

# **Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo**

---

Proyecto de adecuación y mejora del puerto  
deportivo de La Goleta

Rubén Serrano



### ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. RÉGIMEN DE VIENTOS EN LAS COSTAS VALENCIANAS .....	4
3. HIDRODINÁMICA.....	7
4. SEDIMENTOS. APROVISIONAMIENTO Y PÉRDIDAS DEL SISTEMA .....	8
5. EVOLUCIÓN RECIENTE DE LA LÍNEA DE COSTA .....	10
6. CAPACIDAD DE TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL .....	15
7. EFECTOS PREVISIBLES TRAS LA AMPLIACIÓN.....	17
8. VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR .....	18
9. DETERMINACIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO.....	19
10. ATLAS DE CLIMA MARÍTIMO .....	21
11. ROSAS DE OLEAJE .....	23
12. REGÍMENES MEDIOS DIRECCIONALES.....	24
13. REGÍMENES MEDIOS ESCALARES .....	29
14. REGÍMENES EXTREMALES ESCALARES .....	30
15. REGÍMENES EXTREMALES DIRECCIONALES.....	32
16. OLA DE CÁLCULO .....	34

### 1. INTRODUCCIÓN

Con la información contenida en el presente anejo se intenta describir el transporte de sedimentos a lo largo de las costas próximas al Puerto de La Goleta, para así conocer con la máxima exactitud posible el sentido neto de este transporte, la influencia que tiene el actual puerto deportivo en la dinámica litoral de la zona y la que podría tener tras la actuación. Se estudia la evolución de la forma costera y línea de costa que se prevé que se dará en un futuro como consecuencias de las obras.

Conociendo todo lo anterior se tendrán los elementos necesarios para realizar un diseño de la ampliación que minimice los problemas de aterramiento de la bocana y de erosión en las playas colindantes al norte y al sur del puerto.

Buena parte de la información contenida en este anejo, así como los gráficos que se adjuntan se han obtenido de “La erosión antrópica en el litoral valenciano” de Joseph Eliseu Pardo Pascual y de “El modelado litoral” de Miguel Arenillas Parra.

Para poder determinar exactamente los procesos litorales es vital tener un buen conocimiento de la dinámica marina dominante en la zona. No se dispone de registros tomados sistemáticamente, ni de suficientes observaciones directas del mar que permitan una caracterización precisa y detallada del oleaje, que es el principal factor influyente en la dinámica litoral.

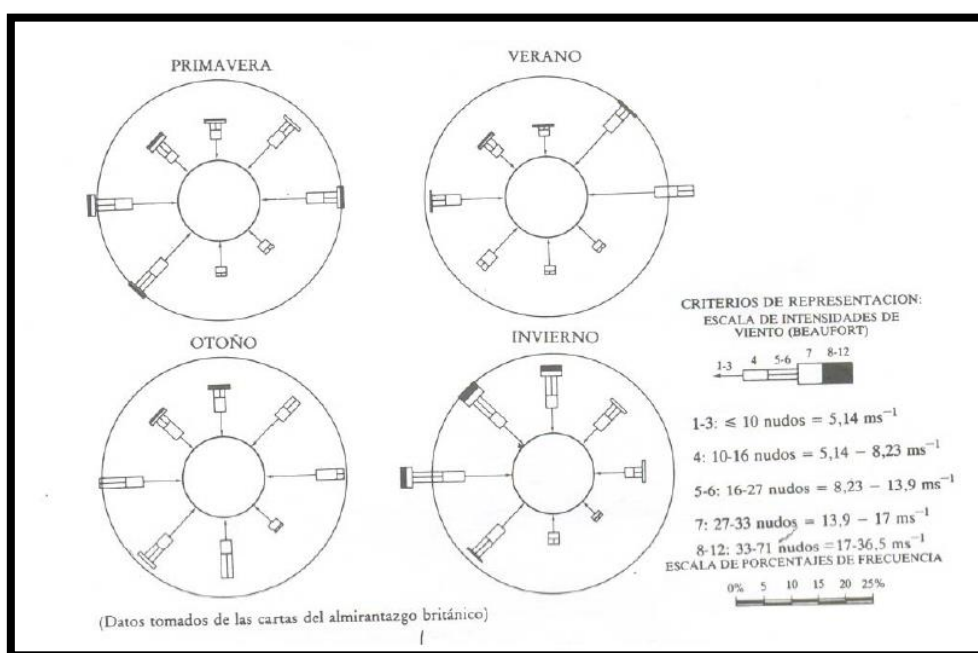
Se comenzará estudiando los vientos generadores del oleaje. Posteriormente se caracterizará el clima marítimo, y con estos datos se determinará la altura de ola de cálculo necesaria para realizar el diseño de la ampliación estudiada.

Para el estudio se obtendrá la información del Anejo 1 de la R.O.M.0.3-91 Oleaje, publicada por el Centro de Experimentación y Obras Públicas (CEDEX) a través del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC).

### 2. RÉGIMEN DE VIENTOS EN LAS COSTAS VALENCIANAS

Los vientos predominantes en las costas del Golfo Valenciano, son los procedentes de los cuadrantes orientales, el Gregal (NE), el Llevant (E), y en menor medida el Xaloc (SE) y desde el interior, los vientos del W. Lo anterior se deduce del análisis de los datos registrados en las estaciones meteorológicas de la zona litoral y las observaciones en alta mar llevadas a cabo por barcos en alta mar, situados en el Golfo de Lyon y el mar de Orán, publicados por el Almirantazgo Británico.

Durante los meses de diciembre a febrero predominan los vientos de W y en menor grado los del NW y SW. Los meses de marzo y noviembre son meses de transición y a partir de abril, ya prevalecen los de componente E, aunque siguen siendo importantes los ponientes. Existe pues, exceptuando la zona del Cabo de San Antonio, una clara alternancia levante-poniente, de carácter estacional. En invierno, la llegada de masas de aire alóctonas provoca vientos geostróficos de componente W, mientras que en verano, la instalación de la masa de aire mediterránea permite flujos del E, que normalmente se ven incrementados por la acción de las brisas.



Rosas de vientos del sur de la costa valenciana

Los fenómenos que influyen y determinan el régimen de vientos en las costas mediterráneas españolas son los siguientes:

- El frente polar, originado en las áreas anticiclónicas del círculo polar ártico.
- Los ciclones extra tropicales, que supone la presencia en el Atlántico Norte de bajas presiones centradas en los 60º de latitud y que se disuelven en la llanura centroeuropea tras haberse desplazado de oeste a este.

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

---

- El anticiclón de las Azores que significa la presencia de una franja de altas presiones sobre los 30º de latitud, en el Atlántico Norte.
- Fenómenos ciclónicos que en la temporada fría, cuando son suficientemente potentes llegan a situarse sobre centro Europa llegando a alcanzar las costas mediterráneas. Si el frente polar desciende lo suficiente, estos ciclones se transforman de Noratlánticos en Sur-atlánticos.
- El carácter notablemente continental de la Península Ibérica, lo que es causa de escasa nubosidad y fuerte influencia de las radiaciones.
- El carácter predominantemente desértico del Norte de África motiva, por la fuerte insolación, que se forme una estable y extensa área de bajas presiones de aire caliente que da vientos del SE sobre las costas mediterráneas.

De los fenómenos mencionados anteriormente los ciclones extra tropicales son, sin duda, los que ocasionan los vientos más intensos por el fuerte gradiente de presiones que los caracteriza. Sin embargo, su incidencia en la Península es primordial en las costas cantábricas y atlánticas. En las mediterráneas, de los ciclones noratlánticos, sólo los que consiguen establecerse en el centro de Europa dan lugar a intensos vientos del NE y originan temporales del NE en el mediterráneo español.

Los suratlánticos, cualquiera que sea su origen, dan vientos del SE si bien, en el caso de los extra tropicales, se inician con vientos de SW que rolan al S y finalmente al SE. En ciertas circunstancias pueden terminar en vientos del E cuando se funden con los ligures. Sus costas de influencia en estas circunstancias son, fundamentalmente, las del Suroeste y Este peninsular, pero también las mediterráneas del Sur (Alborán) y, en ocasiones, las de Cataluña y las islas Baleares.

Los levantes intensos son más frecuentes con los ciclones suratlánticos. En conjunto los levantes no son muy frecuentes (3% en invierno, 10% en verano y otoño y 14% en primavera, como promedio) pero sí suelen ser intensos y persistentes por lo que tienen influencia en el transporte sólido de todo el litoral valenciano. Los temporales más intensos de levante, desplazando aire marítimo húmedo, ocasionan fuertes precipitaciones lo que da lugar no sólo a inundaciones, sino a fuertes aportes de materiales sólidos sobre los deltas, en el momento de máxima actividad del oleaje.

Los garbís, vientos del SW, pueden ser tan intensos o más, pero soplando en la dirección general de la línea de costa, o desde el interior en ciertos tramos, su influencia en el transporte sólido es mucho menor, salvo efectos locales.

En estas latitudes se deben tener en cuenta los vientos ocasionados por el brusco gradiente térmico que se produce a consecuencia de los diferentes calores específicos de los medios tierra-mar. Durante el día, debido al más rápido calentamiento de la fase continental se producen brisas de marinada que pasan por un máximo de intensidad, hasta alcanzar un

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

---

mínimo nulo por la noche. En ausencia de vientos generales básicos, se pueden observar calmas absolutas dos veces al día por esta causa.

Las brisas del mar o marinadas alcanzan importantes velocidades (30 y 20 nudos respectivamente en verano e invierno), mientras que las de tierra o terrales son mucho menos intensas, en general (10 nudos). Durante los meses del verano el predominio de las brisas es claro. Al mismo tiempo durante estos meses, las calmas son menos frecuentes que durante el Invierno.

En los tramos Norte de cada uno de los grandes arcos de nuestro litoral mediterráneo las "marinadas" coinciden, aproximadamente, con la dirección del garbí (tercer cuadrante), mientras que en sus tramos Sur se centran en el Nordeste (primer cuadrante), en líneas generales.

En la zona sur del óvalo valenciano, donde se encuentra la Dársena de la Goleta, la distribución estadística de vientos muestra la existencia de dos grupos de direcciones principales: las NW y W, y las E y NE. Las del primer cuadrante, corresponden a vientos del largo que son los que generan oleaje productor de transporte litoral, paralelo y perpendicular a la costa.

### 3. HIDRODINÁMICA

En el presente apartado se analizará efecto del viento sobre las corrientes que originan el transporte de sedimentos, que se ha observado que depende de varios factores:

- Intensidad del viento.
- Topografía de la costa y submarina.
- Exposición de la costa a las direcciones del viento

Al romper las olas con un ángulo determinado respecto a la línea de costa generan ciertas corrientes, que se detallan a continuación:

- Corrientes longitudinales: se mueven en la zona de rompientes más o menos paralelas a la costa, y que son las responsables del transporte longitudinal de sedimentos. Se relacionan con la altura de ola y el ángulo que ésta forma respecto a la línea de costa, y afectan únicamente a la zona que va desde las rompientes hacia tierra.
- Corrientes perpendiculares a la costa: configuran el perfil de playa. Dentro de las corrientes perpendiculares a la costa se engloban los rip currents ( flujos concentrados de retorno hacia mar adentro procedentes de la orilla) y el resto de las corrientes normales a la costa (flujo de retorno difuso).

En el caso que se analiza en este trabajo, se puede afirmar que se trata de una costa abierta, muy expuesta al oleaje y a las corrientes inducidas por los vientos de componentes E y EN. La mayor incidencia del oleaje provocado por los vientos del primer cuadrante da lugar a una resultante media anual de oleaje casi perpendicular a la orientación general de la línea de costa, lo cual indica, a priori, una situación próxima a la de equilibrio.

Las corrientes perpendiculares dependen de la intensidad del oleaje y de la topografía local del fondo. Responden al retorno en profundidad de las masas de agua que son comprimidas contra la costa por acción del oleaje. Pueden ser muy variables de unas localizaciones a otras y en función de los vientos generadores del oleaje.



### **4. SEDIMENTOS. APROVISIONAMIENTO Y PÉRDIDAS DEL SISTEMA**

La principal fuente de sedimentos la constituyen los aportes terrígenos evacuados a través de las desembocaduras del Júcar y en menor medida los procedentes del Turia, que llegan hasta Oliva por las corrientes litorales longitudinales.

Este tipo de cursos fluviales, que desembocan en el Mediterráneo, presentan las siguientes características:

- Curso fluvial que atraviesa una amplia llanura litoral de escasa pendiente. Esto induce una estructura meandrizante
- Longitud importante
- Cuenca extensa
- Caudal importante en época de crecidas

Esta morfología del curso final hace que el caudal pierda en su tramo más interior gran parte de su capacidad de arrastre de sedimentos, por lo que se produce una deposición gradual de los mismos en función de su peso. Es por ello que los materiales evacuados a través de la desembocadura están constituidos únicamente por sedimentos de granulometría fina, a excepción de los esporádicos fenómenos de avenida. Éste es el principal fundamento de la naturaleza arenosa de este sector costero, en lo referente tanto a su parte emergida como sumergida.

La construcción de sucesivos embalses en la cuenca hidrográfica de los ríos, con la consiguiente retención de materiales, así como los aprovechamientos para riego y abastecimientos que han supuesto una disminución de caudales y una limitación de la capacidad de carga, que ha provocado una reducción brusca de los aportes de sedimentos al mar a través de sus desembocaduras.

Otras fuentes de aprovisionamiento son los torrentes por los que solo discurre agua cuando hay intensas precipitaciones, los acantilados que aportan material al ser erosionados (básicamente en el área Vinaroz-Benicarló) y también los fondos antelitorales. Por último hay que añadir las aportaciones hechas por el hombre, especialmente en las regeneraciones de playas.

Las obras de ingeniería costera y los espigones de protección de costas producen una ralentización de la corriente litoral reduciendo su capacidad de transporte, provocando la deposición sedimentaria en la vertiente septentrional de dichas estructuras y actuando como trampas sedimentarias.

Sin embargo, una vez traspasada dicha barrera, las corrientes vuelven a acelerarse recuperando su capacidad de carga y transporte de sedimentos, provocando una intensa regresión de las playas situadas al Sur de las instalaciones costeras, como ocurre en puertos como los de Gandía y Valencia.

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

---

Otra de las actuaciones antrópicas a destacar en este sector la constituyen los procesos de urbanización llevados a cabo en la costa, concretamente sobre los sistemas dunares preexistentes. De esta forma se ha eliminado una reserva de sedimentos que permite mantener la línea de costa cuando existe déficit de transportes sedimentarios.

Las salidas de sedimentos de los sistemas litorales del Golfo de Valencia son básicamente tres:

- Las pérdidas de arenas mar adentro: cuando alcanzan áreas demasiado profundas donde las olas no pueden afectarlas. Estas pérdidas están asociadas a cañones submarinos o a cambios bruscos en la configuración de la costa. Un punto destacado de salida de sedimentos es el Cabo de San Antonio, aunque a lo largo de todo el Ovalo valenciano se da en muchos más puntos, especialmente en aquellos lugares donde las acciones humanas han provocado desequilibrios en la dinámica litoral.
- Las salidas de sedimentos hacia tierra: normalmente por transporte eólico, aunque en algunas ocasiones pueden ser provocadas por el agua del mar durante los procesos de overwash (flujo de agua y sedimentos sobre la cresta de una playa que no devuelve directamente a la masa de agua).
- Las extracciones de materiales por parte del hombre: de forma directa (de la misma playa) o indirecta (cuando se retira material de las ramblas y ríos que alimentan el litoral).

### 5. EVOLUCIÓN RECIENTE DE LA LÍNEA DE COSTA

A continuación se pasa a analizar la evolución de la línea de costa (a lo largo de unos kilómetros al norte y sur del Puerto de La Goleta), pues es la zona contigua al lugar de la actuación, donde la evolución resulta más influyente en el resultado de las obras.

En el tramo que comprende los términos de Bellreguard, Miramar, Piles y Oliva, se han producido pocos cambios. Se observa que una vez superada la influencia del puerto de Gandía, la orilla se mantiene más o menos estable, con variaciones pequeñas y de signo contrario de unos años a otros, lo que sugiere que son debidas a los desplazamientos de las sinuosidades de playa y de las barras en forma de media luna.

Tras la construcción del puerto deportivo de Oliva, a inicios de los ochenta, sólo se observa una ligera erosión al norte del dique, lo que viene a significar que en este punto del sur del Óvalo Valenciano, la deriva litoral ya no tiene un sentido claro. Por tanto, la deriva con sentido norte-sur que se mantiene a lo largo de todo el Golfo de Valencia, deja de tener este sentido en la playa de Oliva. El límite donde deja de predominar el transporte norte-sur no puede ser marcado ya que depende del régimen de oleajes y variará de unos años a otros.

A partir de esta zona y hasta el Cabo de San Antonio, predomina el transporte transversal de sedimentos, sobre el longitudinal. Hasta que se alcanza la provincia de Alicante, la línea de costa se mantiene estable.

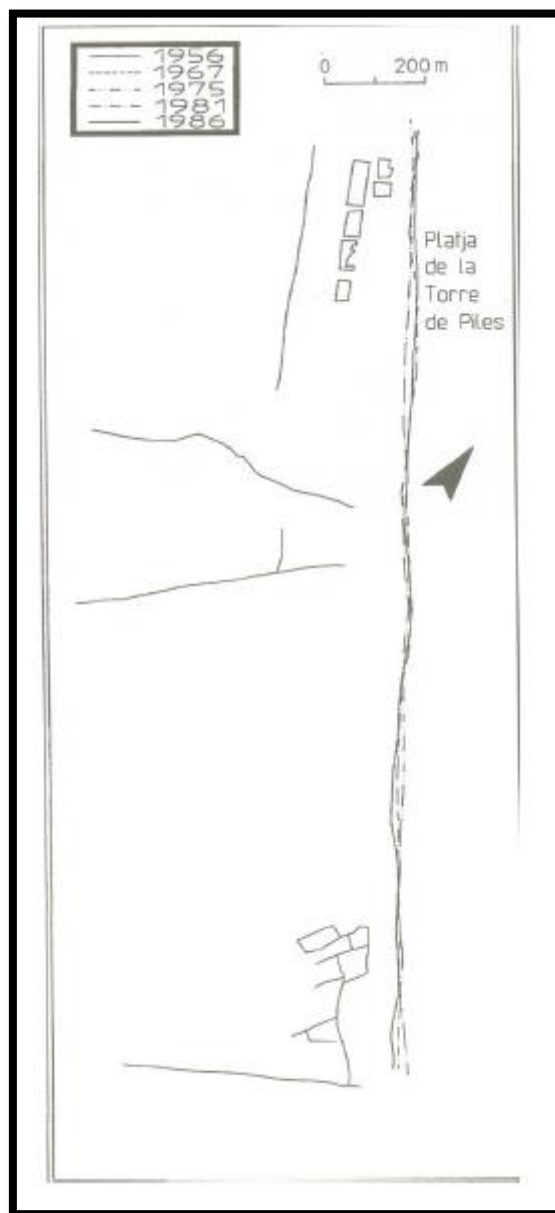
En la siguiente tabla se muestran ciertos datos interesantes para el estudio de la evolución de la costa que se analiza en este proyecto, elaborados por el MOPU (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España) en el año 1979:

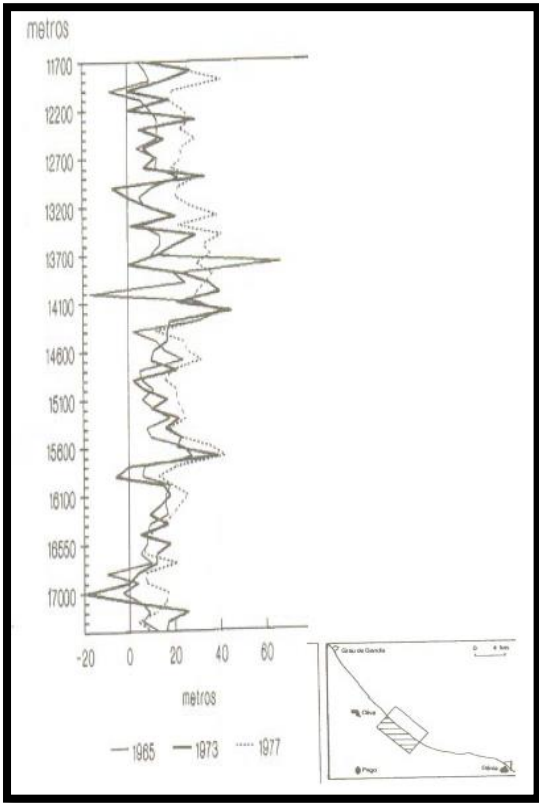
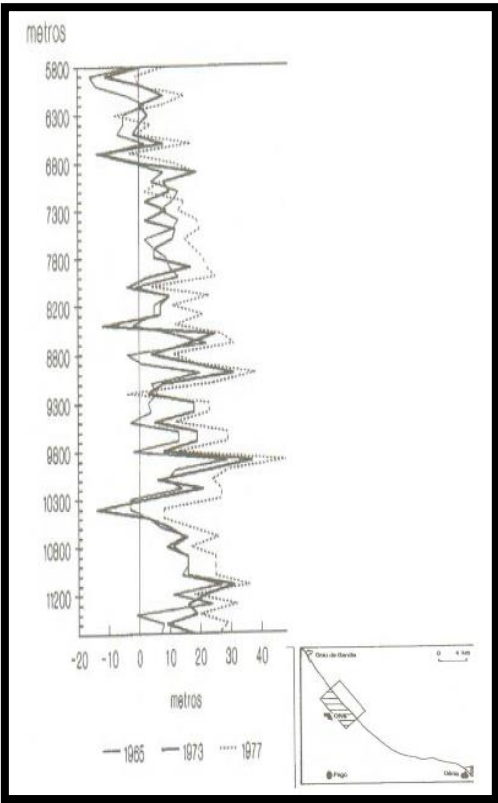
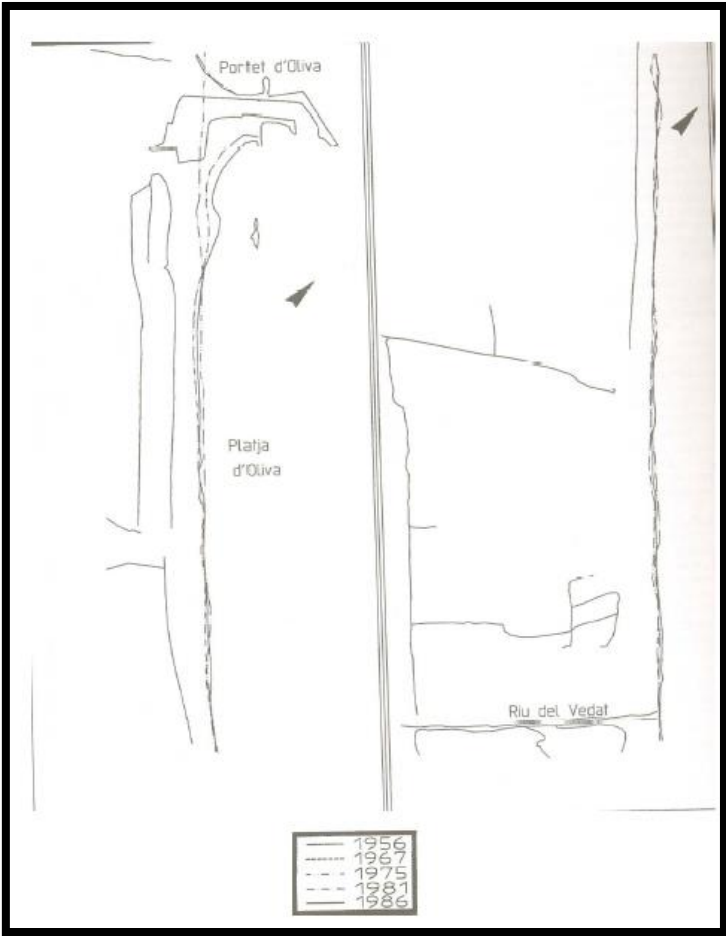
Período de Estudio	1956-1965	1965-1973	1973-1977	1956-1973	1956-1977
Evolución de la costa (m <sup>2</sup> )	102.700	22.700	128.475	125.400	231.175
Tasa de cambio (m <sup>2</sup> /m)	7'01	1'54	8'76	8'55	15'77
Tasa de cambio anual (m <sup>2</sup> /m por año)	0'77	0'19	2'19	0'50	0'75

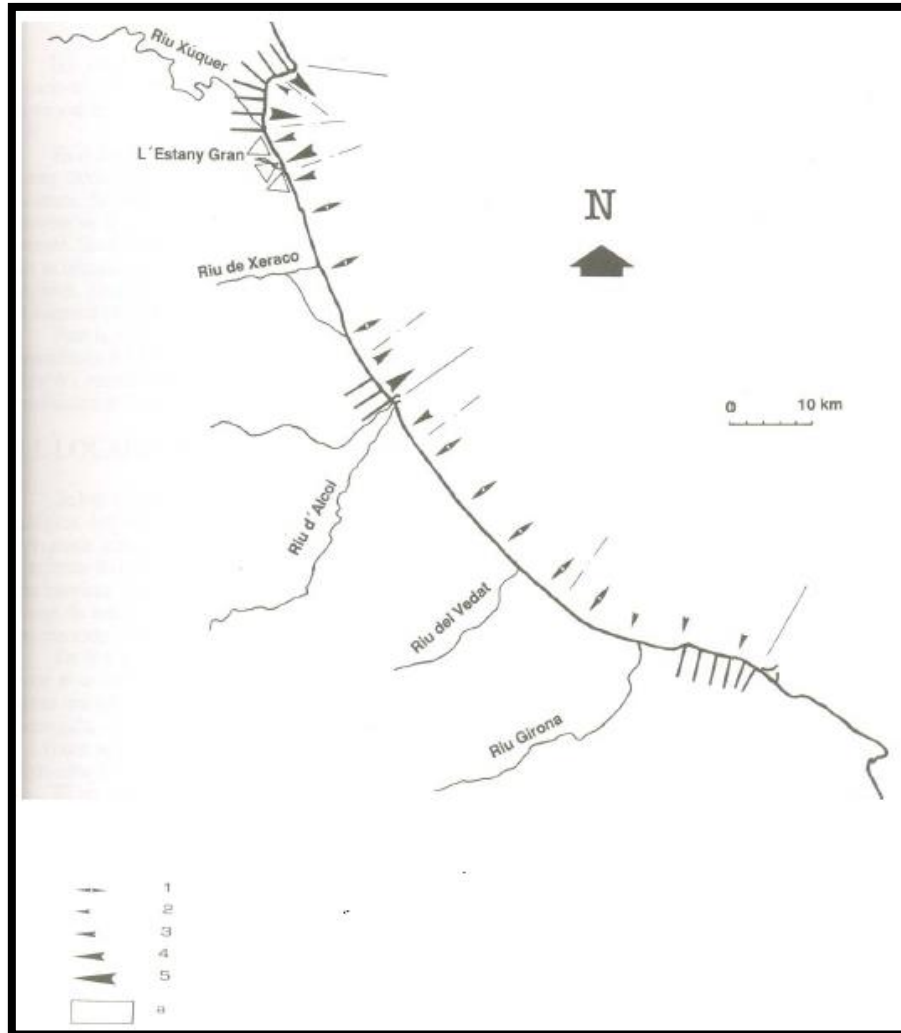
Tabla con datos de evolución de línea de costa (MOPU, 1979)

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

A continuación se adjuntan imágenes que ayudan a comprender la evolución de la línea de costa en el entorno de Oliva:





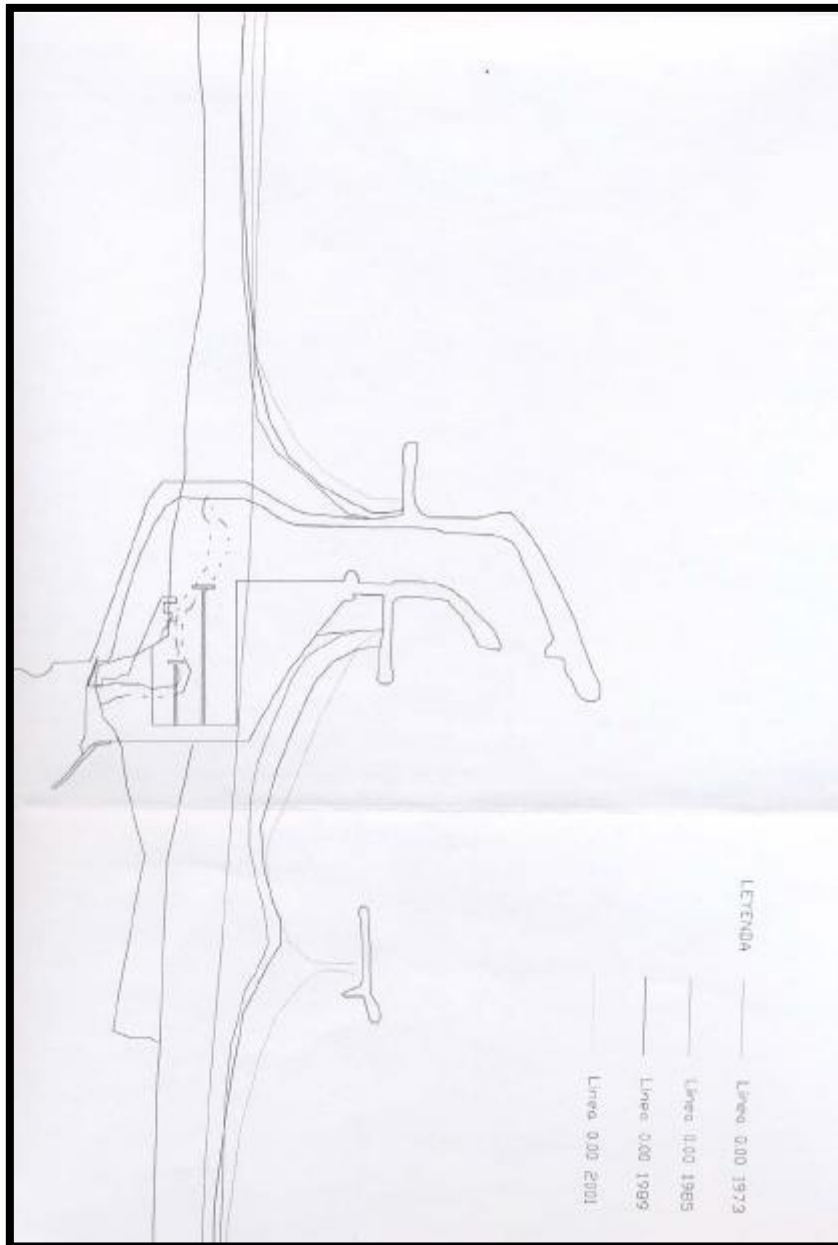


Leyenda Evolución de la costa: Avance o retroceso.

1. Estable.
2. Leve.
3. Ligero.
4. Importante.
5. Muy notable.

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

Analizando los datos anteriores se pueden sacar las siguientes conclusiones: se aprecia un ligero recrecimiento de la playa inmediatamente al sur del puerto, estando la del norte del mismo en equilibrio, como se muestra en la imagen siguiente:



### 6. CAPACIDAD DE TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

En la zona litoral, el transporte de sedimentos se produce bajo la influencia de olas y corrientes. Incluye el movimiento paralelo y el perpendicular a la costa, localizado entre el punto de Cornaglia y la playa seca (especialmente entre ésta y la zona de rompientes). Dentro de esta zona que comprende la de rompientes (surf) y la de subida y bajada de ola (swash), cuando el oleaje avanza paralelo a la batimetría de la costa, se produce un movimiento transversal que da lugar al perfil de la playa. Las corrientes longitudinales, producidas por la oblicuidad del oleaje con respecto a la costa, son las que dan lugar a la forma en planta de la playa.

En el Golfo de Valencia el transporte longitudinal neto es hacia el sur. Como evidencias morfológicas de esta afirmación están las acreciones de las playas apoyadas en la costa inmediatamente al norte de las distintas defensas costeras, y las erosiones al sur de las mismas. Sólo en litoral situado más al sur, en las costas de Oliva y Denia, existe una situación más próxima al equilibrio debido a la orientación que presentan sus costas.

El “Estudio de Dinámica Litoral”, realizado por el “Laboratorio de Puertos Ramón Iribarren” en 1979, mediante las restitutiones fotogramétricas de los años 1947, 1956, 1972 y 1977, y tras un estudio batimétrico, estima que el transporte sólido paralelo a la costa se sitúa alrededor de los 150.000 m<sup>3</sup>/año a la altura del puerto de Castellón, a 110.000 m<sup>3</sup>/año en Sagunto, a los 300.000 m<sup>3</sup>/año en el paralelo de Valencia, y a los 140.000 m<sup>3</sup>/año en Gandía. Se ha de tener presente que sólo el puerto de Valencia supone una barrera total de sedimentos, por lo que el resto de cantidades estarían claramente infravaloradas.

Para hacer una estimación del transporte de sedimentos paralelo a la costa se emplea la formulación analítica propuesta por el C.E.R.C. (CoastalEngineering Research Center), contrastada razonablemente en el “Centro de Estudios de Puertos y Costas Ramón Iribarren” en su “Estudio de la dinámica litoral de la costa peninsular Mediterránea y Onubense”. La fórmula que se propone es la siguiente:

$$Q = 2045 \cdot 10^3 \cdot P \cdot H_0^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin(2 \cdot \alpha_0) \cdot K_0 \cdot K_f$$

Donde:

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/año

F = Probabilidad de presentación de altura de ola.

H<sub>0</sub> = Altura de ola significativa en profundidades indefinidas en metros.

α<sub>0</sub> = Ángulo de incidencia del oleaje en profundidades indefinidas medido respecto de la normal a la línea de costa, en grados sexagesimales.

K<sub>0</sub> = Es un factor que representa las probabilidades de presentación de una determinada dirección de oleaje (probabilidad de su sector).

K<sub>f</sub> = Factor de forma, que representa la relación entre el sector real donde se genera el transporte en un sentido dado y el sector teórico de partida. Es un coeficiente de minoración, que vale 1 cuando el sector representado por su ángulo medio se corresponde con su octante (45°). En los demás casos se calcula como:



## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

---

$K_f$  = Amplitud real del sector ( $\theta$ )  $45^\circ$

Este tipo de formulación no aporta resultados demasiados clarificadores, ya que, como se ha explicado en apartados anteriores, la situación de la costa analizada es de cierto equilibrio.

### **7. EFECTOS PREVISIBLES TRAS LA AMPLIACIÓN.**

Hemos visto que la actual configuración de los diques de defensa de la Dársena de la Goleta, no ha supuesto una influencia significativa en los tramos de costa próximos. El dique principal alcanza una profundidad de 3,5 metros y la ampliación no va a llegar más allá de los 4-4,5 metros.

Por tanto, dadas las profundidades limitadas de las que estamos hablando, es previsible que las condiciones del transporte de sedimentos no se modifiquen sustancialmente respecto de las actuales.

En cuanto al aspecto del diseño, se va a respetar la misma estructura de las defensas, manteniendo el espolón del dique norte, y construyendo un espolón similar al existente actualmente en el nuevo dique sur.

### 8. VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR

Es sabido que el mar no se encuentra indefinidamente al mismo nivel, sino que sufre variaciones, que en las costas valencianas se deben, principalmente, a los siguientes fenómenos:

- Mareas astronómicas: fenómeno bien conocido de poca entidad en las costas valencianas. Según los estudios de Margalef y Herrera, las fluctuaciones máximas no sobrepasan los 50 cm y los valores habituales están comprendidos entre los 15 y los 20 cm. Se tomará su acción dentro del oleaje general, sin considerar diferencias entre bajar y pleamar.
- Mareas meteorológicas: originadas por la fricción de vientos persistentes o por la succión generada por unas bajas presiones, o por ambos fenómenos a la vez. Su duración es escasa, y su frecuencia bastante pequeña. Suelen aparecer durante los fenómenos de “gota fría”. Las distintas observaciones llevan a adoptar valores próximos al medio metro. En concreto, Suárez Bores estima un valor de 0,5 metros para periodos de retorno iguales a la vida útil de las defensas de costa y de 0,3 metros para periodos de retorno de 2 años. La ROM 0.2-90 recomienda adoptar 60 cm.
- Ondas de resaca: es un fenómeno ligado al oleaje, que se incluirá dentro del valor de la sobreelevación meteorológica
- Fenómenos accidentales: normalmente causados por deslizamientos submarinos o por ligeros movimientos sísmicos. La probabilidad de coincidencia con los fenómenos meteorológicos es casi nula y de menor importancia, no se añaden en los cálculos.

### 9. DETERMINACIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO

Con el objeto de determinar el clima marítimo de la zona del litoral de Oliva, donde se va a llevar a cabo la actuación, se consultará el siguiente documento: “R.O.M.03-91 Oleaje. Anejo I. Clima marítimo en el litoral español”, publicado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) a través del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC).

De la publicación anterior se obtendrán las características del oleaje en aguas profundas, además de los valores extremos que se utilizarán en los cálculos a desarrollar. La metodología utilizada se basa en el análisis estadístico de la información procedente de dos fuentes:

- Datos Visuales de Oleaje en aguas profundas: con información direccional, almacenados en la Base de Datos Visuales del CEPYC (Centro de Estudios de Puertos y Costas), creada a partir de la información procedente del National Climatic Data Center de Ashville.
- Datos Instrumentales Escalares de Oleaje: registrados por las boyas de medida pertenecientes a la REMRO (Red Española de Medida y Registro del Oleaje).


La definición del clima marítimo se lleva a cabo obteniendo las siguientes relaciones de caracterización del oleaje en cada una de las áreas definidas:

- Distribución conjunta de ola visual/dirección, en forma de rosas de oleaje. Agrupación independiente de oleajes tipo sea (mar de viento) y swell (mar de fondo), agrupando datos en sectores de 22,5º de amplitud.
- Frecuencias de presentación sectoriales
- Análisis estadístico unidimensional de la variable altura de ola significativa (a partir de datos instrumentales) o visual (a partir de datos visuales), para dos tipos de situaciones:
  - Regímenes medios
  - Regímenes extremos
- Análisis estadístico bidimensional altura de ola significativa/periodo medio y periodo medio/periodo pico, para condiciones de temporal.
- Análisis estadístico espectral orientado a la obtención de una estructura espectral escalar básica de oleaje, representativa del mismo en condiciones de temporal.

La distinta estructura que presentan los datos de partida hace que las fuentes instrumental y visual se complementen entre sí. El en anejo de la R.O.M.03-91 citado anteriormente se presenta el “Atlas de Clima Marítimo en el Litoral Español”, en el cual la costa valenciana se sitúa en el área VII.

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

TABLA 2.4.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA INFORMACIÓN INSTRUMENTAL ANALIZADA



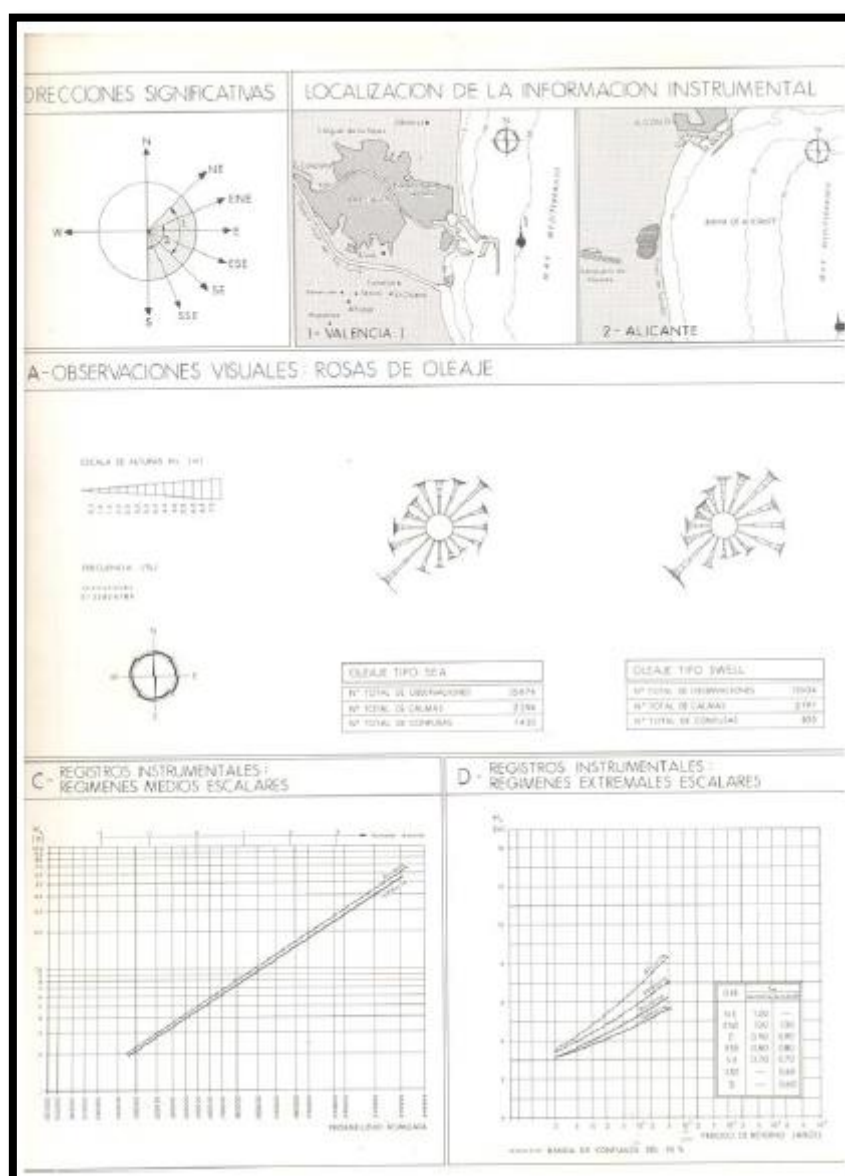
Área	Boya de medida	Coordenadas de situación	Profundidad de fondeo en BM/E (m)	Período de medida	$H_{1\%}$ (m)
I	Bilbao (Mento)	43° 22' 55" N 3° 4' 24" W	35	1976-1984	2,0
	Bilbao (Ext.)	43° 24' N 3° 8' 36" W	50	1985-1990	
	Gijón	43° 34' N 5° 39' W	23	1981-1990	
II	Coruña	43° 24' 45" N 8° 23' W	50	1988-1990	3,0
III	Cabo Sillero	42° 1' 46" N 6° 56' 30" W	75	1986-1990	3,0
IV	Sevilla	36° 44' 15" N 6° 23' 8" W	12	1983-1988	1,5
	Cádiz	36° 30' 30" N 6° 20' 10" W	22	1982-1990	
V	Ceuta	35° 54' 10" N 5° 19' 30" W	21	1984-1986	1,2
	Málaga	36° 41' 30" N 4° 25' W	25	1984-1986	
VI	Cabo de Peñas	37° 39' 15" N 0° 38' 18" W	87	1985-1990	1,5
VII	Alicante	38° 15' N 0° 25' W	50	1982-1990	1,0
	Valencia I	39° 27' 05" N 0° 17' 43" W	21	1982-1990	
VIII	Rosario	42° 11' 43" N 3° 11' 15" E	30	1980-1987	2,0
	Palermos	41° 40' 24" N 3° 10' 42" E	30	1988-1990	
IX	Palma de Mallorca	39° 24' 20,5" N 2° 39' 34,2" E	55/45	1983/ 1985-1987	1,5
X	Tenante	28° 27' 18" N 16° 14' 54" W	65	1981-1990	1,5
	Las Palmas I	28° 08' 30" N 15° 27' 30" W	42	1981-1990	

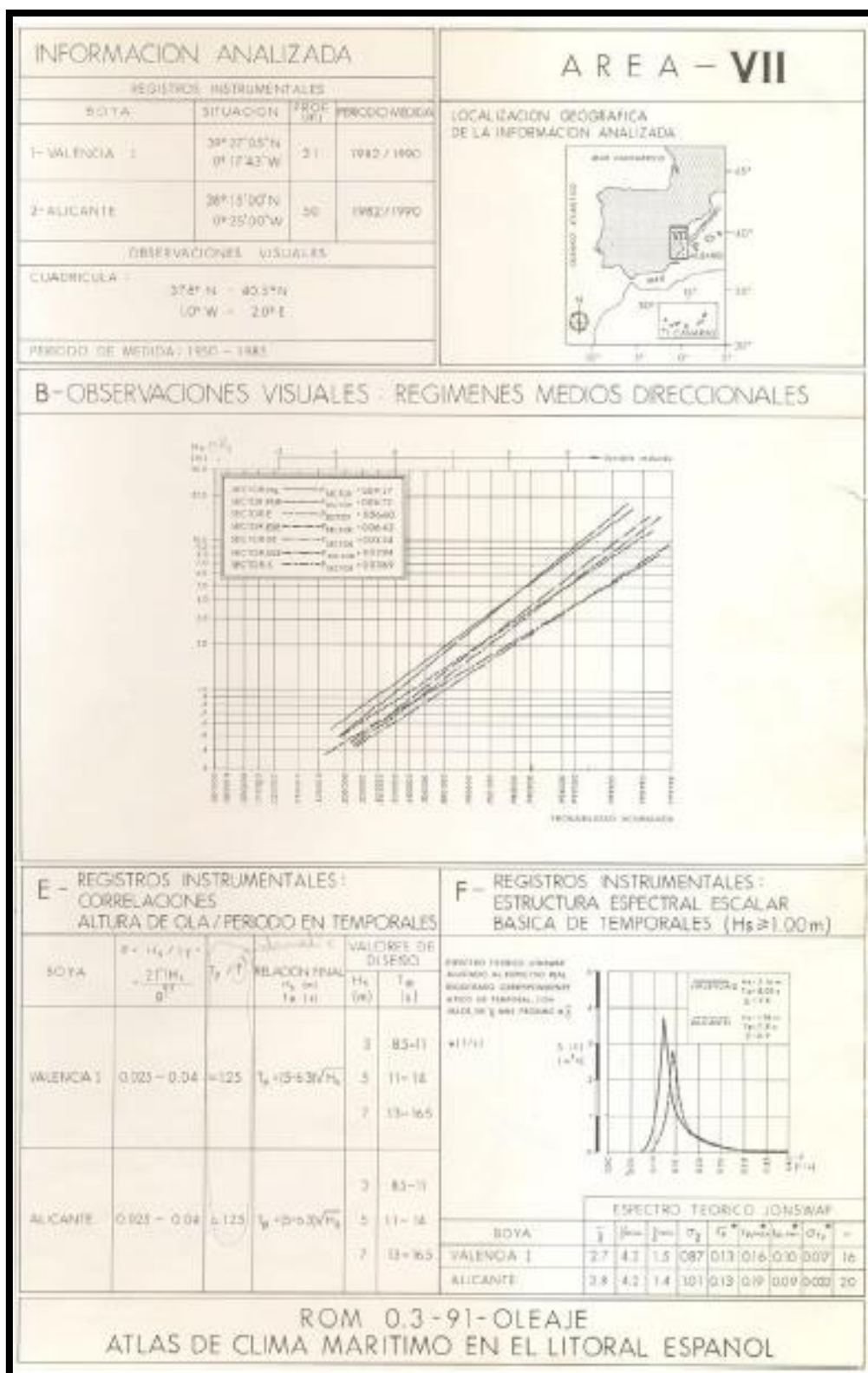
LEYENDA:  
 $H_{1\%}$  = Altura de ola significante anual establecida para la consideración de condiciones de temporal.

Localización y características de la información instrumental analizada

### 10. ATLAS DE CLIMA MARÍTIMO

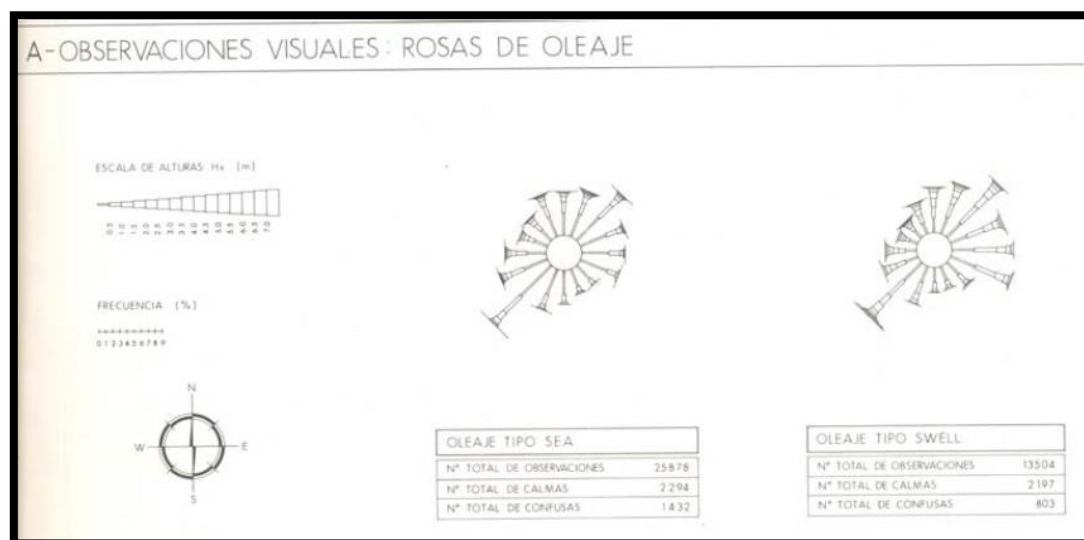
El clima marítimo en el litoral español viene definido por las relaciones de caracterización del oleaje obtenidas en base al análisis estadístico de la información disponible, que se presentan gráficamente a continuación con el formato correspondiente al atlas de clima marítimo:





### 11. ROSAS DE OLAJE

El siguiente cuadro ("A-Observaciones visuales: Rosas de oleaje") ofrece la distribución conjunta Altura de Ola Visual / Dirección, en forma de Rosas de Oleaje. La agrupación se efectúa de forma independiente para los oleajes Sea y Swell, agrupando los datos en sectores de 22.5°.



Cuadro A-Observaciones visuales: Rosas de Oleaje

La representación de las rosas de oleaje permite caracterizar, de una forma aproximada, la dirección de los oleajes más frecuentes (brazo de mayor longitud) y la de los más intensos (brazos de mayor anchura).

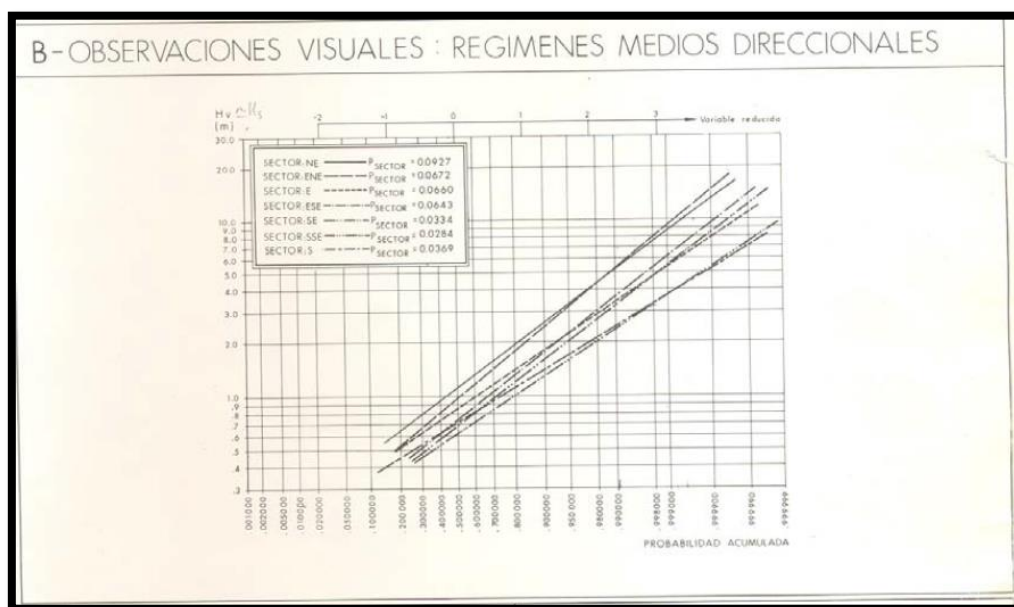
El oleaje tipo Sea (mar de viento) es el oleaje que se forma y desarrolla en una superficie líquida bajo la acción directa y continua del viento, generándose ondas elementales de altura, periodo, fase y dirección de propagación aleatorias e independientes, cuya interferencia da lugar a un aspecto caótico de la superficie líquida. Presenta generalmente ondas muy peraltadas con periodos y longitudes de onda pequeños, aunque en una amplia gama de frecuencias.

El oleaje tipo swell (mar de fondo) es el que abandona el área de generación y se propaga a través de superficies marítimas sin estar sometido a la acción significativa del viento, y por tanto atenuándose progresivamente hasta su extinción. Presenta olas menos peraltadas, con periodos y longitudes de onda grandes en una gama estrecha de frecuencias.



### 12. RÉGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

En el cuadro que se adjunta a continuación (“B-Observaciones visuales: Regímenes medios direccionales”) se pueden ver los regímenes medios anuales “sea + swell” de altura de ola visual, relacionando los valores de esta variable, con la probabilidad de que dichos valores no se vean superados en el año climático medio, para el oleaje proveniente del sector considerado.



Cuadro B-Observaciones visuales: Regímenes medios direccionales

Las probabilidades que proporcionan los regímenes medios direccionales son probabilidades condicionadas a la probabilidad de presentación de la dirección analizada, o lo que para obtener la probabilidad absoluta de excedencia de un nivel de altura de ola cualquiera para una dirección determinada, hay que multiplicar la complementaria de la probabilidad obtenida directamente del régimen por la presentación del sector correspondiente, es decir, para el caso del régimen medio correspondiente al “i”:

$$P_i(H_{v0}) = 1 - (1 - P'_i(H_{v0})) \cdot f_i$$

Donde:

$P_i(H_{v0})$ : la probabilidad absoluta de no excedencia del nivel  $H_{v0}$  correspondiente al sector i.

$P'_i(H_{v0})$ : la probabilidad condicional de no excedencia del nivel

$H_{v0}$ : obtenida del régimen medio direccional correspondiente al sector i.

$f_i$ : la frecuencia de presentación del sector i

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

---

Se representan gráficamente en papel la altura de ola visual (Hv) en metros frente a la probabilidad de no excedencia condicional. También se muestran las frecuencias de presentación sectoriales correspondientes, necesarias para la obtención de las probabilidades absolutas.

Previamente hay que determinar el período de retorno para el oleaje de cálculo. Se utilizan las indicaciones dadas en la “ROM 0.2-90. Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias”. La expresión que nos da su valor es la siguiente:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L$$

Donde:

E: probabilidad de presentación de un valor extremal de altura de ola durante el período de vida útil de la obra.

L: la vida útil de la obra.

T: el periodo de retorno.

Entrando ahora en la TABLA 2.2.1.1. “Vidas útiles mínimas para obras o instalaciones de carácter definitivo” de la ROM 0.2-90, se clasifica el Puerto Deportivo La Goleta de Oliva como: “Infraestructura de carácter general de nivel 1”

Esto supone que se considerará un valor de vida útil mínima L = 25 años, como se puede sacar de la tabla siguiente:

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
TIPO DE OBRA O INSTALACION	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

**LEYENDA:**

**INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL:**  
Obras de carácter general; no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de un yacimiento concreto.

**DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO:**  
Obras al servicio de una instalación industrial concreta o ligadas a la explotación de recursos o yacimientos de naturaleza transitoria (por ejemplo, puerto de servicio de una industria, cargadero de mineral afecto a un yacimiento concreto, plataforma de extracción de petróleo,...).

**NIVEL 1:**  
Obras e instalaciones de interés local o auxiliares.  
Pequeño riesgo de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.  
(Obras de defensa y regeneración de costas, obras en puertos menores o deportivos, emisarios locales, pavimentos, instalaciones para manejo y manipulación de mercancías, edificaciones,...).

**NIVEL 2:**  
Obras e instalaciones de interés general.  
Riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.  
(Obras en grandes puertos, emisarios de grandes ciudades, ...).

**NIVEL 3:**  
Obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional.  
Riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.  
(Defensa de núcleos urbanos o bienes industriales, ...).

Vidas útiles mínimas para obras o instalaciones de carácter definitivo

El valor de E se obtiene en la Tabla 3.2.3.1.2.

Considerando que se trata de una obra que en caso de daños tiene una reducida posibilidad de pérdidas humanas, y una repercusión económica en caso de inutilización, media ( $5 \leq r \leq 20$ , siendo r el coste de pérdidas) se calcula un valor  $E=0'3$ .

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

**TABLA 3.2.3.1.2. RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE CARGAS VARIABLES PARA FASE DE SERVICIO Y CONDICIONES EXTREMAS**

**a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS**

		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA.	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15

Índice:  $r = \frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$

**b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL**

		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA.	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

Índice:  $r = \frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$

Se adoptará como riesgo máximo admisible el de iniciación de averías o el de destrucción total según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente.  
 Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adoptará el riesgo de destrucción total.  
 Para obras flexibles, semirígidas o de rotura en general reproducible se adoptará el riesgo de iniciación de averías. En este tipo de obras podrá adoptarse también el riesgo de destrucción total, definiendo para cada tipo estructural el nivel de daños aceptado como de destrucción total. La acción resultante se considerará como accidental.

**LEYENDA:**

- POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS
  - Reducida: Cuando no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños.
  - Esperable: Cuando es previsible que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños.
- REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA
  - BAJA:  $r \leq 5$
  - MEDIA:  $5 < r \leq 20$
  - ALTA:  $r > 20$

Índice:  $r = \frac{\text{Coste de pérdidas directas e indirectas}}{\text{Inversión}}$

Riesgos máximos admisibles para determinar valores característicos de cargas variables en fase de servicio y condiciones extremas

Despejando el valor de T en la expresión se obtiene un periodo de retorno mínimo de 70,59 años. Se adoptará, del lado de la seguridad, un periodo de retorno de 100 años. Para calcular las alturas de ola correspondientes a cada uno de los sectores se utiliza la tabla B del atlas de clima marítimo, con:

$$P=1-1/T=0,99$$

Cada sector tiene asignada una probabilidad. El término  $H_v$  se obtiene en el corte de la abscisa 0,99 con las líneas de los distintos sectores. Sólo se consideran los correspondientes a la boya de Valencia (NE, ENE, E, SE).

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

---

Estableciendo la igualdad entre  $H_v$  y  $H_s$ , recomendada por la ROM, se obtienen los resultados siguientes:

Sector	$H_v$ (m)	$f_i$	$P_i(H_{vo})$	$H_s$ (m)
NE	5'2	0'0927	0'999073	5'2
ENE	5'2	0'0672	0'999328	5'2
E	3'4	0'0660	0'999340	3'4
ESE	3'8	0'0643	0'999357	3'8
SE	3'2	0'0334	0'999666	3'2

La probabilidad total de no excedencia de cada valor de la variable se obtendrá a partir del sumatorio de probabilidades absolutas de excedencia correspondientes a todos los sectores incidentes:

$$P(H_{vo}) = \left[ \sum_{i=1}^N [1 - P_i(H_{vo})] \cdot f_i \right] = 0'996764$$

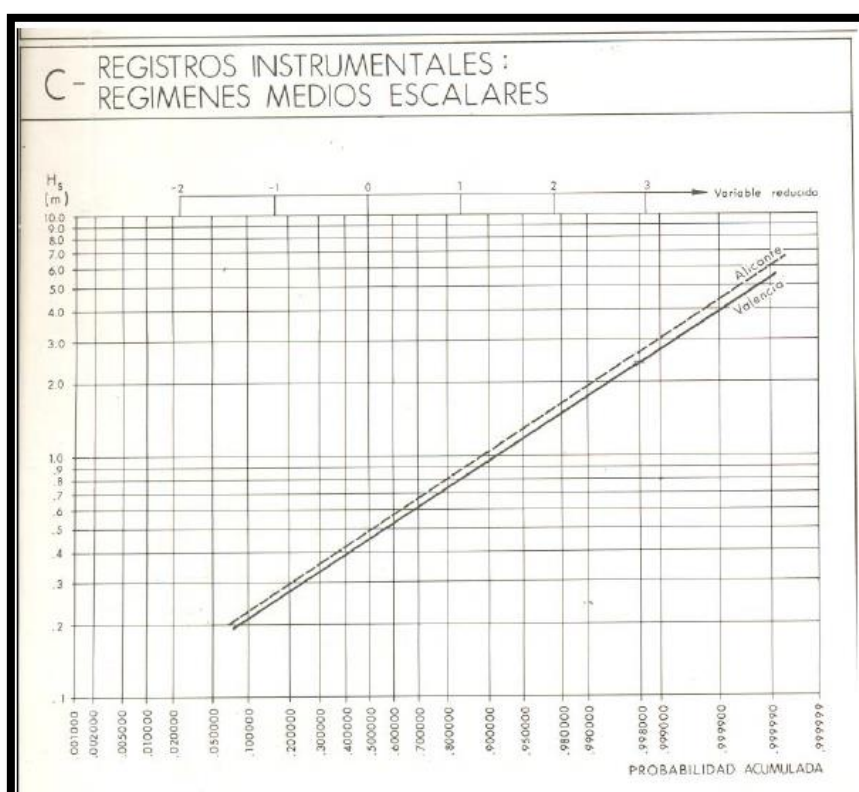
Donde:

$N = 5$  (número de sectores incidentes)

### 13. RÉGIMENES MEDIOS ESCALARES

El régimen medio escalar incluido en la R.O.M.0.3-91 Oleaje, es el régimen medio anual de la altura de ola significativa  $H_s$ . Dicho régimen medio relaciona los diversos valores de la variable altura de ola significativa con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio.

El cuadro C, “Registros instrumentales: Regímenes medios escalares” representa gráficamente en papel probabilístico log-normal, las ordenadas que se corresponden con los valores alcanzados por la variable altura de ola significativa y las abscisas que representan la probabilidad de no excedencia:



Cuadro C-Registros instrumentales: Regímenes medios escalares

Se ha obtenido una probabilidad total de no excedencia de 0,996764. Para calcular la altura de ola significativa entramos en la abscisa con ese valor. Obtenemos en la gráfica un valor de  $H_s = 2,3$  m.

### 14. REGÍMENES EXTREMALES ESCALARES

El régimen extremal escalar incluido en la R.O.M.0.3-91 Oleaje, es el régimen extremal anual de la altura de ola significativa  $H_s$ . Dicho régimen relaciona los valores máximos previsibles de la variable altura de ola significativa con la probabilidad, expresada en términos de periodo de retorno, de que dichos valores no sean superados. El periodo de retorno es el tiempo medio entre dos incidencias consecutivas de la ola de valor  $H_s$ .

El método que se utiliza para el modelado de los valores extremos es la conocida como POT (Peak Over Threshold). La función de distribución utilizada es una Weibull que se puede expresar con la siguiente formulación:

$$F_e(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma}$$

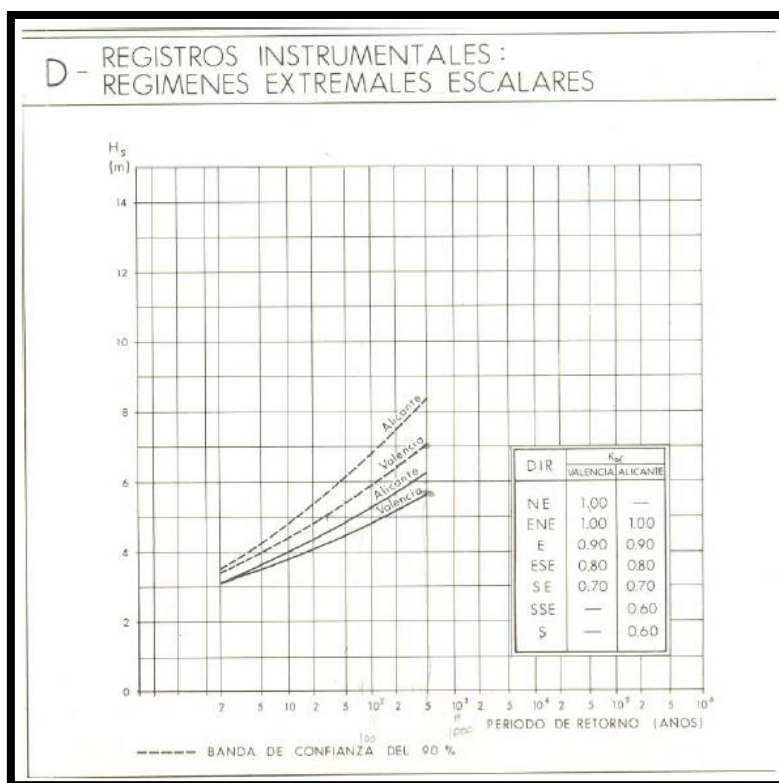
Donde:

$\alpha$  : parámetro de centrado.

$\beta$  : parámetro de escala.

$\gamma$  : parámetro de forma.

El régimen extremal obtenido se representa en papel probabilístico tipo Gumbel. El cuadro D “Registros instrumentales: Regímenes extremos escalares” nos proporciona la representación del régimen extremal escalar, de forma gráfica, mediante los valores centrales y por la banda correspondiente a un intervalo del nivel de confianza del 90%. Se representan en ordenadas, la altura de ola significativa, en metros, y en abscisas el período de retorno en años.



Cuadro D-Registros instrumentales: Regímenes extremos escalares

Entrando en el cuadro D con un periodo de retorno de 100 años, el valor de la altura de ola significativa, asociado a un nivel de confianza del 90%, es  $H_s = 5,9$  metros.

El análisis del régimen extremal escalar nos conduce a la determinación de la altura de ola de cálculo, que es la variable principal en la fórmula de Hudson. Esta fórmula se utiliza generalmente en el dimensionamiento de los diques de abrigo, y por tanto, será la metodología aplicada en este caso.

Fórmula de Hudson:

$$W = \frac{1}{K_D \cdot \cot \alpha} \cdot \frac{H^3 \cdot f_s}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)^3}$$

La altura de cálculo entra en dicha fórmula elevada al cubo.



### 15. RÉGIMENES EXTREMALES DIRECCIONALES

En aguas profundas, los regímenes extremos direccionales se definen a partir del régimen extremo escalar. Esto se lleva a cabo partiendo de la altura de ola correspondiente a un periodo de retorno transferida a aguas profundas y a través de un coeficiente de direccionalidad  $K_\alpha$ , recogido en la tabla incluida en el cuadro D (adjunto más arriba), donde está representado el régimen extremo escalar.

Para el caso de Valencia los coeficientes de direccionalidad correspondientes a cada sector son los siguientes:

Sector	NE	ENE	E	ESE	SE
$K_\alpha$	1	1	0'9	0'8	0'7

La altura de ola significativa, asociada a un periodo de retorno, en aguas profundas y en una dirección dada, se obtiene a partir de los resultados instrumentales disponibles, mediante el coeficiente de direccionalidad,  $K_\alpha$  y el coeficiente de refracción-shoaling,  $K_R$ , que tiene en cuenta el proceso de propagación del oleaje desde aguas profundas hasta el punto de medida.

$$H_{SO} = H_{SO} \cdot \frac{K_\alpha}{K_R}$$

Donde:

$H_{SO}$ : altura de ola significativa en aguas profundas, asociada a un período de retorno dado y para una dirección determinada.

$H_{SR}$ : altura de ola significativa, asociada a un período de retorno, obtenida del régimen extremo escalar instrumental.

$K_\alpha$ : coeficiente de reparto direccional para la dirección considerada.

$K_R$  coeficiente de refracción-shoaling en el punto de medida, para la dirección considerada y el período asociado a dicha altura de ola.

El coeficiente  $K_R$  es dependiente del período pico del oleaje en temporales. Según la tabla E de la ROM, la correlación existente entre la altura de ola y el período en temporales se puede estimar entre los valores:

$$T_p = 5 \cdot \sqrt{H_S} = 12'14$$

$$T_p = 6'3 \cdot \sqrt{H_S} = 15'13$$

## Anejo 5. Dinámica litoral y clima marítimo

---

Se tomará como valor de  $T_s = 0,95 \cdot T_p = 13$  segundos.

Para la obtención de los valores de  $K_R$ , se recurrirá a la tabla 2.7.1 de la ROM 0.3-91, donde para un periodo de 13 segundos, en la boya Valencia I del área VII se tiene:

Sector	NE	ENE	E	ESE	SE
$K_\alpha$	0'83	0'75	0'95	0'95	0'89

Finalmente se obtiene la altura de ola significativa en aguas profundas despejando en la expresión:

$$H_{SO} = H_{SO} \cdot \frac{K_\alpha}{K_R}$$

Sector	NE	ENE	E	ESE	SE
$H_{SO}$	7'10	7'86	5'59	4'97	4'64

### 16. OLA DE CÁLCULO

La ola de cálculo que necesitamos para el diseño de la ampliación del dique es la altura de ola significativa al pie de la obra de abrigo. Para su determinación debemos ver la situación en la que se encuentra.

Si el dique se halla ubicado en “aguas reducidas”, la rotura del oleaje es por el fondo, antes de llegar al dique, y el diseño se hace para una altura de ola de cálculo independiente del máximo temporal que se produzca. Si por el contrario el dique se halla en “aguas profundas”, las olas rompen al chocar contra el dique, y la ola de diseño es  $H_{sd}$  determinada mediante el estudio del clima marítimo.

En el tramo de dique norte que se va a ampliar, la profundidad a pie de dique, va a variar entre los 3 m. del fin de la defensa actual y los 4- 4,5 m. del morro de la ampliación. Para determinar en cual de las dos situaciones nos encontramos verificamos la profundidad a la que se produce la rotura por fondo. En esta situación y con el clima marítimo descrito, las profundidades reducidas se dan para:

$$d < \frac{H_s}{0,8} = \frac{5,9}{0,8} = 7,37 \text{ m}$$

Es la situación en que nos encontramos: la rotura del oleaje es por el fondo, antes de llegar al dique, y el diseño se hace para una altura de ola de cálculo independiente del máximo temporal que se produzca. Este diseño queda del lado de la seguridad pues con el tiempo, el pie de dique se colmata, luego la profundidad disminuye, entonces la rotura del oleaje se produce por fondo, más lejos del dique.

Para la obtención de la ola de cálculo deberemos tener en cuenta la sobre elevación que supone la marea meteorológica, para la que hemos admitido un valor de 0,6 m. En el caso más desfavorable, la profundidad a pie de dique será de 4,5 m. Considerando todo lo anterior, la ola de diseño del dique será:

$$H_s = (4,5 + 0,6) * 0,8 = 4,08 \text{ m}$$

$H_s$  será la variable principal que introduciremos en la fórmula de Hudson para el dimensionamiento de la ampliación del dique norte.

