

	Índice
2.1. PLANTEAMIENTO GENERAL	31
2.2. ZONIFICACIÓN DEL LITORAL ESPAÑOL	31
2.3. METODOLOGÍA DE DETERMINACIÓN	32
2.4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA INFORMACIÓN ANALIZADA.....	33
2.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS RESULTADOS	35
2.5.1. DISTRIBUCIÓN CONJUNTA ALTURA DE OLA VISUAL/DIRECCIÓN ..	35
2.5.2. REGÍMENES MEDIOS DIRECCIONALES. FRECUENCIAS DE PRE- SENTACIÓN SECTORIALES	35
2.5.3. REGÍMENES MEDIOS ESCALARES	38
2.5.4. REGÍMENES EXTREMALES ESCALARES	39
2.5.5. REGÍMENES EXTREMALES DIRECCIONALES. RELACIÓN ALTU- RA-DIRECCIÓN	42
2.5.6. CORRELACIÓN ALTURA DE OLA/PERIODO PARA CONDICIO NES DE TEMPORAL	43
2.5.7. ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BÁSICA PARA CONDICIO NES DE TEMPORAL	46
2.6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	48
2.6.1. ATLAS DE CLIMA MARÍTIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL	48
2.6.2. LEYENDA	49
2.7. PROPAGACIONES DEL OLEAJE	71
2.8. DETERMINACIÓN DEL OLEAJE DE PROYECTO EN AGUAS PROFUNDAS A PARTIR DE LA ESTIMA DEL CLIMA MARÍTIMO INCLUIDA EN ESTAS RECOMENDACIONES	74

2.5.6.1. Tabla de encuentro HS-T en condiciones de temporal. Limitación superior e inferior del peralte. Boya de Tenerife. 1981-1989.....	45
2.5.7.1. Espectro real registrado ajustado a un espectro JONSWAP. Boya de Cabo Silleiro.....	46
2.8.1. Metodología para la determinación de oleajes de proyecto a partir del Atlas de Clima Marítimo.....	76

2.2.1.	Zonificación del litoral español a efectos de caracterización del Clima Marítimo	32
2.4.1.	Localización y características de la información instrumental analizada	34
2.5.2.1.	Direcciones de interés para la determinación de regímenes direccionales	37
2.5.4.1.	Características de las muestras extremas analizadas (Método POT-Goda, 1988)	40
2.6.1.1.	Atlas de Clima Marítimo:	
	Area I	51
	Area II	53
	Area III	55
	Area IV	57
	Area V	59
	Area VI	61
	Area VII	63
	Area VIII	65
	Area IX	67
	Area X	69
2.6.2.1.	Notaciones, abreviaturas y símbolos convencionales utilizados en el Atlas de Clima Marítimo	49
2.7.1.	Coeficientes de Refracción-Shoaling (K_R) correspondientes a propagaciones de oleajes desde aguas profundas hasta el emplazamiento de los puntos de medida analizados	72

2.1. PLANTEAMIENTO GENERAL

Llegar a la caracterización y previsión del oleaje en aguas profundas en el litoral español es imprescindible para poder abordar cualquier estudio y proyecto de ingeniería marítima que se desee emprender en dicho ámbito geográfico.

Con objeto de evitar que el proyectista deba proceder sistemáticamente, y en todos los casos, a la localización y análisis estadístico de los datos brutos de oleaje disponibles necesarios para la completa definición del Clima Marítimo en una zona determinada, esta Recomendación pretende proporcionar al mismo la información elaborada disponible, actualizada, y contrastada existente en el litoral español, correspondiente a zonas ya analizadas y con experiencia acumulada en la caracterización y previsión del oleaje en periodos largos de tiempo, y en su aplicación práctica al proyecto de obras marítimas.

Esta información simplificará en los casos generales los trabajos del proyecto, y orientará la toma de decisiones del Proyectista, del Cliente, o de la Autoridad Competente en este campo. Asimismo facilitará la definición de oleajes de diseño a lo largo de toda la costa española, permitiendo la obtención de los valores de aquellos parámetros representativos de dicho oleaje necesarios para el proyecto de toda obra marítima tanto estructuralmente como funcionalmente.

Como consecuencia de las características y limitaciones de la información de oleaje disponible, los valores incluidos en esta Recomendación definen de forma aproximada, y no completa, las características del oleaje en el litoral español.

La actualización periódica de la información de partida, el aumento de la calidad y cantidad de información instrumental disponible, el análisis unidimensional y bidimensional de un mayor número de parámetros representativos del oleaje, el desarrollo de nuevos procedimientos de análisis, y el establecimiento de una metodología que permita separar tipológicamente (Sea o Swell) las distintas poblaciones extremas, deben ser aspectos prioritarios de cara a mejorar los resultados, y consecuentemente a optimizar cualquier diseño marítimo. En este sentido conviene señalar la importancia que en un futuro debe tener la toma de datos de oleaje direccional.

En el momento actual, y en ausencia de una información mejor, los resultados recogidos en esta Recomendación pueden resultar bastante orientativos para la caracterización del Clima Marítimo del Litoral Español.

2.2. ZONIFICACIÓN DEL LITORAL ESPAÑOL

A los efectos de caracterización del Clima Marítimo en el litoral español se establece una zonificación del mismo en 10 áreas diferenciadas, definidas en base a características climáticas homogéneas, a la configuración de la costa, y al emplazamiento de las fuentes de información disponible.

Dicha zonificación permite aceptar que las características del oleaje en aguas profundas son aproximadamente las mismas en aquellas partes de cada área que se encuentren afectadas por los mismos oleajes; es decir en aquellas partes que tengan fetch semejante para cada una de las direcciones incidentes significativas del oleaje.

La zonificación considerada, así como las coordenadas geográficas límites de cada una de las áreas correspondientes, se definen en la tabla 2.2.1.

TABLA 2.2.1. ZONIFICACION DEL LITORAL ESPAÑOL A EFECTOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO	
ÁREA	CUADRÍCULA
I	43° N - 45° N 1,5° W - 7° W
II	43,2° N - 45° N 7° W - 11° W
III	41,5° N - 43,2° N 8° W - 11° W
IV	35° N - 37,1° N 5,6° W - 10° W
V	35° N - 37° N 2° W - 5,6° W
VI	35° N - 38° N 2° W - 2° E
VII	37,8° N - 40,5° N 1° W - 2° E
VIII	40,5° N - 42,5° N 0,0° W - 4,5° E
IX	38,3° N - 41° N 0,5° E - 5,5° E
X	26,5° N - 30,5° N 12° W - 20° W

2.3. METODOLOGÍA DE DETERMINACIÓN

La definición del Clima Marítimo en el Litoral Español recogida en estas Recomendaciones ha sido realizada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) a través del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), por encargo de la Dirección General de Puertos, específicamente para su inclusión en el Programa ROM.

La metodología utilizada se basa en el análisis estadístico de la información disponible procedente de dos fuentes distintas:

- Datos Visuales de Oleaje en aguas profundas con información direccional, almacenados en la Base de Datos Visuales del CEPYC, creada a partir de los datos suministrados por el National Climatic Data Center de Asheville (Carolina del Norte, USA).
- Datos Instrumentales Escalares de Oleaje registrados por las boyas de medida pertenecientes a la REMRO.

Analizando conjuntamente toda la información disponible procedente de ambas fuentes y teniendo en cuenta la utilidad práctica de los resultados, la definición del Clima Marítimo del Litoral Español se lleva a cabo obteniendo las siguientes relaciones de caracterización del oleaje en cada una de las áreas definidas y/o puntos de medición:

- Distribución conjunta Altura de Ola Visual/Dirección, en forma de Rosas de Oleaje. La agrupación se efectúa de forma independiente para los sucesos Sea y Swell, agrupando los datos en sectores de 22,5° 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 Extremales

— Análisis Estadístico Bidimensional altura de ola significativa/periodo medio, y periodo medio/periodo de pico, para condiciones de temporal.

— Análisis Estadístico Espectral orientado a la obtención de una estructura espectral escalar básica del oleaje, representativa del mismo para condiciones de temporal.

La distinta estructura que presentan los datos de partida hace que las fuentes instrumental y visual se complementen entre sí.

Para efectuar el análisis escalar de la altura de ola significativa en sus dos aspectos fundamentales, regímenes medios y extremales, se utiliza la información registrada en las boyas de la REMRO.

Esta misma fuente de información ha sido utilizada para estimar las correlaciones altura de ola/periodo y para efectuar el análisis estadístico espectral en condiciones de temporal. Dado que las boyas de medida pertenecientes a la REMRO se encuentran generalmente ubicadas en profundidades reducidas o intermedias, los resultados obtenidos en base a datos instrumentales deberán transferirse a aguas profundas mediante estudios de propagación del oleaje (*Ver apartado 2.7. PROPAGACIONES DEL OLEAJE*).

Los estudios de propagación del oleaje tienen por objeto conocer las modificaciones que se producen en la altura de ola y en la dirección principal de propagación del oleaje cuando este se propaga desde aguas profundas hasta el emplazamiento en el que se produce la medida. Estas transformaciones del oleaje son fundamentalmente debidas a los fenómenos de refracción y shoaling.

Para ello, admitiendo que el periodo se mantiene, para cada dirección de incidencia de interés se propagarán los oleajes con los periodos previamente establecidos.

Por otra parte, la caracterización direccional del oleaje se lleva a cabo mediante la información visual almacenada.

2.4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA INFORMACIÓN ANALIZADA

La información visual analizada procede del Banco de Datos Visuales del CEPYC, suministrada por el National Climatic Data Center de Asheville (Carolina del Norte, USA).

Dicha información cubre todas las áreas definidas para la caracterización del Clima Marítimo del Litoral Español, y abarca todas las observaciones realizadas en el periodo comprendido entre 1950 y 1985.

La información instrumental analizada procede de los datos registrados por las boyas de medida pertenecientes a la REMRO, con información fiable suficiente para la representatividad de algunos de los análisis estadísticos realizados. Se ha analizado información procedente de 17 boyas.

En aquellos casos en que se estudian condiciones de temporal (Régimen Extremal, Correlación Altura/Periodo, Estructura Espectral Escalar Básica), la información analizada ha sido aquella correspondiente a los Estados del Mar pico de temporal * cuya altura de ola significativa superaba el nivel fijado como presencia de temporal ($H_{s,T}$). Dicha altura de ola umbral es variable para cada área en función de las características climáticas de la misma.

El periodo de medida considerado en cada boya es variable en función de la operatividad del equipo y de la calidad y grado de fiabilidad de la información registrada, siendo la media de tiempo analizado de seis años, con un mínimo de 3 años y un máximo de 12 años si se considera como procedentes de un único punto de medida el conjunto de registros de las dos boyas de Bilbao.

La posición aproximada, la profundidad de fondeo, y el periodo de medida de las boyas analizadas se incluyen en la tabla 2.4.1. En ella también se incluyen las alturas de ola significativa establecidas en cada área como umbral para condiciones de temporal.

* Se denomina pico de un temporal al Estado del Mar en el que se registra la mayor altura de ola significativa.

TABLA 2.4.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA INFORMACIÓN INSTRUMENTAL ANALIZADA

	Área	Boya de medida	Coordenadas de situación	Profundidad de fondeo en BMVE (m)	Período de medida	H _{s,T} (m)
	I	Bilbao (Morro)	43° 22' 55" N 3° 4' 24" W	35	1976-1984	3,0
		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	1985-1990	3,0
	III	Cabo Silleiro	42° 1' 48" N 8° 56' 30" W	75	1986-1990	3,0
	IV	Sevilla	36° 44' 15" N 6° 29' 6" W	12	1983-1988	1,5
		Cádiz	36° 30' 20" N 6° 20' 10" W	22	1982-1990	
	V	Ceuta	35° 54' 10" N 5° 19' 30" W	21	1984-1990	1,0
		Málaga	36° 41' 30" N 4° 25' W	25	1984-1990	
	VI	Cabo de Palos	37° 39' 15" N 0° 38' 18" W	67	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	Rosas	42° 11' 43" N 3° 11' 15" E	50/90	1986-1987	2,0	
	Palamós	41° 49' 24" N 3° 10' 42" E		1988-1990		
IX	Palma de Mallorca	39° 24'/26,5' N 2° 39'/34,2' E	55/45	1983/ /1986-1987	1,5	
X	Tenerife	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	2,0	

LEYENDA:

H_{s,T} = Altura de ola significativa umbral establecida para la consideración de condiciones de temporal

2.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS RESULTADOS

2.5.1. DISTRIBUCION CONJUNTA ALTURA DE OLA VISUAL/DIRECCIÓN

Para cada una de las áreas correspondientes a la zonificación del litoral español establecida, se obtiene la distribución conjunta altura de ola visual/dirección ($H_V-\alpha_V$) en aguas profundas, o frecuencia de presentación de alturas de ola en cada sector direccional. Para cada intervalo de alturas y sector, la frecuencia de presentación se obtiene comocociente entre la suma del número de observaciones en dicho intervalo de alturas de ola en todas las direcciones contenidas en el sector, y el número de observaciones válidas totales.

Se ha utilizado toda la información visual bruta disponible en el Banco de Datos Visuales del CEPYC, correspondiente a observaciones realizadas durante el periodo 1950-1985 y contenidas en cada una de las cuadrículas analizadas.

Se consideran sectores direccionales de 22.5° de amplitud, e intervalos de altura de ola de 0.5 m.

Puesto que las observaciones visuales brutas utilizadas presentan los datos divididos en función del tipo de oleaje, Sea o Swell (tablas de doble entrada H_V/T_V para sucesos Sea y Swell), la distribución conjunta $H_V-\alpha_V$ se ha realizado de forma independiente para ambos.

La representación gráfica utilizada, en forma de Rosas Direccionales de Oleaje, permite caracterizar direccionalmente de forma bastante aproximada los más frecuentes (longitud del brazo mayor) y los más severos (brazos más anchos) oleajes en alta mar a lo largo del litoral español.

La escala de altura de ola se da en metros y la de frecuencias en tanto por ciento. Las rosas de oleaje recogidas en estas Recomendaciones pueden utilizarse como información de partida para la determinación de otros regímenes medios de oleaje distintos al del suceso unión «Sea + Swell» incluido en el Atlas de Clima Marítimo (p.e. régimen medio del Sea y régimen medio del Swell independientemente), cuya aplicación práctica puede resultar de interés, en algún caso, para el dimensionamiento de estructuras marítimas (p.e. cuando el rango de periodos presentes en el oleaje es un factor fundamental en el dimensionamiento). La realización práctica de dichos regímenes se llevará a cabo a partir de la elaboración del histograma acumulado de alturas de ola visual.

2.5.2. REGÍMENES MEDIOS DIRECCIONALES. FRECUENCIAS DE PRESENTACIÓN SECTORIALES

Los regímenes medios direccionales incluidos en estas Recomendaciones son los regímenes medios anuales «Sea + Swell» de altura de ola visual.

El régimen medio direccional «Sea + Swell» relaciona los diversos valores de la variable altura de ola visual con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio ni con oleaje Sea ni con oleaje Swell, para oleaje proveniente del sector direccional considerado. La probabilidad definida está condicionada a que el oleaje tenga la dirección principal de propagación comprendida en el sector analizado.

Puesto que la información visual utilizada hace distinción entre oleaje tipo Sea y Swell, y dado que se ha partido de tablas estadísticas de doble entrada H_V/T_V que no permiten diferenciar las observaciones simultáneas de Sea y Swell en el mismo lugar, el procedimiento más adecuado para efectuar la estima de los regímenes medios visuales ha sido considerar los regímenes medios correspondientes al suceso unión Sea + Swell. Dados los anteriores condicionantes, puede admitirse que el régimen medio del suceso unión Sea + Swell es el más parecido al correspondiente al estado real del mar, y por consiguiente a un régimen medio elaborado a partir de datos instrumentales, al no distinguir los medidores entre un tipo u otro de oleaje.

Para la estima de los distintos regímenes medios direccionales se ha utilizado toda la información visual disponible en el Banco de Datos Visuales del CEPYC, correspondiente a observaciones realizadas durante el periodo 1950-1985 y contenidas en las cuadrículas analizadas.

Las observaciones han sido agrupadas en sectores de 22.5° .

La estima de los regímenes medios de altura de ola visual se ha realizado para cada una de las diez áreas establecidas, calculándose únicamente para las direcciones que, debido a la configuración de la costa y a la situación de los puntos de medida, son relevantes para el proyecto de obras marítimas ubicadas en aquellas zonas del litoral

cubiertas por la caracterización del Clima Marítimo incluida en estas Recomendaciones.

Las direcciones de interés analizadas en las diez áreas establecidas se recogen en la tabla 2.5.2.1.

La determinación de los regímenes direccionales correspondientes a las direcciones de interés se ha realizado mediante la siguiente metodología de cálculo:

- Cálculo del régimen medio direccional Sea + Swell como producto de los correspondientes a los sucesos Sea y Swell, al demostrarse por teoría de probabilidades que la probabilidad de que un nivel H_{v0} de la variable no sea superado por el Sea, o por el Swell, o por ambos, es el producto de las probabilidades de no excedencia de ambos sucesos independientemente.
- Cálculo de los regímenes medios direccionales del Sea y del Swell, estimándose las muestras representativas a partir del histograma acumulado de altura de ola visual obtenido en base a las tablas de doble entrada H_v/T_v para los sucesos Sea y Swell, considerándose únicamente las observaciones comprendidas en el sector analizado. Para la construcción del histograma se han considerado intervalos de altura de ola de 0.5 m.
- Ajuste de las muestras Sea y Swell, y por consiguiente del régimen Sea + Swell resultante, a la función de distribución lognormal.
- Estima de la función de distribución lognormal por el método gráfico, ajustando una recta a la nube de puntos muestrales representados en el papel probabilístico correspondiente a dicha función de distribución. El ajuste se realiza de forma visual dando más peso a la zona central del régimen.

Se recuerda que las probabilidades que proporcionan los regímenes medios direccionales son probabilidades condicionadas a la probabilidad de presentación de la dirección analizada; por 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 de presentación del sector correspondiente.

Es decir, para el caso particular de régimen medio correspondiente al sector i , se cumplirá:

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

Siendo:

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

$P'_i(H_{v0})$: Probabilidad condicional de no excedencia del nivel H_{v0} , obtenida del régimen medio direccional correspondiente al sector i .

f_i : Frecuencia de presentación del sector i .

Por tanto, dado que el suceso no superación de una determinada altura de ola en un punto está influenciado por los posibles oleajes incidentes de diversas direcciones, 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. Es decir:

$$P_i(H_{v0}) = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^N [1 - P'_i(H_{v0})] \cdot f_i \right\}$$

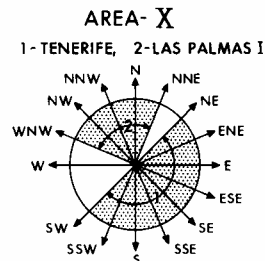
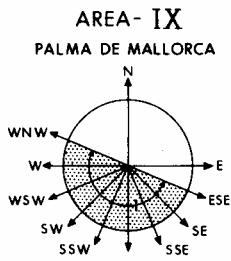
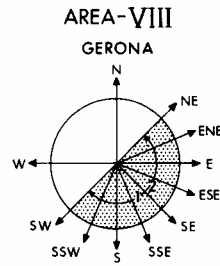
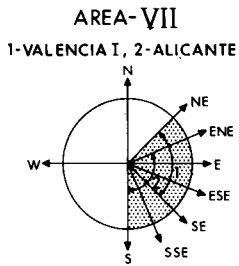
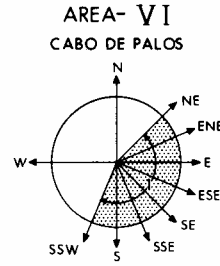
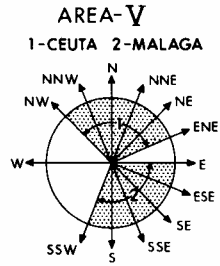
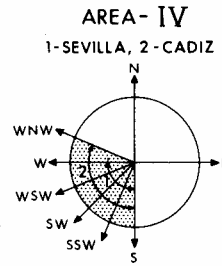
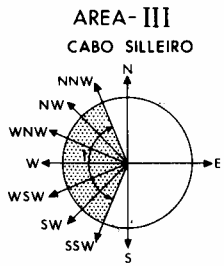
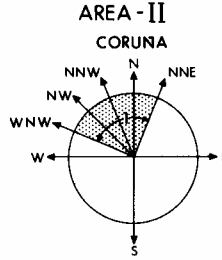
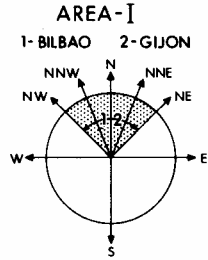
siendo N el número de sectores incidentes.

La frecuencia de presentación de cada sector en cada área analizada, se obtiene como cociente entre la suma del número de observaciones en todas las direcciones contenidas en el sector y el número de observaciones válidas totales. Para su determinación no se ha efectuado ningún tipo de reparto de calmas, considerándose todas ellas agrupadas en un sector adicional.

Los distintos regímenes medios direccionales se representan gráficamente en papel probabilístico lognormal, cuyas ordenadas se corresponden con la altura de ola visual (H_v) en metros, y cuyas abcisas son las probabilidades de no excedencia condicionadas. Las abcisas también se dan en términos de variable reducida (escala lineal en el papel probabilístico). La utilización de este soporte gráfico tiene por objeto representar el régimen medio mediante una recta.

En dicha gráfica también se incluyen las frecuencias de presentación sectoriales correspondientes, necesarias para la obtención de las probabilidades absolutas.

TABLA 2.5.2.1. DIRECCIONES DE INTERÉS PARA LA DETERMINACIÓN DE REGÍMENES DIRECCIONALES



Para la correlación altura de ola visual/altura de ola significativa en regímenes medios podrán utilizarse relaciones empíricas de validez reconocida [Nordestrom ($H_s = 1.68 (H_v)^{0.75}$), Hogben y Lumb ($H_s = 1.23 + 0.88 H_v$), Cartwright ($H_s = 0.59 H_v$),...], debiendo previamente contrastarse su validez a partir de datos instrumentales registrados en el área analizada. La relación: $H_s = H_v$ ha dado, en general, buenos resultados en el litoral español.

A pesar de que los datos visuales considerados abarcan un periodo suficiente de observación (35 años), la fiabilidad de los regímenes medios obtenidos es sólo aproximada puesto que la bondad de la predicción es función de la calidad estadística de los datos de partida, y ésta es intrínsecamente baja debido a las características de la propia red de toma de datos visuales.

En cualquier caso, los regímenes medios direccionales incluidos en estas Recomendaciones pueden considerarse suficientemente satisfactorios para su utilización práctica.

2.5.3. REGÍMENES MEDIOS ESCALARES

El régimen medio escalar incluido en estas Recomendaciones es el régimen medio anual de la altura de ola significativa. 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.

La estima de dicho régimen medio se ha realizado a partir de datos instrumentales para cada uno de los puntos de medida analizados.

No obstante, dada la proximidad de las dos boyas de Bilbao y considerándose suficiente para la estimación del régimen medio en dicha zona la información acumulada procedente de la boya «Bilbao (Exterior)», no se ha realizado el régimen medio en la boya «Bilbao (Morro)».

Los años considerados para el cálculo de los distintos regímenes medios del oleaje con datos válidos suficientemente representativos han sido, salvo en las áreas VIII (boyas de «Rosas» y «Palamos») y IX (boya «Palma de Mallorca»), superior a tres. No obstante, en el área VIII, dada la proximidad de las boyas analizadas y la semejanza de los regímenes medios obtenidos en su zona central para periodos de medición distintos, puede considerarse que se dispone de información superior a 3 años en dicha área. En el área IX, además, la muestra analizada tiene una baja calidad estadística (heterogeneidad temporal con huecos de información en los meses de mayor crudeza), por lo cual el régimen estimado en dicha área es altamente dudoso. Todo lo anterior garantiza, en gran medida, la fiabilidad de los regímenes medios obtenidos, salvo en el área IX, al considerarse admisibles las estimas del régimen medio del oleaje obtenidas a partir de periodos de toma de datos válidos superiores a 3 años.

La determinación de los regímenes medios escalares se ha realizado mediante la siguiente metodología:

- Cálculo a partir de las Curvas de Estados del Mar correspondientes a la Altura de Ola Significante, rellenándose por interpolación lineal aquellos huecos de información cuya duración es inferior a 12 horas. A partir de ellas se estima la muestra representativa.
A estos efectos, se denomina Curva de Estados del Mar a la función continua que representa la evolución del parámetro «altura de ola significativa» a lo largo del tiempo en un punto determinado.
- Cálculo de la probabilidad de no excedencia de los distintos niveles de altura de ola, tomando intervalos de 0.20 m.
Para cada valor de la variable, la probabilidad de excedencia se obtiene como cociente entre el tiempo en que dicha variable es excedida y la duración total del periodo de medición. La probabilidad de no excedencia será la complementaria.
- Ajuste de la muestra obtenida a una función de distribución lognormal.
- Estima de la función de distribución lognormal por el método de mínimos cuadrados, siendo los resultados prácticamente coincidentes con los obtenidos utilizando otros métodos como el de los momentos, máxima verosimilitud, y gráfico dando más peso a la zona central del régimen. En todos los casos el índice de correlación obtenido es superior al 99 %.
El acuerdo entre los distintos métodos es consecuencia del buen ajuste de las muestras a la función de distribución seleccionada.

El régimen se representa gráficamente en papel probabilístico logarítmico-normal, cuyas ordenadas se corresponden con la altura de ola significativa (H_s) en metros, y cuyas abcisas con las probabilidades de, no excedencia. Las abcisas también se dan en términos de variable reducida (escala lineal en el papel probabilístico).

La utilización de este soporte gráfico tiene por objeto la representación del régimen medio escalar mediante una recta.

2.5.4. REGÍMENES EXTRÉMALES ESCALARES

El régimen extremal escalar incluido en estas Recomendaciones es el régimen extremal de la altura de ola significativa.

Dicho régimen extremal es la función de distribución de los valores extremos de la variable altura de ola significativa. Relaciona los valores máximos previsibles de esta variable con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en un año.

Esta probabilidad también puede expresarse en términos de periodo de retorno o de recurrencia. Se define como periodo de retorno (T) para un valor determinado de la variable (H_{si}), el intervalo medio de tiempo en el que dicho valor es superado una sola vez, es decir, el tiempo medio entre dos excedencias consecutivas de H_{si} .

La relación entre probabilidad de no excedencia en un año y periodo de retorno, medido en años, es:

$$T(H_{si}) = 1 / [1 - P(H_s \leq H_{si})]$$

La estima de dicho régimen extremal se ha realizado a partir de datos instrumentales para cada uno de los puntos de medida analizados, salvo en las áreas I y VIII que se introduce en un único régimen la información registrada, en periodos consecutivos, por dos boyas («Bilbao Morro + Bilbao Exterior» y «Rosas + Palamos» respectivamente), con objeto de aumentar la representatividad extremal de la muestra. Esto se considera correcto dada la proximidad y situación de dichas boyas. El régimen obtenido está referido, en estos casos, a la última de las boyas señaladas.

El método general utilizado para la estima de los regímenes extremales escalares es el Método de los Máximos Relativos sobre el Umbral (POT) (Goda, 1988), al ser este método más fiable que el Método de los Máximos Anuales sobre todo cuando la información disponible corresponde a un periodo inferior a 20 años.

No obstante, en la determinación del régimen extremal del área IX se ha utilizado el Método de la Muestra Total (Copeiro, 1978) al disponerse de muy pocos años registrados en el punto de medida situado en dicha zona (boya «Palma de Mallorca»). Este Método se aplica preferentemente cuando se disponen de muy pocos años de medida, y por tanto carecen de validez los métodos de los Máximos (o valores de pico).

El Método de los Máximos Relativos sobre el Umbral (Peak Over Threshold Method) se basa en extraer de las series temporales registradas aquellas tormentas individuales, no dependientes entre sí por su proximidad en el tiempo, que superen un cierto umbral de altura de ola significativa ($H_{s,T}$) en el pico del temporal, adoptando como muestra de partida para la obtención del régimen extremal el conjunto de valores alcanzados por la altura de ola significativa en el pico de cada uno de los temporales así seleccionados (n).

La determinación de los regímenes extremales escalares a partir del método POT (Goda, 1988) se ha realizado mediante la siguiente metodología de cálculo:

- La altura de ola significativa correspondiente al pico del temporal que se ha adoptado como umbral para que éste se considere en el análisis ($H_{s,T}$), se ha establecido para cada zona atendiendo a las características climáticas del punto de medida. (Ver tabla 2.5.4.1)
- Dado que la ausencia de información en los meses climato-lógicamente más duros es mucho más relevante, el cálculo del tiempo efectivo de medida (T_{ef}) se ha hecho teniendo en cuenta el peso climático de la información registrada. De esta forma se estima más exactamente el número medio de tormentas por año (λ), cuyo valor resulta fundamental en el análisis. (Ver tabla 2.5.4.1.)
- Una vez determinado el número medio de temporales por año ($\lambda = n/T_{ef}$) se define un segundo nivel umbral de altura de ola ($H_1 > H_{s,T}$), contabilizándose el número de temporales que lo superan (n_1). El conjunto de alturas n_1 constituyen el total de datos muestrales que se utilizan para el análisis extremal.
- Las variables definidas para fijar las características de las muestras extremales analizadas se recogen en la tabla 2.5.4.1.
- Ajuste, generalmente por el método de mínimos cuadrados, de la muestra extremal obtenida a las funciones de distribución de Gumbel (Asíntota I del mayor valor) o a la de Weibull con parámetros de forma C = 0.75, 1.0, 1.4, y 2; utilizándose para establecer las frecuencias de presentación teóricas asignadas a cada uno de los datos pertenecientes a la muestra extremal la formulación de Gringorten para la distribución de Gumbel y la de

**TABLA 2.5.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS EXTREMALES ANALIZADAS
(MÉTODO POT-GODA, 1988)**

ÁREA	PUNTO DE MEDIDA	T _{ef} (años)	H _{s,T} (m)	H ₁ (m)	n	n ₁	\bar{H}_s (m)	σ_x (m)	λ	v
I	BILBAO ¹⁾ GIJÓN	12,68 7,89	3,0 3,0	4,0 4,0	256 103	107 44	5,11 4,87	0,900 0,661	20,191 13,054	0,418 0,427
II	CORUÑA	6,90	3,0	4,0	216	122	5,22	1,151	31,286	0,564
III	C. SILLEIRO	3,78	3,0	4,0	104	55	5,25	1,015	27,513	0,528
IV	SEVILLA CÁDIZ	4,76 7,92	1,5 1,5	2,0 2,0	70 158	35 90	2,63 2,97	0,560 0,899	14,70 19,952	0,500 0,569
V	CEUTA MÁLAGA	7,45 7,48	1,0 1,0	1,5 1,5	67 158	49 70	2,28 2,13	0,834 0,608	8,985 21,117	0,731 0,443
VI	CABO PALOS	4,38	1,5	2,0	134	70	2,62	0,649	30,545	0,522
VII	ALICANTE VALENCIA I	7,34 7,56	1,0 1,0	2,0 2,0	236 219	29 28	2,54 2,47	0,522 0,437	32,156 28,934	0,124 0,128
VIII	PALAMOS ²⁾	5,05	2,0	2,5	45	24	3,32	0,769	8,916	0,533
IX	PALMA DE M. ³⁾	—	—	—	—	—	—	—	—	—
X	TENERIFE LAS PALMAS I	8,43 7,75	1,5 2,0	2,0 2,75	67 194	13 67	2,30 3,48	0,318 0,682	7,948 25,035	0,194 0,345

NOTAS: 1) BILBAO (MORRO) + BILBAO (EXTERIOR)
2) ROSAS + PALAMOS
3) Calculado por el Método de la Muestra Total

LEYENDA: T_{ef} : Tiempo efectivo de medida
H_{s,T} : Altura de ola significativa umbral para definición de temporal (en el pico)
H₁ : Segundo nivel umbral de altura de ola
n : N^o de temporales de partida considerado
n₁ : N^o de temporales que constituyen el total de datos muestrales
 \bar{H}_s : Altura significativa media muestral
 σ_x : Desviación estándar muestral
 $\lambda = n/T_{ef}$: Número medio de temporales por año
 $v = n_1/n$: «censoring parameter»

Petruaskas-Agaard para la de Weibull, sustituyendo en las mismas n_1 por n con objeto de considerar de algún modo la distribución de los datos de partida.

La elección de la función de distribución se efectúa atendiendo al mayor coeficiente de correlación.

- A partir de la función de distribución que ajusta la muestra extremal definida (P'), la probabilidad anual de no excedencia de un valor H_{si} se obtiene por:

$$P(H_s \leq H_{si}) = 1 - \lambda [1 - P'(H_s \leq H_{si})]$$

y por tanto, el periodo de retorno en años será:

$$T(H_{si}) = \frac{1}{[1 - P(H_s \leq H_{si})]} = \frac{1}{\lambda [1 - P'(H_s \leq H_{si})]}$$

- Valoración de la inexactitud o incertidumbre del régimen estimado a partir de la magnitud del error estándar absoluto para cada nivel de probabilidad acumulada o periodo de retorno. A partir de estos valores se construyen los intervalos de confianza tomando como criterio un número determinado de valores del error estándar a cada lado de la curva de ajuste estimada, en función del nivel de confianza con el que se desee trabajar.

Los regímenes extrémales obtenidos por el Método POT se representan gráficamente en papel probabilístico Gumbel, independientemente de cual sea la función de distribución elegida para el ajuste. Por tanto, cuando en el ajuste se ha utilizado una función de Weibull la representación gráfica del régimen no resulta ser una recta.

La utilización de un único papel probabilístico como soporte de representación se realiza con objeto de facilitar la comparación de regímenes por superposición.

En el gráfico también se incluye el límite superior de la banda asociada a un nivel de confianza del 90 %.

Las ordenadas se corresponden con la altura de ola significativa (H_s) en m, y las abscisas con el periodo de retorno en años.

La incertidumbre asociada a cada régimen extremal obtenido será mayor o menor en función del tiempo efectivo de registro analizado, de la calidad estadística de los datos registrados y, en función de lo anterior, del método de análisis extremal utilizado.

Los regímenes extrémales incluidos en esta Recomendación estimados por el método POT (Goda, 1988), cuantificando su incertidumbre por medio del establecimiento de límites a ambos lados de la recta de ajuste asociados a un nivel de confianza del 90 %, en general pueden considerarse razonablemente fiables para periodos de retorno inferiores a 20 veces el tiempo efectivo de medida considerado. Por tanto, si se acepta este criterio, en la mayor parte de los casos los regímenes extrémales obtenidos podrían considerarse fiables como máximo para periodos de retorno entre 100 y 250 años. Para periodos de retorno mayores, los resultados obtenidos se consideran de fiabilidad dudosa, debiéndose tomar únicamente como indicativos.

Debido a que los tiempos efectivos de registro analizados son todavía muy pequeños, y a que los métodos de análisis extremal en uso no están totalmente contrastados, en cualquier caso y especialmente para grandes periodos de retorno, el proyectista podrá evaluar justificadamente la fiabilidad de los regímenes extrémales incluidos en esta Recomendación mediante su contraste con aquéllos obtenidos a partir de la aplicación de otros métodos de análisis estadístico extremal, o de previsión del oleaje, de validez suficientemente reconocida para las zonas consideradas (p.e. Modelos numéricos de Hindcasting introduciendo datos de viento correspondientes a temporales pasados obtenidos de cartas meteorológicas; Método SPM en el Mediterráneo introduciendo las características climáticas de la zona de generación: longitud del fetch, persistencia y régimen extremal de velocidades de viento;...), tomando en consideración todos los elementos de análisis y de experiencia que se dispongan.

La determinación del régimen extremal correspondiente a la boya de Palma de Mallorca se ha realizado mediante la aplicación del Método de la Muestra Total (Copeiro, 1978). Este método parte de la hipótesis de que si se conoce la función de distribución de la variable H_s [régimen medio del oleaje $P(H_s)$] en un intervalo en el que toma $n(H_s)$ valores extremos, la función de distribución de los extremos [régimen extremal $\Phi(H_s)$] puede calcularse mediante la ecuación extremal [$\Phi(H_s) = \{P(H_s)\}^{n(H_s)}$].

La determinación de este régimen extremal se ha realizado mediante la siguiente metodología:

- El régimen medio considerado [$P(H_s)$] ha sido el régimen medio escalar instrumental, pero realizando el ajuste de la función de distribución utilizada a los datos situados en la zona media-alta o cola superior de la distribución de la muestra de partida.

La función de distribución seleccionada ha sido la lognormal.

- El número de excedencias en un año climático medio para cada nivel de H_s [$n(H_s)$] ha sido obtenido a partir de la curva de Estados del Mar registrada, como cociente entre el tiempo total del año y el tiempo medio de excedencia sobre ese nivel. Este último valor se obtiene como cociente entre el tiempo total que un determinado nivel es excedido y el número de veces que eso ocurre en el tiempo registrado. La función $n(H_s)$ se define ajustando posteriormente una recta a la nube de puntos muestrales [$H_s, n(H_s)$], dando más peso a la zona con mayor número de excedencias y despreciando aquellos puntos que presentan menos de 10 excedencias.
- El ajuste de la muestra extremal representativa obtenida con la ecuación extremal se ha realizado mediante la distribución de Gumbel.

Este régimen se representa gráficamente en papel probabilístico Gumbel, no incluyendo valores correspondientes a intervalos de confianza.

Dada la baja calidad de la muestra de partida correspondiente al área IX, ni la alineación que presenta la zona superior del régimen medio, ni las excedencias medidas, pueden considerarse representativas de la población real; por lo que es conveniente considerar el régimen extremal obtenido para dicho área como de muy dudosa fiabilidad, debiéndose tomar únicamente como indicativo.

2.5.5. REGÍMENES EXTREMALES DIRECCIONALES. RELACIÓN ALTURA-DIRECCIÓN

El escaso número de boyas direccionales operativas en el litoral español, junto con el bajo volumen de información registrada hasta este momento, hacen imposible la obtención de regímenes extremales direccionales instrumentales de altura de ola. Por lo tanto, actualmente la estadística correspondiente a la estima de los regímenes extremales direccionales del oleaje se aplica preferentemente a datos visuales y a datos obtenidos mediante modelos teórico-empíricos de previsión del oleaje.

No obstante, dada la poca fiabilidad de los regímenes extremales obtenidos en base a datos visuales y de los obtenidos en base a la aplicación de modelos de previsión de oleaje (Hindcasting), estas Recomendaciones incluyen la metodología para la obtención de regímenes extremales direccionales de altura de ola significante correspondientes a aguas profundas, estimados asignando direccionalidad al régimen escalar instrumental de cada punto de medida, transferido a aguas profundas, por medio de la información visual disponible.

La fiabilidad de los regímenes extremales obtenidos en base a datos visuales se considera baja debido a la ausencia de información de los máximos anuales reales como consecuencia de la tendencia lógica de los buques a navegar en situaciones de calma y, en menor medida, por la sobreestimación que conlleva la observación visual cuando la altura de ola supera un determinado umbral. Asimismo, la poca fiabilidad de los regímenes extremales obtenidos en base a la aplicación de modelos de previsión de oleaje se debe a la todavía insuficiente verificación y calibración de los mismos para el litoral español.

Los regímenes extremales direccionales en aguas profundas se definen, a partir del régimen extremal escalar, multiplicando la altura de ola correspondiente a un periodo de retorno transferida a aguas profundas por un coeficiente de direccionalidad (K_α), distinto para cada dirección, mediante la siguiente metodología:

- Para cada punto de medida, y por tanto para cada régimen extremal escalar definido, la estima de regímenes extremales direccionales se realiza únicamente para aquellas direcciones del oleaje en aguas profundas que, debido a la situación de la boya de registro y a la configuración de la costa, tienen interés en dicho punto.
Las direcciones de interés en cada punto de medida se recogen en la tabla 2.5.2.1.
- Dado que los datos visuales utilizados para asignar direccionalidad son datos en aguas profundas, el régimen extremal escalar instrumental de partida debe transferirse a dichas aguas con el fin de establecer la relación entre el oleaje en alta mar y el registrado en el punto de medida, que permita conocer la atenuación o peralte que presenta el oleaje propagado, así como la dirección del mismo en la boya correspondiente a una determinada dirección en aguas profundas. Para ello deben realizarse los apropiados estudios de propagación (*Ver apartado 2.7. PROPAGACIONES DEL OLEAJE*).
- Para cada área y punto de medida analizado, los coeficientes K_α correspondientes a cada dirección se establecen a partir de la relación aproximada entre las alturas extremas del oleaje en aguas profundas en las direcciones o sectores direccionales en que pueden presentarse. Para cada dirección se define el coeficiente K_α como el cociente entre la altura de ola asociada a dicha dirección y la altura máxima. Por tanto, el coeficiente 1 se asigna a la dirección que presenta mayor altura asociada.

- Como la única información direccional disponible es la visual y aunque las características del oleaje en condiciones extremas difieran de las correspondientes en condiciones climáticas medias, la falta de fiabilidad de las primeras hace inevitable la evaluación de la relación aproximada entre las alturas extremas del oleaje en aguas profundas asociadas a los distintos sectores direccionales, y por tanto del coeficiente K_{α} , a partir de los regímenes medios direccionales de altura de ola visual y de la distribución conjunta H_V/T_V (tabla de doble entrada H_V/T_V) correspondientes a los sectores de interés.
- Dada la poca fiabilidad del sistema adoptado para la evaluación de las olas extremas, y con objeto de contrastar los resultados obtenidos, el cálculo del coeficiente K_{α} se ha realizado definiendo la altura extrema por dirección según tres procedimientos distintos:
 - A partir del régimen medio Sea + Swell de altura de ola visual resultante del ajuste de los datos situados en la zona media-alta o cola superior de la muestra de partida, asociando a cada dirección la media de las alturas de ola cuya excedencia anual sea del 1 % y del 0.1 % (probabilidad 0.99 y 0.999 del régimen) en cada uno de los regímenes medios anuales correspondiente a cada sector direccional.
 - A partir de la tabla H_V/T_V , asociando a cada dirección la media de las alturas de ola cuya excedencia se ha producido un 5% y un 0.5% del número de observaciones Sea y Swell del sector correspondiente.
 - A partir de la tabla H_V/T_V , asociando a cada dirección la media de las alturas de ola que han sido superadas en 6 y 20 observaciones del sector correspondiente.

Los percentiles utilizados son empíricos, habiendo sido fijados por el CEPYC con el objeto de recoger el abanico superior de alturas de ola extremas, y no únicamente la ola extrema registrada o posible.

La consideración de tres aproximaciones tiene por objeto disponer de distintos elementos de juicio, y por tanto aumentar la fiabilidad de la estima. En general, las áreas donde los datos visuales están bien definidos, disminuyendo gradualmente el número de observaciones a medida que aumenta el umbral de altura, las tres aproximaciones producen estimas similares. Sin embargo, las zonas que presentan datos de poca calidad, con agrupamiento anómalo de observaciones en los niveles más altos de altura e intervalos de la variable sin ninguna observación, el acuerdo obtenido es significativamente menor. Esto por lo general sucede en las áreas donde la configuración de la costa determina que el tipo de observación (H_V/T_V) dependa de la localización concreta en que ha sido realizada; es decir fundamentalmente en las áreas V, IX y X.

- Para cada punto de medida y dirección, el coeficiente K_{α} establecido en estas Recomendaciones se ha definido con criterios conservadores teniendo en cuenta los resultados obtenidos por medio de las tres estimas realizadas, las características climáticas propias de cada sector particular en el área y punto de medida analizado (longitud del fetch y persistencia e intensidad de los vientos), y la experiencia acumulada.

En aquellos casos en que las tres aproximaciones han dado valores similares, se ha tomado un valor de K_{α} sensiblemente coincidente con el valor medio de los coeficientes obtenidos por medio de cada uno de los procedimientos.

Cuando los valores de K_{α} obtenidos por medio de cada una de las aproximaciones realizadas han resultado muy diferentes, se ha tomado un valor del mismo en general superior al valor medio de las tres estimas, atendiendo a las características climáticas de cada sector (fundamentalmente la longitud del fetch).

Por tanto, puede considerarse el régimen extremal escalar, transferido a aguas profundas, como asociado a la dirección o direcciones más severas ($K_{\alpha} = 1$); obteniéndose la altura de ola asociada a un periodo de retorno correspondiente a otras direcciones multiplicando la altura de ola correspondiente a dicho periodo de retorno, proporcionada por el régimen extremal escalar transferido a aguas profundas, por el coeficiente direccional correspondiente. (Ver apartado 2.7.)

Aunque el procedimiento establecido en estas Recomendaciones para asignar direccionalidad a los distintos regímenes extremales escalares no es estrictamente ortodoxo, representa un primer intento, del lado de la seguridad, de definir regímenes extremales direccionales en aguas profundas suficientemente fiables a partir de la información instrumental disponible en la actualidad.

2.5.6. CORRELACIÓN ALTURA DE OLA / PERIODO PARA CONDICIONES DE TEMPORAL

Las correlaciones altura de ola/periodo incluidas en estas Recomendaciones son las siguientes, correspondientes a condiciones de temporal:

- Altura de Ola Significante (H_s)/Periodo Medio (\bar{T})
- Altura de Ola Significante (H_s)/Periodo de Pico (T_p)

Estas relaciones son necesarias para transferir a aguas profundas, mediante estudios de propagación, los regímenes de oleaje instrumentales incluidos en estas Recomendaciones. Asimismo son necesarias para el proyecto estructural y funcional de obras marítimas al tener influencia en el cálculo, no únicamente la altura de ola de diseño, sino también los periodos que pueden presentarse asociados a la misma.

Puesto que los periodos que más influyen son los que se presentan asociados a las mayores alturas de ola, las relaciones Altura de ola/Periodo se obtienen únicamente para condiciones de temporal.

Dichas relaciones se han establecido a partir del análisis bidimensional de datos instrumentales para cada uno de los puntos de medida, considerando exclusivamente los registros cuya altura de ola significativa (H_s) supera el umbral establecido como determinante de la presencia de temporal. Este umbral ($H_{s,T}$) ha sido fijado en la tabla 2.4.1. para cada punto de medida en base a sus características climáticas.

Los datos procedentes de las boyas de Rosas y Palamós en el área VIII se han introducido en una única muestra de partida con objeto de aumentar la representatividad estadística de la misma. Esto se considera correcto debido a la proximidad y situación de dichas boyas, y a que la información registrada en cada una de ellas se produce en periodos consecutivos.

Las relaciones finales que permiten estimar los periodos asociados a las alturas de ola de temporal han sido obtenidas en base a suponer la existencia de un valor o un intervalo de valores prevalente del peralte (H/L) en las tablas de encuentro Altura de ola/Periodo correspondientes a cada punto de medida analizado.

En general, y sean cual sean las características de la muestra de Estados del Mar analizada, las tablas de encuentro Altura/Periodo sugieren normalmente la existencia de un valor prevalente de H/L en cada zona, el cual puede ser asignado a las condiciones de proyecto extrapoladas a partir de dicha muestra. No obstante, no siempre existe un claro o único valor prevalente del peralte, siendo entonces necesario considerar un intervalo de valores como condición de proyecto. En cualquier caso todas las tablas de encuentro analizadas sugieren la existencia, para cada área y punto de medida analizado, de una limitación inferior y superior del peralte, y por tanto de una limitación de los periodos representativos que pueden estar asociados a cada altura de ola. (Ver figura 2.5.6.1.)

En base a lo anterior, este Anejo recomienda establecer los periodos de diseño (T_p) a partir de los intervalos límites de peralte ($p = H_s/L_T$) y de la relación T_p/\bar{T} que presentan los oleajes de temporal en cada punto de medida.

El peralte se define en términos de altura de ola significativa (H_s) y de longitud de onda en aguas profundas asociada al periodo medio (L_T) y formulada en base al modelo de onda lineal o de Airy. Es decir:

$$p = \frac{H_s}{L_T} = \frac{H_s}{g\bar{T}^2/2\pi} = \frac{2\pi H_s}{g\bar{T}^2}$$

El procedimiento utilizado para la definición de intervalos límites de peralte y de relaciones T_p/\bar{T} ha sido el siguiente:

— En aquellos puntos de medida donde la dispersión de los datos era elevada, obteniéndose en consecuencia una amplia gama de valores entre los peraltes límites inferior y superior, se trató de disminuir el grado de dispersión sin conseguirlo considerando únicamente los datos correspondientes a los picos de los temporales.

Esta situación se produce de forma acusada en las áreas I, II, III, y en la boya «Las Palmas I» del área X, donde el peso del oleaje tipo Swell (oleajes menos peraltados) no puede ser despreciado.

— Se admite una relación lineal para T_p/\bar{T}

— Debido a que la dispersión observada en la muestra de partida es generalmente elevada, el establecimiento de la relación T_p/\bar{T} se realiza a partir de cuatro muestras diferentes elaboradas todas ellas a partir de la muestra original con los siguientes criterios:

- Muestra de partida.
- Muestra de los picos de temporal.
- Muestra de partida modificada eliminando todos los registros cuya relación de periodos no verificaba la desigualdad $0.9 \leq T_p/\bar{T} \leq 1.4$, por considerarse que la relación T_p/\bar{T} se da generalmente en el intervalo definido por la citada desigualdad.
- Muestra de los picos de temporal modificada de igual forma.

Se efectúan ajustes por regresión lineal a las distintas muestras. La bondad del ajuste

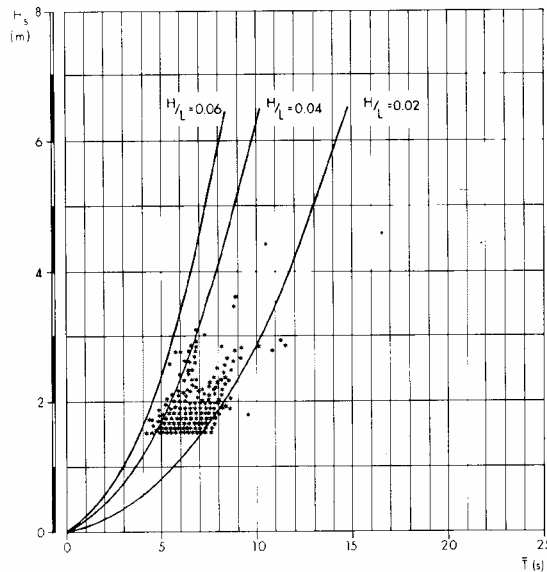


FIGURA 2.5.6.1. Tabla de encuentro $H_s - \bar{T}$ en condiciones de temporal. Limitación superior e inferior del peralte. Boya de Tenerife. 1981-1989

disminuye en todas ellas a medida que aumenta el porcentaje de Swell en el oleaje medido. Así, los ajustes realizados en las áreas IV, VI, VII, VIII, IX, y en la boya «Tenerife» del área X, presentan coeficientes de correlación elevados con valores de ordenada en el origen próximos a cero y pendientes de la recta muy similares para todas las muestras analizadas. La bondad del ajuste es menor en el área V, disminuyendo de forma más acusada en las áreas I, II, III, y en la boya «Las Palmas I» del área X.

— En todos los casos, la relación final T_p / \bar{T} fue establecida de forma gráfica considerando la recta de ajuste que, pasando por el origen de coordenadas y manteniendo el valor de la pendiente de la recta obtenida por regresión lineal, mejor ajustaba la muestra representada.

En cualquier caso, los valores de los peraltes límites y de la relación T_p / \bar{T} obtenidos en los puntos afectados por los mismos oleajes presentan una gran similitud, salvo la diferencia registrada entre las boyas de Gijón y Bilbao. Esta diferencia puede ser achacada, en ausencia de estudios más detallados, a la muy distinta profundidad existente en el lugar de emplazamiento de las mismas que, para los largos periodos que en estos puntos se registran, ejerce una gran influencia.

El límite inferior de peralte obtenido en algunas áreas (0.015) es significativamente menor que el valor mínimo usualmente admitido para oleaje de temporal (oleajes Sea): 0.03. Los puntos donde esto ocurre de forma más acusada son los que soportan mayor peso del oleaje Swell (áreas I, II, III, y «Las Palmas I» del área X). Además, en estos casos, la bondad del ajuste de periodos T_p / \bar{T} obtenido con la regresión lineal considerada no es muy elevada.

Para todas las muestras analizadas, y particularmente en las correspondientes a estas últimas áreas, deben realizarse en el futuro análisis más detallados tratando de separar tipológicamente (Sea y Swell) las distintas poblaciones. Recomendaciones similares aparecen reflejadas en trabajos de investigadores (Goda, Petruaskas, Muir,...), siendo un tema de investigación pendiente.

Tómense, por tanto, las correlaciones altura de ola/periodos recogidas en estas Recomendaciones como una primera aproximación.

Debido a la gran dispersión que presentan los resultados, en estos momentos es necesaria la comprobación de varios periodos asociados a una misma altura de ola, dentro del intervalo de los obtenidos para la misma. No obstante, para establecer los periodos de diseño asociados a alturas de ola correspondientes a periodos de retorno altos en zonas donde el peso del oleaje Swell es importante, debe tenerse en cuenta que los periodos correspondientes al límite inferior del peralte

(periodos más elevados) pueden encontrarse sobreestimados por las razones ya expuestas. En cualquier caso, no se considerarán periodos de diseño (T_p) superiores a 22s.

2.5.7. ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BÁSICA PARA CONDICIONES DE TEMPORAL

Con objeto de determinar las características espectrales escalares de los temporales en el litoral español, se ha realizado un análisis estadístico espectral; es decir, un análisis estadístico de los parámetros de los espectros teóricos ajustados a una muestra de espectros reales registrados correspondientes a pico de temporal.

El conjunto de los parámetros del espectro teórico que ajusta un espectro escalar real forma una muestra estadística constituida por los valores correspondientes a cada espectro. A partir de esta muestra se realiza la estadística unidimensional de cada parámetro, calculándose el histograma de la función de densidad y los parámetros estadísticos asociados (media, desviación típica,...).

Como en general los espectros reales registrados se ajustan a espectros teóricos JONSWAP para aplicaciones ingenieriles, cada muestra estadística está constituida por el conjunto de parámetros de dicho espectro que ajustan a cada espectro real. (Ver figura 2.5.7.1.)

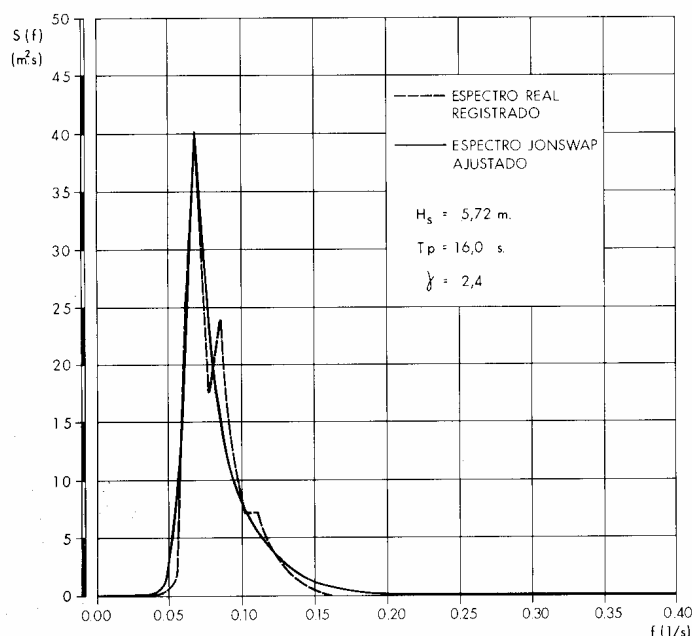


FIGURA 2.5.7.1. Espectro real registrado ajustado a un espectro JONSWAP. Boya de Cabo Silleiro.

El espectro JONSWAP (J) es un modelo espectral multiparamétrico, cuya expresión analítica depende de los siguientes cinco parámetros: α , f_p , γ , σ_a , y σ_b .

Su formulación matemática detallada es la siguiente:

$$S(f) = Af^{-5} \cdot e^{-Bf^{-4}} \cdot \gamma^a = \left[\frac{\alpha \cdot g^2}{(2\pi)^4} \right] \cdot f^{-5} \cdot \left[e^{-\left[\frac{5}{4} \cdot f_p^4\right] \cdot f^{-4}} \right] \cdot \gamma^a$$

siendo:

$S(f)$: Función de densidad espectral, en $m^2 \cdot s$.

f : Frecuencia como variable independiente de la función, en Hz o 1/s.

- g : Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).
- α : Factor de escala. Se corresponde con el parámetro de Phillips (adimensional). Regula el valor del área encerrada por la función espectral (m_0), y por tanto la energía media (\bar{E}) y la altura de ola significativa espectral ($H_{m0} \approx H_s$). Además, este factor permite aproximar, de forma simple, la función espectral para altas frecuencias, al ser ésta en este campo de frecuencias proporcional a f^{-5}
- $$S(f) \approx \left[\alpha \cdot g^2 / (2\pi)^4 \right] \cdot f^{-5}$$
- f_p : Frecuencia de pico, en Hz. Es la frecuencia correspondiente al máximo del espectro.
- γ : Factor de apuntamiento o de ajuste del pico del espectro. (adimensional). Es un parámetro de forma que controla la agudeza del pico del espectro. Generalmente toma valores entre 1 y 10.
- a : Factor adimensional igual a:

$$a = e^{-\left[\frac{(f - f_p)^2}{2\sigma^2 \cdot f_p^2} \right]}$$

siendo σ un parámetro adimensional de forma, que ajusta la pendiente de la función espectral a ambos lados del pico.

Este factor se diferencia a la izquierda y a la derecha del pico espectral, denominándose:

σ_a para $f \leq f_p$

σ_b para $f > f_p$

Por tanto la muestra estadística queda constituida por el conjunto de cinco parámetros del espectro J: α , f_p , γ , σ_a , y σ_b . No obstante, es habitual en los casos en que se considera dicho espectro como modelo analítico, que para σ_a y σ_b se tomen los siguientes valores medios, dada la poca variabilidad de los mismos:

$$\sigma_a = 0.07 \quad \sigma_b = 0.09$$

por lo que la estadística de los parámetros f_p y γ es la que fundamentalmente define la estructura espectral escalar básica de una muestra de registros de oleaje, al ser α únicamente un factor multiplicador, o de escala, función de la altura de ola significativa.

En base a lo anterior, se considera como estructura espectral escalar básica del oleaje, en un determinado punto de medida, la correspondiente al espectro J definido, con parámetros f_p y γ coincidentes con los valores medios de la muestra analizada (\bar{f}_p y $\bar{\gamma}$).

La estructura espectral básica se define, para cada punto de medida considerado, a partir de una muestra formada por los espectros reales suavizados correspondientes al pico de los mayores temporales registrados en dicho punto. Siempre que ha sido posible, se han considerado muestras correspondientes a un número aproximado de veinte temporales.

Los datos procedentes de las boyas de Rosas y Palamos en el área VIII se han introducido en una única muestra, con objeto de aumentar la representatividad estadística de la misma. Esto se considera correcto debido a la proximidad y situación de dichas boyas, y a que la información registrada en cada una de ellas se produce en periodos consecutivos.

Los espectros reales suavizados de partida son los que suministra la REMRO, para cada punto de medida analizado.

El procedimiento utilizado para el ajuste de los espectros reales registrados al espectro JONSWAP ha sido el siguiente método iterativo:

- Se trunca el espectro real registrado por una frecuencia inferior y otra superior de forma que la energía eliminada en las colas del espectro tenga muy poca importancia.
- Sobre el pico del espectro real registrado se determina f_p , asignándose al espectro J.
- Se toman los siguientes valores constantes de σ :
 - $\sigma_a = 0.07$ para $f \leq f_p$
 - $\sigma_b = 0.09$ para $f > f_p$
- Para la primera aproximación se fija un valor inicial de γ .
- Se asigna a α un valor tal que ambos espectros, real y J, tengan la misma energía (m_0) entre los límites frecuenciales establecidos.
- Se efectúan las iteraciones necesarias modificando el valor de γ hasta que la densidad espectral en el pico sea prácticamente coincidente en el espectro teórico y en el medido.

Puesto que el espectro teórico seleccionado es básicamente representativo de oleajes Sea en desarrollo, la calidad del ajuste disminuye en las áreas afectadas de un peso importante de oleaje Swell (áreas I, II, III y en la boya «Las Palmas I» del área X). Aumentar la calidad de la estima requeriría separar las distintas poblaciones.

La bondad de la zonificación establecida para la definición del Clima Marítimo en el litoral español se confirma al observarse que los valores de $\bar{\gamma}$ y de \bar{f}_p obtenidos en los puntos de medida afectados por los mismos oleajes presentan una gran similitud, salvo la diferencia registrada en las boyas de Gijón y Bilbao situadas en el área I. Esta diferencia puede ser achacada a la muy diferente profundidad existente en el lugar de emplazamiento de dichas boyas.

Para cada punto de medida, se representa gráficamente el espectro teórico JONSWAP que ajusta al espectro real registrado perteneciente a la muestra analizada, con valor de γ más próximo a $\bar{\gamma}$. Las ordenadas se corresponden con el valor de la densidad espectral en $m^2 \cdot s$, y las abcisas con la frecuencia en s^{-1} .

Con objeto de completar el conocimiento de la estructura espectral escalar del oleaje en un punto dado, para condiciones de temporal, se incluye también una tabla con los siguientes parámetros

estadísticos y representativos de la muestra analizada: γ , γ_{max} , γ_{min} , σ_γ , \bar{f}_p (en s^{-1}), $f_{p, max}$ (en s^{-1}), $f_{p, min}$ (en s^{-1}), σ_{fp} (en s^{-1}), así como el número de temporales considerados en el análisis estadístico (n).

Esta tabla, aparte de incluir los parámetros que definen la estructura espectral escalar básica del oleaje en el punto de medida ($\bar{\gamma}$, \bar{f}_p), permite analizar el grado de variabilidad de los parámetros analizados en la muestra, y por tanto en el punto de medida considerado.

A pesar de que el espectro teórico seleccionado para el ajuste es válido sólo para oleajes Sea en desarrollo, pero no resulta ser tan válido para oleajes tipo Swell o situaciones con Sea y Swell simultáneos, y a pesar de la simplicidad del método de ajuste utilizado y de admitir como suavizado previo del espectro bruto registrado el que efectúa la REMRO, los resultados obtenidos pueden considerarse válidos como primera aproximación a la estructura espectral escalar del oleaje en el litoral español.

2.6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

2.6.1. ATLAS DE CLIMA MARÍTIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL

Las relaciones de caracterización del oleaje que definen el Clima Marítimo en el Litoral Español, obtenidas en base al análisis estadístico de la información disponible, se presentan gráficamente con formato de Atlas de Clima Marítimo.

Dicho Atlas se estructura de forma que cada página reúna ordenadamente todos los resultados obtenidos correspondientes a una de las áreas establecidas, así como la localización y características técnicas de la información analizada en dicha área.

La disposición de los resultados es la siguiente:

- Cabecera: Características y localización de la información analizada.
- Cuadro A: Observaciones Visuales.-Rosas de Oleaje.
- Cuadro B: Observaciones Visuales.-Regímenes Medios Direccionales. Frecuencias Sectoriales.
- Cuadro C: Registros Instrumentales.-Regímenes Medios Escalares.
- Cuadro D: Registros Instrumentales.-Regímenes Extremales Escalares. Relación Altura/Dirección.
- Cuadro E: Registros Instrumentales.-Correlaciones Altura de ola/Periodo para condiciones de temporal.
- Cuadro F: Registros Instrumentales.-Estructura Espectral Escalar Básica para condiciones de temporal.

Esta presentación tiene por objeto permitir comparar y contrastar los distintos resultados obtenidos, facilitar la utilización práctica de los mismos para la determinación de oleajes de diseño, así como dar una visión global del Clima Marítimo en cada una de las áreas establecidas en el litoral español a estos efectos.

Asimismo, esta disposición facilita la toma de decisiones respecto a qué resultados tienen validez para zonas del área no situadas inmediatamente en las proximidades de los puntos de medición.

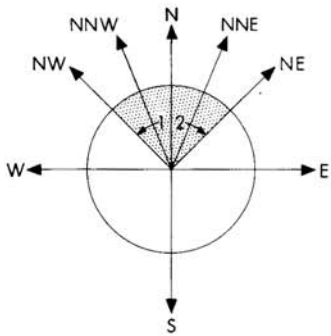
El Atlas de Clima Marítimo constituye la tabla 2.6.1.1. de este Anejo.

2.6.2. LEYENDA

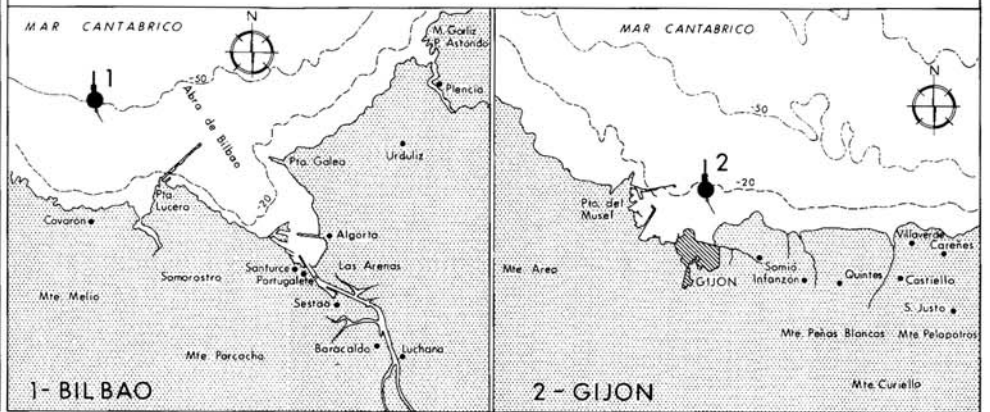
Las notaciones, abreviaturas, y símbolos convencionales utilizados en el Atlas de Clima Marítimo se detallan en la tabla 2.6.2.1.

TABLA 2.6.2.1. NOTACIONES, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS CONVENCIONALES UTILIZADOS EN EL ATLAS DEL CLIMA MARÍTIMO	
SÍMBOLO	DEFINICIÓN
H_s	Altura de ola significativa.
H_v	Altura de ola visual.
K_α	Coefficiente de direccionalidad para la estimación de regímenes extremos direccionales a partir del régimen extremal escalar correspondiente.
L_T	Longitud de onda asociada al período medio (Onda de Airy en aguas profundas)
P_{SECTOR}	Probabilidad de presentación de un sector direccional.
$S(f)$	Densidad espectral.
T_p	Período de pico del oleaje.
\bar{T}	Período medio del oleaje.
f	Frecuencia.
$f_{p,max}$	Valor máximo de la frecuencia de pico en la muestra de temporales considerada.
$f_{p,min}$	Valor mínimo de la frecuencia de pico en la muestra de temporales considerada.
\bar{f}_p	Valor medio de las frecuencias de pico correspondientes a los temporales considerados.
g	Aceleración de la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$).
n	Tamaño de la muestra de temporales considerada en el análisis estadístico espectral.
p	Peralte (cociente entre la altura de ola y la longitud de onda).
γ	Factor de apuntamiento de un espectro teórico JONSWAP.
γ_{max}	Valor máximo del factor de apuntamiento en la muestra de temporales considerada.
γ_{min}	Valor mínimo del factor de apuntamiento en la muestra de temporales considerada.
$\bar{\gamma}$	Valor medio de los factores de apuntamiento asociados a los temporales considerados.
σ_{fp}	Desviación típica de la muestra formada por las frecuencias de pico correspondientes a los temporales considerados.
σ_γ	Desviación típica de la muestra formada por los factores de apuntamiento asociados a los temporales considerados.

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

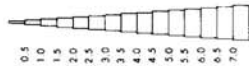


LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

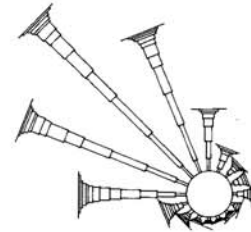
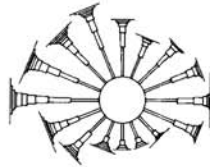
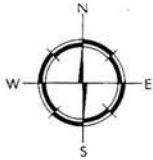
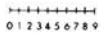


A - OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLAJE

ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



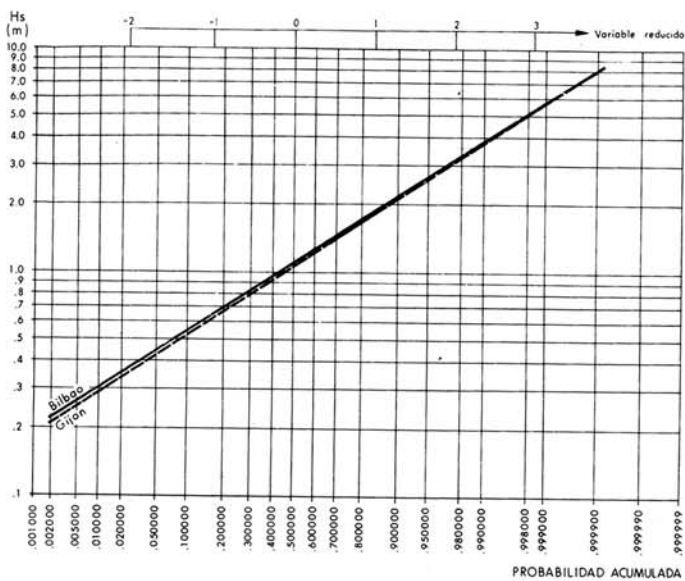
FRECUENCIA (%)



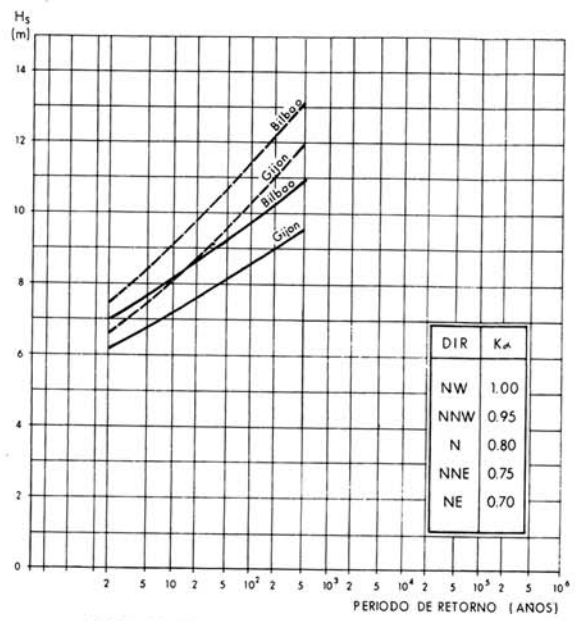
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	18 694
Nº TOTAL DE CALMAS	2 951
Nº TOTAL DE CONFUSAS	1 050

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	15 962
Nº TOTAL DE CALMAS	1 132
Nº TOTAL DE CONFUSAS	451

C - REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D - REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF. (m)	PERIODO MEDIDA
1-BILBAO (Ext)	43° 24' 00" N 3° 8' 36" W	50	1985/1990
2-GIJON	43° 34' 00" N 5° 39' 00" W	23	1981/1990

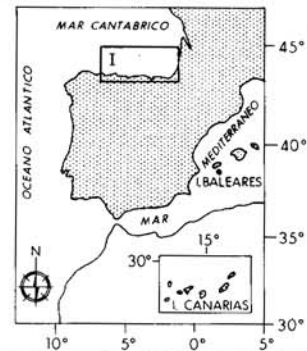
OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :
43° N - 45° N
1,5° W - 7° W

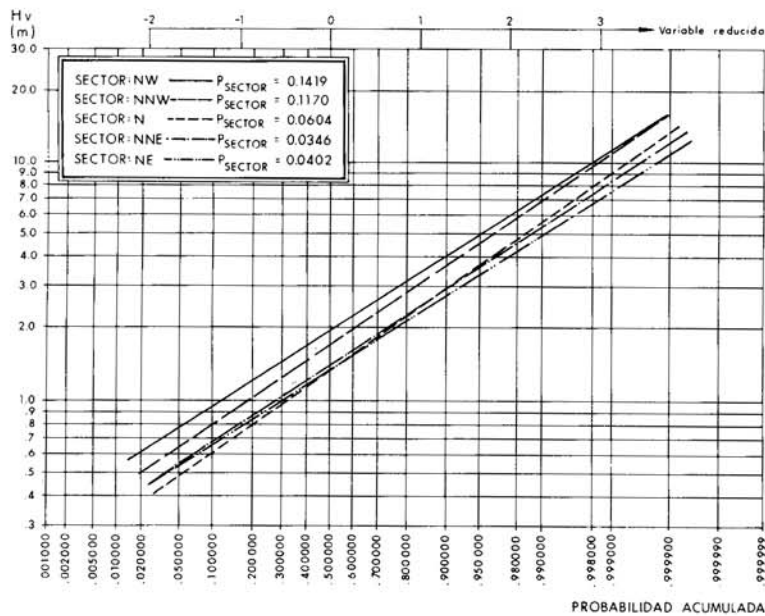
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

AREA - I

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B-OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

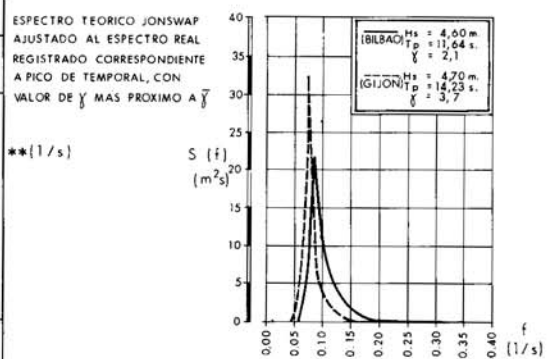


E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L \bar{f} = \frac{2\pi H_s}{g T^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL H_s (m) T_p (s)	VALORES DE DISEÑO	
				H_s (m)	T_p *
BILBAO (Ext)	0.015 ~ 0.04	≈ 1.30	$T_p = (5-8.5)\sqrt{H_s}$	5	11~19
				7	13~22
				9	15~25
				11	16,5~28
GIJON	0.010 ~ 0.05	≈ 1.22	$T_p = (4-9.7)\sqrt{H_s}$	5	9~21,5
				7	10,5~25,5
				9	12~29
				11	13~30

* EN NINGUN CASO SE CONSIDERARAN PERIODOS DE PROYECTO SUPERIORES A 22 SEGUNDOS.

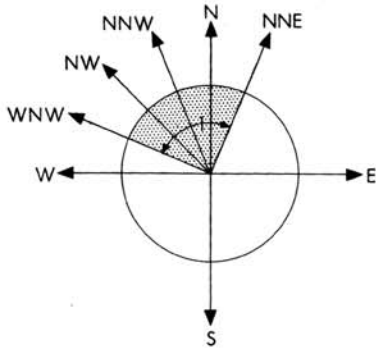
F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 3.00$ m)



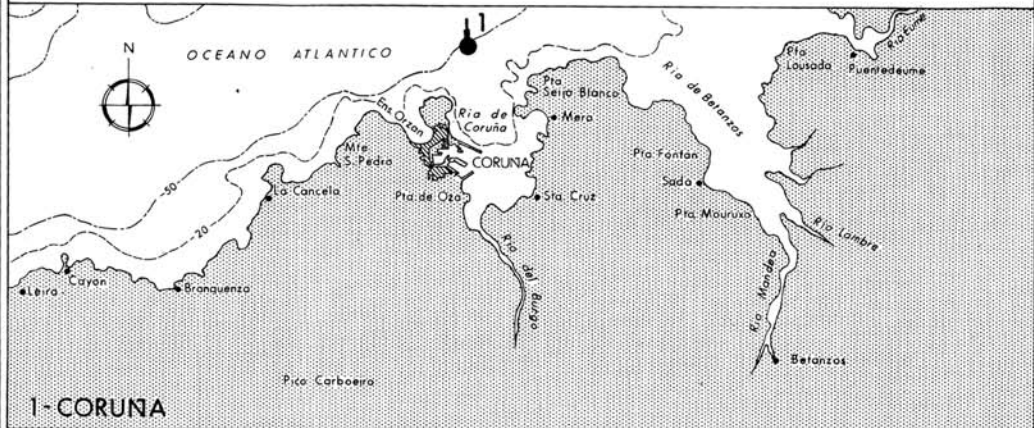
**{1/s}

BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP							n	
	$\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_{γ}	F_p^{**}	$f_{p,max}^{**}$	$f_{p,min}^{**}$		$\sigma_{f_p}^{**}$
BILBAO	1.9	5.4	0.9	0.97	0.07	0.11	0.05	0.012	18
GIJON	3.9	8.4	1.5	1.97	0.07	0.10	0.06	0.011	20

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

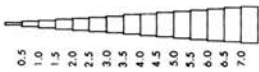


LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

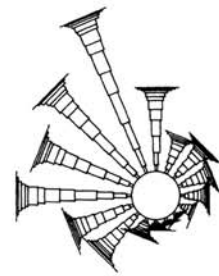
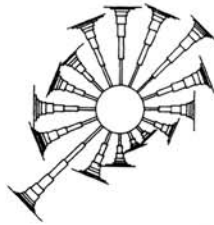
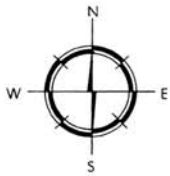


A-OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLAJE

ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



FRECUENCIA (%)



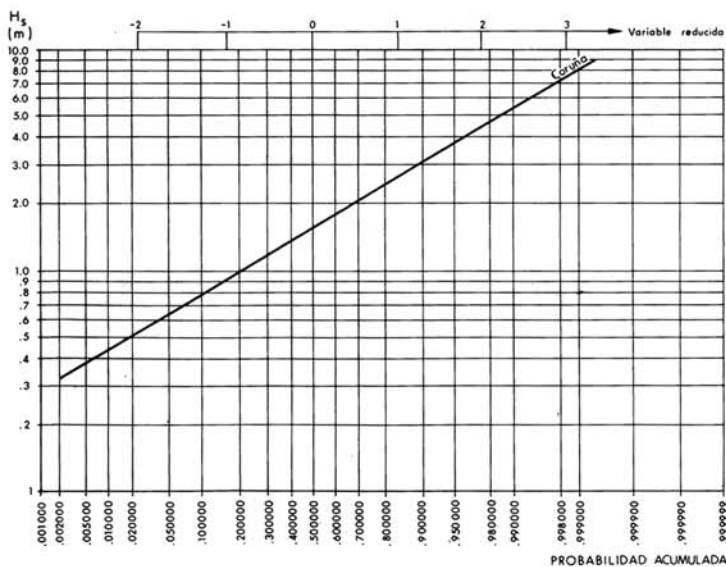
OLEAJE TIPO SEA

Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	123.593
Nº TOTAL DE CALMAS	9.071
Nº TOTAL DE CONFUSAS	14.839

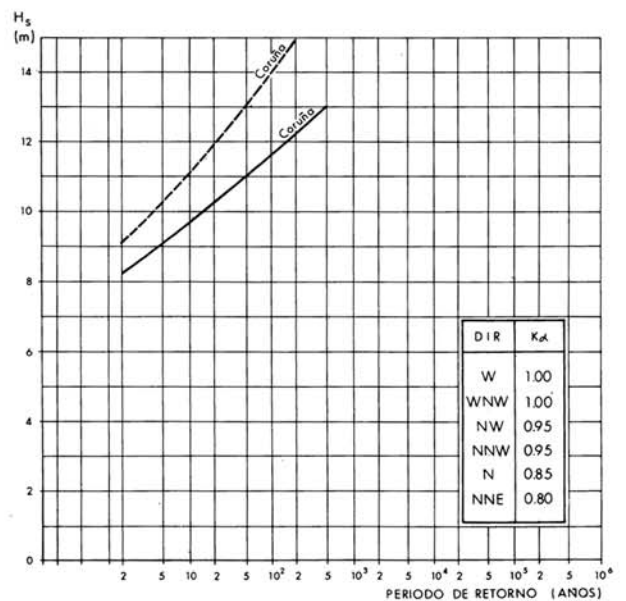
OLEAJE TIPO SWELL

Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	100.333
Nº TOTAL DE CALMAS	5.553
Nº TOTAL DE CONFUSAS	5.566

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



DIR	K_d
W	1.00
WNW	1.00
NW	0.95
NNW	0.95
N	0.85
NNE	0.80

----- BANDA DE CONFIANZA DEL 90 %

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1- CORUNA	43° 24' 45" N 8° 23' 00" W	50	1985/ 1990

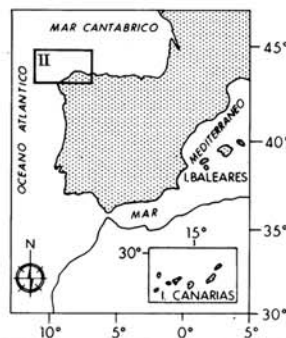
OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :
43,2° N - 45° N
7° W - 11° W

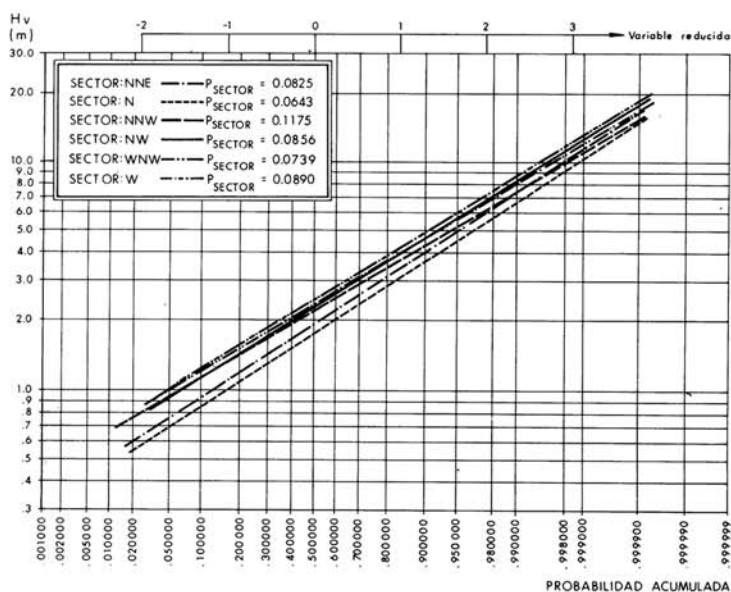
PERIODO DE MEDIDA : 1950 - 1985

AREA - II

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B-OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

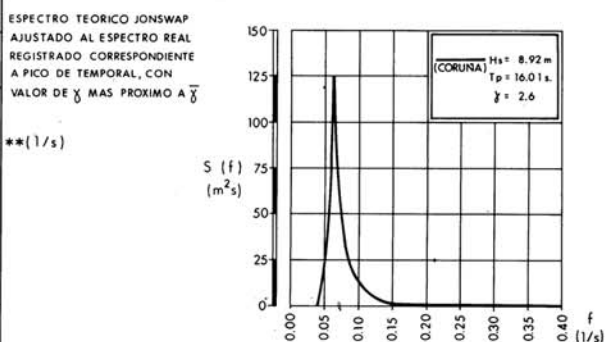


E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = \frac{H_s}{L\bar{T}} = \frac{2\pi H_s}{g\bar{T}^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $\frac{H_s (m)}{T_p (s)}$	VALORES DE DISEÑO	
				H_s (m)	T_p *
CORUNA	0.015 ~ 0.06	≈ 1.25	$T_p = (4 \sim 8.2)\sqrt{H_s}$	7	10.5-21.5
				9	12 ~ 24.5
				11	13 ~ 27
				13	14.5-29.5

* EN NINGUN CASO SE CONSIDERARAN PERIODOS DE PROYECTO SUPERIORES A 22 SEGUNDOS.

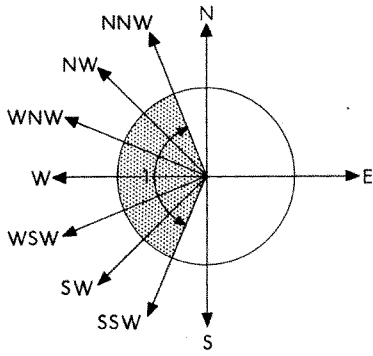
F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 3.00$ m)



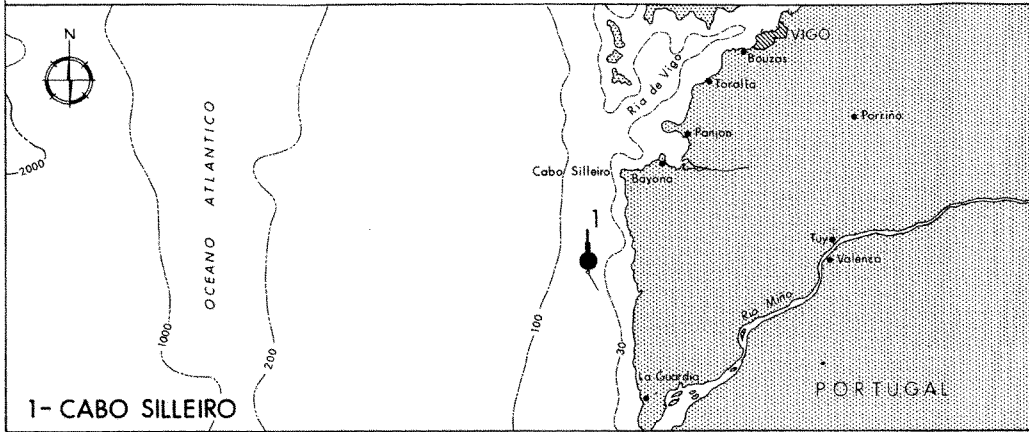
ESPECTRO TEORICO JONSWAP

BOYA	$\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_{γ}	f_p^{**}	$f_{p,max}^{**}$	$f_{p,min}^{**}$	$\sigma_{f_p}^{**}$	n
CORUNA	2.6	6.5	1.3	1.27	0.07	0.12	0.05	0.016	14

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

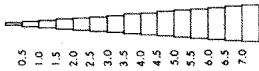


LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

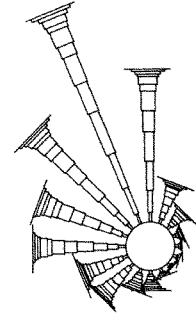
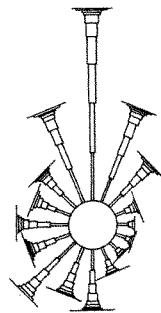
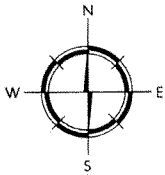
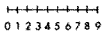


A-OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLAJE

ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



FRECUENCIA (%)



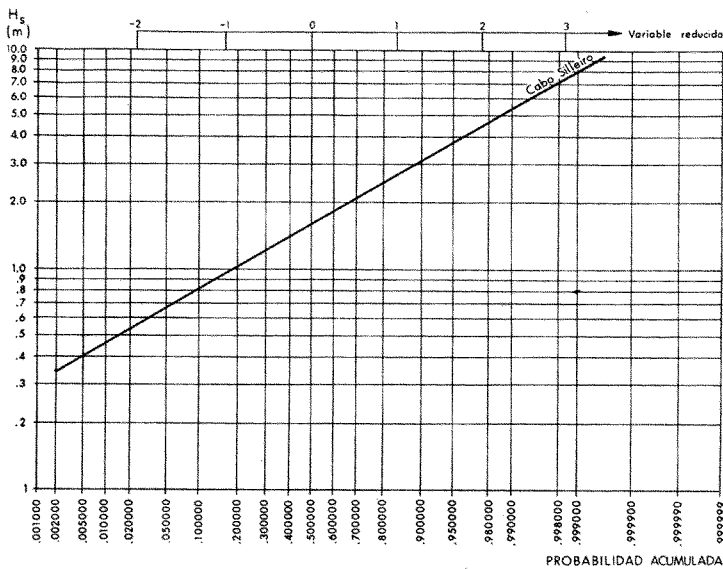
OLEAJE TIPO SEA

Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	77 868
Nº TOTAL DE CALMAS	7 318
Nº TOTAL DE CONFUSAS	9 479

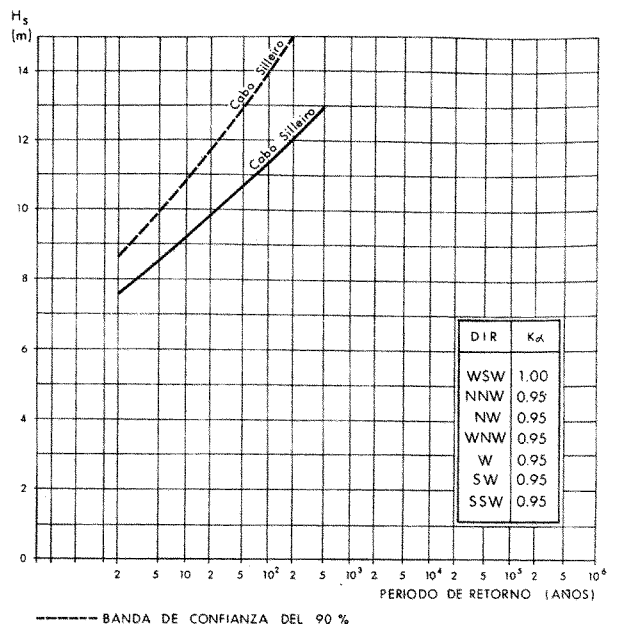
OLEAJE TIPO SWELL

Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	65 955
Nº TOTAL DE CALMAS	3 747
Nº TOTAL DE CONFUSAS	3 167

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF (m.)	PERIODO MEDIDA
1- CABO SILLEIRO	42° 1' 48" N 8° 56' 30" W	75	1986 / 1990

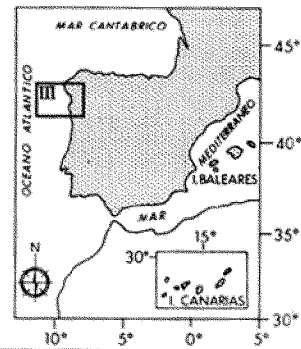
OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :
41,5° N - 43,2° N
8,0° W - 11,0° W

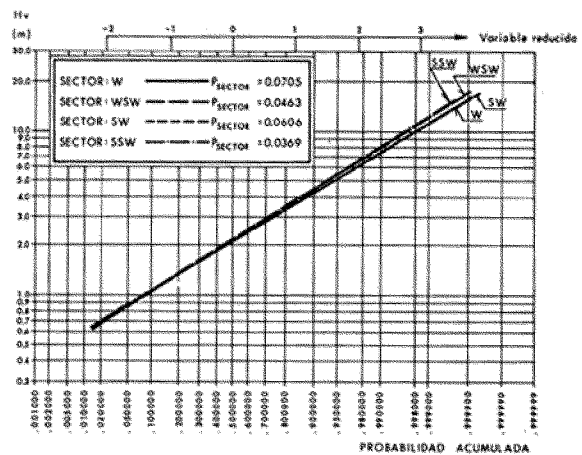
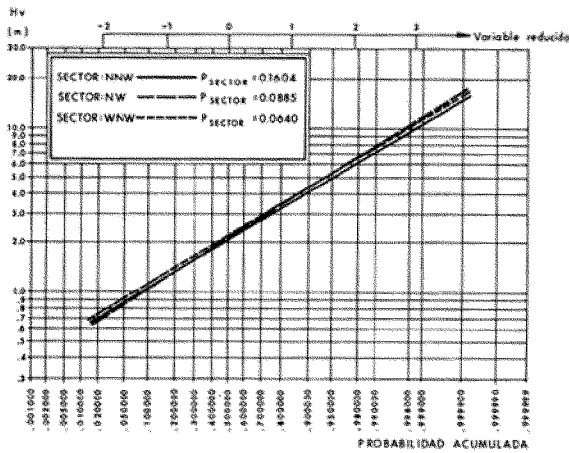
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

AREA - III

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B-OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

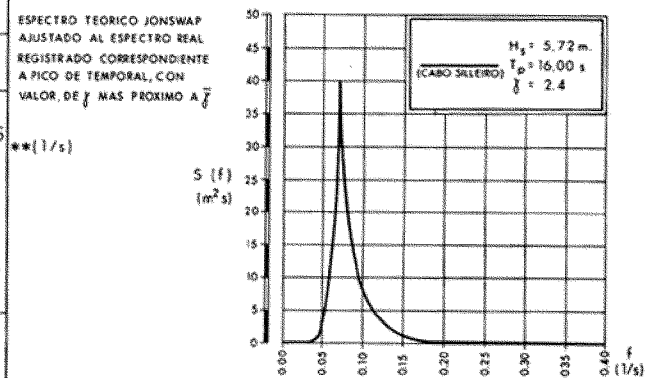


E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L_T = \frac{2\sqrt{H_s}}{gT^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $H_s (m)$ $T_p (s)$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s (m)$	$T_p (s)$
CABO SILLEIRO	0.015 ~ 0.06	≈ 1.25	$T_p = (4-8.2)\sqrt{H_s}$	7	10.5-21.5
				9	12-24.5
				11	13-27
				13	14.5-29.5

* EN NINGUN CASO SE CONSIDERARAN PERIODOS DE PROYECTO SUPERIORES A 22 SEGUNDOS.

F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 3.00 m$)

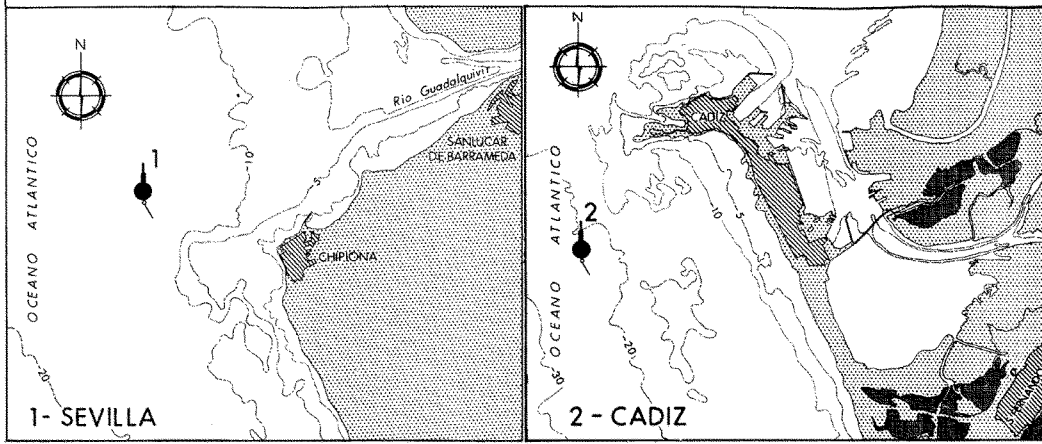
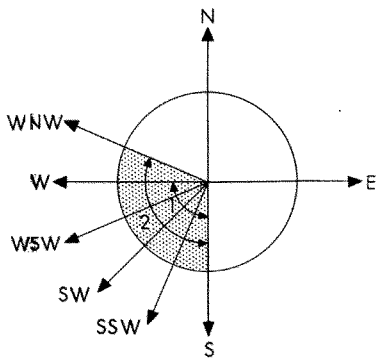


ESPECTRO TEORICO JONSWAP

BOYA	\bar{f}	f_{max}	f_{min}	σ_f	T_p^{**}	f_{amax}	f_{amin}	σ_{fp}^{**}	n
CABO SILLEIRO	2.4	4.0	1.3	0.69	0.07	0.09	0.05	0.008	20

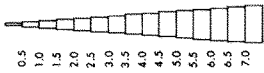
DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

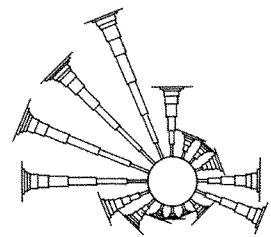
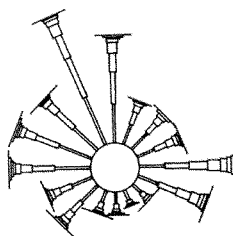
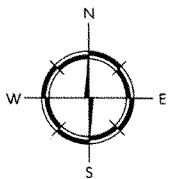
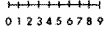


A-OBSERVACIONES VISUALES : ROSAS DE OLAJE

ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



FRECUENCIA (%)

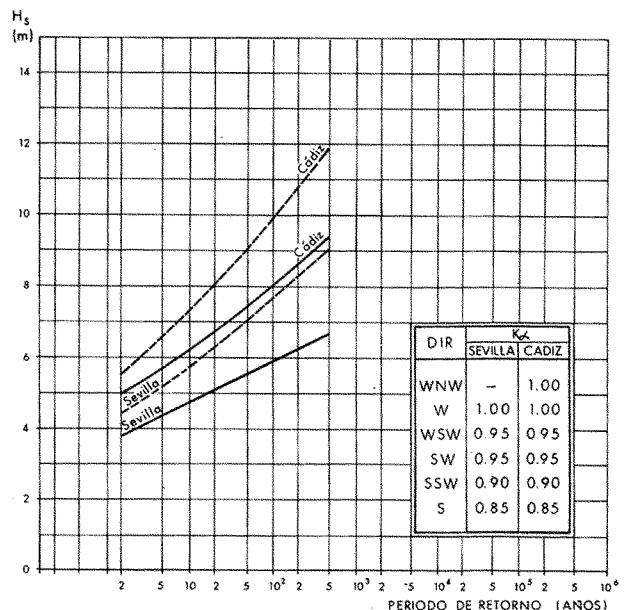
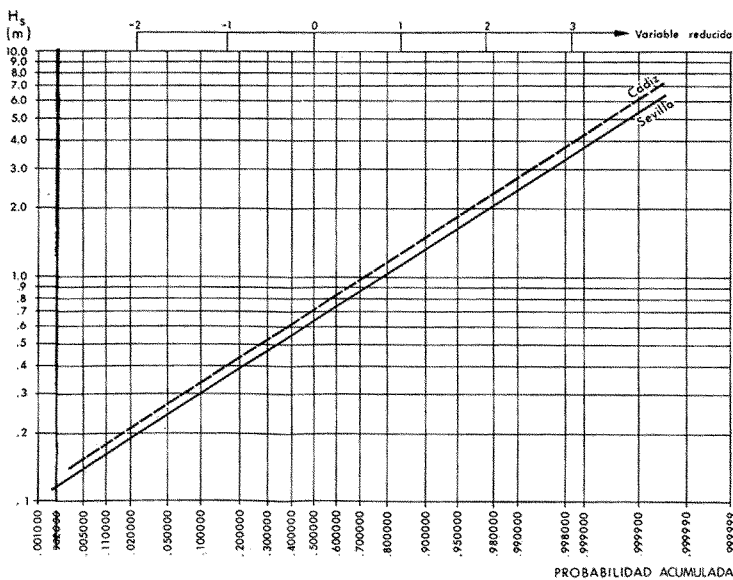


OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	84 515
Nº TOTAL DE CALMAS	5 884
Nº TOTAL DE CONFUSAS	8 684

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	51 294
Nº TOTAL DE CALMAS	5 262
Nº TOTAL DE CONFUSAS	2 412

C- REGISTROS INSTRUMENTALES : REGIMENES MEDIOS ESCALARES

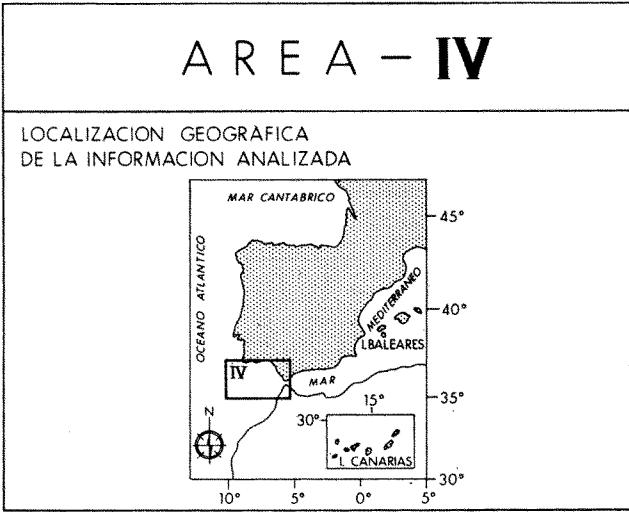
D- REGISTROS INSTRUMENTALES : REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



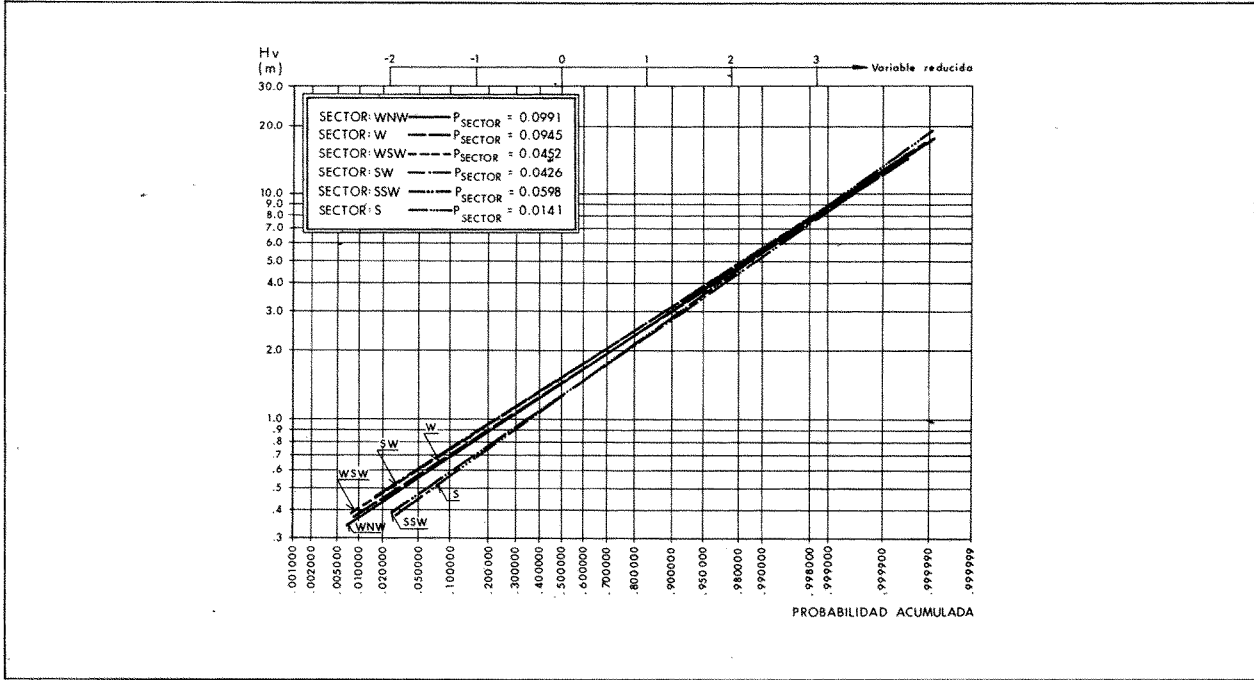
DIR	K_d	
	SEVILLA	CADIZ
WNW	-	1.00
W	1.00	1.00
WSW	0.95	0.95
SW	0.95	0.95
SSW	0.90	0.90
S	0.85	0.85

BANDA DE CONFIANZA DEL 90 %

INFORMACION ANALIZADA			
REGISTROS INSTRUMENTALES			
BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1- SEVILLA	36°44' 15"N 6°29' 6"W	12	1983/1988
2- CADIZ	36°30' 20"N 6°20' 20"W	22	1982/1990
OBSERVACIONES VISUALES			
CUADRICULA : 35° N - 37.1°N 5.6° W - 10° W			
PERIODO DE MEDIDA : 1950 - 1985			



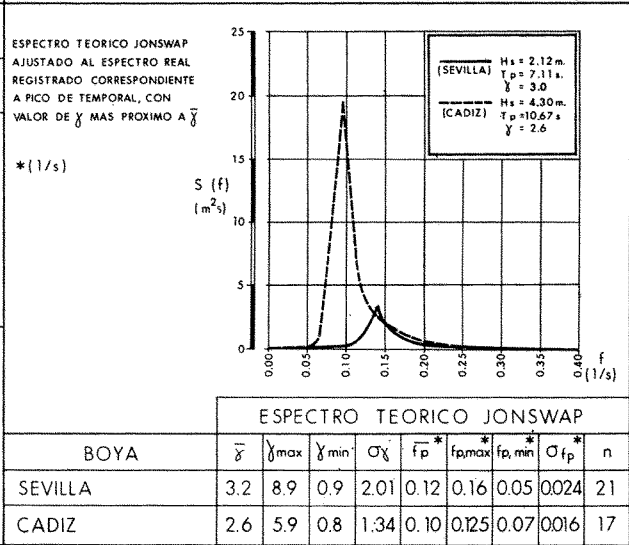
B-OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



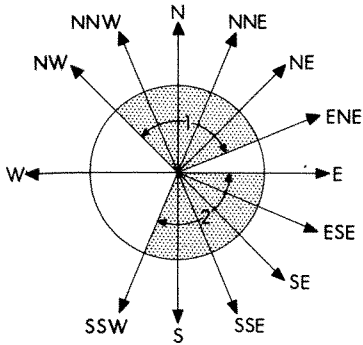
E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L\bar{T} = \frac{2.17 H_s}{g\bar{T}^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $H_s (m)$ $T_p (s)$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s (m)$	$T_p (s)$
SEVILLA	0.02 ~ 0.06	≈ 1.25	$T_p = (4-7)\sqrt{H_s}$	3	7 ~ 12
				5	8.5-15.5
				7	10.5-18.5
				9	12 ~ 21
CADIZ	0.02 ~ 0.06	≈ 1.25	$T_p = (4-7)\sqrt{H_s}$	4	8 ~ 14
				6	9.5-17
				8	11 ~ 19.5
				10	12.5-22

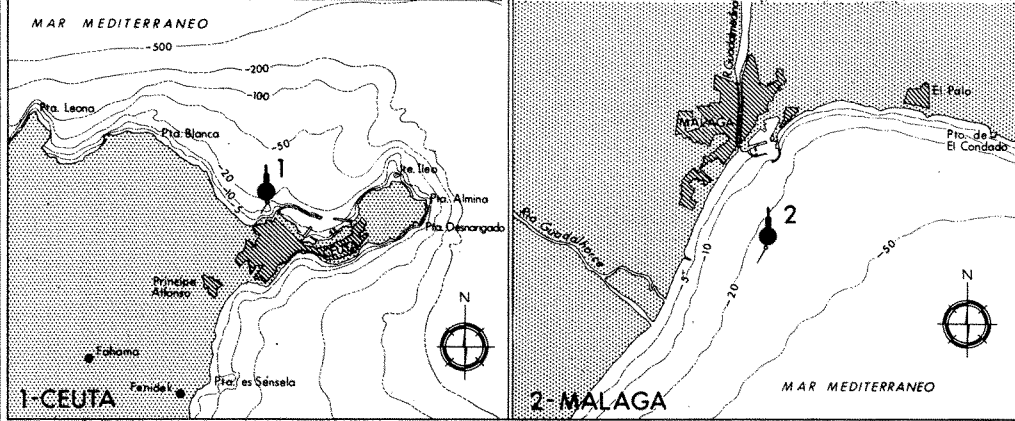
F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 1.50 m$)



DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

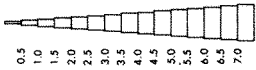


LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

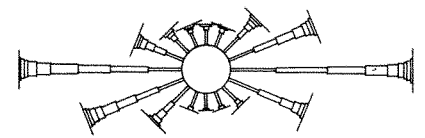
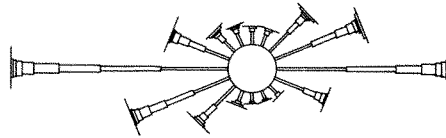
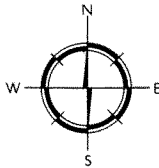
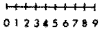


A-OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLAJE

ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



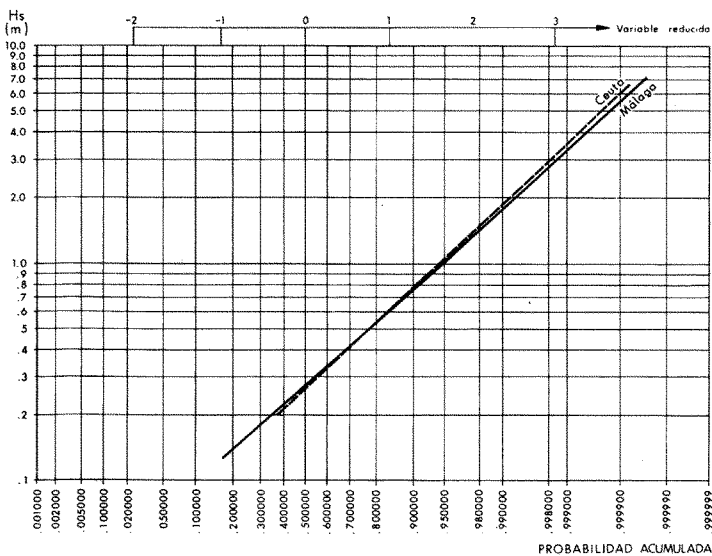
FRECUENCIA (%)



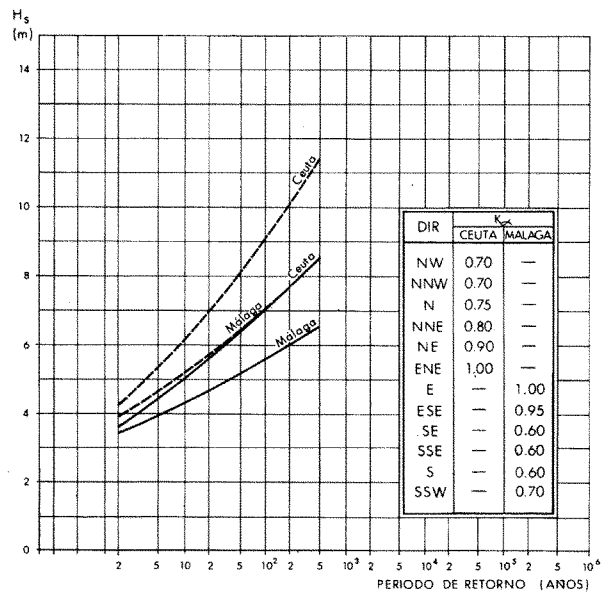
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	91 522
Nº TOTAL DE CALMAS	6 266
Nº TOTAL DE CONFUSAS	8 753

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	41 977
Nº TOTAL DE CALMAS	11 247
Nº TOTAL DE CONFUSAS	2 858

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1-CEUTA	35°54' 10"N 5°19' 30"W	21	1984/1990
2-MALAGA	36°41'30"N 4°25' 0"W	25	1985/1990

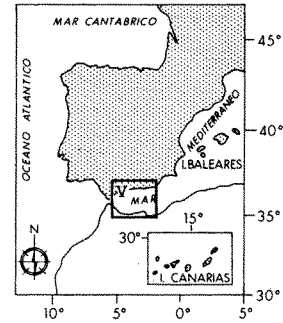
OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :
35° N - 37° N
2° W - 5.6°W

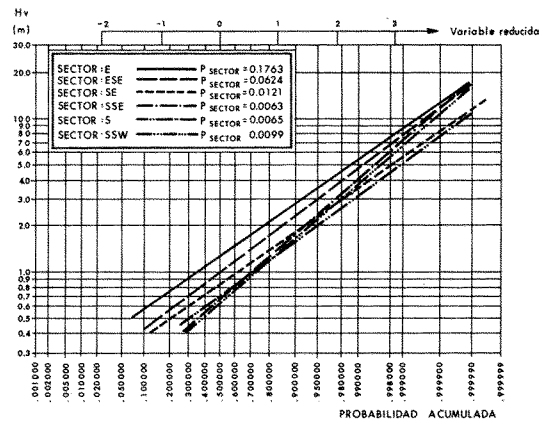
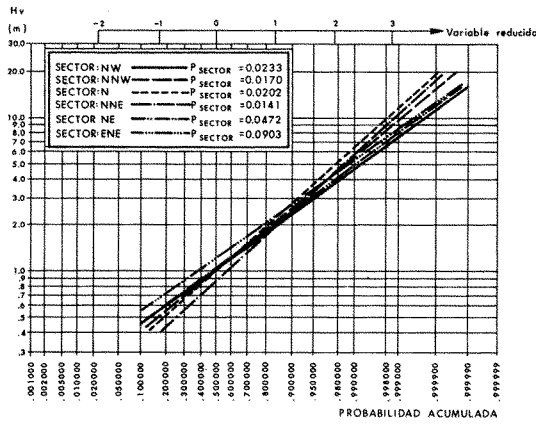
PERIODO DE MEDIDA : 1950 - 1985

AREA - V

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



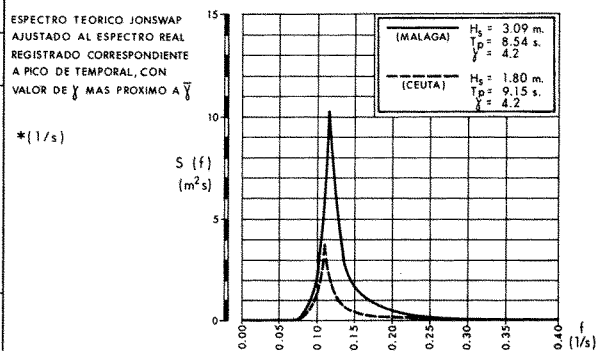
B - OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

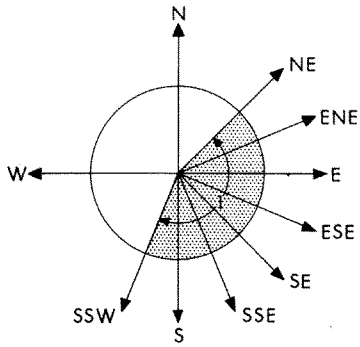
BOYA	$P = H_s / L_T = \frac{2\pi H_s}{g T_p^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $H_s (m)$ $T_p (s)$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s (m)$	$T_p (s)$
CEUTA	0.02 ~ 0.035	≈ 1.20	$T_p = (5.1-6.8)\sqrt{H_s}$	3	8.5-12
				5	11.5-15
				7	13.5-18
				9	15-20
MALAGA	0.025 ~ 0.04	≈ 1.20	$T_p = (4.8-6.1)\sqrt{H_s}$	3	8.5-10.5
				5	10.5-13.5
				7	12.5-16

F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 1.00 m$)

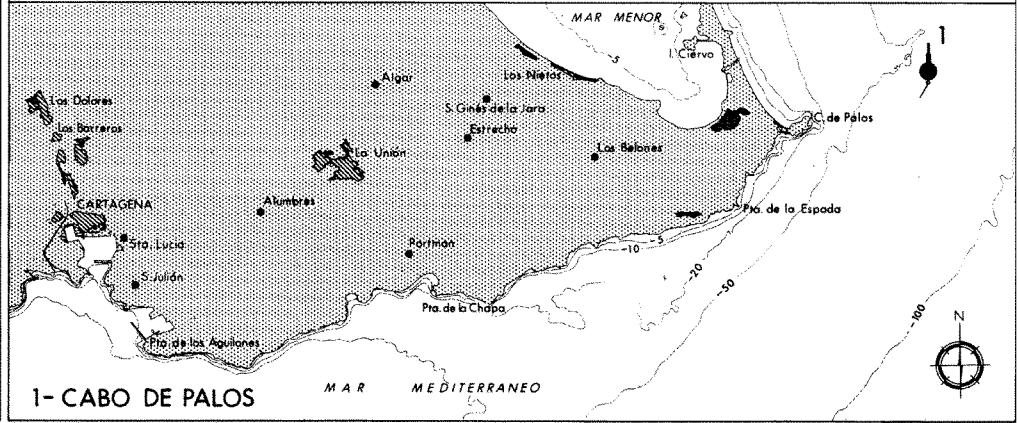


ESPECTRO TEORICO JONSWAP									
BOYA	$\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_{γ}	\bar{f}_p	$f_{p,max}$	$f_{p,min}$	σ_{f_p}	n
CEUTA	5.0	14.4	3.2	1.69	0.11	0.13	0.08	0.014	18
MALAGA	3.6	10.3	1.2	2.18	0.13	0.16	0.12	0.015	14

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

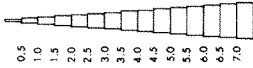


LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

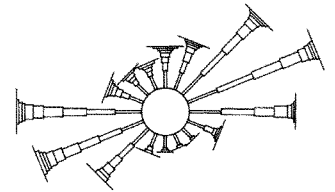
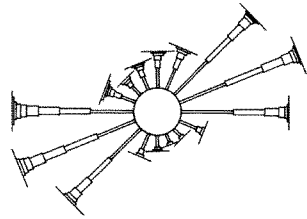
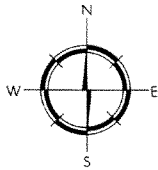
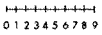


A-OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLAJE

ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



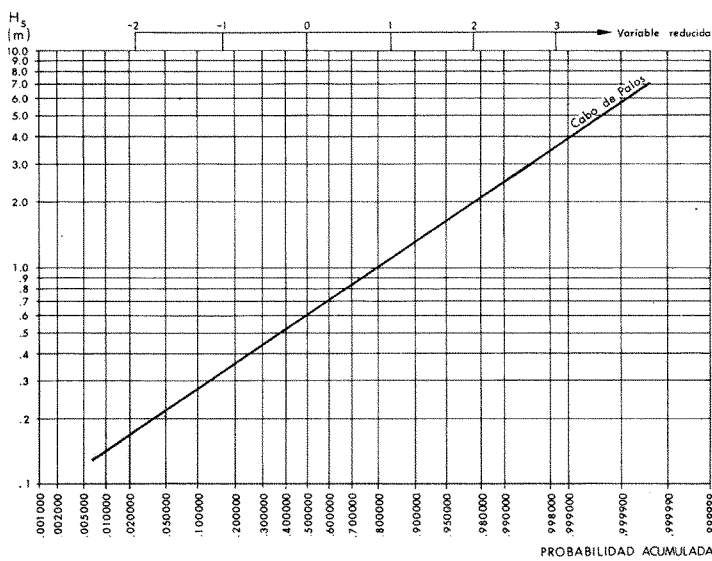
FRECUENCIA (%)



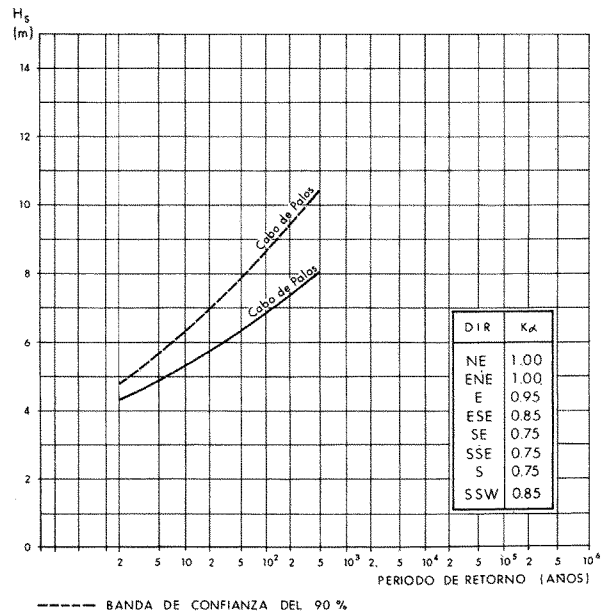
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	116 135
Nº TOTAL DE CALMAS	7 354
Nº TOTAL DE CONFUSAS	9 937

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	57 591
Nº TOTAL DE CALMAS	12 281
Nº TOTAL DE CONFUSAS	3 567

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1- CABO DE PALOS	37° 39' 15" N 0° 38' 18" W	67	1985/1990

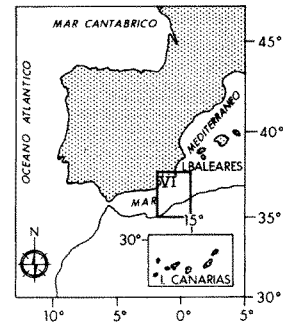
OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :
35°N - 38°N
2°W - 2°E

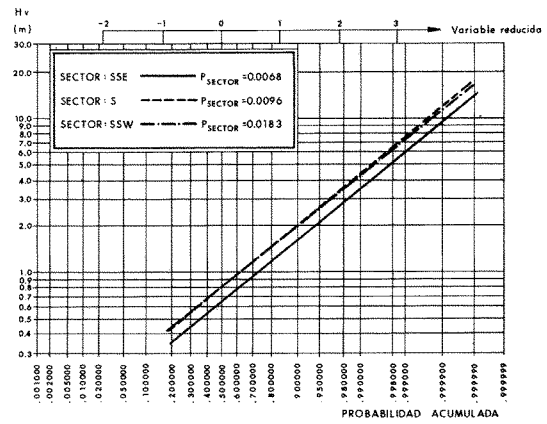
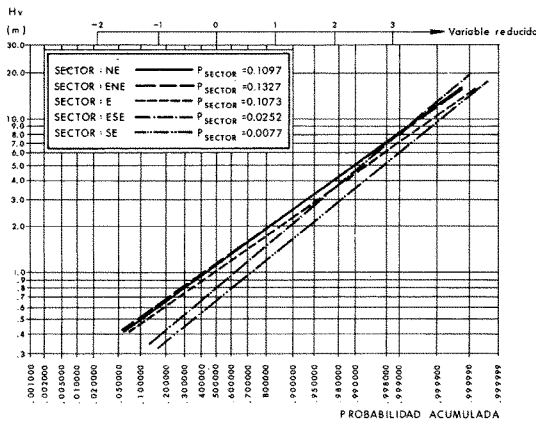
PERIODO DE MEDIDA : 1950 - 1985

AREA - VI

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



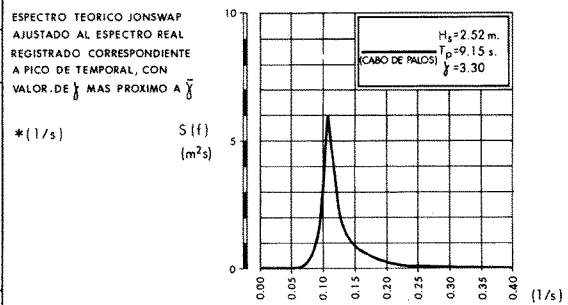
B - OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

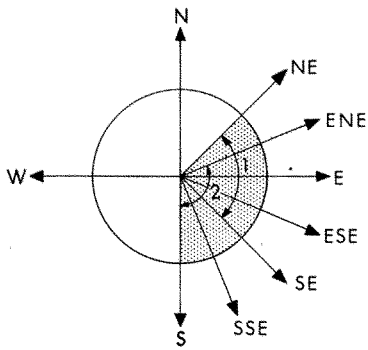
BOYA	$P = H_s / L_T = \frac{2 \sqrt{H_s}}{g T^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $H_s (m)$ $T_p (s)$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s (m)$	$T_p (s)$
CABO DE PALOS	0.035 ~ 0.06	≈ 1.20	$T = (3.9-5.1) \sqrt{H_s}$	4	7.5 ~ 10
				6	9.5 ~ 12.5
				8	11 ~ 14.5

F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 1.50 m$)

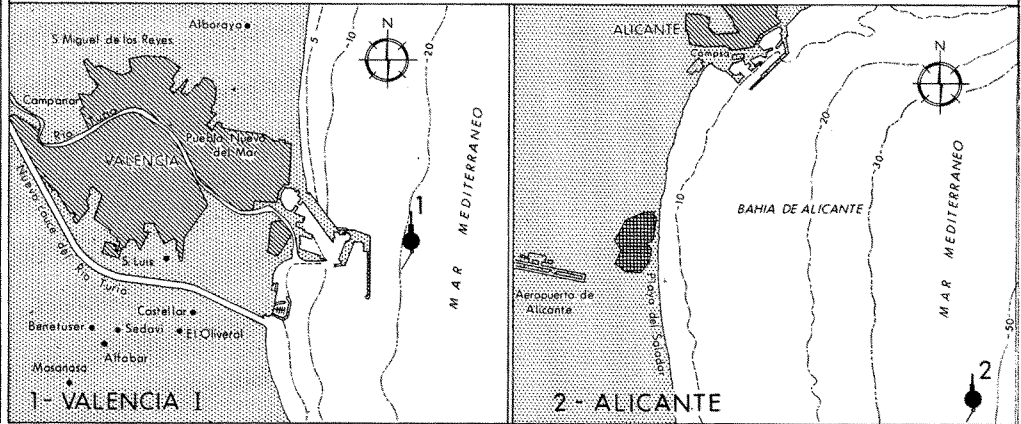


ESPECTRO TEORICO JONSWAP									
BOYA	\bar{f}	f_{max}	f_{min}	σ_f	f_p^*	$f_{p,max}^*$	$f_{p,min}^*$	$\sigma_{f_p}^*$	n
CABO DE PALOS	3.2	6.3	1.4	1.24	0.13	0.15	0.10	0.014	18

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

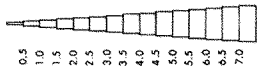


LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

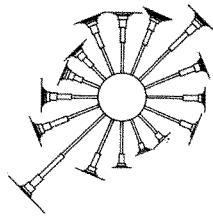
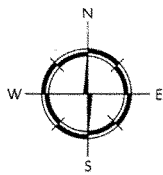
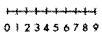


A-OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLAJE

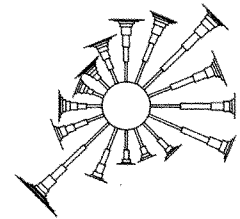
ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



FRECUENCIA (%)

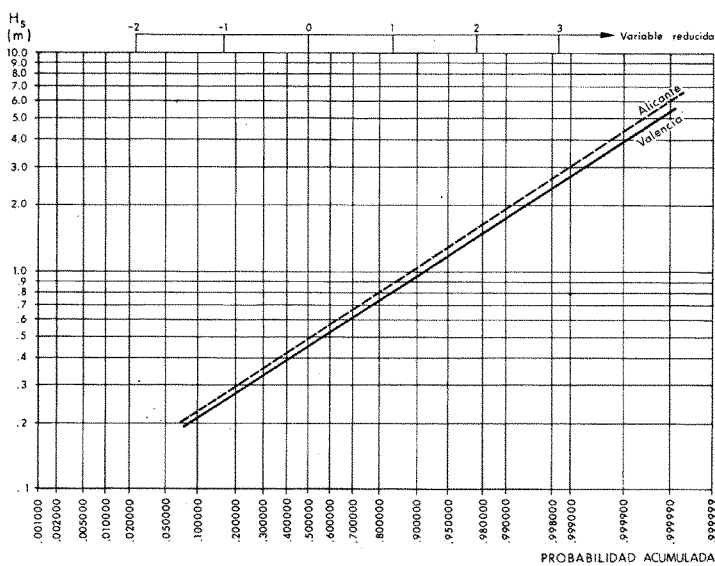


OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	25878
Nº TOTAL DE CALMAS	2294
Nº TOTAL DE CONFUSAS	1432

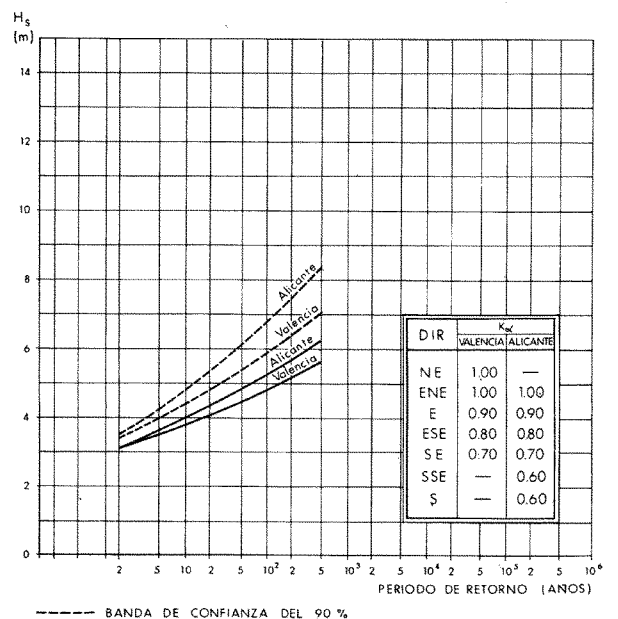


OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	13504
Nº TOTAL DE CALMAS	2197
Nº TOTAL DE CONFUSAS	803

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES

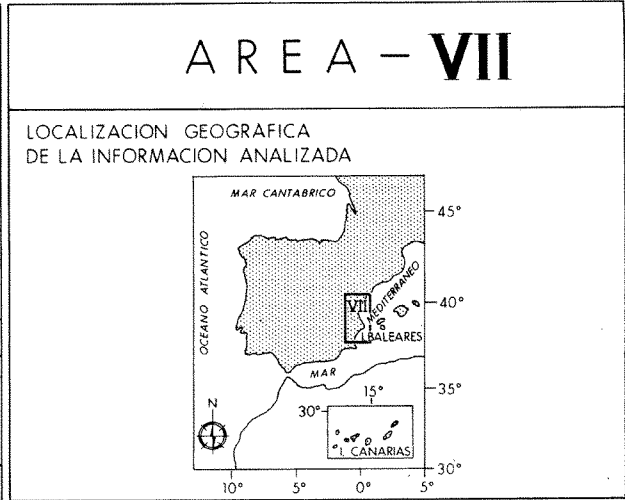


D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES

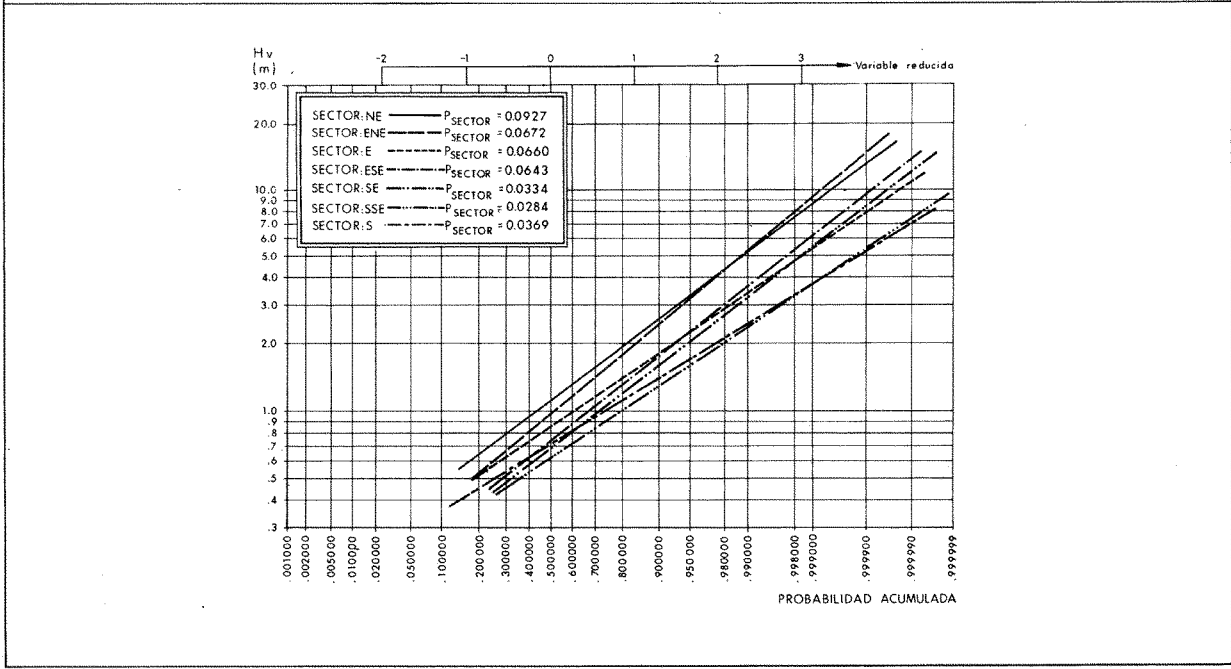


----- BANDA DE CONFIANZA DEL 90 %

INFORMACION ANALIZADA			
REGISTROS INSTRUMENTALES			
BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1- VALENCIA I	39° 27' 05" N 0° 17' 43" W	21	1982/1990
2- ALICANTE	38° 15' 00" N 0° 25' 00" W	50	1982/1990
OBSERVACIONES VISUALES			
CUADRICULA : 37.8° N - 40.5° N 1.0° W - 2.0° E			
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985			



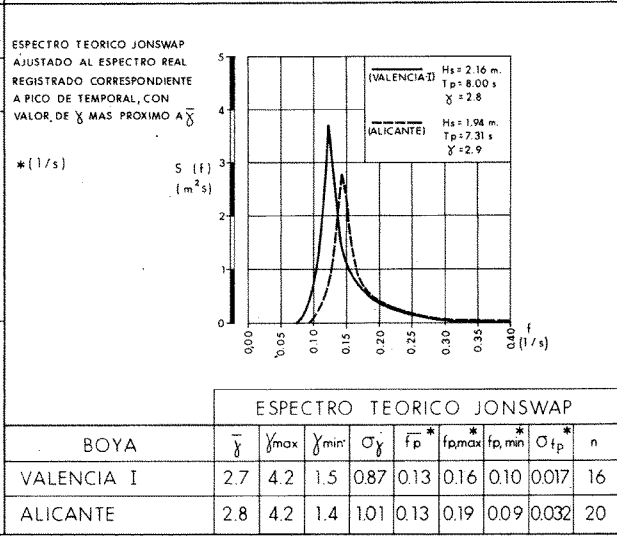
B - OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



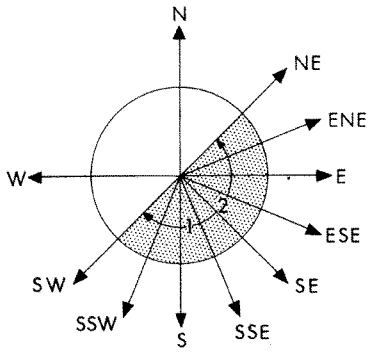
E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L_T = \frac{2\sqrt{H_s}}{gT^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL H_s (m) T_p (s)	VALORES DE DISEÑO	
				H_s (m)	T_p (s)
VALENCIA I	0.025 ~ 0.04	≈ 1.25	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11 ~ 14
				7	13 ~ 16.5
ALICANTE	0.025 ~ 0.04	≈ 1.25	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11 ~ 14
				7	13 ~ 16.5

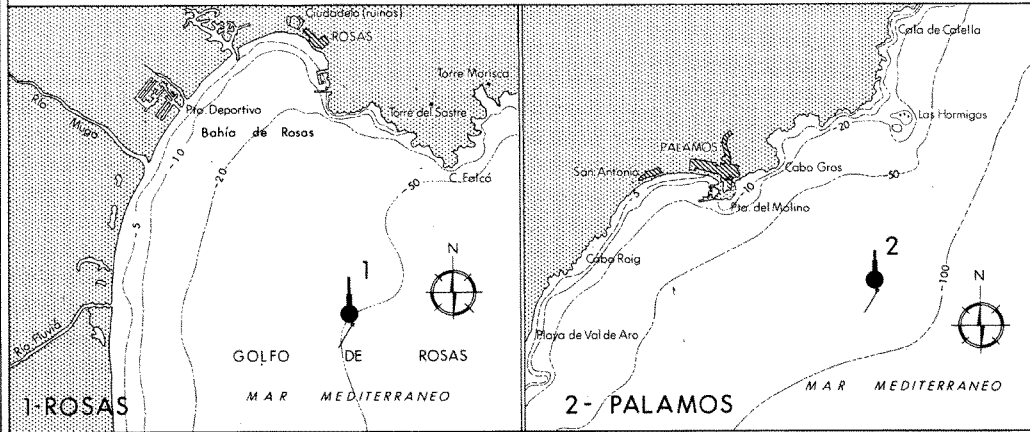
F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 1.00$ m)



DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS



LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

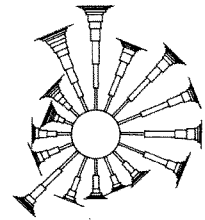
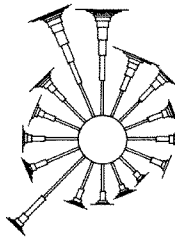
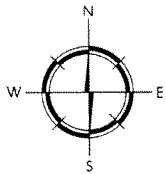
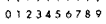


A-OBSERVACIONES VISUALES : ROSAS DE OLAJE

ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



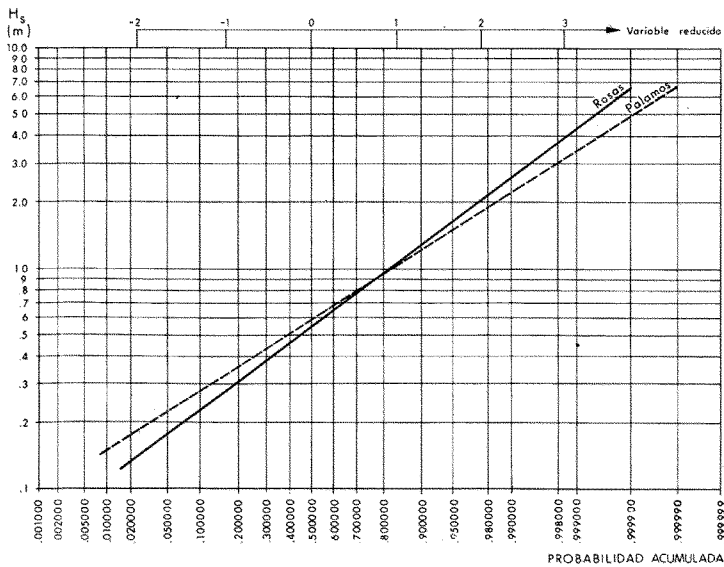
FRECUENCIA (%)



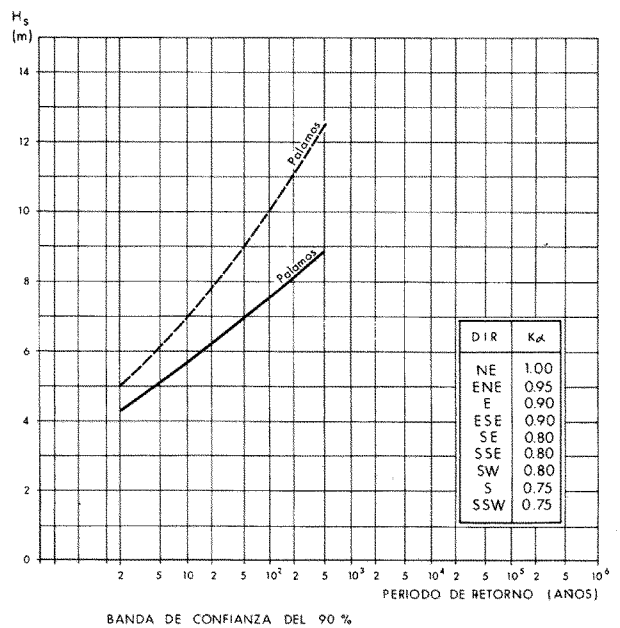
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	16 449
Nº TOTAL DE CALMAS	1 715
Nº TOTAL DE CONFUSAS	1 247

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	8 232
Nº TOTAL DE CALMAS	794
Nº TOTAL DE CONFUSAS	333

C- REGISTROS INSTRUMENTALES : REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES : REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF (m)	PERIODO MEDIDA
1- ROSAS	42° 11' 43" N 3° 11' 15" E	50	1986/1987
2- PALAMOS	41° 49' 24" N 3° 10' 42" E	90	1988/1990

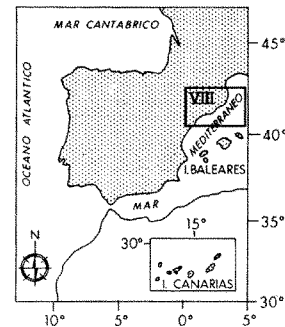
OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :
40.5° N - 42.5° N
0.0° W - 4.5° E

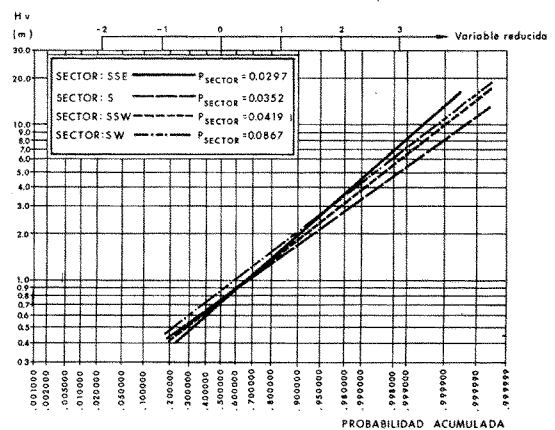
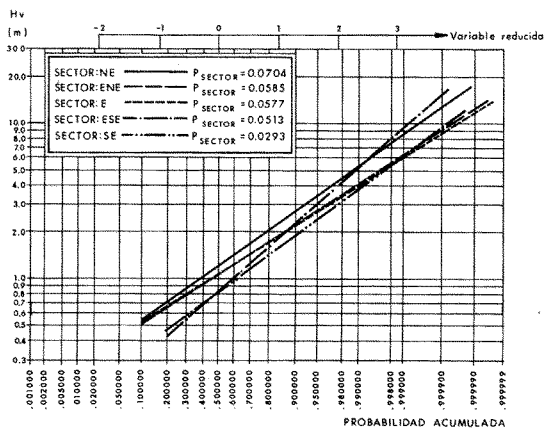
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

AREA - VIII

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



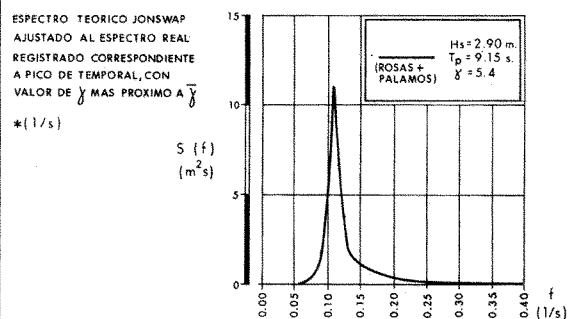
B-OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



E - REGISTROS INSTRUMENTALES: CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L\bar{T} = \frac{2\sqrt{H_s}}{g\bar{T}^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $H_s (m)$ $T_p (s)$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s (m)$	$T_p (s)$
ROSAS + PALAMOS	0.03 ~ 0.04	≈ 1.15	$T_p = (4.6-5.3)\sqrt{H_s}$	4	9 ~ 10.5
				6	11 ~ 13
				8	13 ~ 15
				10	14.5 ~ 16.5

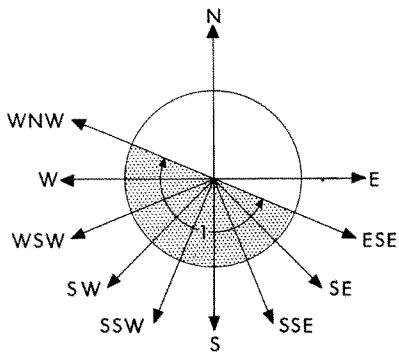
F - REGISTROS INSTRUMENTALES: ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 2.00 m$)



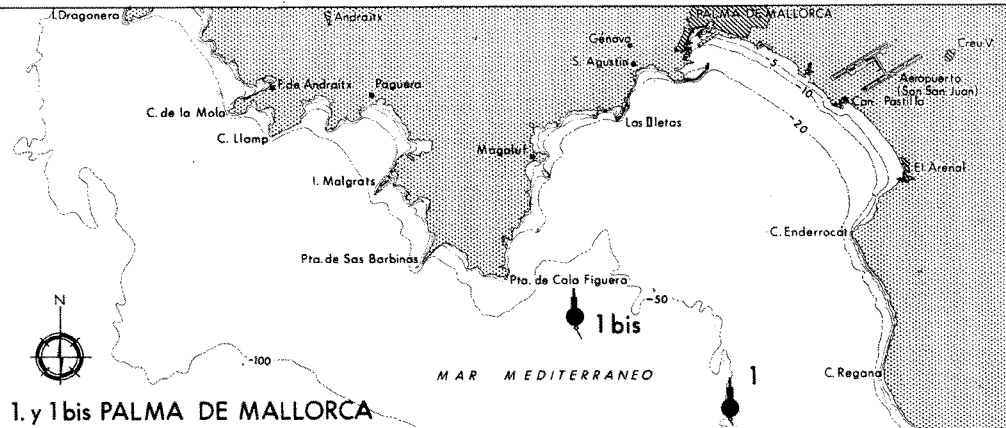
ESPECTRO TEORICO JONSWAP

BOYA	$\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_{γ}	f_p^*	$f_{p,max}$	$f_{p,min}$	$\sigma_{f_p}^*$	n
PALAMOS + ROSAS	4.6	8.2	2.3	1.65	0.108	0.125	0.08	0.012	13

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

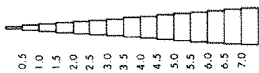


LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

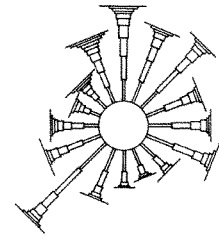
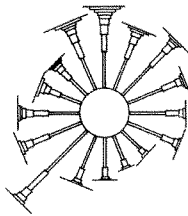
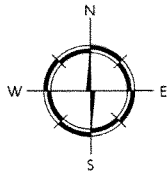
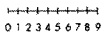


A-OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLAJE

ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



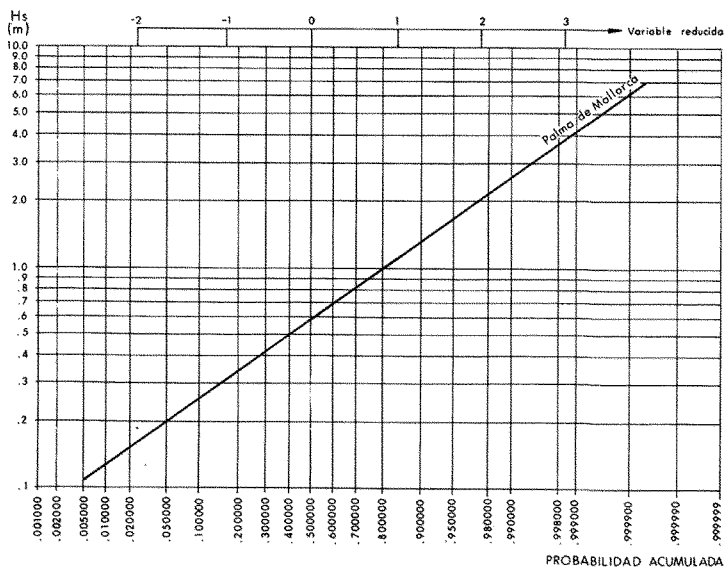
FRECUENCIA (%)



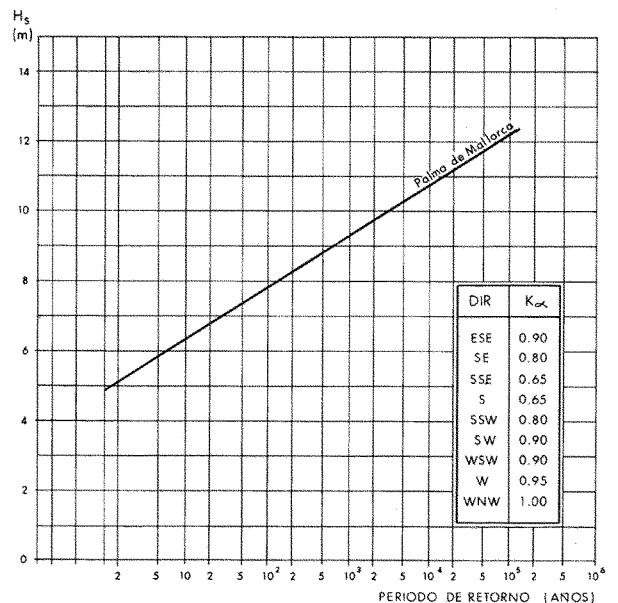
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	46150
Nº TOTAL DE CALMAS	4488
Nº TOTAL DE CONFUSAS	2466

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	24229
Nº TOTAL DE CALMAS	2579
Nº TOTAL DE CONFUSAS	1119

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



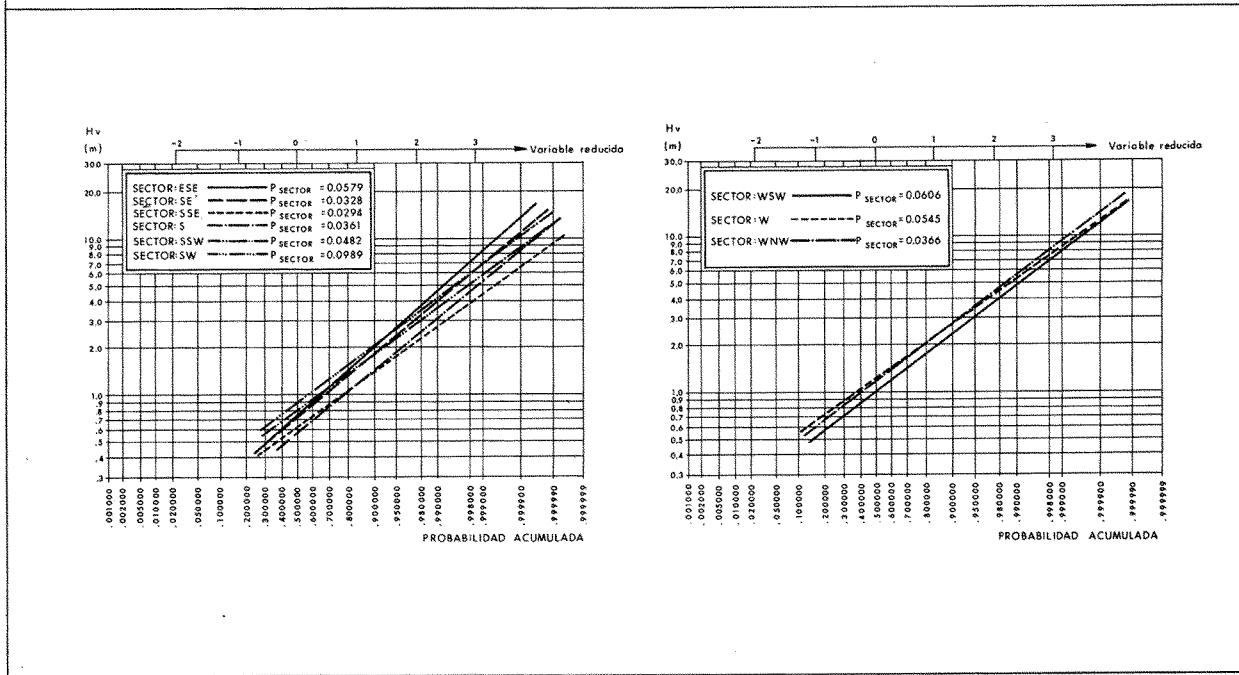
D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



INFORMACION ANALIZADA			
REGISTROS INSTRUMENTALES			
BOYA	SITUACION	PROF (m.)	PERIODO MEDIDA
1-PALMA DE MALLORCA	39°24'/26.5"N 2°39'/34.2"E	55/45	1983 / /1986-1987
OBSERVACIONES VISUALES			
CUADRICULA : 38.3° N - 41° N 0.5° E - 5.5° E			
PERIODO DE MEDIDA : 1950 - 1985			

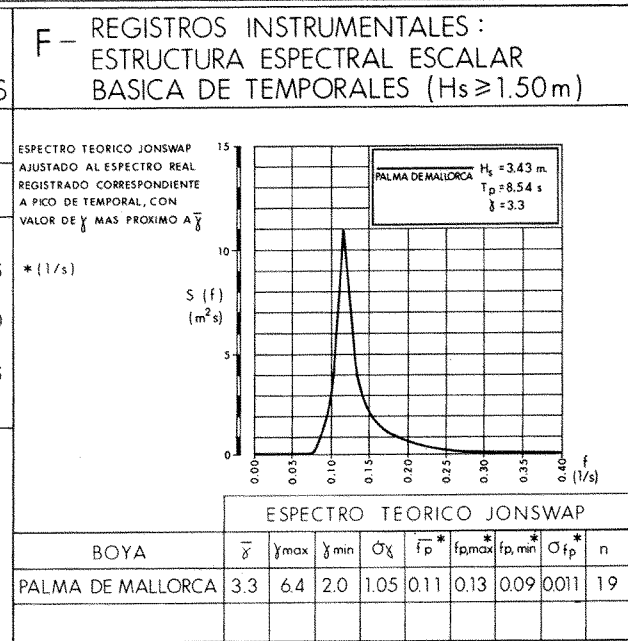


B - OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES

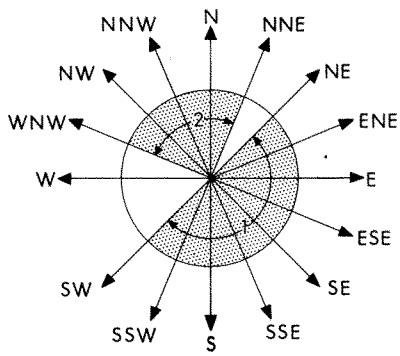


E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

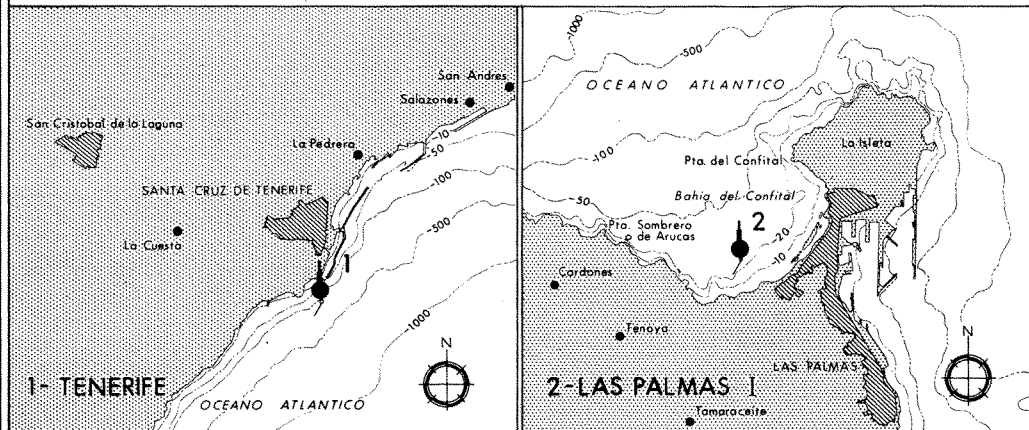
BOYA	$P = H_s / L_T = \frac{2\sqrt{H_s}}{gT^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL H_s (m) T_p (s)	VALORES DE DISEÑO	
				H_s (m)	T_p (s)
PALMA DE MALLORCA	0.035 ~ 0.06	≈ 1.12	$T_p = (3.6-4.8)\sqrt{H_s}$	4	7.0 ~ 9.5
				6	8.5 ~ 12.0
				8	10.0 ~ 13.5



DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

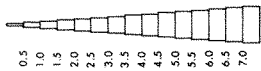


LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

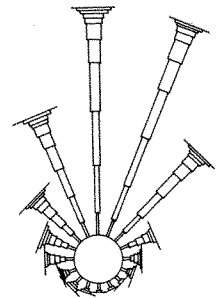
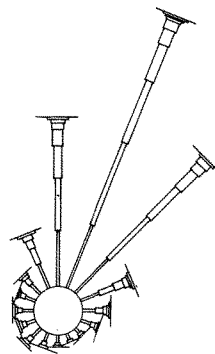
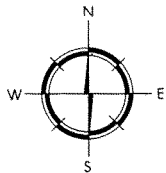
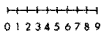


A-OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLAJE

ESCALA DE ALTURAS H_v (m)



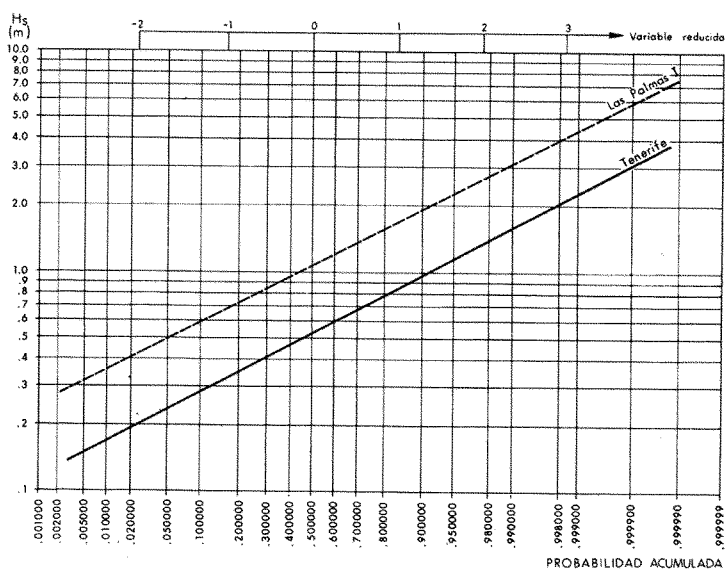
FRECUENCIA (%)



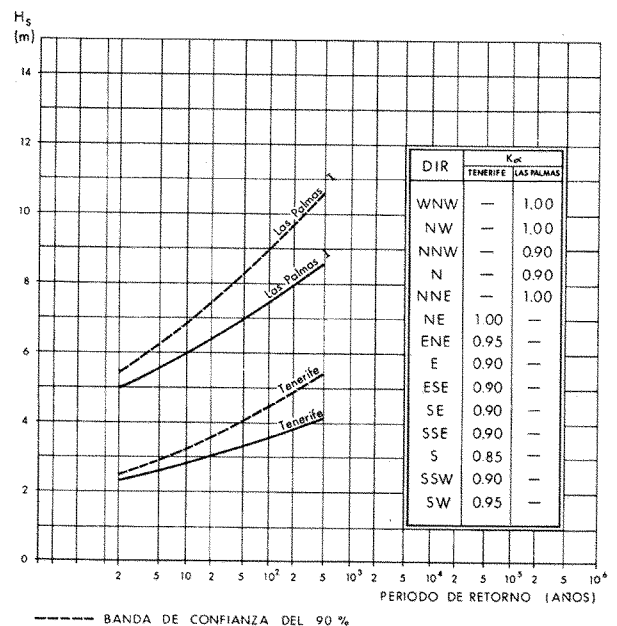
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	121303
Nº TOTAL DE CALMAS	7204
Nº TOTAL DE CONFUSAS	12618

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	85313
Nº TOTAL DE CALMAS	9317
Nº TOTAL DE CONFUSAS	4948

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1- TENERIFE	28°27'18"N 16°14'54"W	65	1981/1990
2- LAS PALMAS I	28°08'30"N 15°27'30"W	42	1981/1990

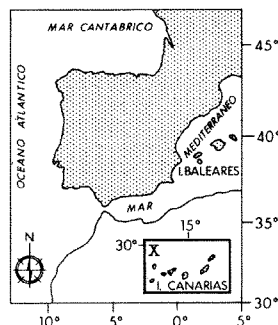
OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :
26.5° N - 30.5° N
12.0° W - 20.0° W

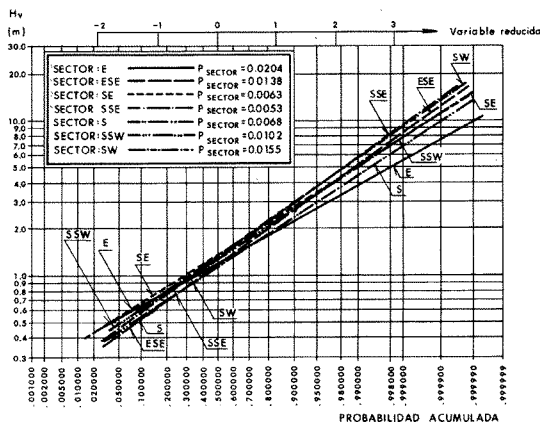
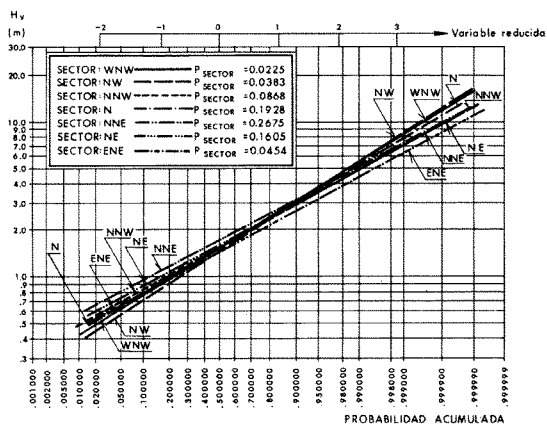
PERIODO DE MEDIDA : 1950 - 1985

AREA - X

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B-OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



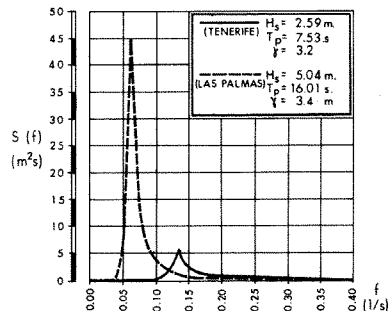
E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L T^2 = \frac{2\pi H_s}{g T^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $H_s (m) / T_p (s)$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s (m)$	$T_p (s)$
TENERIFE	0.02 ~ 0.06	≈1.30	$T_p = (4.3-7.4)\sqrt{H_s}$	2	6.0-10.5
				4	8.5-14.5
				6	10.5-18.0
LAS PALMAS I	0.015 ~ 0.06	≈1.35	$T_p = (4.4-8.8)\sqrt{H_s}$	4	8.5-17.5
				6	10.5-21.5
				8	12.5-24.5
				10	14.0-27.5

* EN NINGUN CASO SE CONSIDERARAN PERIODOS DE PROYECTO SUPERIORES A 22 SEGUNDOS.

F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 1.5$ m. TENERIFE $H_s \geq 2.0$ m. LAS PALMAS)

ESPECTRO TEORICO JONSWAP AJUSTADO AL ESPECTRO REAL REGISTRADO CORRESPONDIENTE A PICO DE TEMPORAL, CON VALOR DE γ MAS PROXIMO A $\bar{\gamma}$



ESPECTRO TEORICO JONSWAP

BOYA	$\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_x	f_p^{**}	f_{pmax}^{**}	f_{pmin}^{**}	$\sigma_{f_p}^{**}$	n
TENERIFE	3.1	6.1	1.7	1.14	0.13	0.17	0.10	0.022	16
LAS PALMAS I	3.0	6.8	1.2	1.38	0.08	0.10	0.06	0.013	20

2.7. PROPAGACIONES DEL OLEAJE

Para la completa caracterización del oleaje en aguas profundas a partir de la información disponible en el litoral español, es necesario transferir a dichas aguas los resultados obtenidos en base a datos instrumentales, ya que éstos han sido registrados generalmente en puntos de medida situados en profundidades reducidas o intermedias y por tanto afectados por diversos procesos de atenuación, transformación y deformación causados fundamentalmente por la batimetría o topografía marina.

Dado el rango de profundidades y los emplazamientos en los que se encuentran fondeadas las boyas analizadas, la influencia del fondo marino en la propagación del oleaje hasta las mismas se considera por medio del análisis de los fenómenos de Refracción y Shoaling.

La relación entre el oleaje en alta mar y el oleaje registrado se obtiene mediante estudios de propagación, los cuales permiten conocer las modificaciones de la altura de ola significativa y de la dirección principal de propagación del oleaje desde aguas profundas hasta el emplazamiento del punto de medida considerado.

Admitiendo que los periodos representativos del oleaje (periodo significativo o periodo de pico) se mantienen constantes, se han realizado ensayos de propagación en los distintos puntos de medida considerados, para cada una de las direcciones de incidencia del oleaje en aguas profundas que tienen interés en los mismos, y con periodos previamente seleccionados.

Se propagan los oleajes con los periodos (T_p) asociados a los mayores temporales, desde alta mar hasta el emplazamiento del punto de medida analizado, determinándose la atenuación o peralte del oleaje mediante el coeficiente de refracción y shoaling (K_R) correspondiente. Dicho coeficiente relaciona la variación de la altura de ola debida al fondo marino con la altura de ola en aguas profundas, para cada periodo del oleaje. En cada punto se define como el cociente entre la altura de ola en dicho punto y la misma en aguas profundas.

Las alturas de ola de temporal consideradas en cada punto de medida para determinar los periodos de ensayo fueron obtenidas a partir del régimen extremal escalar correspondiente. Con objeto de realizar las propagaciones realmente representativas sin multiplicar innecesariamente el número de ensayos, y dado que la amplitud del intervalo de periodos asociado a cada altura de ola de temporal en algunas zonas es alta (*Ver apartado 2.5.6. Correlación Altura de Ola/Periodo para Condiciones de Temporal*), los periodos se seleccionaron a partir de dicho intervalo pero corrigiéndolo teniendo en cuenta los periodos significantes que presenta el oleaje registrado, admitiendo la relación $T_s = 0.95 T_p$

El modelo numérico de propagación utilizado ha sido un modelo parabólico de difracción-re-fracción desarrollado en el CEPYC. Los oleajes propagados fueron oleajes regulares unidireccionales, dando como resultado el coeficiente de refracción-shoaling (K_R). Los coeficientes obtenidos, correspondientes a los periodos de interés, se recogen en la tabla 2.7.1.

Las altura de ola significativa asociada a un periodo de retorno en aguas profundas en una dirección determinada, puede obtenerse a partir de los resultados instrumentales disponibles por medio del coeficiente K_R , a través de la siguiente ecuación:

$$H_{s,0} = H_{s,R} \cdot K_\alpha / K_R$$

siendo:

$H_{s,0}$: Altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un periodo de retorno, para una dirección determinada.

$H_{s,R}$: Altura de ola significativa asociada a un periodo de retorno obtenida del régimen extremal escalar instrumental.

K_α : 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 periodo establecido asociado a dicha altura de ola.

TABLA 2.7.1. COEFICIENTES DE REFRACCIÓN-SHOALING (K_R) CORRESPONDIENTES A PROPAGACIONES DE OLEAJES DESDE AGUAS PROFUNDAS HASTA EL EMPLAZAMIENTO DE LOS PUNTOS DE MEDIDA ANALIZADOS									
ÁREA	PUNTO DE MEDIDA	DIR ^{T(s)}	7	9	11	13	15	17	19
I	BILBAO EXTERIOR	NW	—	0,98	0,93	0,86	0,80	0,80	0,90
		NNW	—	0,98	0,94	0,93	0,93	0,92	0,90
		N	—	0,98	0,94	0,91	0,88	0,85	0,80
		NNE	—	0,98	0,96	0,95	0,95	0,93	0,90
		NE	—	0,98	0,94	0,94	0,94	0,91	0,83
	GIJÓN	NW	—	0,86	0,82	0,80	0,76	0,84	0,82
		NNW	—	0,85	0,82	0,84	0,85	0,88	0,88
		N	—	0,93	0,98	1,02	0,99	0,91	0,84
		NNE	—	0,89	0,88	0,87	0,88	1,01	1,02
		NE	—	0,89	0,90	0,90	0,95	0,85	0,99
II	CORUÑA	W	—	0,97	0,90	0,89	0,71	0,81	0,82
		WNW	—	0,98	0,94	0,92	0,89	0,89	0,94
		NW	—	0,98	0,94	0,92	0,88	0,85	0,80
		NNW	—	0,97	0,92	0,85	0,82	0,81	0,78
		N	—	0,97	0,90	0,74	0,62	0,58	0,61
		NNE	—	0,98	0,96	0,88	0,79	0,54	0,54
III	CABO SILLEIRO	NNW	—	1,00	0,97	0,92	0,88	0,89	0,85
		NW	—	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89	0,88
		WNW	—	1,00	0,97	0,94	0,92	0,91	0,93
		W	—	1,00	0,97	0,94	0,91	0,91	0,93
		WSW	—	1,00	0,98	0,97	1,00	1,10	0,83
		SW	—	1,00	0,97	0,95	0,89	0,95	0,79
		SSW	—	1,00	0,97	0,93	0,85	0,82	0,80
		S	—	—	—	—	—	—	—
IV	SEVILLA	W	—	—	0,96	0,97	0,74	0,43	0,47
		WSW	—	—	0,97	0,88	0,72	1,11	1,24
		SW	—	—	1,10	1,26	1,97	1,52	1,02
		SSW	0,90	0,96	1,16	—	—	—	—
		S	0,91	0,91	0,91	—	—	—	—
		S	0,91	0,91	0,91	—	—	—	—
	CÁDIZ	WNW	—	—	—	0,87	0,93	0,93	0,86
		W	—	—	—	0,81	0,77	0,98	1,08
		WSW	—	—	—	0,99	1,05	1,10	1,18
		SW	—	—	—	0,92	0,92	0,95	0,93
		SSW	0,96	0,92	0,92	—	—	—	—
		S	0,99	0,86	0,84	—	—	—	—
V	CEUTA	NW	0,94	0,91	0,82	0,72	0,66	—	—
		NNW	0,95	0,90	0,83	0,78	0,75	—	—
		N	0,95	0,92	0,93	0,94	0,97	—	—
		NNE	0,96	0,97	0,98	1,05	1,13	1,15	—
		NE	0,94	0,90	0,92	1,06	1,33	1,15	—
		ENE	—	—	0,79	0,67	0,66	0,93	—
	MÁLAGA	E	0,93	0,91	0,91	0,93	0,93	—	—
		ESE	0,95	0,95	0,95	0,90	0,84	—	—
		SE	0,94	0,90	0,89	—	—	—	—
		SSE	0,93	0,87	0,87	—	—	—	—
		S	0,93	0,85	0,82	—	—	—	—
		SSW	0,93	0,70	0,67	—	—	—	—
		S	—	—	—	—	—	—	—
		S	—	—	—	—	—	—	—

TABLA 2.7.1. (Continuación).									
ÁREA	PUNTO DE MEDIDA	DIR ^{T(s)}	7	9	11	13	15	17	19
VI	CABO DE PALOS	NE	—	0,99	0,92	0,85	—	—	—
		ENE	—	0,99	0,95	0,85	—	—	—
		E	—	0,99	0,97	0,96	—	—	—
		ESE	—	0,99	0,97	0,94	—	—	—
		SE	—	0,99	0,96	0,94	—	—	—
		SSE	—	0,99	0,98	0,96	—	—	—
		S	—	0,99	0,98	0,97	—	—	—
		SSW	—	0,99	0,90	0,78	—	—	—
VII	ALICANTE	ENE	1,00	0,98	0,94	0,92	0,92	—	—
		E	1,00	0,98	0,93	0,88	0,90	—	—
		ESE	1,00	0,98	0,94	0,91	0,90	—	—
		SE	1,00	0,98	0,93	0,84	0,79	—	—
		SSE	1,00	0,97	0,90	0,85	0,81	—	—
		S	1,00	0,97	0,90	0,80	0,80	—	—
	VALENCIA I	NE	0,94	0,88	0,87	0,83	0,87	—	—
		ENE	0,94	0,90	0,79	0,75	0,80	—	—
		E	0,94	0,94	0,93	0,95	0,98	—	—
		ESE	0,94	0,91	0,93	0,95	0,96	—	—
SE	0,94	0,89	0,89	0,89	0,89	—	—		
VIII	PALAMOS	NE	1,00	1,00	0,98	0,94	—	—	—
		ENE	1,00	1,00	0,98	0,95	—	—	—
		E	1,00	1,00	0,99	0,96	—	—	—
		ESE	1,00	1,00	0,99	0,97	—	—	—
		SE	1,00	1,00	0,99	0,97	—	—	—
		SSE	1,00	1,00	0,99	0,97	—	—	—
		S	1,00	1,00	0,98	0,96	—	—	—
		SSW	1,00	1,00	0,99	0,96	—	—	—
		SW	1,00	1,00	0,99	0,95	—	—	—
		IX	PALMA DE MALLORCA	ESE	1,00	0,89	0,79	0,53	—
SE	1,00			1,00	0,78	0,70	—	—	—
SSE	1,00			0,97	0,90	0,85	—	—	—
S	1,00			0,97	0,93	0,93	—	—	—
SSW	1,00			0,98	0,96	0,99	—	—	—
SW	1,00			0,97	0,88	0,80	—	—	—
WSW	1,00			0,98	0,96	0,96	—	—	—
W	1,00			0,98	0,94	0,89	—	—	—
WNW	1,00			0,99	1,05	1,12	—	—	—
X	TENERIFE	NE	0,92	0,67	0,62	0,60	0,58	—	—
		ENE	1,00	0,97	0,92	0,89	0,88	—	—
		E	1,00	1,01	0,87	0,79	0,75	—	—
		ESE	1,00	0,99	1,01	0,96	0,81	—	—
		SE	1,00	0,98	0,98	0,95	0,90	—	—
		SSE	1,00	0,99	0,96	0,91	0,92	—	—
		S	1,00	0,99	0,93	0,88	0,84	—	—
		SSW	1,00	0,97	0,91	0,85	0,81	—	—
	SW	1,00	0,98	0,92	0,86	0,84	—	—	
	LAS PALMAS I	WNW	—	0,95	0,91	0,88	0,87	0,83	0,82
		NW	—	0,95	0,91	0,89	0,91	0,95	0,99
		NNW	—	0,95	0,89	0,85	0,81	0,78	0,77
		N	—	0,92	0,79	0,69	0,66	0,64	0,63
		NNE	—	0,94	0,72	0,61	0,60	0,60	0,60

2.8 DETERMINACIÓN DEL OLEAJE DE PROYECTO EN AGUAS PROFUNDAS A PARTIR DE LA ESTIMA DEL CLIMA MARÍTIMO INCLUIDA EN ESTAS RECOMENDACIONES

Por medio del Atlas de Clima Marítimo incluido en estas Recomendaciones, y teniendo en cuenta las propagaciones pertinentes, es posible establecer el oleaje de proyecto en aguas profundas (H_s , T_p , α), tanto para condiciones extremas como para condiciones normales de operación, en cualquier punto incluido en alguna de las áreas definidas en el litoral español siempre que se encuentre afectado por los mismos oleajes que registra alguna de las boyas analizadas en dicha área.

Del mismo modo, también puede establecerse el espectro de cálculo para condiciones extremas (JONSWAP/ H_s , f_p , γ/α).

La determinación del oleaje de proyecto para condiciones extremas parte del régimen extremal escalar correspondiente a la boya considerada (Cuadro D), obteniéndose la altura de ola correspondiente al periodo de retorno asociado a la probabilidad de presentación o riesgo admisible durante la vida útil de la obra ($H_{s,R}$).

Sustituyendo esta altura de ola en la ecuación que relaciona la altura de ola con el periodo en dicha boya (Cuadro E) se establece el rango de periodos (T_p) asociados a la misma, debiéndose seleccionar de entre ellos como periodo de proyecto el más perjudicial para el fenómeno o efecto analizado. No obstante, podrán no tomarse en consideración aquellos periodos situados en el extremo superior del rango de periodos establecido cuando la longitud del fetch en la dirección de cálculo sea manifiestamente menor a la correspondiente en la dirección con oleaje más severo ($K_\alpha = 1$).

En ningún caso se considerarán periodos de proyecto superiores a 22 segundos.

A continuación, admitiendo que los periodos se mantienen constantes y para cada una de las direcciones de incidencia posibles, se propagan los oleajes con los periodos establecidos desde alta mar hasta el emplazamiento de la boya considerada, determinándose el coeficiente de refracción/shoaling (K_R) (Ver tabla 2.7.1.) Finalmente, la altura de ola de proyecto en aguas profundas ($H_{s,0}$) se calcula para cada dirección a través de la ecuación: $H_{s,0} = H_{s,R} \cdot K_\alpha / K_R$ (Ver apartado 2.7.), siendo K_α el coeficiente de reparto direccional (Cuadro D).

Puede establecerse como espectro de proyecto en condiciones extremas para cada dirección en aguas profundas, el espectro teórico JONSWAP con los siguientes parámetros espectrales:

$$H_{m0} = 4 (m_0)^{1/2} = H_{s,0}$$

$$f_p = 1/T_p$$

$$\gamma = \bar{\gamma}$$

$$\sigma_a = 0.07. \text{ para } f \leq f_p$$

$$\sigma_b = 0.09. \text{ para } f \leq f_p$$

siendo $H_{s,0}$ y T_p la altura de ola significativa y el periodo de pico, respectivamente, correspondientes al oleaje de proyecto en condiciones extremas para la dirección analizada, y $\bar{\gamma}$ el parámetro de apuntamiento espectral correspondiente a la estructura espectral escalar básica del oleaje para condiciones de temporal en la boya considerada (Cuadro F). Sin perjuicio de lo anterior, y en aquellos casos en que la dispersión de valores registrados de γ sea grande, puede ser necesaria la consideración de varios parámetros de apuntamiento espectral dentro del rango de los obtenidos para el mismo, seleccionándose de entre ellos el que resulte más perjudicial para el fenómeno o efecto analizado. El grado de variabilidad de los parámetros espectrales registrados se incluye, para cada punto de medida, en la tabla del Cuadro F.

La determinación del oleaje de proyecto en aguas profundas para condiciones normales de operación se realiza fundamentalmente a partir de los regímenes medios direccionales de altura de ola visual Sea + Swell y de las frecuencias de presentación sectoriales en el área donde se localiza la zona considerada (Cuadro B), obteniéndose la altura de ola visual, en cada dirección de incidencia de interés, correspondiente al nivel de excedencia límite establecido en función de los criterios funcionales o de operatividad de proyecto.

Dado que la fiabilidad de los regímenes medios de altura de ola visual es sólo aproximada, éstos deben contrastarse con el régimen medio escalar de altura de ola significativa de la boya correspondiente (Cuadro C). Para ello, debe considerarse la contribución al mismo de todos los sectores direccionales incidentes, realizando las propagaciones pertinentes hasta el emplazamiento de la boya considerada, y aplicando la correlación existente entre

la altura de ola visual y la significativa en dicha zona. A falta de otros datos y sin perjuicio de otras, puede utilizarse la relación $H_v = H_s$ para oleaje en aguas profundas. La aplicación de dicha relación ha dado en general buenos resultados en el litoral español.

Para la asignación de periodos a la altura de ola de proyecto en condiciones normales de operación pueden utilizarse las relaciones altura/periodo para condiciones de temporal en la boya correspondiente (Cuadro E), siempre y cuando las condiciones límite de operatividad coincidan con condiciones de temporal. Para su determinación se tendrán en cuenta las modificaciones que tienen lugar en la altura de ola desde aguas profundas hasta el empla-zamiento de la boya.

A partir de las rosas de oleaje (Cuadro A) pueden obtenerse otros regímenes medios de altura de ola visual (p.e. régimen medio del Sea, y régimen medio del Swell), cuya aplicación práctica puede ser necesaria para determinar la altura de ola de proyecto en condiciones normales de operación en aquellos casos en los que el rango de periodos presentes preponderantemente en un tipo de oleaje sea el factor fundamental para la definición de límites de operatividad (p.e. niveles de agitación en dársenas y atraques por la presencia de oleajes locales (tipo Sea), resonancia de un sistema de amarre,...).

La metodología de determinación de oleajes de proyecto en aguas profundas a partir del Atlas de Clima Marítimo se esquematiza en la figura 2.8.1.

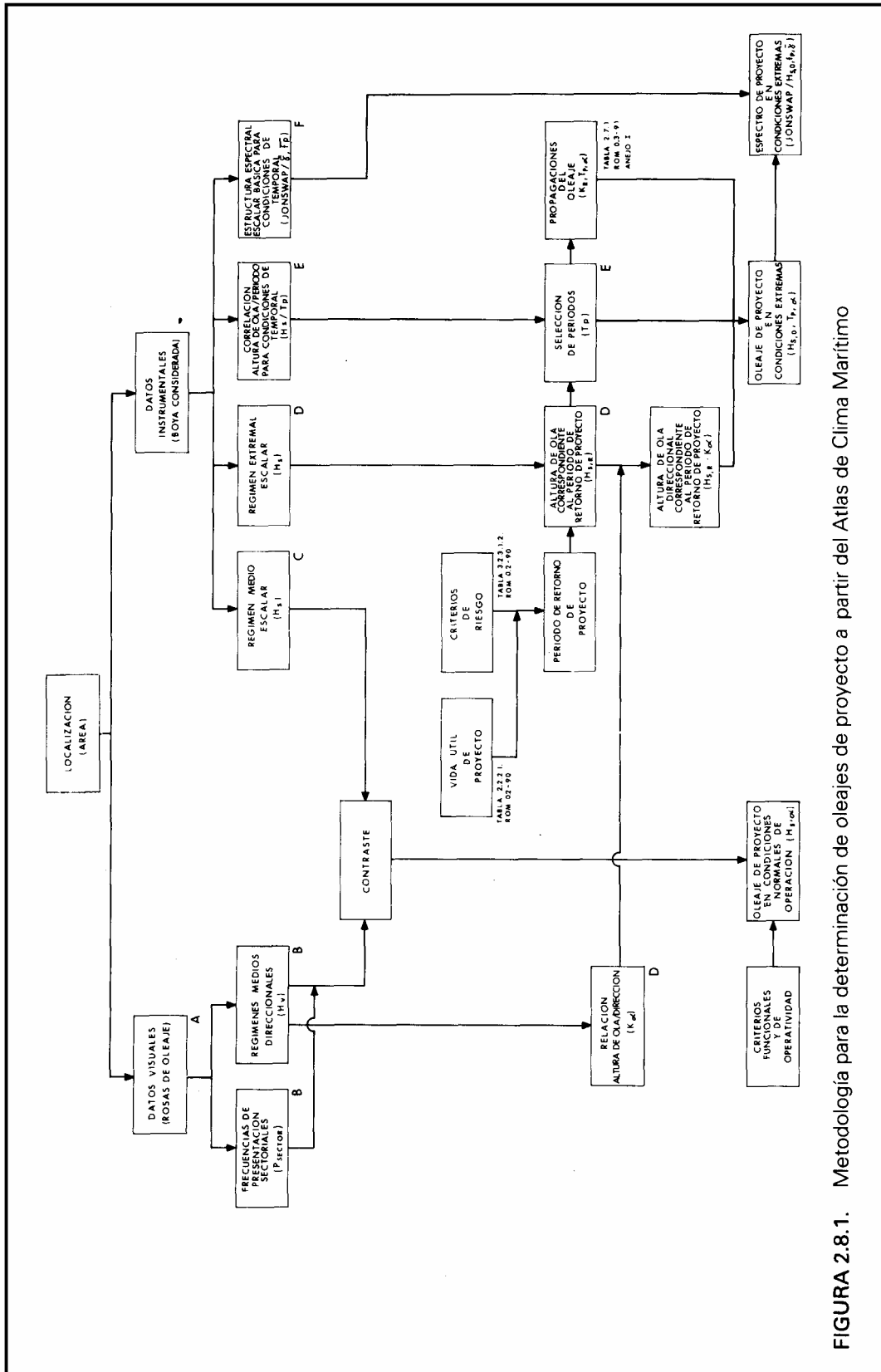


FIGURA 2.8.1. Metodología para la determinación de oleajes de proyecto a partir del Atlas de Clima Marítimo

**OBRAS
MARITIMAS**
TECNOLOGIA

