por tanto, las medidas de estos sensores no están perturbadas por efectos locales y son representativos de mar abierto.

Las boyas están situadas en:

- Bilbao,
- Cabo de Peñas,
- Estaca de Bares,
- Villano-Sisargas,
- Cabo Silleiro,
- Golfo de Cádiz,
- Mar de Alborán,
- Cabo de Gata,
- Cabo Begur,
- Mahón,
- Tenerife
- Gran Canaria.

Localización de las boyas de la red de aguas profundas gestionada por Puertos del Estado. Hay dos clases de boyas: Sea Watch y Wavescan (Fuente: Puertos del Estado):





Los datos son transmitidos cada hora vía satélite y se pueden consultar en la página web de Puertos del Estado. Con ellas se obtienen las 10 fachadas marítimas de la ROM 03-91.



- **Red costera de boyas de oleaje de Puertos del Estado (REDCOS)**

La Red Costera de Oleaje de Puertos del Estado REDCOS proporciona datos de oleaje en tiempo real en *aguas poco profundas*, y tiene como objetivo complementar las medidas de la red exterior en lugares de especial interés para las actividades portuarias o la validación de modelos de oleaje. Esta red está compuesta por boyas escalares de tipo Waverider (Datawell) y de boyas direccionales de tipo Triaxys™ (Axys).





Las boyas de la *Red de Boyas Costeras* se caracterizan por estar ubicadas en las proximidades de instalaciones portuarias (fondeadas a menos de 100m de profundidad). En la mayoría de los casos, las medidas están perturbadas tanto por el perfil de la costa, como por los efectos del fondo. Por tanto, la información que suministran es representativa solo de condiciones locales. Por este motivo, es necesario utilizar con prudencia dichos datos a la hora de extraer conclusiones en zonas alejadas del área de medida.



- **Modelado numérico de predicción y retroanálisis**

Datos procedentes de modelado numérico de predicción y retroanálisis (puntos WANA, WASA E HIPOCAS)

- i) El conjunto de **datos WASA** (*Waves and Storms in the North Atlantic*), procede del proyecto financiado por la UE que lleva el mismo nombre. Dicha base de datos está formada por el retroanálisis de oleaje de 40 años (1955- 1994). Los datos se obtuvieron aplicando el modelo de generación de oleaje WAM en el Atlántico Norte.
- ii) El **proyecto WANA**, puesto en marcha por el Programa Marítimo de Puertos del Estado, utiliza el modelo WAN de generación del oleaje en una red próxima a las costas españolas con datos desde 1995 cada 3-5 horas y con una resolución espacial de $0,125^{\circ}$ - $0,25^{\circ}$.
- iii) En el **proyecto europeo HIPOCAS**, se ha generado una base de datos homogénea de 44 años (1958-2001). La resolución horizontal oscila entre $0,25^{\circ}$ y $0,125^{\circ}$ y las resoluciones temporales varían entre 1 y 3 horas. Estos datos de oleaje se obtienen a partir del retroanálisis de 44 años de datos atmosféricos obtenidos del modelo REMO que son utilizados como forzamiento para el modelo numérico WAM de oleaje.



- iv) El objetivo general del **proyecto europeo STOWASUS-2100** ha sido estudiar eventos extremos de temporales, mareas meteorológicas y oleaje partiendo de las condiciones climáticas actuales, así como de un escenario con una concentración de CO₂ doble de la existente en la actualidad, para el 2100. Este proyecto se ha basado en el modelado numérico atmosférico/oceanográfico conjunto en las regiones del Atlántico Norte Europeo y del Mar Mediterráneo, especialmente en el Adriático. Las series de datos incluyen 30 años de información, en cada escenario.
- v) **PRUDENCE** constituye la base de datos atmosféricos más detallada en la actualidad. Al igual que STOWASUS-2100 se han realizado simulaciones para el escenario actual y de doble de CO₂ en la atmósfera, para caracterizar cambios en variables extremas de precipitación y viento. Hay que indicar que los datos procedentes de modelado numérico tienen que ser calibrados con datos reales obtenidos en boyas.

- **Datos de mareas.**

Antes de pasar a analizar los instrumentos utilizados para la medida de las mareas, estudiemos el fenómeno en sí mismo.

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**.

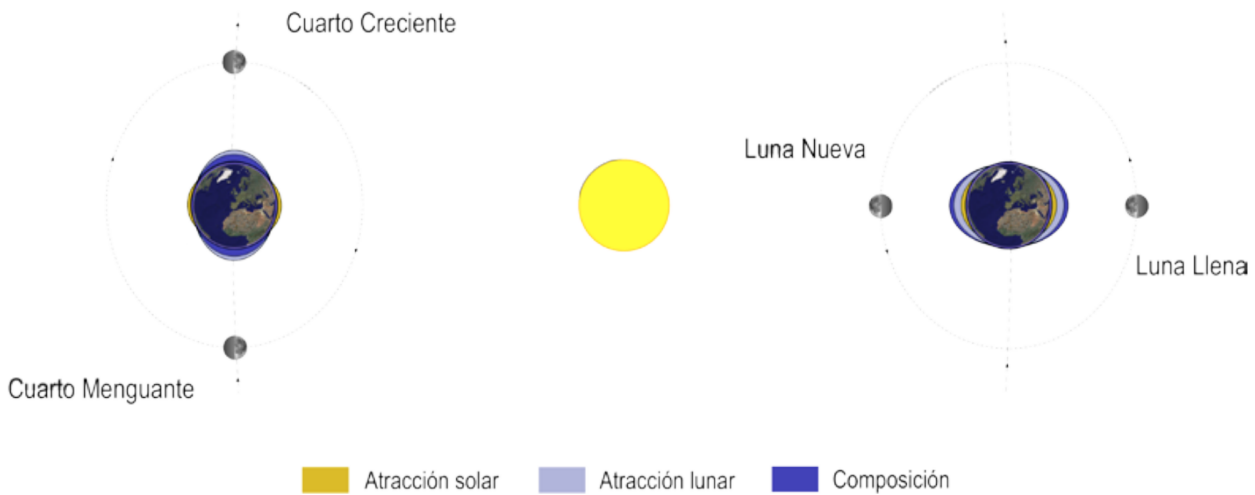
- La marea astronómica

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

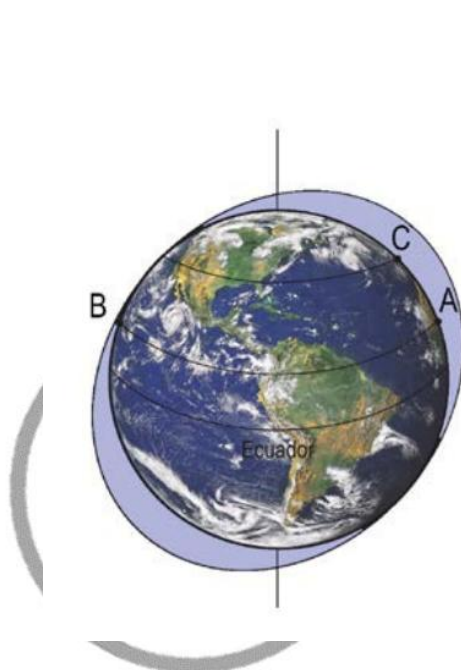
La inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de la eclíptica en su movimiento alrededor del Sol da lugar a las estaciones y provoca que las fuerzas de atracción con respecto al ecuador sean asimétricas.

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:

- 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.



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



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.

• REDMAR

Puertos del Estado tiene una red de mareógrafos (39 mareógrafos), REDMAR.

El conjunto de datos REDMAR está formado por las medidas procedentes de la Red de Mareógrafos de Puertos del Estado. Tiene como finalidad primordial medir, grabar, analizar y almacenar de forma continua el nivel del mar en los puertos, siendo el acceso a los datos en tiempo real uno de sus aspectos primordiales. Las estaciones más antiguas proporcionan datos desde Julio de 1992. En la actualidad esta red cuenta con más de 30 estaciones en funcionamiento.

El dato de nivel del mar en tiempo real es utilizado para la realización de dragados o para la navegación en el interior de algunos puertos. Las series históricas que la red de mareógrafos proporciona permiten afrontar el estudio del regímenes extremal y medio, que sirven de referencia a la hora de proyectar una obra en la costa; seguimiento del cero del puerto o nivel de referencia, obtención de constantes armónicas más precisas para la realización de las tablas de marea (o predicción de marea astronómica), conocimiento de la componente meteorológica del nivel del mar en caso de tormenta, estudio de la evolución del nivel medio del mar, calibración de modelos numéricos de corrientes y mareas, calibración de datos de altimetría espacial, etc.



Inicialmente esta red estuvo compuesta por *mareógrafos acústicos SONAR*. Posteriormente, debido al cese de fabricación de los equipos inicialmente adquiridos fue necesario recurrir a otras tecnologías y, por ello, las estaciones incorporadas entre 2004 y 2006 se basaron en sensores de presión Aanderaa. Estos sensores se establecieron de manera provisional, debido a que presentaban dificultades de mantenimiento y derivas a largo plazo. En paralelo, Puertos del Estado realizó un exhaustivo experimento de comparación de instrumentación que permitió determinar la tecnología más indicada para los objetivos de la REDMAR. Como resultado de dichos experimentos se escogió la tecnología de barrido de frecuencias, que permite la monitorización del nivel del mar en todo el rango de frecuencias, incluido el oleaje o agitación.

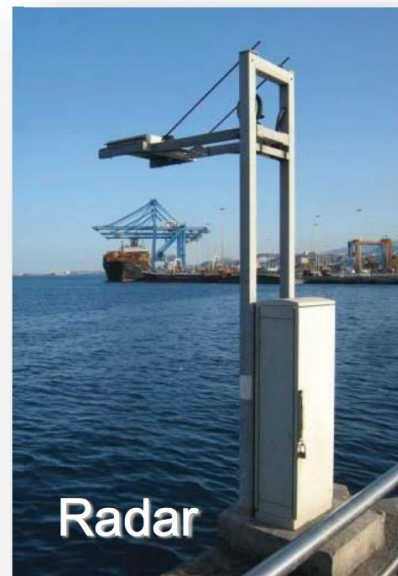
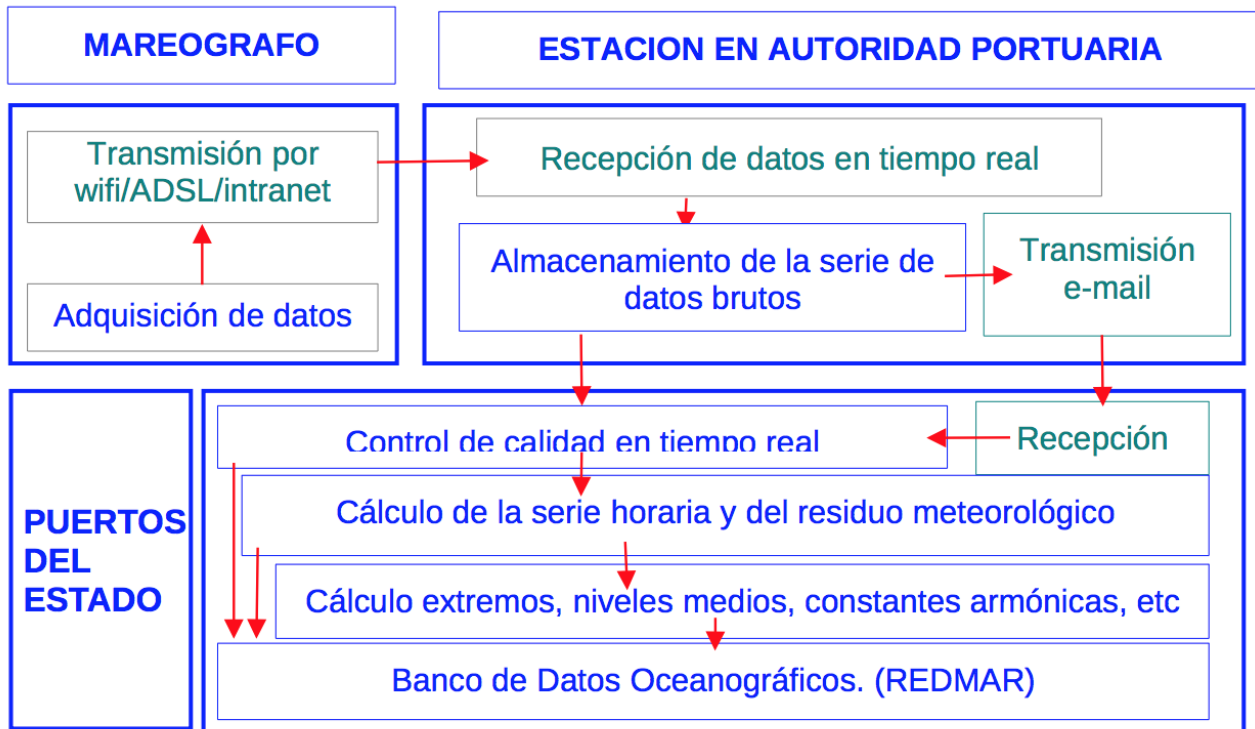
A partir del año 2006 comenzó un periodo de renovación de la REDMAR durante el cual se fueron sustituyendo todas las estaciones antiguas por estaciones de este tipo (del fabricante *Miros*). Desde 2007 se han incorporado además muchas nuevas estaciones (todas ya de tipo radar) que han completado y mejorado enormemente la cobertura espacial de la red. En numerosas ocasiones la renovación ha supuesto la re-ubicación de la nueva estación en otro muelle, lo que ha requerido de la realización de una nivelación de alta precisión entre las dos estaciones (en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional, IGN).

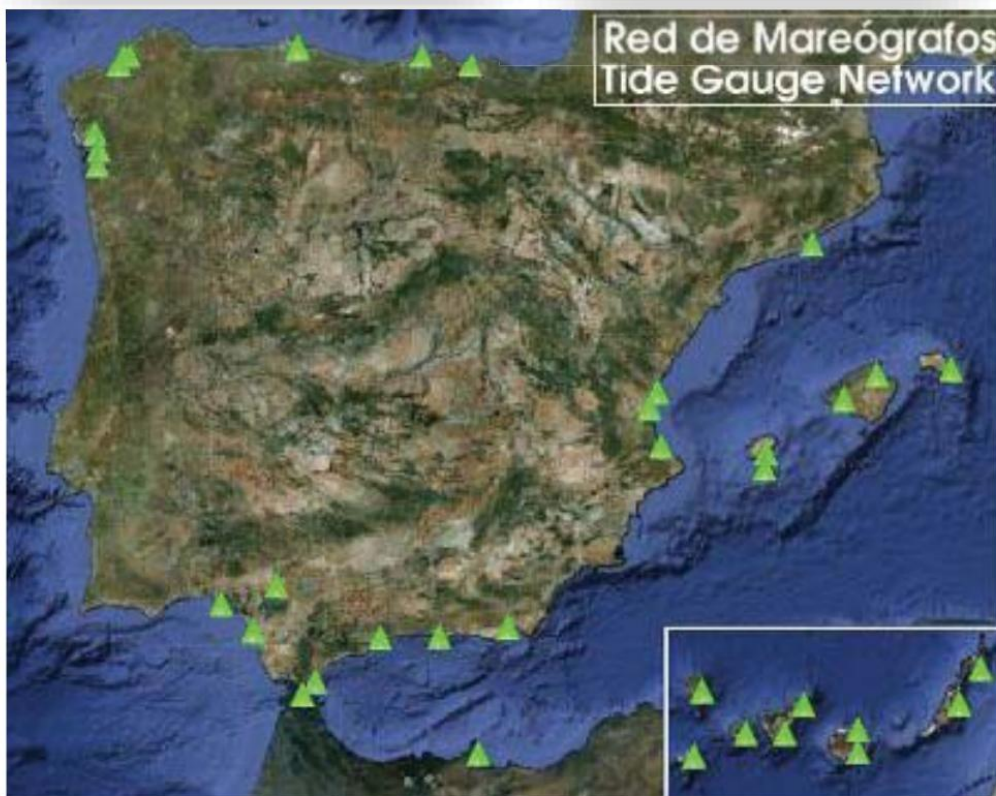
Los nuevos mareógrafos de radar *Miros* también están preparados para medir oleaje junto al muelle o agitación, proporcionando medidas de altura significativa y periodo medio **cada 20 minutos**. Estos datos de agitación, por encontrarse el sensor a pie de muelle y en el interior de un puerto, pueden estar afectados por procesos locales de reflexión y/o refracción inherentes a la instalación, y no tienen por qué ser representativos del oleaje exterior.

En algunos casos, a la estación mareográfica se le han adosado sensores meteorológicos que proporcionan información en tiempo real de viento y presión atmosférica de alta resolución. Esta información viene a paliar la falta de datos atmosféricos que se derivó de la desaparición de la Red de Estaciones Meteorológicas Portuarias (REMPOR) en el año 2006.

Puertos del Estado colabora con los distintos organismos con responsabilidades en mareas o medición del nivel del mar, tanto a nivel nacional como internacional, como el Instituto Geográfico Nacional (*IGN*), el Instituto Español de Oceanografía (*IEO*), el Instituto Hidrográfico de la Marina (*IHM*) o los centros meteorológicos nacionales (*AEMET*) y autonómicos. La red REDMAR se complementa muy bien espacialmente con las del *IGN* y el *IEO*. Se mantienen sin embargo varios puntos de coincidencia debido, por una parte, a la necesidad de inter-comparación de datos de equipos diferentes, y, por otra, para garantizar en estos puertos la mínima pérdida de datos posible. Por otra parte, el *IHM* es el responsable de la publicación de los Anuarios de Mareas; la REDMAR proporciona datos que permiten a este organismo mejorar sus predicciones de marea astronómica. Además los datos de las estaciones de la REDMAR se integran periódicamente en centros de datos internacionales como el Permanent Service for Mean Sea Level (*PSMSL*) o Global Sea Level Observing System (*GLOSS*)

La siguiente figura esquematiza el proceso de generación y almacenamiento seguido por los datos procedentes de los mareógrafos de la REDMAR:





Existen varios tipos de mareógrafos:

- De flotador
- De presión
- De presión por burbujeo
- De presiones múltiples
- Sensores rádar

1.2.4 Estudios y actuaciones

Existen multitud de proyectos e iniciativas, muchas de ellas financiadas con fondos públicos, encaminadas a estudiar el clima marítimo.

Un ejemplo es el proyecto *MARUCA*.

Este proyecto está directamente relacionada con las líneas de investigación 12) y 13) de la convocatoria de la Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático, en el subprograma b) Subprograma Nacional para la movilidad sostenible el cambio modal en el transporte (2008):

12) Caracterización de la dinámica y climatología del medio físico marino y desarrollo de sistemas centralizados de redes de medida de datos climáticos marinos

13) Transferencia de información climática al entorno de las infraestructuras de transporte marítimo, incluyendo su interacción y modificación por las infraestructuras portuarias



Los objetivos generales de este proyecto son: (a) caracterizar la dinámica y la climatología del medio físico marino español mediante la generación de bases de datos de dinámica marina de alta resolución y (b) desarrollar metodologías de trabajo específicas que permitan transferir la información climática al entorno de las infraestructuras de transporte marítimo y al interior de las mismas. Esta investigación permitirá optimizar las condiciones de explotación portuaria y navegación marítima y, con ello, contribuir a la mejora del rendimiento energético del medio de transporte marítimo.

Para la consecución del objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos desde un punto de vista científico tecnológico:

- Generación de bases de datos
- Desarrollo de metodologías estadísticas para el tratamiento de las bases de datos
- Caracterización de la dinámica marina en aguas abiertas
- Caracterización de la dinámica marina en el entorno e interior de los puertos de interés general de Puertos del Estado

1.3 TIPOS DE MODELOS NUMÉRICOS

El modelado numérico (a veces llamado modelización numérica) es una técnica basada en el cálculo numérico, utilizada en muchos campos de estudio (ingeniería, ciencia, etc.) desde los años 60 para validar o refutar modelos conceptuales propuestos a partir de observaciones o derivados de teorías anteriores.

Si el cálculo de las ecuaciones que representan el modelo propuesto es capaz de ajustar las observaciones, entonces se habla de un modelo consistente con las mismas, y se dice también que el modelo numérico que confirma las hipótesis (el modelo); si el cálculo no permite en ningún caso reproducir las observaciones, se habla de un modelo inconsistente con los datos y que refuta el modelo conceptual. A menudo, este término se utiliza como sinónimo de simulación numérica.

Los modelos científicos de la realidad se crean mediante modelado matemático. Un modelo matemático determina el conjunto de ecuaciones que gobiernan el sistema que se estudia y del cual se tienen observaciones metódicas. Tradicionalmente se intentaban encontrar soluciones analíticas a esas ecuaciones para validarlas (reproducir las observaciones) y para posibilitar su uso (p.e., predicción del comportamiento del sistema partiendo de un conjunto de parámetros y condiciones iniciales). Los modelos numéricos resultaron de utilizar los ordenadores con el mismo propósito: resolver las ecuaciones de un modelo matemático no de forma analítica sino numérica.

Un modelo conceptual o científico se forma al atribuir un conjunto de observaciones con una serie de hipótesis y aproximaciones. La validación se produce cuando el modelo numérico basado en esas hipótesis y aproximaciones es capaz de reproducir el conjunto de observaciones considerado.

El proceso de modelado numérico suele incluir los siguientes pasos:

1. Escoger el conjunto de observaciones del que el modelo deberá dar cuenta.
2. Definir el modelo conceptual (simplificaciones, aproximaciones, hipótesis) que se pretende validar o refutar.
3. Encontrar un modelo físico-matemático, un conjunto de ecuaciones que represente al modelo conceptual.
4. Encontrar un método de resolución numérica de dichas ecuaciones. Con frecuencia el término 'modelado numérico' se usa para este paso.



5. Encontrar las condiciones (la región del espacio de parámetros del modelo) en las cuales la resolución del modelo matemático es capaz de explicar las observaciones.
6. Interpretar los resultados.

El **Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria)** tiene abiertas varias líneas de actuación en materia de modelos numéricos. Por ejemplo en lo que respecta al análisis numérico y experimental de morfodinámica litoral.

Comprender los complejos procesos físicos que se producen en la zona costera y cómo afectan éstos a su morfología es la piedra angular de la ingeniería y la gestión responsable y sostenible del litoral.

La metodología seguida por el IH Cantabria es el siguiente:

- Estudiar y analizar los mecanismos de generación, propagación y transformación de las dinámicas costeras (oleaje, corrientes, viento, ondas de marea, tsunamis).
- Analizar y caracterizar los procesos morfodinámicos que tienen lugar offshore (plataforma continental, ondas de arena, bajos mareales).
- Analizar y caracterizar los procesos litorales en las inmediaciones de la costa (corrientes litorales, transporte de sedimentos por oleaje o viento, inundación costera) y sus consecuencias en la morfología del litoral (playas, dunas, barras de arena, formas de lecho, zanjas de dragado).
- Evaluar los impactos de los procesos litorales en las infraestructuras costeras (colmatación de canales de navegación o tomas de agua, socavación de los cimientos de infraestructuras o edificios).
- Evaluar los efectos e impactos de la variabilidad climática, del cambio climático o de infraestructuras costeras en esos procesos litorales (aumento de altura de ola, variación de las tasas de transporte de arena) y su consecuencia en la morfología de las zonas costeras (retroceso de la línea de costa, rotación de la playa, inundación de la costa).
- Desarrollar modelos numéricos o físicos, metodologías y herramientas que permiten simular esos procesos morfodinámicos y su variabilidad natural o antrópica, lo cual facilita el estudio de los problemas costeros y la evaluación de múltiples posibles medidas de actuación de forma sencilla y eficaz, sin la necesidad de llevarlas a cabo.
- Desarrollar metodologías de estudio en diferentes fases de un proyecto de estabilidad de playas, por ejemplo, determinar qué estudios se deben llevar a cabo, qué modelos o datos se deben aplicar.

2 MODELOS FÍSICOS A ESCALA REDUCIDA: SEMEJANZA HIDRÁULICA Y EFECTOS DE ESCALA. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS FÍSICOS CON FONDO MÓVIL. SEGUIMIENTO REMOTO DEL LITORAL.



2.1 INTRODUCCIÓN

El Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) es uno de los órganos en los que se estructura el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Este centro tiene una serie de modelos físicos que permiten estudiar los procesos marinos.

De acuerdo con el Estatuto del CEDEX, el Centro de Estudios de Puertos y Costas tiene las siguientes funciones, en el ámbito de las aguas marítimas y sus infraestructuras naturales o artificiales

- Realizar actividades de obtención, investigación, experimentación y gestión de datos relativos a recursos y fenómenos de la naturaleza.
- Definir, diseñar, mejorar y, en su caso, evaluar y certificar las características de los materiales, elementos, técnicas, métodos y sistemas, así como fomentar su normalización.
- Proponer, estudiar y elaborar, directamente o en colaboración, reglamentaciones, normas y, en general, cualquier clase de especificaciones técnicas.
- Desarrollar proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, teniendo en cuenta las directrices contenidas en los planes europeos y nacionales y en los programas a los que se refiere el apartado anterior o a iniciativa propia.
- Prestar asistencia técnica especializada tanto al sector público como al privado, con atención prioritaria a los Departamentos ministeriales de los que depende funcionalmente.
- Difundir y transferir la tecnología española en los ámbitos nacional e internacional, realizando publicaciones, talleres, jornadas, seminarios, simposios y cursos, así como mediante la creación y el mantenimiento de portales temáticos de información a través de redes de comunicación.
- Colaborar y fomentar la colaboración con otros órganos de las Administraciones públicas y con instituciones nacionales e internacionales en actividades de asistencia técnica, experimentación, investigación, desarrollo tecnológico e innovación y transferencia de tecnología.
- Dictar laudos arbitrales en casos litigiosos, cuando oficialmente sea requerido para ello.

Algunos de los equipos más destacados que tiene el CEPYC son los siguientes:

2.1.1 Tanques de oleaje 35 y 45 x 6,50 m

Descripción

Se dispone de 2 Tanques de ensayo de 6,50 m de anchura con longitudes de 35 y 45 m, y profundidades de 1,50 y 1,80 m respectivamente. Son instalaciones muy versátiles para ensayos de estructura marítima en modelos físicos de dos y tres dimensiones.

Se han utilizado en estudios de verificación del diseño de obras de abrigo, analizando el comportamiento de sus puntos singulares (morros, cambios de alineación...). Destacan los estudios realizados en estas instalaciones para los puertos de Bilbao (Ciérvana), Valencia, ampliación de Las Palmas, Castellón, ampliación de Sagunto, Alicante, Candás y Luanco, y el nuevo puerto deportivo de San Andrés en Málaga.



Se han utilizado también en ensayos sistemáticos del bloque "Accropode", en estudios de estabilidad de espigones y ensayos para el análisis de la mitigación del oleaje por efecto de las praderas de Posidonia, así como en diversos proyectos de los programas MAST II y MAST III de la U.E., además de otros ensayos de elementos singulares (depósito flexible de agua dulce en el mar, plataformas para energía eólica marina).

Características Técnicas

- Dimensiones: 45,95 y 36 x 6,50 m con profundidad variable (altura máxima 2,0 m en el tanque 1 y 1,30 en el tanque 2).
- Sistema de generación: paleta tipo pistón - flap con recorrido 0,80 + 0,40 m en tanque 1; pistón de recorrido 0,80 m en tanque 2.
- Sistema de control: unidades de control MTS y aplicación GEDAP, NRC (Canadá).
- Sistema de absorción activa de reflexiones
- Sistema de cámaras cenitales para seguimiento de los ensayos
- Equipos complementarios: pasarelas móviles para instrumentación. Pórtico de medida de fuerzas.

Aplicaciones

- Ensayos para el diseño y construcción de diques y muelles.
- Ensayos de estructuras marítimas singulares.
- Ensayos de obras de defensa de costas.
- Actividades de I+D+i





2.1.2 Laboratorio de Experimentación Marítima

Descripción

El Laboratorio de Experimentación Marítima alberga las grandes instalaciones de ensayo mediante modelos físicos a escala reducida del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, incluyendo instalaciones singulares de primer nivel como el Tanque de Oleaje Multidireccional y el Canal de Oleaje y Viento de Gran Escala.

Fue fundado por el profesor Ramón Iribarren en 1951 como Laboratorio de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, integrándose posteriormente (1957) en el CEDEX, como Centro de Estudios de Puertos y Costas.

El Laboratorio está albergado en una sala de 8,000 m. cuadrados sin pilares intermedios, lo que permite disponer de un espacio diáfano para la construcción de modelos físicos, contando además con talleres de apoyo (mecánica, carpintería, fabricación de piezas para construcción de modelos a escala) así como de electrónica e instrumentación.

Dispone de instalaciones fijas de ensayos (tanques y canales de oleaje) y un espacio libre disponible para construcción de modelos 3D desmontables. Dichas instalaciones cuentan con dos depósitos de agua de unos 1.000 metros cúbicos cada uno, así como redes de energía y datos. Asimismo, dispone de puentes grúa de 1.500 kg para transporte de materiales y equipos. Una red de pasarelas elevadas permite la observación cenital de los modelos y la captación de imágenes desde puntos elevados.

Características Técnicas

Dimensiones: 115 x 71 x 8 m

Instalaciones fijas:

- Tanque de oleaje multidireccional de 34 x 32 x 2 m. Calado máximo de 1,40 m

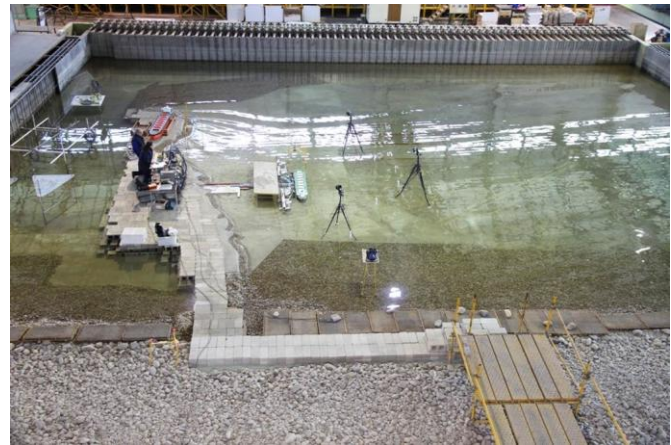
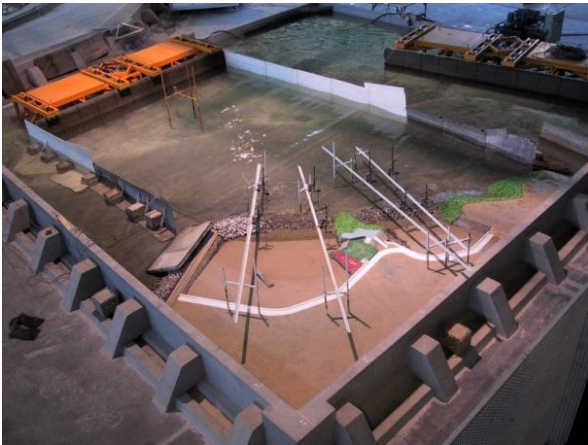


- Canal de oleaje y viento de gran escala, 90 x 3.60 x 6 m
- Tanques de oleaje de 45 x 6.50 x 2 m y 35 x 6.50 x 1.30
- Canal de 36 x 3 x 1.50 m
- Canal de oleaje de 51 x 1 x 1.50 m
- Canal de oleaje y corrientes de 20 x 1.20 x 0.80 m
- Tanque de flujos de densidad
- Tanque de oleaje y corrientes de 270 m. cuadrados
- Espacio central de 4,000 m cuadrados para ensayos 3D

Aplicaciones

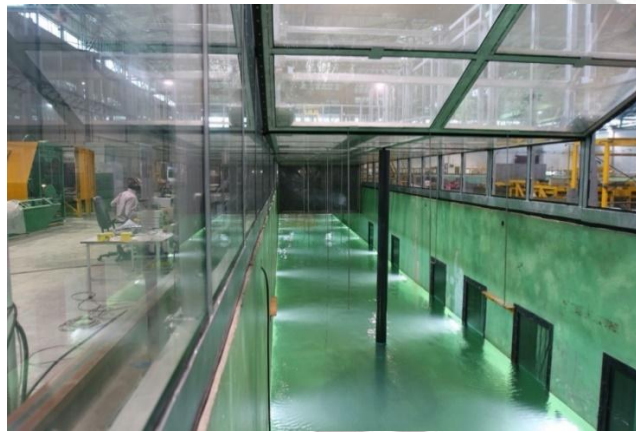
- Diseño portuario: modelos físicos 3D de agitación, ondas largas y comportamientos de buques atracados
- Estructuras marítimas: ensayos de estabilidad y funcionalidad de diques de abrigo y obras de atraque, terminales en mar abierto y estructuras offshore; instalaciones y equipos para generación de energías marinas (oleaje, mareas, viento y corrientes); fases constructivas y elementos singulares
- Navegación: experimentación de esclusas de navegación.
- Construcción: ensayos de fases constructivas en medio marino
- Ingeniería de Costas: modelos físicos de fondo móvil para el estudio de playas, obras de protección de costas y dinámica litoral
- Hidráulica ambiental: vertidos al mar de efluentes de plantas desaladoras y depuradoras, influencia de la vegetación sobre el oleaje, calidad del agua





2.1.3 Canal de Oleaje y Viento de Gran Escala

Descripción



Instalación de carácter singular para ensayos a gran escala (1:8 - 1:30) de estructuras marítimas sometidas a la acción del oleaje y del viento. La reproducción de los fenómenos de interacción oleaje-estructura a gran escala permite aumentar la fiabilidad de los resultados, lo que favorece el diseño de estructuras marítimas, en lo relativo a su seguridad estructural y funcionalidad.

Como trabajos destacados realizados en esta instalación cabe citar el dique del Este del Puerto de Barcelona, el dique del Puerto Exterior de Ferrol, el dique de Punta Langosteira en La Coruña, el dique de Isla Verde (Algeiras), así como varios trabajos de I+D+i sobre tipologías innovadoras de diques y muelles. EL Túnel de Viento de ha utilizado en la medida de esfuerzos sobre aerogeneradores marinos y en estudios experimentales para el análisis del efecto del rebase.

Dispone de una galería lateral acristalada para visualización de ensayos y de un fondo ajustable para reproducir las pendientes de los fondos marinos.

Características Técnicas

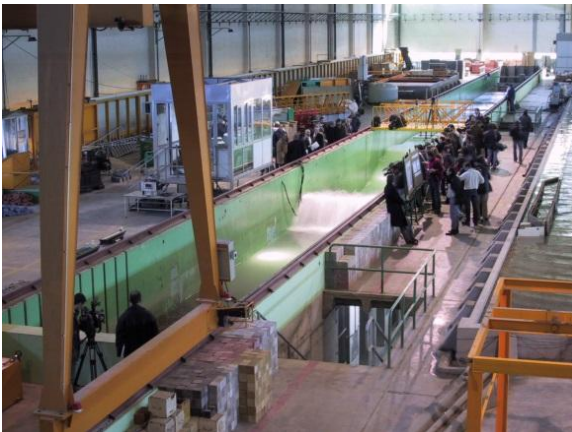
- Dimensiones: 90 m de longitud, 3,60 m de anchura y profundidad variable de 6 m en la zona generación oleaje a 4,50 m en la de ensayo.
- Fondo regulable en altura mediante placas independientes
- Sistema generación de oleaje:
- Pala rotacional oleo hidráulica con trasdós en seco
- Potencia 300 KW



- Generación de oleaje regular/irregular: altura máxima 1,60 m
- Sistema de generación de viento:
- Túnel: longitud 26 m; ancho 3,6 m; altura sobre canal variable 2,5 a 4,5 m; Ventilador: Ø 1,5 m; potencia 315 KW; velocidad variable
- Velocidad máxima viento: 20 m/s
- Absorción activa de reflexiones
- Puente grúa de 10 t. y depósito de 1.000 m³.

Aplicaciones

- Ensayos a gran escala para el diseño y construcción de diques y muelles.
- Ensayos de estructuras marítimas singulares.
- Ensayos de estructuras en las que, junto al oleaje, el viento sea determinante: estudios de rebases, aerogeneradores marinos, ...
- Ensayos de instalaciones y equipos de energías renovables marinas
- Flujo en medios porosos: bloques artificiales, escolleras, filtros,...
- Hidrodinámica y transporte de sedimentos en playas.
- Actuaciones de defensa de costas.
- Actividades de I+D+i .





2.1.4 Tanque de oleaje multidireccional

Descripción

El tanque de oleaje multidireccional del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX permite que la reproducción de los fenómenos relacionados con la propagación del oleaje y la interacción de éste con las estructuras marítimas resulten más representativos de la realidad. Con esta instalación y el sistema de generación de oleaje multidireccional es posible la generación de oleajes cruzados, de crestas cortas o con cualquier reparto direccional de energía, lo que lo distingue de la mayor parte de las instalaciones existentes, sólo capaces de generar oleaje de una dirección. El generador de oleaje está constituido por múltiples módulos y paletas cuyos movimientos independientes se controlan mediante un sistema de control en red. La combinación de los movimientos de las paletas produce la estructura deseada de oleaje generado.

Las grandes dimensiones del tanque permiten la realización de estudios experimentales en modelo físico de tres dimensiones, a escalas suficientemente grandes (1:20 – 1:40) para el análisis del comportamiento de estructuras marítimas y tramos de costa. La singularidad de la instalación hace que sea de gran utilidad para el desarrollo de investigación básica sobre el oleaje en zonas costeras y para el contraste de modelos numéricos.

En el año 2020 se ha procedido a su renovación, mejorándose sus capacidades

Características técnicas

- Dimensiones: 34 x 32 x 2,00 m (calado máximo 1,40 m).
- Profundidad de agua de trabajo: hasta 1,40 m
- Altura de ola máxima: 0,70 m para frente de oleaje plano regular.
- Períodos de oleaje: $0 < T < 10s$
- Paletas de traslación tipo pistón
- Anchura de paleta: 45 cm
- Número de paletas: 64
- Altura de paleta: 2 m
- Longitud de frente de generación: 28,8 m
- Recorrido máximo teórico: ± 70 cm (140 cm en total)
- Paletas agrupadas en 16 módulos (4 paletas cada uno)



- Peso por módulo: 1400 kg
- Materiales: estructura del generador y paletas en acero inoxidable
- Absorción activa de reflexiones 3D
- Atenuación lateral: paredes de chapa perforada
- Software de generación y sistema de generación totalmente compatible con el software disponible en el Laboratorio de Experimentación Marítima
- Generación de corrientes: caudal variable, hasta 200 Vs
- Estructuras offshore: foso de ensayos 3 x 3 x 1 m

Aplicaciones

- Diseño de obras marítimas: ensayos de estabilidad y funcionalidad frente a la acción de oleaje oblicuo y multidireccional.
- Estudios de costas: ensayos de fondo móvil para estudios de regeneración y evolución de playas.
- Diseño portuario en planta: ensayos de propagación y agitación en instalaciones portuarias con oleaje multidireccional.
- Estudio de amarres en mar abierto y estructuras offshore.
- Estudio de estructuras marítimas singulares: eólica marina, energía del oleaje.

