ROM 0.3-91

OLEAJE

Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español

OBRAS MARITIMAS

TECNOLOGIA

MOPT
Ministerio de Obras Públicas y Transportes
Dirección General de Puertos

1992

INTRODUCCIÓN

PROGRAMA ROM

EL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (MOPT), a través de la DIRECCIÓN GENERAL DE PUERTOS, está llevando a cabo desde 1987 un programa de desarrollo tecnológico en el ámbito de las obras marítimas y portuarias, con el objetivo de redactar y difundir un conjunto de Recomendaciones o «Códigos de Buena Práctica» para el proyecto y ejecución de dichas obras, que constituyan el embrión de la Normativa española en este campo de la ingeniería.

Estas Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM), pretenden definir un conjunto ordenado de criterios técnicos que, sin tener por el momento carácter vinculante o normativo, orienten a proyectistas, directores y constructores de obras portuarias hacia la obtención de niveles de calidad y garantía exigibles en dichas obras.

Varias Comisiones Técnicas conjuntamente con diversos especialistas y en colaboración con Instituciones y Organismos públicos y privados, y especialmente con el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), están desarrollando trabajos en distintas áreas de la ingeniería marítima con el objeto de reunir la tecnología más avanzada en este campo, contrastarla con la experiencia y práctica usual en estos momentos, y ordenarla sistemáticamente para facilitar a las distintas entidades del Estado y a las Empresas con competencias e intereses en la ingeniería marítima el acceso a la información especializada necesaria para el desarrollo de sus trabajos.

En cualquier caso se ha procurado contribuir a la armonización gradual de la normativa española con la Comunitaria vigente, fundamentalmente recogida en el campo de la ingeniería civil por los Eurocódigos.

En 1990 se publicó la primera Recomendación de este Programa: ROM 0.2-90. ACCIONES EN EL PROYECTO DE OBRAS MARÍTIMAS Y PORTUARIAS, la cual está siendo aplicada desde entonces, con buenos resultados, en todos los proyectos de ingeniería marítima correspondientes a obras dependientes de la Dirección General de Puertos del MOPT.

El PROGRAMA ROM tiene redactados o en fase avanzada de elaboración, hasta la fecha, los siguientes Códigos:

ROM 0. RECOMENDACIONES GENERALES

- 0.1. Redacción de Proyectos
- 0.2. Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias *
- 0.3. Acciones Medioambientales I: Oleaje
  - Anejo I: Clima Marítimo en el Litoral Español *
- 0.4. Acciones Medioambientales II: Viento
- 0.5. Recomendaciones Geotécnicas
- 0.6. Sismo

ROM 1. RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE ABRIGO

ROM 2. RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE ATRAQUE

ROM 3. RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE ACCESOS Y AREAS DE FLOTACIÓN

ROM 4. RECOMENDACIONES PARA EL PROYECTO Y EJECUCIÓN DE SUPERESTRUCTURAS

* Publicados.

4.1. Recomendaciones para el Proyecto de Pavimentos Portuarios. Catálogo de Firmes Portuarios.

DESARROLLO DE LOS TRABAJOS DE REDACCIÓN DE LA ROM 0.3. OLEAJE

La ROM 0.3. ACCIONES MEDIOAMBIENTALES I: OLEAJE, está siendo redactada por la Comisión Técnica designada al efecto por el Director General de Puertos del MOPT en resoluciones de 20 de marzo, 10 de abril y 23 de octubre de 1991, bajo la responsabilidad orgánica de la Subdirección General de Inversiones Portuarias.

Los miembros de dicha Comisión y los Organismos a los que pertenecen son los siguientes:

— Presidente:	D. Juan Muñoz Mitchell	(DGP)
— Director Técnico:	D. Francisco Esteban Rodríguez-Sedano	
— Secretario:	D. José Llorca Ortega	(DGP)
— Vocales:	D. Eduardo Arana Romero	(IBERINSA)
	D. José . M.ª Berenguer Pérez	(CEPYC-CEDEX)
	D. José Conde Aldemira	(PCM)
	D. Vicente Negro Valdecantos	(INTECSA)
	D. Eloy Pita Carpenter	(DGP)
	D. Javier Rodríguez Besné	(DGP)
	D. Carlos Sanchidrián Fernández	(ALATEC,S.A.)

La Comisión Técnica cuenta para el desarrollo de sus trabajos con la colaboración expresa del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) del CEDEX, y del Programa de Clima Marítimo (PCM) de la Dirección General de Puertos del MOPT.

Durante el proceso de redacción de la ROM 0.3.OLEAJE la Comisión Técnica ha constatado la necesidad de incluir en la misma la completa caracterización del Clima Marítimo en el Litoral Español, definido en base al análisis estadístico de la información disponible y a la metodología de determinación más avanzada y fiable en estos momentos. El fin último es simplificar en los casos más generales la metodología de definición de oleajes de proyecto en el litoral español, sin tener que recurrir sistemáticamente a la localización y análisis estadístico de los datos brutos de oleaje disponibles necesarios para la caracterización del Clima Marítimo en cada zona del mismo.

Debido a que la información instrumental disponible en el litoral español corresponde a tiempos efectivos de medida todavía muy pequeños, y a que los métodos de análisis estadístico extremal en uso no están aún totalmente consolidados, es previsible la necesaria actualización del Clima Marítimo con periodicidad elevada, por lo que la Comisión Técnica ha decidido su publicación separadamente del cuerpo principal de la Recomendación de Oleaje como Anejo I a la misma con objeto de facilitar su revisión.

Una vez elaborado dicho Anejo, y dada su gran utilidad práctica para el proyecto de obras marítimas en el litoral español y el carácter autónomo del mismo respecto al texto principal de la Recomendación, la Comisión Técnica ha decidido su publicación inmediata como Anejo I de la ROM 0.3-91 Oleaje, siendo en este momento el único documento vigente de dicha Recomendación. Se publica como ROM 0.3-91 debido a que se ha realizado durante 1991 a partir del análisis de datos de oleaje correspondientes a información registrada hasta el año 1990 inclusive.

La Comisión Técnica analizará todos los comentarios, sugerencias e iniciativas que le puedan ser hechas sobre el contenido del Anejo I de la ROM 0.3-91. OLEAJE, las cuales serán tomadas en consideración en posteriores versiones de la citada Recomendación.

Dichas observaciones deberán ser remitidas a:

Servicio de Normativa y Difusión Tecnológica
Dirección General de Puertos
Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)
Castellana, 67
28046-Madrid

FEBRERO DE 1992

Índice

1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN 13

1.2. CONTENIDO 13

1.3. DEFINICIONES 14

1.4. SISTEMA DE UNIDADES 18

1.5. NOTACIONES 18

1.6. REFERENCIAS DOCUMENTALES 18

Índice

1.5.1 Notaciones, abreviaturas, y símbolos convencionales fundamentales utilizados en estas Recomendaciones 20

1.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

El Anejo I de la Recomendación 0.3. Oleaje: Clima Marítimo en el Litoral Español, será de aplicación en el proyecto, construcción, y explotación de todas las obras marítimas y portuarias cualquiera que sea su clase o destino, así como los materiales y elementos empleados en su construcción, siempre y cuando se encuentren ubicadas en el litoral español y estén afectadas por los mismos oleajes que el emplazamiento de alguna de las fuentes de información disponibles analizadas.

A estos efectos, se considerarán como Obras Marítimas y Portuarias aquellas estructuras, elementos estructurales o movimientos de tierras ubicados en zonas portuarias marítimas, o en cualquier otra pertenencia del dominio público marítimo-terrestre, siempre que permanezcan en situación estacionaria en fase de servicio, tanto en forma fija como flotante.

Asimismo se considerarán incluidos dentro del ámbito de aplicación de las presentes Recomendaciones aquellos elementos auxiliares de construcción o explotación que puedan afectar a la seguridad o correcto funcionamiento de estructuras que reúnan los requisitos indicados en el párrafo anterior.

1.2. CONTENIDO

El presente Anejo reúne toda la información y criterios necesarios para la caracterización y previsión aproximada del Clima Marítimo en el litoral español, y por tanto para la definición de oleajes de proyecto en aguas profundas a lo largo de prácticamente toda la costa española, tanto para condiciones extremas como para condiciones normales de operación. Asímismo permite establecer el espectro de cálculo del oleaje para condiciones extremas en dicho ámbito geográfico.

Se estructura en dos partes:

Parte 1. General. Incluye todos los aspectos generales necesarios para la correcta aplicación y comprensión del Anejo: ámbito de aplicación, descripción general de su contenido, definiciones, unidades utilizadas, notaciones y simbología, y documentación de referencia.

Parte 2. Clima Marítimo en el Litoral Español. Establece, a los efectos de caracterización del Clima Marítimo, una zonificación del litoral español en 10 áreas diferenciadas, definidas en base a características climáticas homogéneas, a la configuración de la costa y al emplazamiento de la información instrumental disponible. Fija la metodología de determinación del Clima Marítimo para cada una de las zonas establecidas en base al análisis estadístico de la información de oleaje disponible: Datos Visuales procedentes del National Data Center de Asheville y Datos Instrumentales registrados por las boyas de la REMRO, definiendo las características técnicas de la misma.
Incluye las siguientes relaciones de caracterización del oleaje en cada una de las áreas definidas: Distribución conjunta altura de ola visual/dirección (Rosas de Oleaje), frecuencias de presentación sectoriales, análisis estadístico unidimensional de la variable altura de ola significante o visual para condiciones medias y para condiciones extremas, análisis estadístico bidimensional altura de ola significante/periodo medio y periodo medio/periodo de pico, y análisis estadístico espectral, analizando la metodología de cálculo utilizada, y la fiabilidad y grado de aplicación práctica de los resultados.
Presenta gráficamente los resultados obtenidos con formato de Atlas de Clima Marítimo, reuniendo en cada página todos los correspondientes a una de las áreas establecidas con objeto de facilitar la utilización práctica de los mismos.
Permite la completa caracterización del oleaje en aguas profundas a partir de la información instrumental disponible al incluir los coeficientes de refracción-shoaling, para cada periodo y dirección de interés, necesarios para transferir a aguas profundas los resultados obtenidos

en cada punto de medida situado en profundidades reducidas o intermedias.
Y por último define la metodología de determinación de oleajes de proyecto en aguas profundas a partir de la estima del Clima Marítimo incluida en estas Recomendaciones.

1.3. DEFINICIONES

A los efectos del presente Anejo se definen expresamente los siguientes términos fundamentales más comúnmente utilizados.

Unicamente se recogen en este apartado las definiciones de los términos más habituales utilizados en la caracterización y previsión del oleaje en periodos largos de tiempo y en la definición de oleajes de proyecto.
Para cualquier otro término no incluido en la siguiente relación, se remite a las restantes recomendaciones del Programa ROM y, en particular, al apartado correspondiente de la ROM 0.3. Acciones Medioambientales I: Oleaje.

— AGUAS PROFUNDAS: Se considera que el oleaje está en aguas profundas cuando la profundidad relativa, o cociente entre la profundidad del agua y la longitud de onda correspondiente a algún periodo representativo del oleaje (periodo medio o el periodo de pico) y obtenida en base al modelo de onda de Airy, es mayor de 0.5.

— ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE: Parámetro geométrico-estadístico representativo del oleaje, definido, a partir de discretizar un registro de oleaje en olas individuales según el Método de Paso por Cero, como la media aritmética de las alturas de ola del tercio de olas más altas del registro.

— ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE ESPECTRAL: Parámetro espectral del oleaje considerado como estructural o de escala. Se define como cuatro veces la raiz cuadrada del momento de orden cero del espectro o área encerrada por la función de densidad espectral. A los efectos de este Anejo, los valores de la altura significante estadística y espectral correspondientes a un mismo registro de oleaje pueden considerarse prácticamente coincidentes.

— ALTURA DE OLA VISUAL: Altura de ola recogida visualmente por un observador generalmente desde un buque en ruta.

— AÑO CLIMÁTICO O METEOROLÓGICO: En latitudes españolas se considera como año climático o meteorológico el que se inicia el 22 de junio y finaliza el 21 del mismo mes del año siguiente.

— BOYA DE MEDIDA: Estación marítima de captación y emisión de datos de oleaje. Los datos instrumentales analizados en este anejo han sido suministrados por boyas acelerométricas de superficie tipo Waverider fabricadas por Datawell que, fondeadas en un punto, miden los desplazamientos verticales de la superficie del agua.

— CLIMA MARÍTIMO: aracterización del oleaje en periodos largos de tiempo o descripción estadística de la variación en el dominio del tiempo de los Estados del Mar en un emplazamiento dado. Puede considerarse definido a partir de la estadística unidimensional y bidimensional de los parámetros geométrico-estadísticos y espectrales representativos del Estado del Mar en la zona considerada.

— COEFICIENTE DE DIRECCIONALIDAD: Coeficiente que permite la obtención de regímenes extremales direccionales de altura de ola significante en aguas profundas a partir del régimen extremal escalar correspondiente a la zona analizada. El régimen extremal direccional se obtiene multiplicando las alturas de ola escalares correspondientes a los distintos periodos de retorno, transferidas a aguas profundas, por el coeficiente de direccionalidad asociado a la dirección considerada para la zona analizada.

— COEFICIENTE DE REFRACCIÓN/SHOALING: Coeficiente que permite cuantificar la variación de la altura de ola por la influencia del fondo marino a partir de la altura de ola en aguas profundas. Se define en cada punto, y para cada periodo y dirección del oleaje, como el cociente entre la altura de ola en dicho punto y la misma en aguas profundas.
Lo anterior es válido siempre y cuando, debido al rango de profundidades y al emplazamiento del punto analizado, los fenómenos que transforman al oleaje desde aguas profundas hasta profundidades reducidas sean únicamente la refracción y el shoaling.

— CONDICIÓN DE TEMPORAL: Estado del Mar que supera un determinado valor umbral de altura de ola significante. Dicha altura de ola umbral es variable para cada zona en función

de las características climáticas de la misma.

— CONDICIONES EXTREMAS: Actuación de las más severas condiciones medioambientales para las cuales se proyecta una estructura o instalación.

— CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN: Estado en el que una instalación funcionasen limitaciones, no viéndose afectada su explotación u operatividad por las condiciones medioambientales.

— CURVA DE ESTADOS DEL MAR: Curva que caracteriza a los sucesivos Estados del Mar mediante una función continua que representa la evolución de un determinado parámetro estadístico representativo del Estado del Mar, en particular la altura de ola significante, a lo largo del tiempo en un punto determinado.

— DATOS INSTRUMENTALES DE OLEAJE: Datos de oleaje procedentes de medidas instrumentales o registros.

— DATOS VISUALES: Datos de oleaje procedentes de observaciones visuales generalmente desde buques en ruta.

— DENSIDAD ESPECTRAL: Energía media por unidad de superficie asociada a cada una de las infinitas ondas monocromáticas de frecuencia diferenciada componentes del oleaje. Se expresa en unidades de energía por unidad de frecuencia.

La función de densidad espectral coincide con la transformada de Fourier de la varianza de la distribución de elevaciones de la superficie del mar, y por tanto puede obtenerse en la práctica aplicando el análisis de Fourier de ondas compuestas a un registro de oleaje.

— DESVIACIÓN TÍPICA O ESTÁNDAR: Raiz cuadrada del segundo momento respecto a la media de una distribución estadística. Para una muestra de tamaño n se define como:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}) / n}$$

siendo $\bar{x}$ el valor medio de la misma.
La desviación típica de una distribución es una medida de su dispersión respecto al valor medio. Si la mayor parte del área limitada por la curva que representa a la distribución en un sistema cartesiano y el eje de abcisas está próxima a la media, la desviación típica será pequeña.

— ESPECTRO ESCALAR DEL OLEAJE: Expresión que determina la energía media por unidad de superficie contenida en cada una de las infinitas ondas monocromáticas de frecuencia diferenciada componentes del oleaje. Cuando la distribución energética se expresa como función únicamente de la frecuencia, independientemente de la dirección de propagación, se denomina Espectro Unidimensional o Escalar.
Es utilizado como modelo de descripción del Estado del Mar.

— ESPECTRO JONSWAP: Espectro escalar teórico multiparamétrico desarrollado por Hasselman a partir del espectro Pierson-Moskowitz, como ajuste de espectros reales medidos en el Mar del Norte. Fundamentalmente permite definir oleajes tipo Sea parcialmente desarrollados, es decir aquellas situaciones en las cuales el mecanismo de generación del oleaje está limitado por la longitud del fetch y/o por la duración de actuación del viento generador.

— ESTADO DEL MAR: Situación temporal/espacial en la cual puede suponerse el fenómeno del oleaje real como estable energética y estadísticamente. Representa, por tanto, cada una de las situaciones en las que se puede separar la continua evolución del oleaje. En cada una de ellas el oleaje real puede ser tratado como un proceso estacionario en el tiempo, homogéneo en el espacio, y ergódico (muestras temporales/espaciales distintas de extensión finita suficiente, son estadísticamente iguales).
Bajo estas condiciones, puede admitirse la descripción del oleaje durante periodos cortos de tiempo a partir de un único registro temporal.

— FETCH: Se define como fetch correspondiente a un punto de observación o previsión alasuperficie de agua donde en un cierto instante puede actuar viento capaz de generar un oleaje en el que alguna de sus componentes llege al punto de observación. Queda generalmente determinado por el parámetro longitud del fetch, definido simplificadamente como la longitud del área de generación en la dirección media del viento generador.

— FRECUENCIA DE PICO: Frecuencia para la cual la función de densidad espectral alcanza su máximo valor (pico).

— FRECUENCIAS DE PRESENTACIÓN TEÓRICAS: Se denominan frecuencias de presentación teóricas a las estimaciones de los puntos de la función de distribución muestral a partir de los datos muestrales; es decir, a las probabilidades de presentación asignadas a cada una de las observaciones o datos muestrales.
Las frecuencias de presentación son necesarias para representar los datos muestrales en un papel probabilístico, a los que posteriormente ajustar gráficamente o por mínimos cuadrados la función de distribución teórica elegida. Por esa razón se las denomina también «posiciones de dibujo».

— HINDCASTING: Modelo teórico de previsión del oleaje a partir de la consideración de campos de presiones y/o vientos generadores de oleaje deducidos de cartas meteorológicas de superficie correspondientes a situaciones pasadas.

— LONGITUD DE ONDA: Distancia horizontal entre dos crestas consecutivas de una onda monocromática o regular.

— MEDIA: Primer momento de una distribución estadística. Para una muestra de tamaño n se define como:

$$\overline{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i / n$$

La media es un parámetro estadístico de posición, ya que indica dónde está situado el centro de la distribución muestral (en el sentido de centro de gravedad).

— MOMENTO ESPECTRAL DE ORDEN CERO: Parámetro espectral que equivale al área encerrada por la función de densidad espectral. Es por tanto proporcional a la energía media por unidad de superficie del oleaje. Se define matemáticamente como:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(f)\,df$$

siendo S(f) la función de densidad espectral.

— OLEAJE: Alteraciones producidas en la superficie del mar por la actuación continuada del viento sobre una superficie o área marítima (fetch) durante un cierto periodo de tiempo; siempre y cuando dicho fenómeno dé como resultado una gama de ondas aleatorias, de forma más o menos irregular y con diversas direcciones de propagación, con periodos entre 1 y 30 segundos.

— OLEAJE TIPO SEA O MAR DE VIENTO: Oleaje que se forma y desarrolla en una superficie líquida bajo la acción directa y contínua del viento, generándose ondas elementales de altura, periodo, fase y dirección de propagación aleatorias e independientes, cuya interferencia da lugar a un aspecto caótico de la superficie líquida.

El oleaje tipo Sea presenta generalmente ondas muy peraltadas con periodos y longitudes de onda pequeños, aunque en una amplia gama de frecuencias.

— OLEAJE TIPO SEA EN DESARROLLO: Oleaje tipo Sea en el que el mecanismo de generación y desarrollo del oleaje está limitado por la longitud del fetch y/o por la duración de actuación del viento generador.

— OLEAJE TIPO SEA TOTALMENTE DESARROLLADO: Oleaje de viento que ha alcanzado el equilibrio límite con el viento que lo genera independientemente de la longitud del fetch y de la duración de actuación del viento. Por tanto es un oleaje que ha alcanzado el crecimiento máximo de sus características para una determinada velocidad del viento.

— OLEAJE TIPO SWELL O MAR DE FONDO: Oleaje que abandona el área de generación y se propaga a través de superficies marítimas sin estar sometido a la acción significativa del viento, y por tanto atenuándose progresivamente hasta su completa extinción.
El oleaje tipo Swell presenta olas menos peraltadas que el oleaje tipo Sea, con periodos y longitudes de onda grandes en una gama estrecha de frecuencias. Da lugar en general a un aspecto ordenado y regular de la superficie líquida.

— PAPEL PROBABILÍSTICO: Soporte cartesiano con eje o ejes de escala distorsionada (en el sentido de no lineal) que posibilita la representación gráfica del tipo de funciones de distribución estadísticas asociadas a dicho papel mediante una recta.

— PARAMETRO DE APUNTAMIENTO ESPECTRAL o de ajuste del pico del espectro: Parámetro de forma del espectro teórico JONSWAP que controla la agudeza del pico del mismo.

— PERALTE DE UNA OLA: Cociente entre la altura de ola y la longitud de onda.

— PERIODO DE PICO: Periodo para el cual la función de densidad espectral alcanza su máximo valor. Es el inverso de la frecuencia dominante del espectro.

— PERIODO DE RETORNO: Se define como periodo de retorno de un valor determinado de la variable, 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 dicho valor.

— PERIODO MEDIO: Parámetro geométrico-estadístico representativo del oleaje, definido, a partir de discretizar un registro de oleaje en olas individuales según el Método de Paso por Cero, como la media aritmética de los periodos de todas las olas individuales.

— PERIODO SIGNIFICANTE: Parámetro geométrico-estadístico representativo del oleaje, definido, a partir de discretizar un registro de oleaje en olas individuales según el Método de paso por Cero, como la media aritmética de los periodos asociados al tercio de olas más altas del registro.

— PERIODO VISUAL: Periodo del oleaje recogido mediante cronómetro por un observador generalmente desde un buque en ruta.

— PICO DEL TEMPORAL: Estado del Mar, perteneciente al temporal, en el que se registra la mayor altura de ola significante.

— PROFUNDIDADES INTERMEDIAS: Se considera que el oleaje está en profundidades intermedias cuando la profundidad relativa, o cociente entre la profundidad del agua y la longitud de onda correspondiente a algún periodo representativo del oleaje (periodo medio o periodo de pico) y obtenida en base al modelo de onda de Airy, está en el interior del siguiente intervalo:

$$1/25 \leq d/L \leq 1/2$$

— PROFUNDIDADES REDUCIDAS: Se considera que el oleaje está en profundidades reducidas cuando la profundidad relativa, o cociente entre la profundidad del agua y la longitud de onda correspondiente a algún periodo representativo del oleaje (periodo medio o periodo de pico) y obtenida en base al modelo de onda de Airy, es menor de 1/25.

— REFRACCIÓN: Proceso de transformación del oleaje que consiste en cambios en las alturas de ola y en las direcciones de propagación del mismo. Se presenta cuando una determinada topografía marina o la presencia de corrientes u otro fenómeno (p.e.viento) altera la velocidad y/o la dirección de propagación de los puntos de un frente de ondas respecto a otros. En este anejo se considera el fenómeno de refracción que se produce en profundidades reducidas e intermedias, y por tanto fundamentalmente causado por la batimetría o topografía marina. En estas condiciones, la configuración que toma un determinado oleaje sometido a refracción se puede resumir diciendo que los frentes de onda tienden a situarse de forma paralela a las batimétricas.

— RÉGIMEN EXTREMAL DE ALTURA DE OLA: Función de distribución de los valores extremos de la variable altura de ola. Relaciona los valores máximos previsibles de esta variable con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en un año.

— RÉGIMEN MEDIO ESCALAR DE ALTURA DE OLA: Relación entre los diversos valores de la variable altura de ola con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio.

— RÉGIMEN MEDIO DIRECCIONAL DE ALTURA DE OLA: Relación entre los diversos valores de la variable altura de ola con la probabilidad de que dichos valores no sean superados en el año climático medio con oleaje proveniente del sector direccional considerado. La probabilidad definida está, por tanto, condicionada a que el oleaje tenga la dirección principal de propagación comprendida en el sector direccional analizado.

— ROSA DE OLEAJE: Representación gráfica comúnmente utilizada de la distribución conjunta altura de ola visual/dirección, o frecuencia de presentación de alturas de ola en cada sector direccional.

— SECTOR DIRECCIONAL: Sector angular de una amplitud determinada. En este anejo se consideran sectores de 22.5º de amplitud.

— SHOALING: Modificaciones que se producen en las características del oleaje debido a la variación gradual de la profundidad, cuando penetra o se propaga en profundidades reducidas o intermedias. Este fenómeno da lugar a cambios en las alturas de ola y en las longitudes de onda, pero no en los periodos.

— TEMPORAL: Sucesión continua en el tiempo de Estados del Mar que superan un valor umbral de altura de ola significante. Dicha altura de ola umbral es variable para cada zona en función de las características climáticas de la misma.

— VARIABLE REDUCIDA: Variable definida mediante un cambio de coordenadas a partir de otra, con objeto de posibilitar la expresión matemática de una función, al definirla en términos de variable reducida, mediante la ecuación de una recta.

1.4. SISTEMA DE UNIDADES

El sistema de unidades usado en estas Recomendaciones corresponde al Sistema Legal de Unidades de Medida obligatorio en España, denominado Sistema Internacional de Unidades (SI); con la salvedad de la unidad derivada de fuerza en que también se utiliza la tonelada (t) debido a lo usual de dicha unidad en España para la medición de cargas y esfuerzos.

Las unidades básicas del Sistema Internacional más comúnmente utilizadas en el campo de la ingeniería civil son las siguientes:

— Longitud : Metro (m).
— Masa : Kilogramo (kg) o su múltiplo la tonelada (t) (1 t = 1000 kg)
— Tiempo : Segundo (s).
— Temperatura : Grado centígrado (ºC).
— Fuerza : Newton (N) o su múltiplo el kilonewton (kN) (1 kN = 1000 N)
— Tensión o presión : Pascal (Pa) o su múltiplo el kilopascal (kPa) (1 kPa = 1000 Pa) (1 Pa = 1 N/m^2)
—Frecuencia : Hertz (Hz) (1 Hz = 1 s^{-1})

La relación de la tonelada-fuerza con la unidad derivada de fuerza del Sistema Internacional (Newton -N-) es la siguiente: 1 t = 9.8 kN.

1.5. NOTACIONES

Las notaciones, abreviaturas, y símbolos convencionales fundamentales empleados en este Anejo, y sus unidades, se detallan en la tabla 1.5.1.

1.6. REFERENCIAS DOCUMENTALES

Análisis Convencional de un Registro de Oleaje.
Programa de Clima Marítimo. Dirección General de Puertos y Costas. Madrid, 1986.

Atlas de Análisis Extremal sobre Datos Visuales de Barcos en Ruta.
Programa de Clima Marítimo. Dirección General de Puertos y Costas. Madrid, 1991.

British Standard Code of Practice for Maritime Structures. Part 1. General Criteria. (BS 6349: Part 1. 1984).
British Standards Institution. 1984.

Características Estadístico-Espectrales de una Muestra de Registros de Oleaje.
Programa de Clima Marítimo. Dirección General de Puertos y Costas. Madrid, 1986

Características Extremales de una Muestra de Registros de Oleaje.
Programa de Clima Marítimo. Dirección General de Puertos y Costas. Madrid, 1986.

Colaboración a la ROM. Fase I. Análisis Medio-Extremal y Direccional del Oleaje en el Litoral Español.
Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX. Madrid, 1990.

Colaboración a la ROM. Fase 1991. Tomos I y II.
Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX. Madrid, 1991.

COPEIRO, E. *Análisis Extremal de Variables Geofísicas.*
Laboratorio de Puertos Ramón Iribarren. CEDEX. Madrid, 1978.

COPEIRO, E. *Estima de la Función de Distribución a partir de una Muestra Aleatoria.*
Revista de Obras Públicas. Madrid, Mayo de 1979.

Estudio de Clima y de Acciones sobre el Dique de Ciérvana, en el Puerto de Bilbao.
Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX. Madrid, 1989.

Final Report of the International Comission for the Study of Waves.
PIANC. Apendix of Bulletin number 25. Bruxelles, 1977.

GODA, Y. *The Observed Joint Distribution of Periods and Heights of Sea Waves.*
Proceedings. 16th International Conference of Coastal Engineering. American Society of Civil Engineers. New York, 1978.

GODA, Y. *Random Seas and Design of Maritime Structures.* University of Tokio Press. Tokio, 1985.

GODA, Y. *Statistical Variability of Sea State Parameters as a Function of Wave Spectrum.* Coastal Engineering in Japan. Vol. 31. 1988.

GODA, Y. *On the Methodology of Selecting Desing Wave Height.*
Proceedings. 21st International Conference of Coastal Engineering. American Society of Civil Engineers. New York, 1989.

Handbook of Coastal and Ocean Engineering. Volume I: Wave Phenomena and Coastal Structures. Gulf Publishing Company. Houston, 1990.

HASSELMANN, K.*Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP).*
Deutsches Hydrographisches Institut. Hamburg, 1973.

MARTIN SOLDEVILLA, Mª J. *Análisis Medio y Extremal del Oleaje.* Cuadernos de Investigación. C 22. CEDEX. Madrid, 1990.

Modelo Numérico de Propagación de Oleaje Irregular Direccional. Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX. Madrid, 1989.

Puesta a Punto de los Programas de Análisis Medio y Extremal del Oleaje. Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX. Madrid, 1987.

REMRO. Datos de Oleaje 1990. Resumen General.
Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX. Madrid, 1991.

Shore Protection Manual.
Coastal Engineering Research Center (CERC). Department of the Army. U.S. Army Corps of Engineers. Washington D.C., 1984.

SVERDRUP & MUNK. *Wind Sea and Swell: Theory of Relations for Forecasting.*
Hydrographic Office. Publication number 601. U.S. Navy. Washington, D.C., 1947.

TABLA 1.5.1. NOTACIONES, ABREVIATURAS Y SÍMBOLO CONVENCIONALES FUNDAMENTALES UTILIZADOS EN ESTE ANEJO		
I. MAYÚSCULAS LATINAS		
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
C	Parámetro de forma de la distribución de Weibull	*
H	Altura de ola genérica	m
H_{mo}	Altura de ola significante espectral	m
H_s	Altura de ola significante	m
H_{si}	Valor concreto de la variable altura de ola significante	m
$H_{s,R}$	Altura de ola significante asociada a un período de retorno, obtenida del régimen extremal escalar instrumental	m
$H_{s,o}$	Altura de ola significante en aguas profundas asociadas a un período de retorno, para una dirección determinada	m
$H_{s.T}$	Altura de ola significante umbral establecida para la consideración de condiciones de temporal	m
H_v	Altura de ola visual	m
H_{vo}	Valor concreto de la variable altura de ola visual	m
$\overline{H}_s$	Altura de ola significante media de la muestra de temporales considerada para la obtención de un régimen extremal	m
H_1	Segundo nivel umbral de altura de ola fijada en la aplicación del método POT, Goda 1988 para la obtención de regímenes extrémales	m
K_R	Coeficiente de Refracción-Shoaling	*
K_α	Coeficiente de direccionalidad para la estimación de regímenes extremales direccionales a partir del régimen extremal escalar correspondiente	*
L	Longitud de onda	m
$L_{\overline{T}}$	Longitud de onda asociada al período medio formulada en base a la teoría lineal o de Airy	m
N	Número de sectores direccionales que aportan oleaje incidente en un punto	—
$P(H_s)$	Probabilidad anual de no excedencia de la variable altura de ola significante	*
P'_{SECTOR}	Probabilidad de presentación de un sector direccional	*
$P_i\ (H_{vo})$	Probabilidad absoluta de no excedencia del nivel H_{vo} de la variable altura de ola visual en el año climático medio, para oleaje proveniente del sector direccional i	*
$P'\ (H_s)$	Función de distribución que ajusta la muestra extremal definida por el método POT, Goda 1988	*
$P'_i\left(H_{vo}\right)$	Probabilidad condicional de no excedencia del nivel H_{vo} de la variable altura de ola visual en el año climático medio, obtenida del régimen medio direccional correspondiente al sector i	*
$S\ (f)$	Función de densidad espectral	m^2s
$T(H_{si})$	Período medio de retorno del nivel H_{si} de la variable altura de ola significante	años

TABLA 1.5.1. (Continuación)		
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
T_{ef}	Tiempo efectivo de registro de datos	años
T_p	Período de pico del oleaje	s
T_v	Período visual del oleaje	s
$\bar{T}$	Período medio del oleaje	s
II. MINÚSCULAS LATINAS		
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
a	Factor adimensional que interviene en la formulación del espectro teórico Jonswap, como exponente del factor de apuntamiento	*
f	Frecuencia como variable independiente de una función	Hz ó s^{-1}
f_i	Frecuencia de presentación del sector direccional i	—
$f_{p,max}$	Valor máximo de la frecuencia de pico en una muestra de temporales	Hz ó s^{-1}
$f_{p,min}$	Valor mínimo de la frecuencia de pico en una muestra de temporales	Hz ó s^{-1}
$\bar{f}_p$	Valor medio de las frecuencias de pico correspondientes a los temporales considerados	Hz ó s^{-1}
g	Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)	m/s^2
m_0	Momento espectral de orden cero	m^2
n	Tamaño de la muestra de temporales de partida, considerado en el análisis estadístico extremal o espectral	—
$n(H_s)$	Número de excedencias en un año climático medio por cada nivel de la variable H_s	—
n_1	Número de temporales que constituyen el total de datos muestrales considerados en el análisis estadístico extremal por el Método POT, Goda 1988	—
P	Peralte (cociente entre la altura de ola y la longitud de onda)	*
III. GRIEGAS		
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
α	Parámetro de escala del Espectro JONSWAP	*
α_v	Dirección principal de propagación del oleaje, obtenida visualmente	grados
γ	Factor de apuntamiento. Parámetro de forma que controla la agudeza del pico de un espectro JONSWAP	*
γ_{max}	Valor máximo del factor de apuntamiento en una muestra de temporales	*

TABLA 1.5.1. (Continuación)

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	UNIDADES
γ_{min}	Valor mínimo del factor de apuntamiento en una muestra de temporales	*
$\bar{\gamma}$	Valor medio de los factores de apuntamiento asociados a los temporales considerados	*
λ	Número medio de temporales por año adoptado en un análisis estadístico extremal por el método POT, Goda 1988	—
v	«Censoring parameter». Método POT, Goda 1988	—
σ_a	Parámetro de forma que ajusta la pendiente del espectro JONSWAP a la izquierda del pico espectral	*
σ_b	Parámetro de forma que ajusta la pendiente del espectro JONSWAP a la derecha del pico espectral	*
σ_{fp}	Desviación típica o estándar de una muestra formada por las frecuencias de pico correspondientes a los temporales considerados en el análisis estadístico espectral	Hz ó s^{-1}
σ_x	Desviación estándar de la muestra formada por las alturas de ola significantes, adoptada en el análisis extremal por el método POT, Goda 1988	m
σ_γ	Desviación típica o estándar de la muestra formada por los factores de apuntamiento asociados a los temporales considerados en el análisis estadístico espectral	*
ϕ (H_s)	Ecuación extremal. Función de distribución de los Función de distribución de los extremos de una variable obtenida por aplicación del Método de la Muestra Total (Copeiro, 1978)	—

IV. ABREVIATURAS

ABREVIATURAS	SIGNIFICADO
BMVE	Bajamar mínima viva equinoccial
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CEPYC	Centro de Estudios de Puertos y Costas
DGP	Dirección General de Puertos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes
J	Espectro JONSWAP (Joint North Sea Wave Project)
PCM	Programa de Clima Marítimo de la Dirección General de Puertos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes
POT	En análisis extremal, método de los máximos relativos sobre el umbral (Peak Over Threshold Method)
REMRO	Red Española de Medida y Registro de Oleaje
ROM	Recomendaciones para obras marítimas
SPM	Shore Protection Manual

LEYENDA: * Adimensional

PARTE 2 CLIMA MARÍTIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL

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 PRESENTACIÓN SECTORIALES 35

2.5.3. REGÍMENES MEDIOS ESCALARES 38

2.5.4. REGÍMENES EXTREMALES ESCALARES 39

2.5.5. REGÍMENES EXTREMALES DIRECCIONALES. RELACIÓN ALTURA-DIRECCIÓN 42

2.5.6. CORRELACIÓN ALTURA DE OLA/PERIODO PARA CONDICIONES DE TEMPORAL 43

2.5.7. ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BÁSICA PARA CONDICIONES 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

Índice

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

Índice

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 extremales 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. Asímismo 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

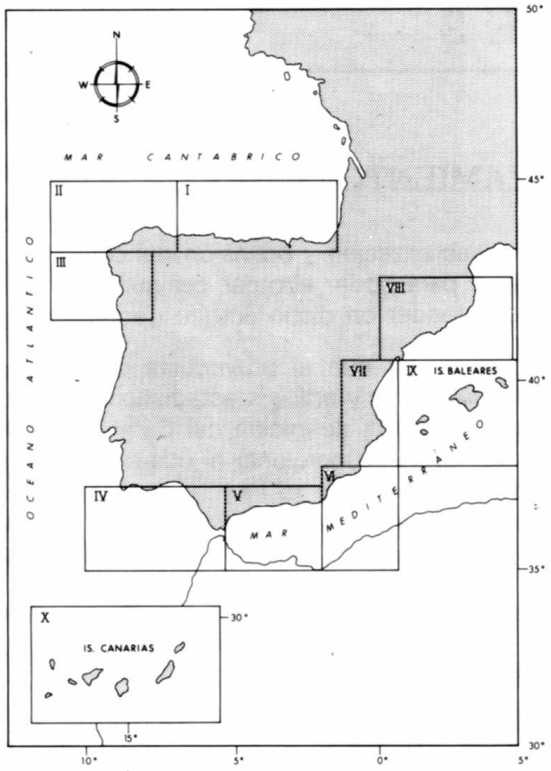
A los efectos de caracterización del Clima Marítimo en el litoral español se establece una zonificación del mismo en 10 áreas diferenciadas, definidas en base a características climáticas homogéneas, a la configuración de la costa, y al emplazamiento de las fuentes de información disponible.

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 22.5º de amplitud.

— Frecuencias de presentación sectoriales.

— Análisis Estadístico Unidimensional de la variable altura de ola significante (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 significante/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 significante 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 mediantes 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.

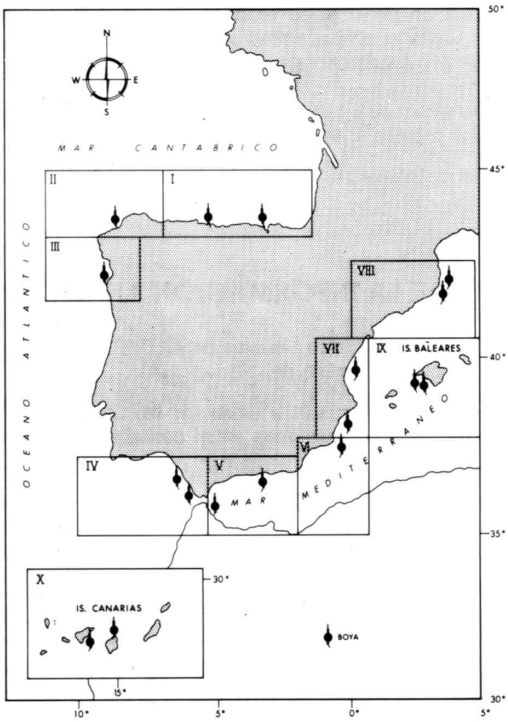
En aquellos casos en que se estudian condiciones de temporal (Régimen Extremal, Correlación Altura/Periodo, Estructura Espectral Escalar Básica), la información analizada ha sido aquélla correspondiente a los Estados del Mar pico de temporal * cuya altura de ola significante superaba el nivel fijado 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 significante 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 significante.

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" N	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 significante 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-α_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 22.5º 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-α_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 22.5º.

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 probabílístico 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.

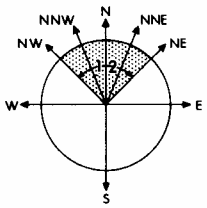
Los distintos regímenes medios direccionales se representan gráficamente en papel probabilístico lognormal, cuyas ordenadas se corresponden con la altura de ola visual (H_v) en metros, y cuyas abcisas son las probabilidades de no excedencia condicionadas. Las abcisas también se dan en términos de variable 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

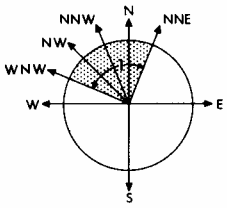
AREA-I

1- BILBAO 2-GIJON



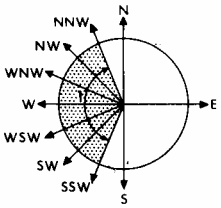
AREA-II

CORUNA



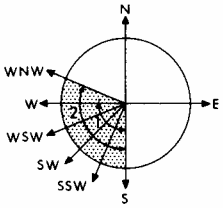
AREA-III

CABO SILLEIRO



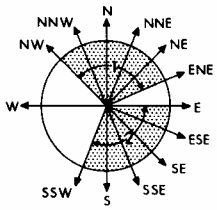
AREA-IV

1-SEVILLA, 2-CADIZ



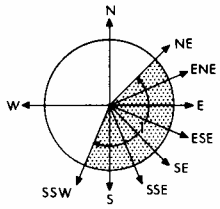
AREA-V

1-CEUTA 2-MALAGA



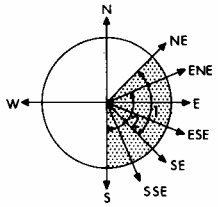
AREA-VI

CABO DE PALOS



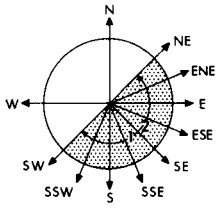
AREA-VII

1-VALENCIA I, 2-ALICANTE



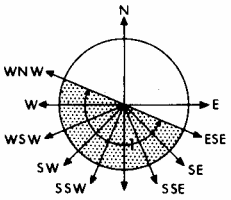
AREA-VIII

GERONA



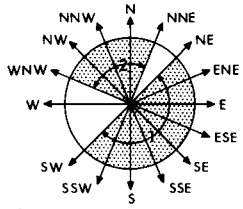
AREA-IX

PALMA DE MALLORCA



AREA-X

1-TENERIFE, 2-LAS PALMAS I



Para la correlación altura de ola visual/altura de ola significante 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),..l, 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 significante. Dicho régimen medio relaciona los diversos valores de la variable altura de ola significante 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 contínua que representa la evolución del parámetro «altura de ola significante» 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 significante (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 significante.

Dicho régimen extremal es la función de distribución de los valores extremos de la variable altura de ola significante. 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:

$$T(H_{Si}) = 1 /[1 — P(Hs \leq H_{si})]$$

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 válidez 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 significante ($H_{S,T}$) 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 significante 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 significante 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	$\overline{H}_s$ (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 significante umbral para definición de temporal (en el pico)
H_1 : Segundo nivel umbral de altura de ola
n : Nº de temporales de partida considerado
n_1 : Nº de temporales que constituyen el total de datos muestrales
$\overline{H}_s$: Altura significante 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 algun 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 significante (H_s) en m, y las abcisas 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 limites 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 extremales 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 númericos 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 fíabilidad 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 ($\overline{T}$)
- 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 significante (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 $\left(p = H_s / L_{\bar{T}}\right)$ 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 significante (H_s) y de longitud de onda en aguas profundas asociada al periodo medio $\left(L_{\bar{T}}\right)$ y formulada en base al modelo de onda lineal o de Airy. Es decir:

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

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 $0.9 \le T_p/\bar{T} \le 1.4$, 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

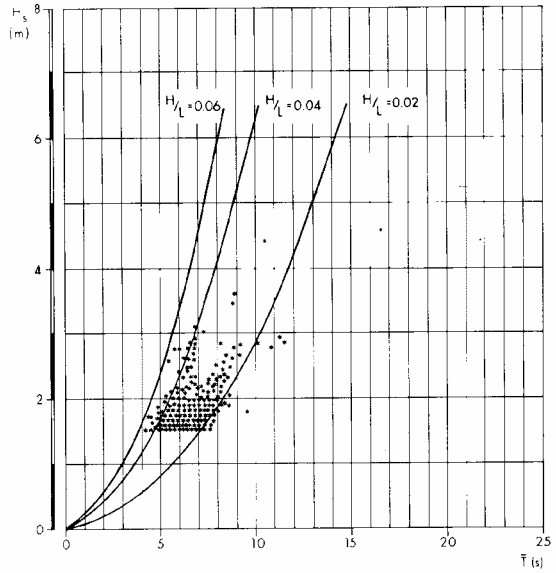


FIGURA 2.5.6.1. Tabla de encuentro $H_s - \overline{T}$ en condiciones de temporal. Limitación superior e inferior del peralte. Boya de Tenerife. 1981-1989

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 $T_P/\overline{T}$ 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 repre-sentada.

En cualquier caso, los valores de los peraltes límites y de la relación $T_P/\overline{T}$ 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 $T_P/\overline{T}$ 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.)*

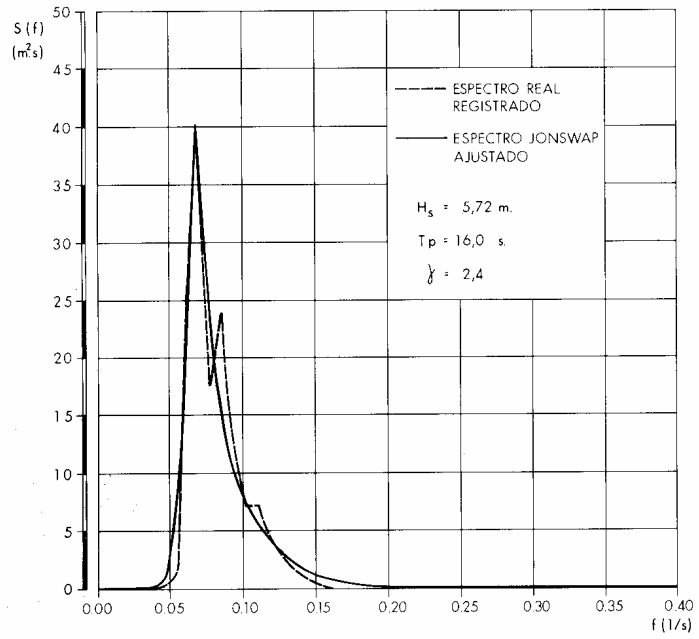


FIGURA 2.5.7.1. Espectro real registrado ajustado a un espectro JONSWAP. Boya de Cabo Silleiro.

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:

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

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/s^2).

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 significante 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:

$$\sigma_a = 0.07 \qquad \sigma_b = 0.09$$

por lo que la estadística de los parámetros f_p y γes 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 significante.

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 $(\bar{f}_p \text{ y } \bar{\gamma})$.

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 prodecentes 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, asignándoselo 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 $\overline{\gamma}$ y de $\overline{f}_p$ 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 $\overline{\gamma}$. 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, $\overline{f}_p$ (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 ($\overline{\gamma}$, $\overline{f}_p$), 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.

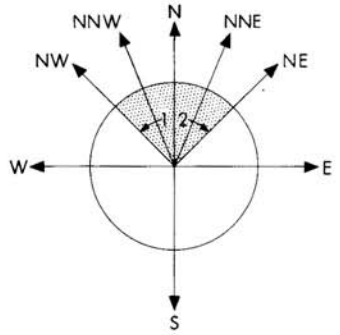
2.6.2. LEYENDA

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

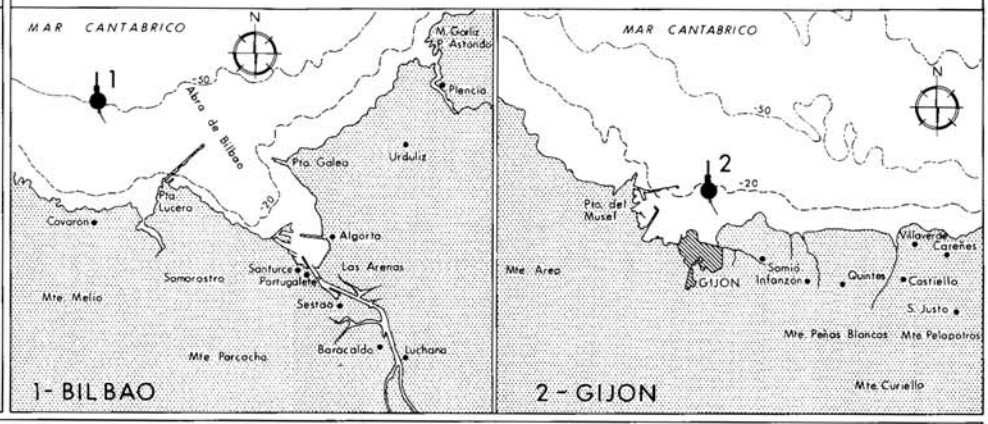
TABLA 2.6.2.1. NOTACIONES, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS CONVENCIONALES UTILIZADOS EN EL ATLAS DEL CLIMA MARÍTIMO

SÍMBOLO	DEFINICIÓN
H_s	Altura de ola significante.
H_v	Altura de ola visual.
$K\alpha$	Coeficiente de direccionalidad para la estimación de regímenes extremales direccionales a partir del régimen extremal escalar correspondiente.
$L_{\bar{T}}$	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 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.

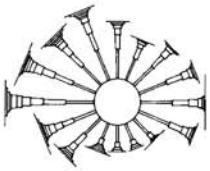
DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

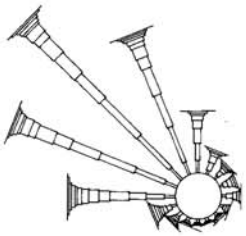


LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL



A- OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE

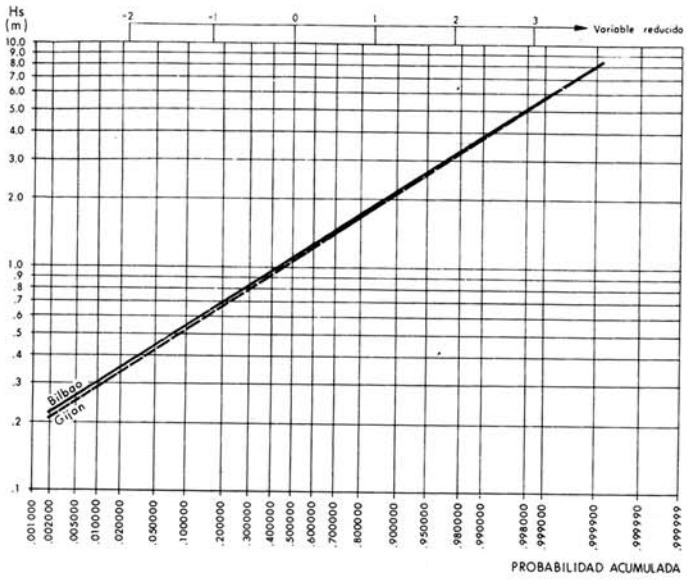




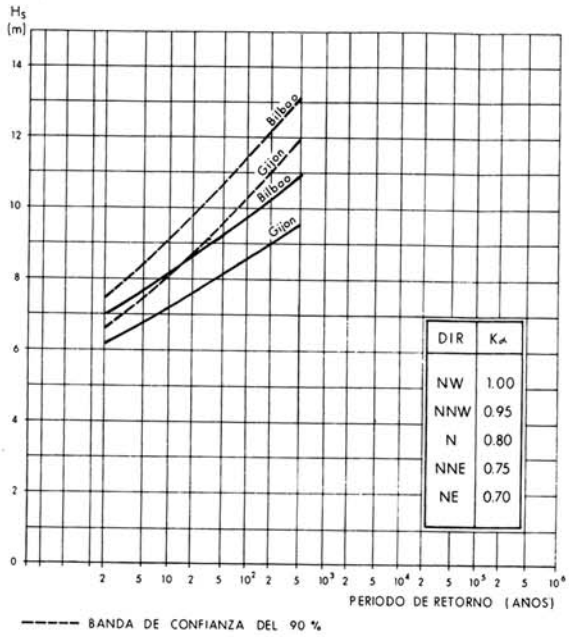
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	18 694
Nº TOTAL DE CALMAS	2 951
Nº TOTAL DE CONFUSAS	1 050

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)	43º 24' 00" N 3º 8' 36" W	50	1985/1990
2- GIJON	43º 34' 00" N 5º 39' 00" W	23	1981/1990

OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA

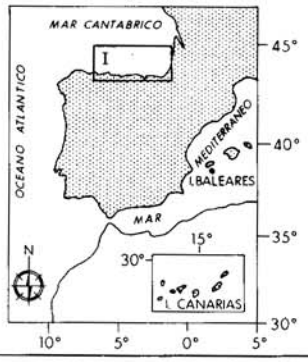
43º N - 45º N

1,5º W - 7º W

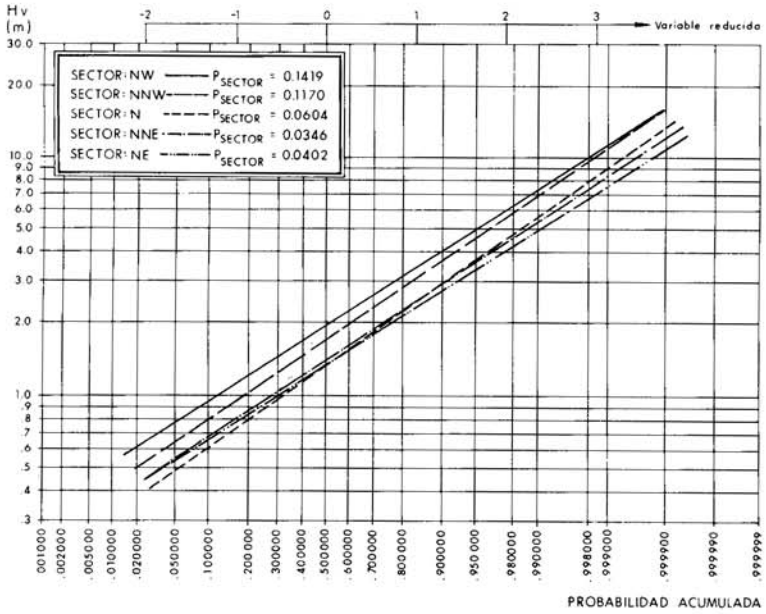
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

A R E A - I

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B- OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



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

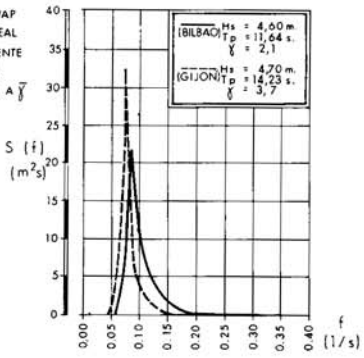
BOYA	$P = H_s / L_{\bar{T}} = \frac{2\pi H_s}{g\bar{T}^2}$	$T_p / \bar{T}$	RELACION FINAL H_s (m) T_p (s)	VALORES DE DISEÑO H_s (m)	T_p * (s)
BILBAO (Ext)	0.015 ~ 0.04	≃1.30	$T_p = (5 \sim 8.5)\sqrt{H_s}$	5	11~19
				7	13~22
				9	15~25
				11	16,5~28
GIJON	0.010 ~ 0.05	≃1.22	$T_p = (4 \sim 9.7)\sqrt{H_s}$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

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

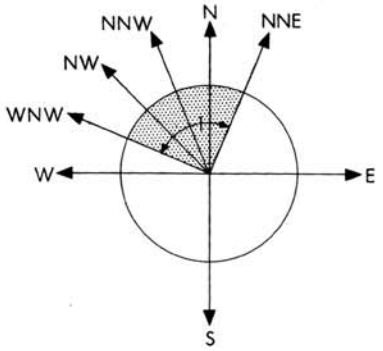
**(1/s)



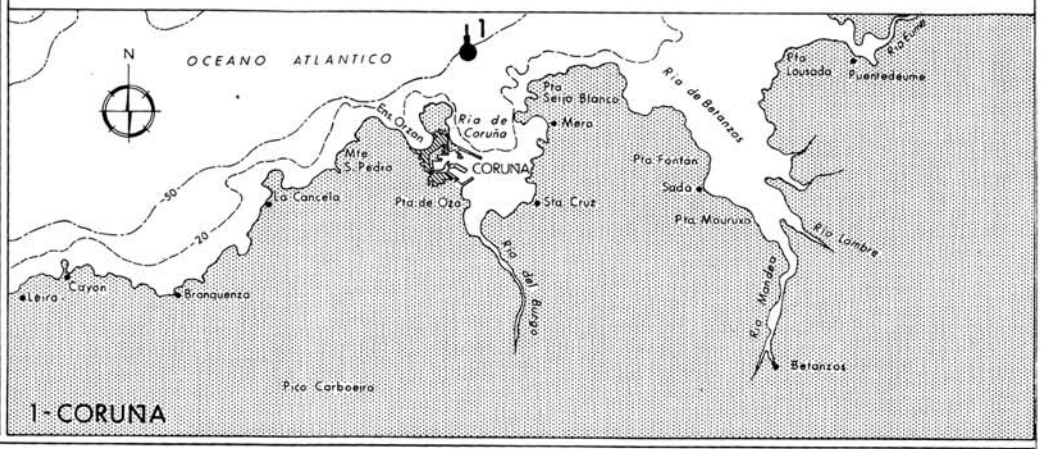
BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$**	$f_{p,max}$**	$f_{p,min}$**	σ_{f_p}**	n
BILBAO	1.9	5.4	0.9	0.97	0.07	0.11	0.05	0.012	18
GIJON	3.9	8.4	1.5	1.97	0.07	0.10	0.06	0.011	20

ROM 0.3-91-OLEAJE
ATLAS DE CLIMA MARITIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL

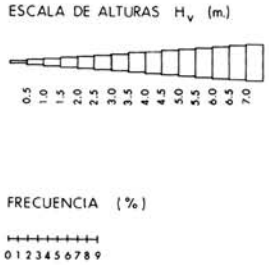
DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

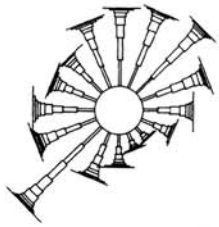


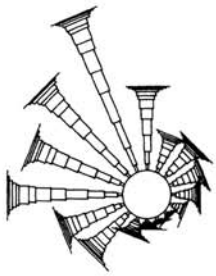
LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

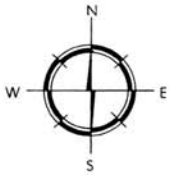


A - OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE





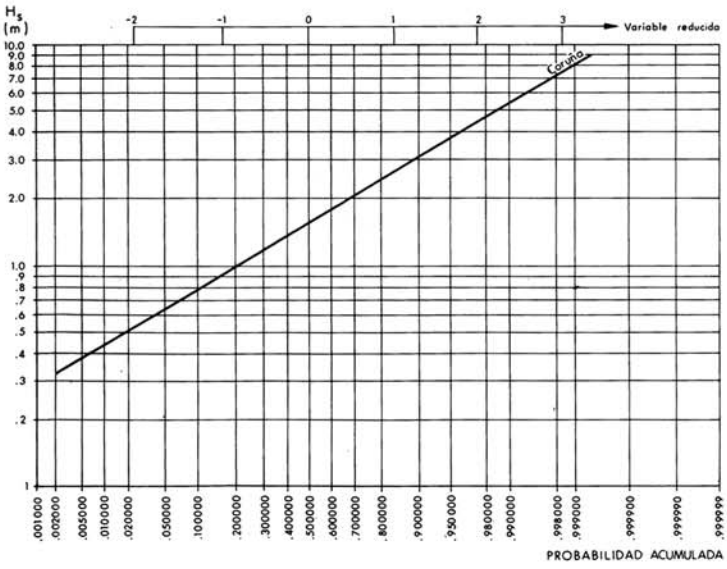




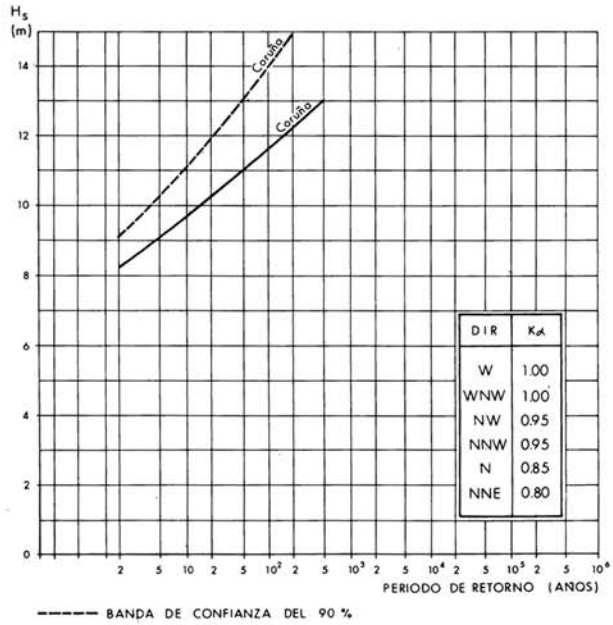
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	123.593
Nº TOTAL DE CALMAS	9.071
Nº TOTAL DE CONFUSAS	14.839

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_α
W	1.00
WNW	1.00
NW	0.95
NNW	0.95
N	0.85
NNE	0.80

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

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

OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :

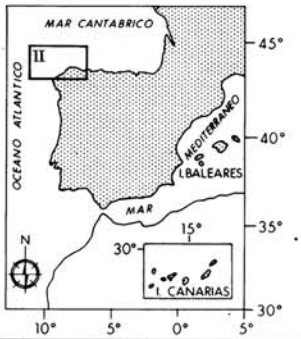
43,2º N - 45º N

7º W - 11º W

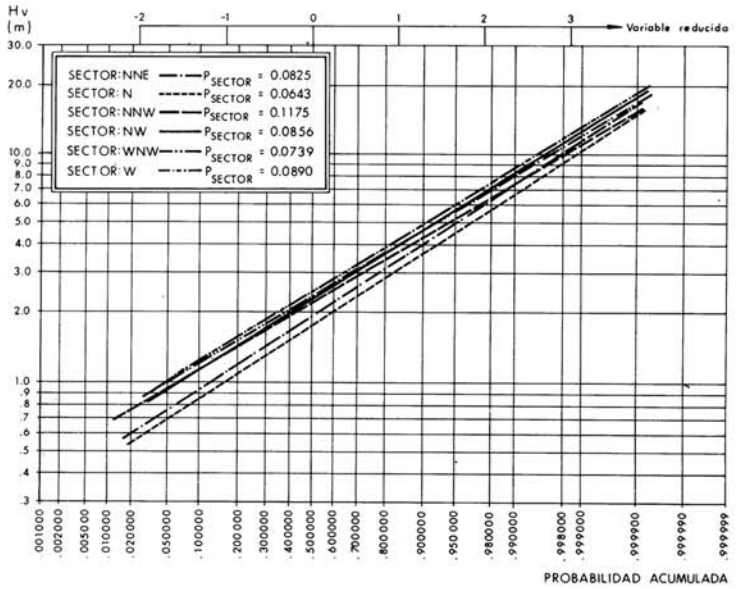
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

A R E A – II

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B - OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



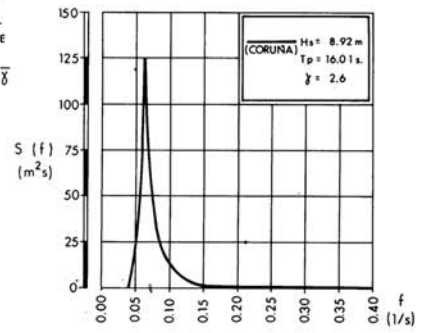
E – REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L_{\bar{T}} = \frac{2\pi H_s}{g\bar{T}^2}$	$T_p / \bar{T}$	RELACION FINAL H_s (m) T_p (s)	VALORES DE DISEÑO H_s (m)	T_p * (s)
CORUÑA	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 (Hs ≥ 3.00 m)

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



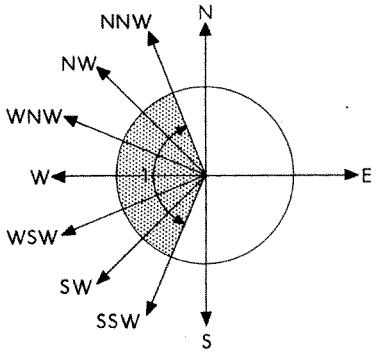
**(1/s)

BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$ **	$f_{p,max}$ **	$f_{p,min}$ **	σ_{f_p} **	n
CORUÑA	2.6	6.5	1.3	1.27	0.07	0.12	0.05	0.016	14

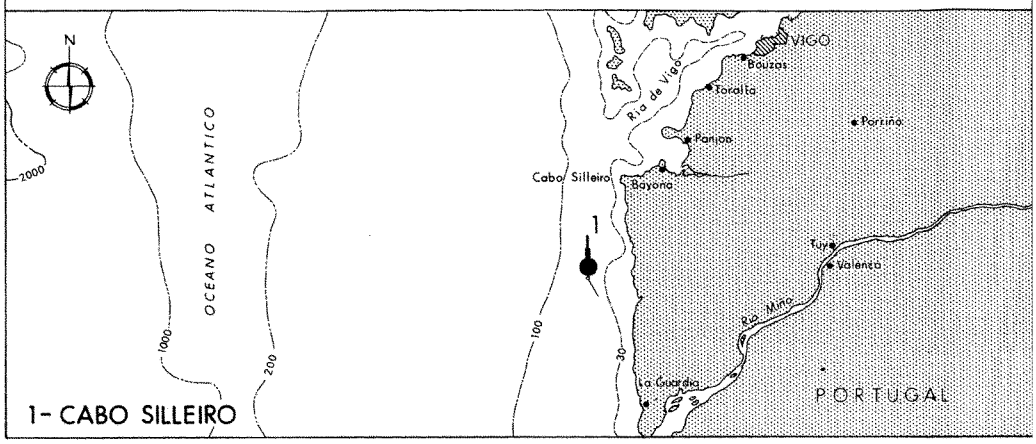
ROM 0.3-91-OLEAJE

ATLAS DE CLIMA MARITIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

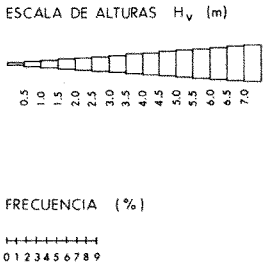


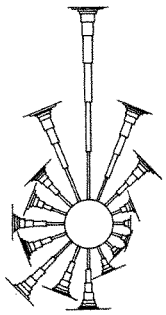
LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

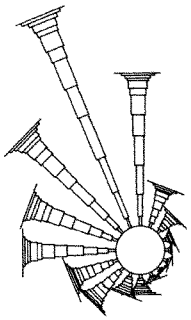


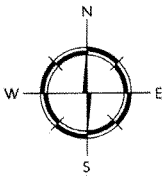
1- CABO SILLEIRO

A- OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE





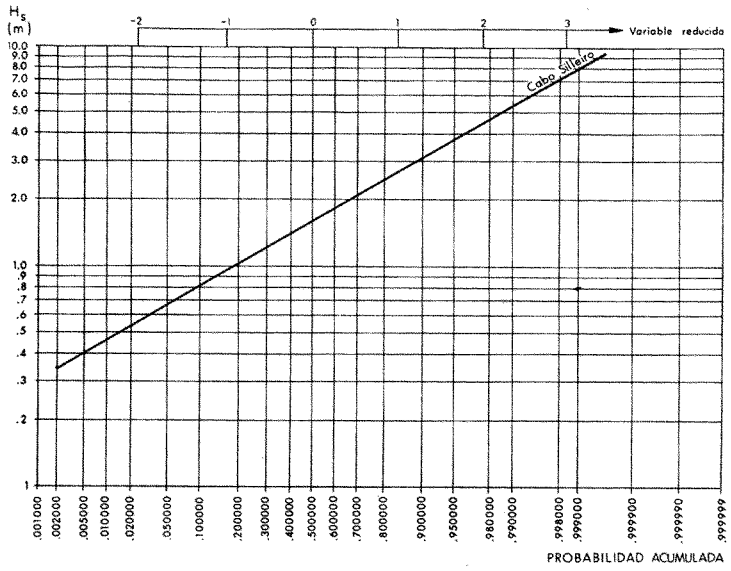




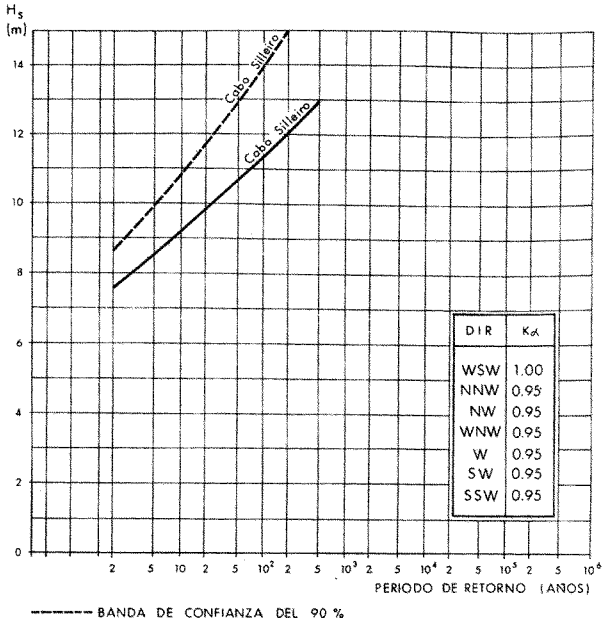
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	77 868
Nº TOTAL DE CALMAS	7 318
Nº TOTAL DE CONFUSAS	9 479

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	65955
Nº TOTAL DE CALMAS	3 747
Nº TOTAL DE CONFUSAS	3 167

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



DIR	K_α
WSW	1.00
NNW	0.95
NW	0.95
WNW	0.95
W	0.95
SW	0.95
SSW	0.95

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

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

OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :

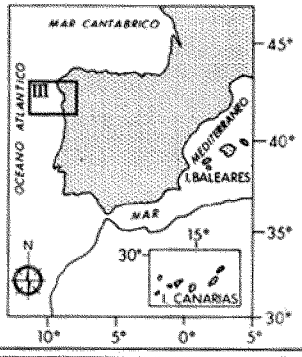
41,5º N - 43,2º N

8,0º W - 11,0º W

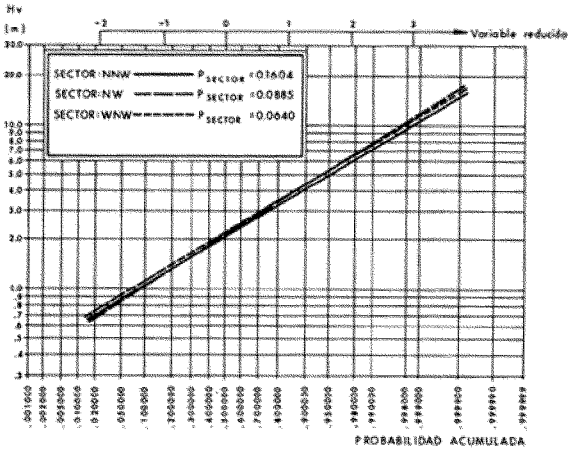
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

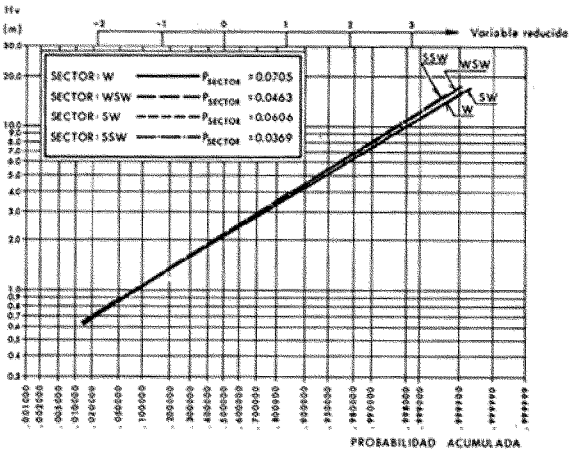
A R E A – III

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B - OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES





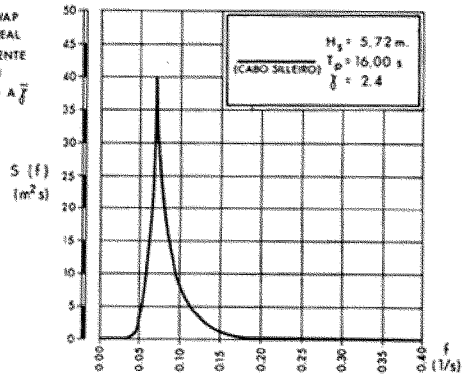
E – REGISTROS INSTRUMENTALES: CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L_f = \frac{2\pi H_s}{gT^2}$	$T_p / \bar{T}$	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	$T_p = (4 \sim 8.2)\sqrt{H_s}$	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 (Hs ≥ 3.00 m)

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

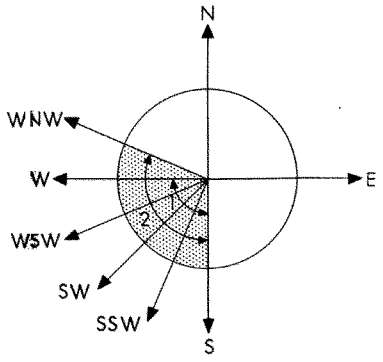


**(1/s)

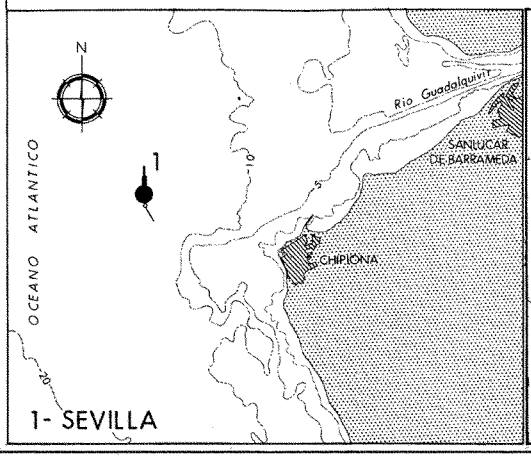
BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$**	$f_{p,max}$**	$f_{p,min}$**	σ_{f_p}**	n
CABO SILLEIRO	2.4	4.0	1.3	0.69	0.07	0.09	0.05	0.008	20

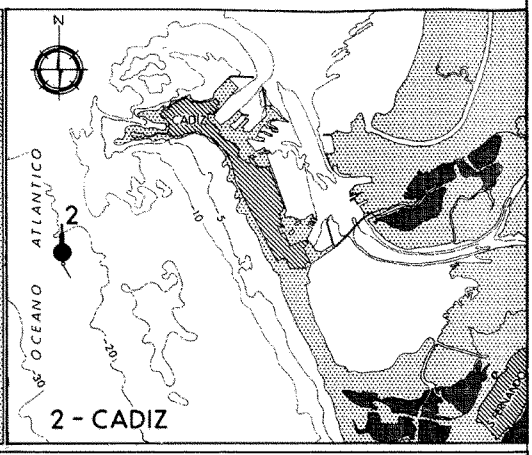
ROM 0.3-91-OLEAJE
ATLAS DE CLIMA MARITIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS



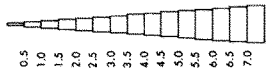
LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL



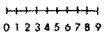


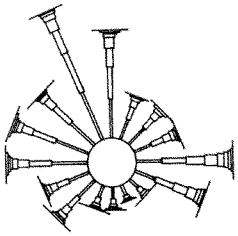
A - OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE

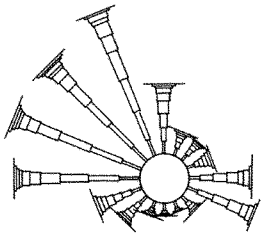
ESCALA DE ALTURAS H_V (m)

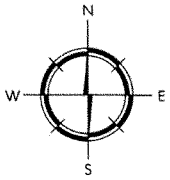


FREQUENCIA (%)





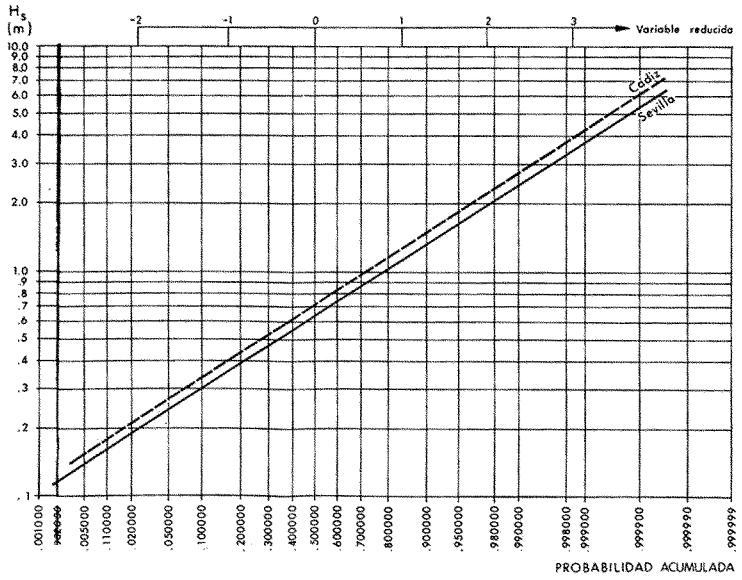




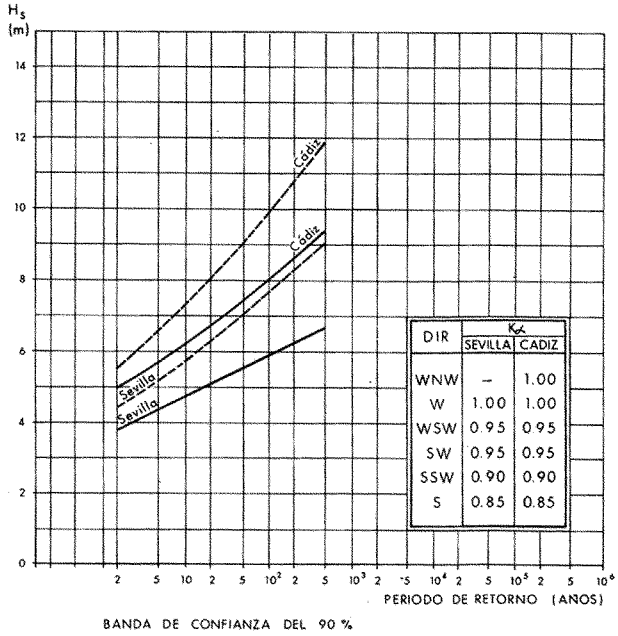
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	84515
Nº TOTAL DE CALMAS	5884
Nº TOTAL DE CONFUSAS	8684

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	51294
Nº TOTAL DE CALMAS	5262
Nº TOTAL DE CONFUSAS	2412

C - REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D - REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



DIR	K_α SEVILLA	K_α 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	36º 44' 15"N 6º 29' 6" W	12	1983 / 1988
2-CADIZ	36º 30' 20"N 6º 20' 20"W	22	1982/1990

OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :

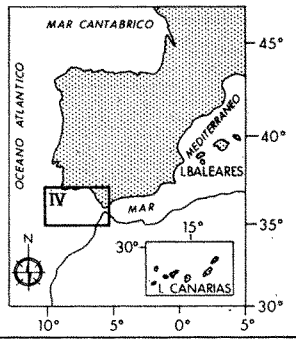
35º N - 37.1º N

5.6º W - 10º W

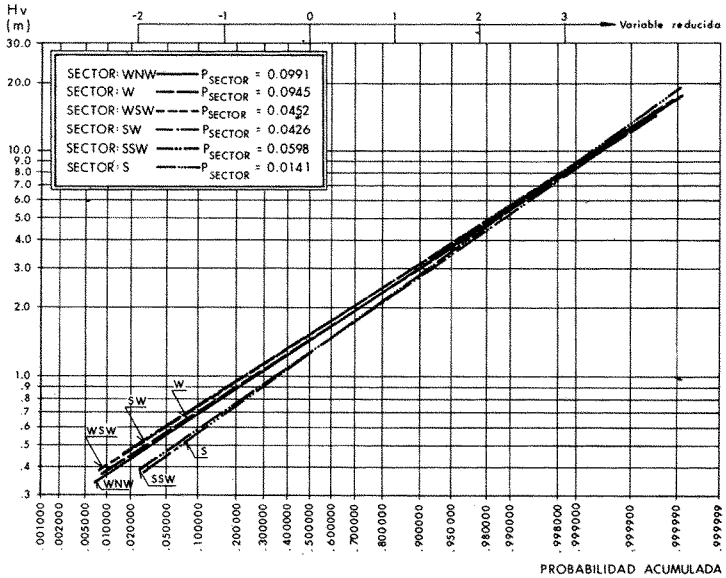
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

A R E A – IV

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B - OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



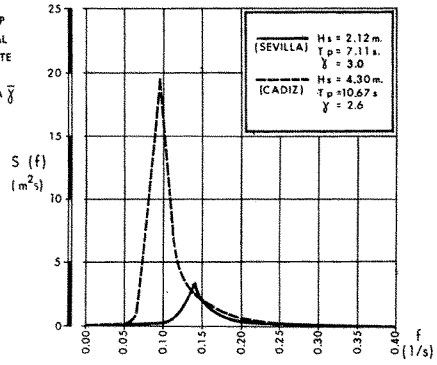
E – REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L_{\bar{T}} = \frac{2\pi H_s}{g\bar{T}^2}$	$T_p / \bar{T}$	RELACION FINAL H_s (m) T_p (s)	VALORES DE DISEÑO H_s (m)	T_p (s)
SEVILLA	0.02 ~ 0.06	≃1.25	$T_p = (4\sim7)\sqrt{H_s}$	3 5 7 9	7 ~ 12 8.5~15.5 10.5~18.5 12 ~ 21
CADIZ	0.02 ~ 0.06	≃1.25	$T_p = (4\sim7)\sqrt{H_s}$	4 6 8 10	8 ~ 14 9.5~17 11 ~ 19.5 12.5~22

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

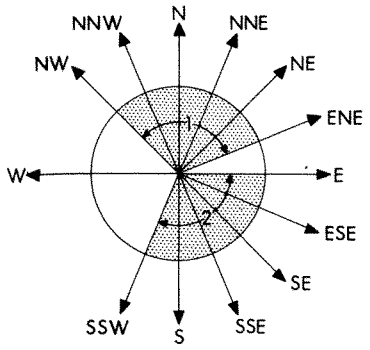
ESPECTRO TEORICO JONSWAP AJUSTADO AL ESPECTRO REAL REGISTRADO CORRESPONDIENTE A PICO DE TEMPORAL, CON VALOR DE γ MAS PROXIMO A $\bar{\gamma}$

*(1/s)

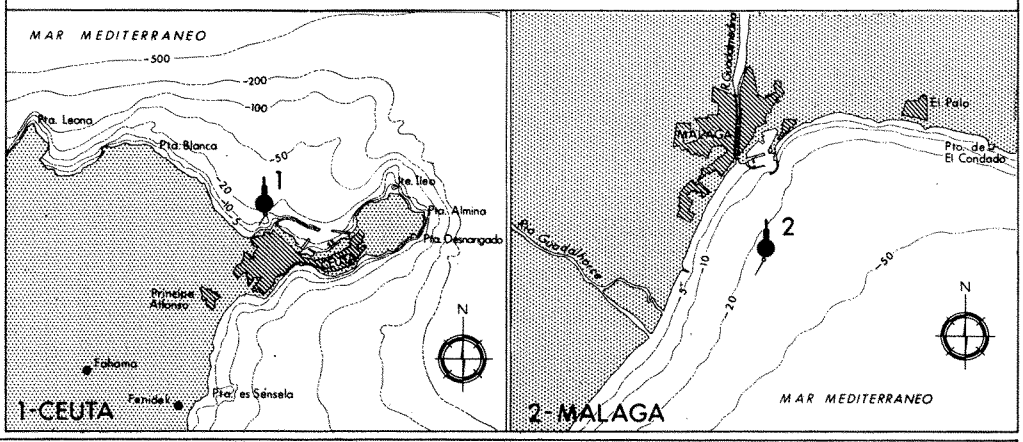


BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$*	$f_{p,max}$*	$f_{p,min}$*	σ_{f_p}*	n
SEVILLA	3.2	8.9	0.9	2.01	0.12	0.16	0.05	0.024	21
CADIZ	2.6	5.9	0.8	1.34	0.10	0.125	0.07	0.016	17

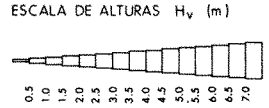
DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

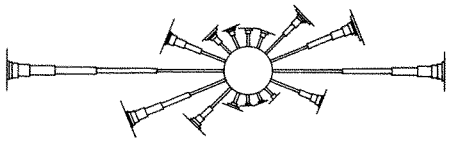


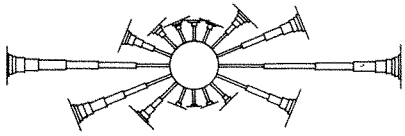
LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

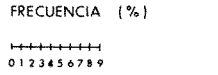


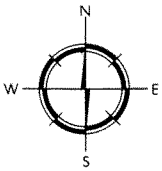
A- OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE







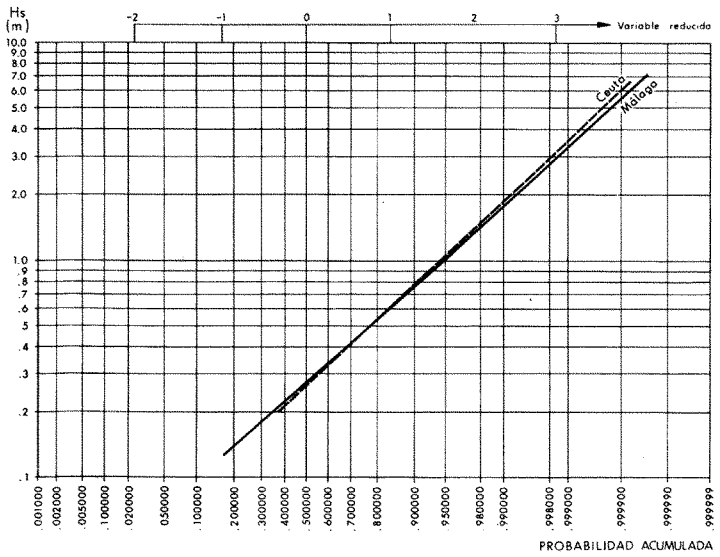




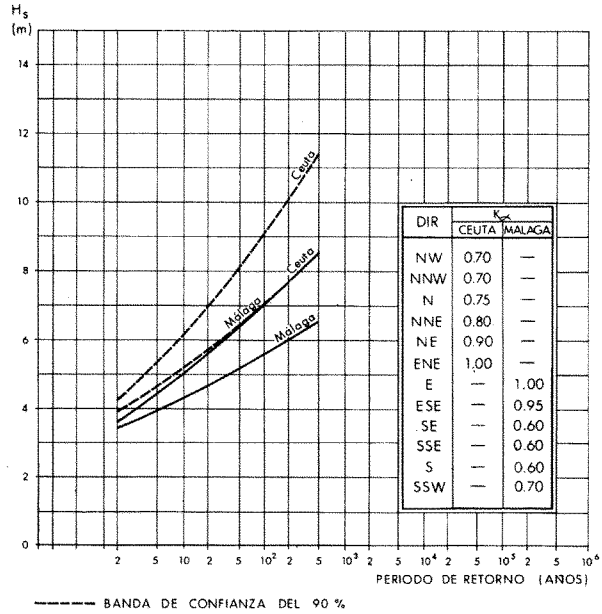
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	91 522
Nº TOTAL DE CALMAS	6 266
Nº TOTAL DE CONFUSAS	8 753

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	41977
Nº TOTAL DE CALMAS	11 247
Nº TOTAL DE CONFUSAS	2858

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



DIR	K_{α} CEUTA	K_{α} MALAGA
NW	0.70	—
NNW	0.70	—
N	0.75	—
NNE	0.80	—
NE	0.90	—
ENE	1.00	—
E	—	1.00
ESE	—	0.95
SE	—	0.60
SSE	—	0.60
S	—	0.60
SSW	—	0.70

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1-CEUTA	35º54' 10"N 5º 19' 30"W	21	1984/1990
2-MALAGA	36º41'30"N 4º25' 0"W	25	1985/1990

OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :

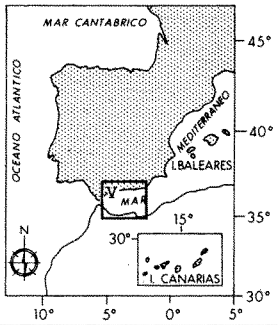
35º N - 37º N

2º W - 5.6ºW

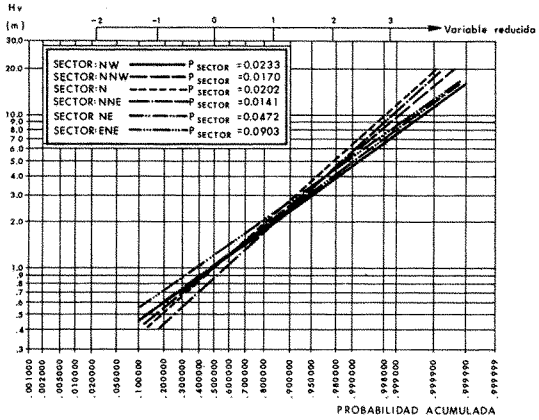
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

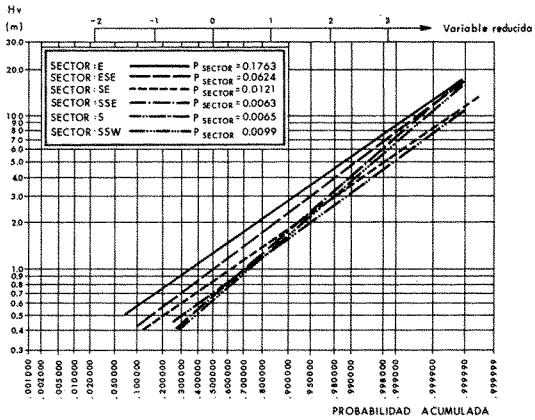
AREA - V

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B-OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES





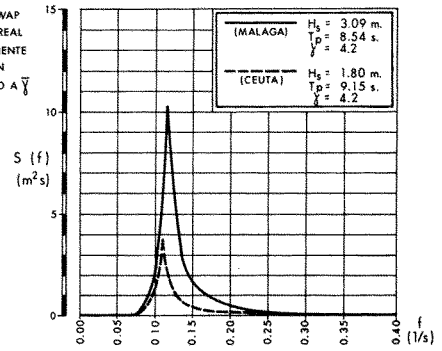
E - REGISTROS INSTRUMENTALES: CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L_{\bar{T}} = \frac{2\pi H_s}{g\bar{T}^2}$	$T_p / \bar{T}$	RELACION FINAL H_s (m) T_p (s)	VALORES DE DISEÑO H_s (m)	T_p (s)
CEUTA	0.02 ~ 0.035	≃1.20	$T_p=(5.1\sim6.8)\sqrt{H_s}$	3	8.5~12
				5	11.5~15
				7	13.5~18
				9	15~20
MALAGA	0.025 ~ 0.04	≃1.20	$T_p=(4.8\sim6.1)\sqrt{H_s}$	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)

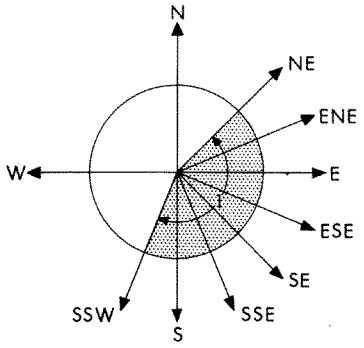
ESPECTRO TEORICO JONSWAP AJUSTADO AL ESPECTRO REAL REGISTRADO CORRESPONDIENTE A PICO DE TEMPORAL, CON VALOR DE γ MAS PROXIMO A $\bar{\gamma}$

*(1/s)

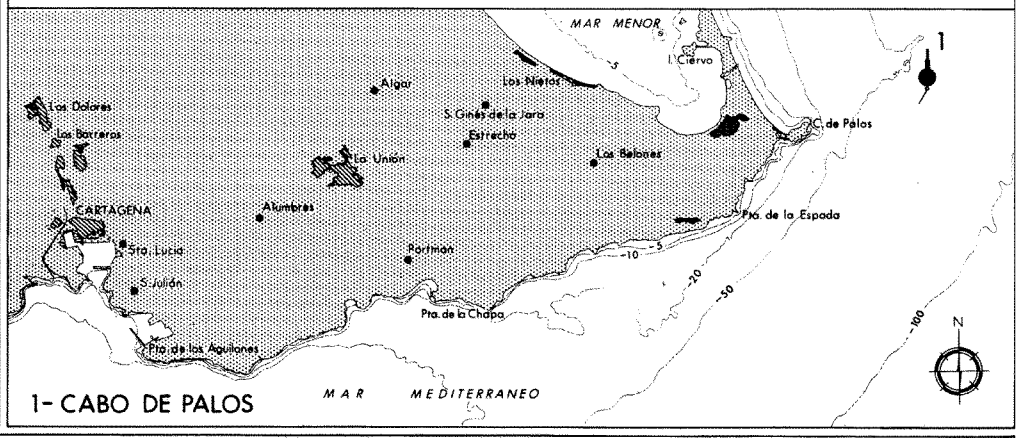


BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$*	$f_{p,max}$*	$f_{p,min}$*	σ_{f_p}*	n
CEUTA	5.0	14.4	3.2	1.69	0.11	0.13	0.08	0.014	18
MALAGA	3.6	10.3	1.2	2.18	0.13	0.16	0.12	0.015	14

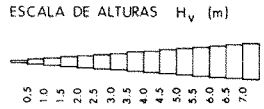
DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

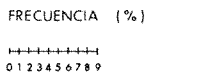


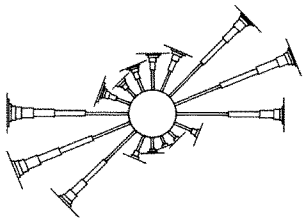
LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

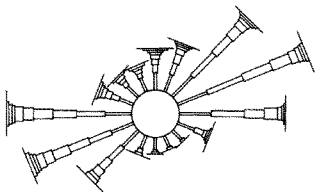


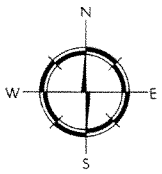
A- OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE







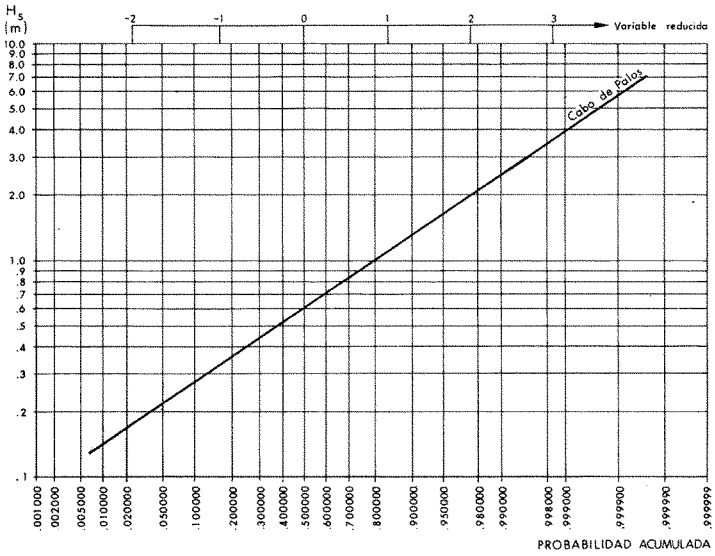




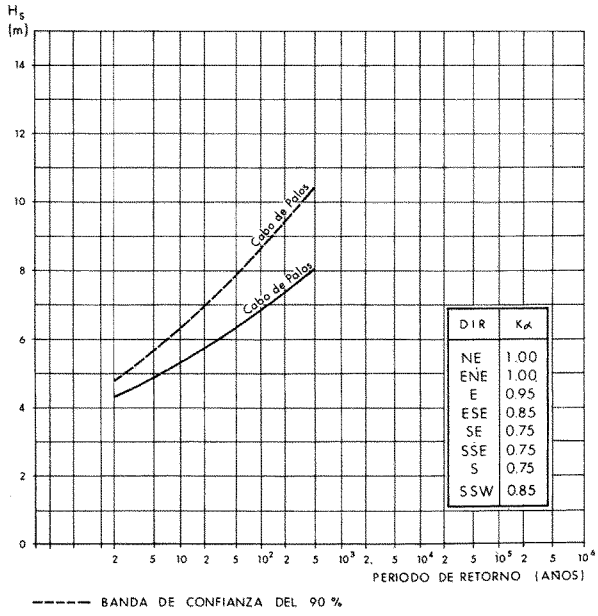
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	116135
Nº TOTAL DE CALMAS	7354
Nº TOTAL DE CONFUSAS	9937

OLEAJE TIPO SWELL	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	57591
Nº TOTAL DE CALMAS	12281
Nº TOTAL DE CONFUSAS	3567

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



DIR	K_α
NE	1.00
ENE	1.00
E	0.95
ESE	0.85
SE	0.75
SSE	0.75
S	0.75
SSW	0.85

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

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

OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :

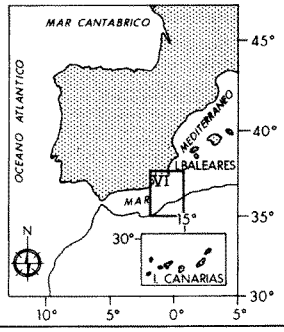
35º N - 38º N

2º W - 2º E

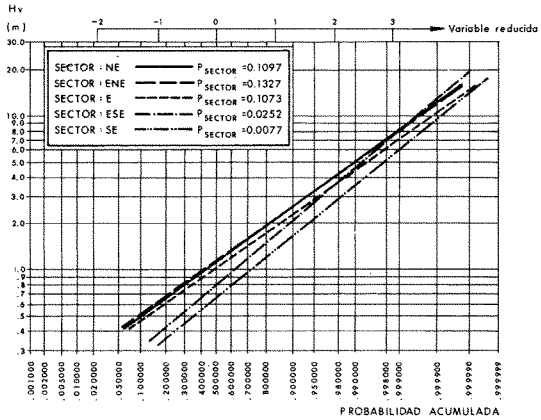
PERIODO DE MEDIDA : 1950 - 1985

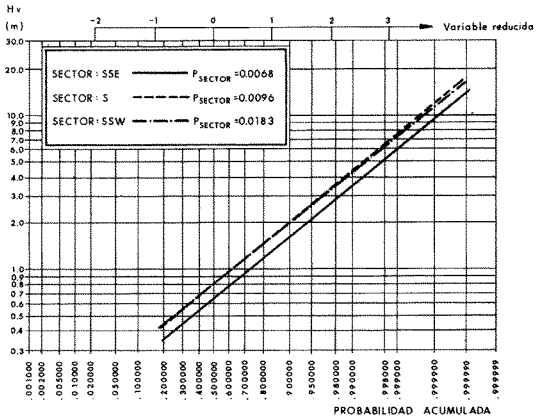
A R E A – VI

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B - OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



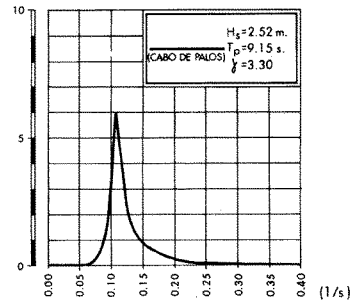


E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

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

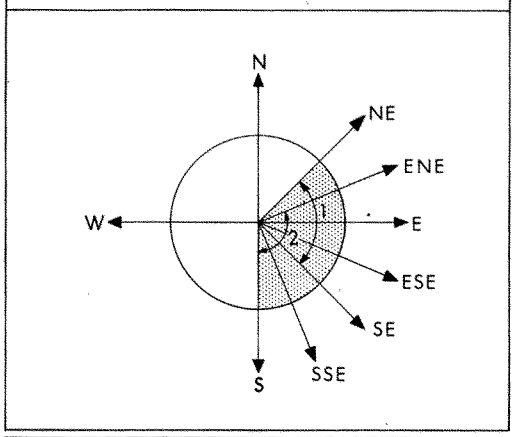
F - REGISTROS INSTRUMENTALES : ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES ($H_s \geq 1.50$ m)

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

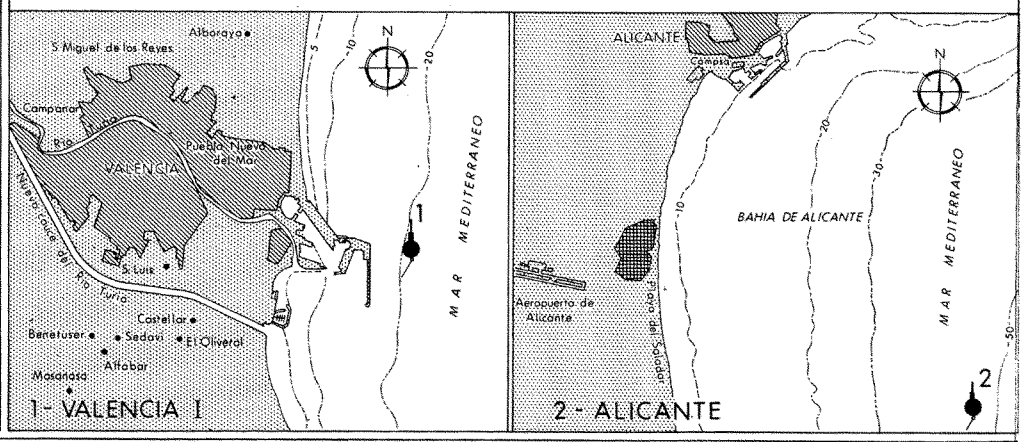


BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$ *	$f_{p,max}$ *	$f_{p,min}$ *	σ_{f_p} *	n
CABO DE PALOS	3.2	6.3	1.4	1.24	0.13	0.15	0.10	0.014	18

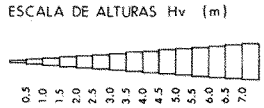
DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

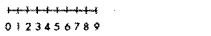


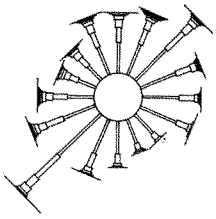
LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

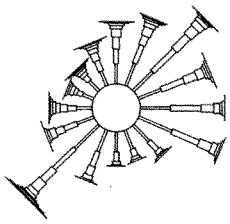


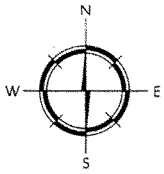
A- OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE







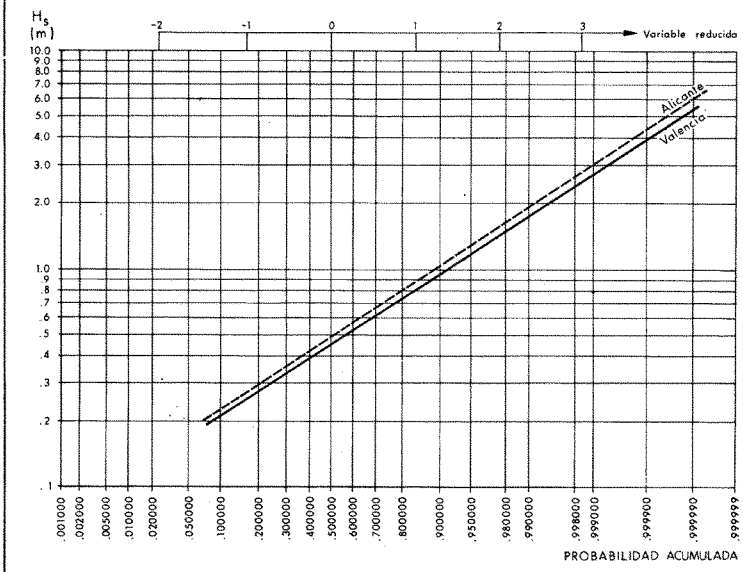




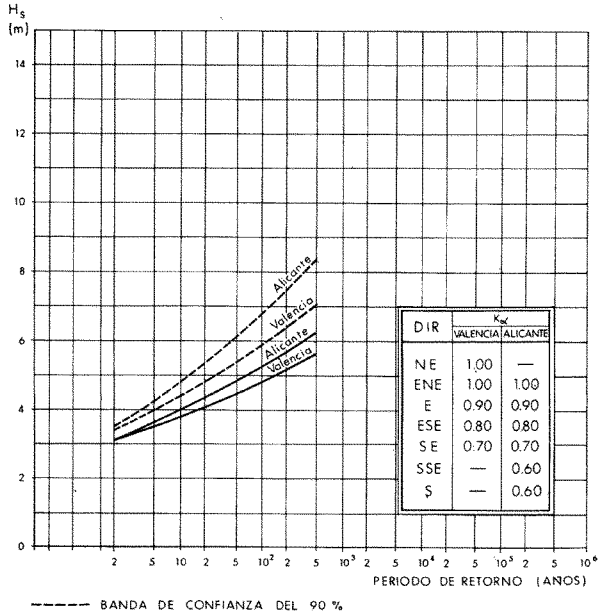
OLEAJE TIPO SEA	
N° TOTAL DE OBSERVACIONES	25878
N° TOTAL DE CALMAS	2294
N° TOTAL DE CONFUSAS	1432

OLEAJE TIPO SWELL	
N° TOTAL DE OBSERVACIONES	13504
N° TOTAL DE CALMAS	2197
N° TOTAL DE CONFUSAS	803

C- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES MEDIOS ESCALARES



D- REGISTROS INSTRUMENTALES: REGIMENES EXTREMALES ESCALARES



DIR	K_α VALENCIA	K_α ALICANTE
NE	1.00	—
ENE	1.00	1.00
E	0.90	0.90
ESE	0.80	0.80
SE	0.70	0.70
SSE	—	0.60
S	—	0.60

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1- VALENCIA I	39º 27'05"N 0º 17'43"W	21	1982/1990
2-ALICANTE	38º 15'00"N 0º 25'00"W	50	1982/1990

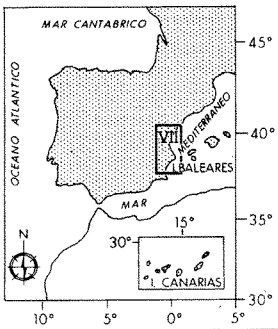
OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :
37.8º N - 40.5ºN
1.0º W - 2.0º E

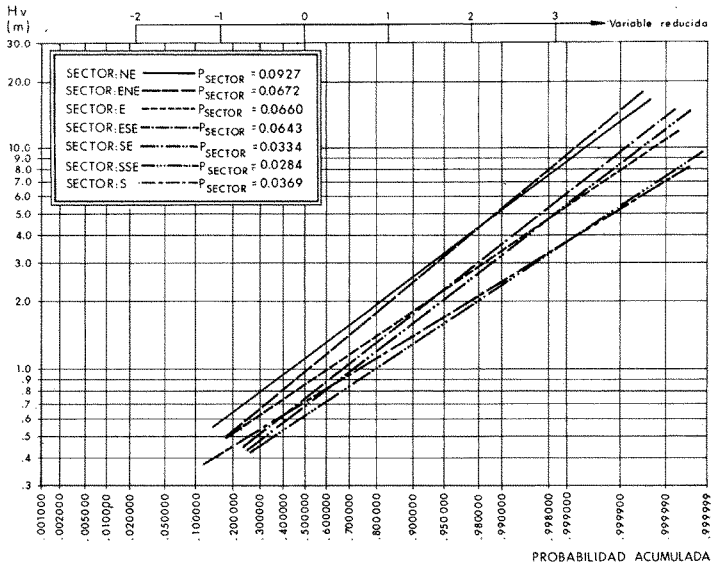
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

AREA - VII

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B- OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES



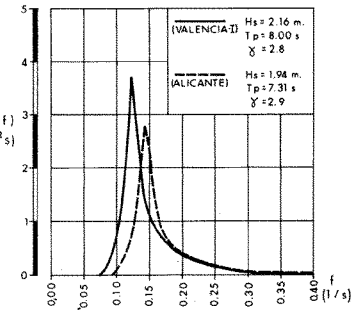
E - REGISTROS INSTRUMENTALES: CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L_{\bar{T}} = \frac{2\pi H_s}{g\bar{T}^2}$	$T_p / \bar{T}$	RELACION FINAL H_s (m) T_p (s)	VALORES DE DISEÑO H_s (m)	T_p (s)
VALENCIA I	0.025 ~ 0.04	≃1.25	$T_p = (5\sim6.3)\sqrt{H_s}$	3 5 7	8.5~11 11~14 13~16.5
ALICANTE	0.025 ~ 0.04	≃1.25	$T_p = (5\sim6.3)\sqrt{H_s}$	3 5 7	8.5~11 11~14 13~16.5

F - REGISTROS INSTRUMENTALES: ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES (Hs ≥ 1.00 m)

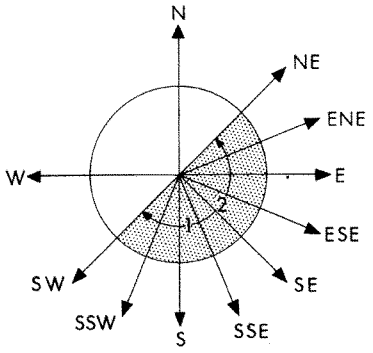
ESPECTRO TEORICO JONSWAP AJUSTADO AL ESPECTRO REAL REGISTRADO CORRESPONDIENTE A PICO DE TEMPORAL, CON VALOR DE γ MAS PROXIMO A $\bar{\gamma}$

*(1/s)

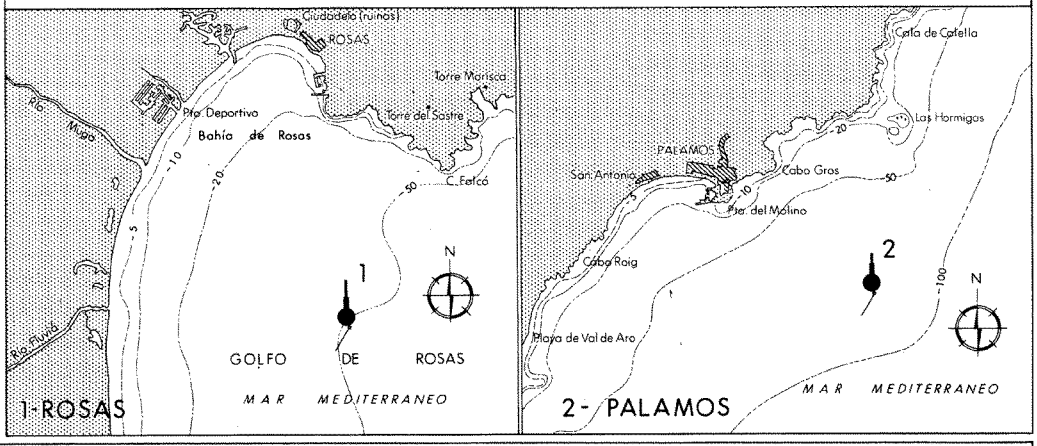


BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$*	$f_{p,max}$*	$f_{p,min}$*	σ_{f_p}*	n
VALENCIA I	2.7	4.2	1.5	0.87	0.13	0.16	0.10	0.017	16
ALICANTE	2.8	4.2	1.4	1.01	0.13	0.19	0.09	0.032	20

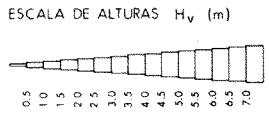
DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

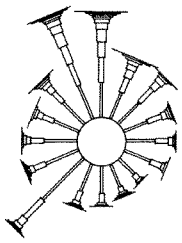


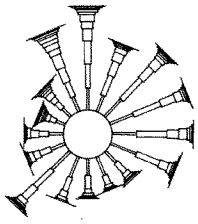
LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

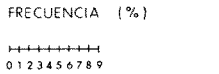


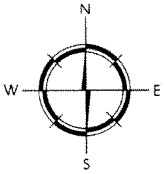
A- OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE







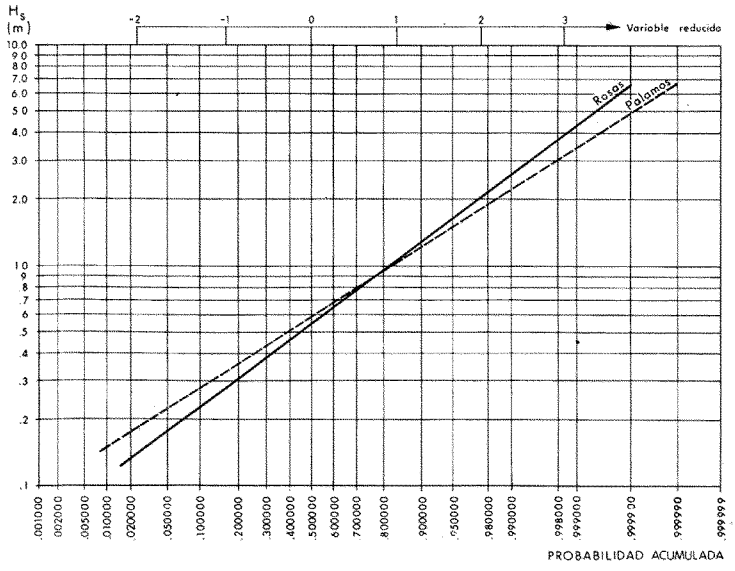




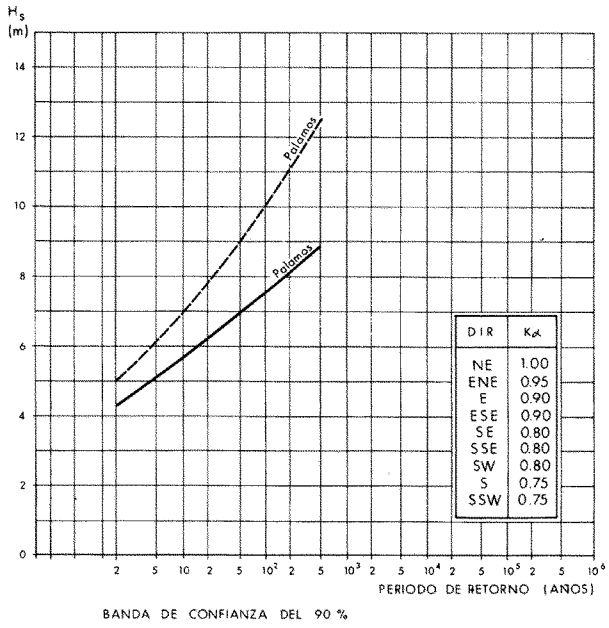
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	16 449
Nº TOTAL DE CALMAS	1 715
Nº TOTAL DE CONFUSAS	1 247

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



DIR	K_α
NE	1.00
ENE	0.95
E	0.90
ESE	0.90
SE	0.80
SSE	0.80
SW	0.80
S	0.75
SSW	0.75

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1- ROSAS	42º 11'43"N 3º 11'15"E	50	1986/1987
2-PALAMOS	41º49'24"N 3º 10'42"E	90	1988/1990

OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :

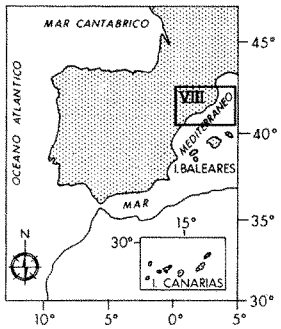
40.5º N - 42.5º N

0.0º W - 4.5º E

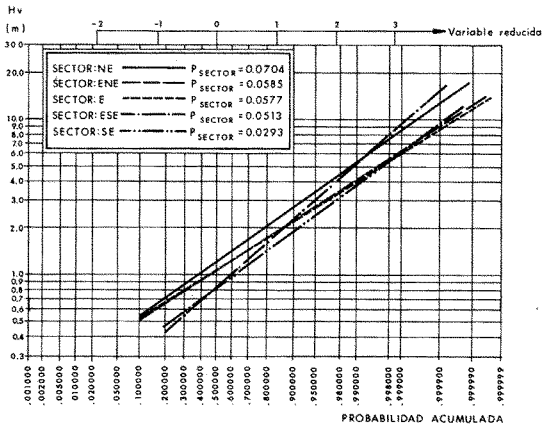
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

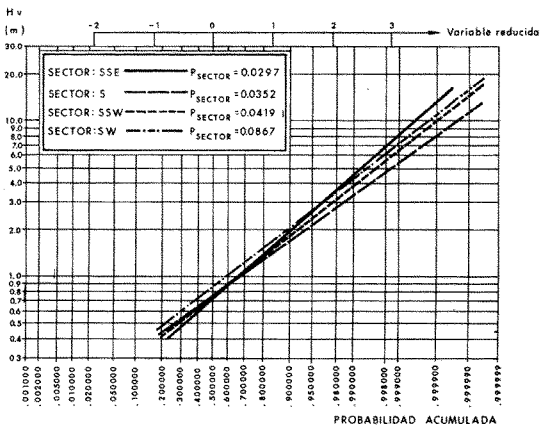
AREA - VIII

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA INFORMACION ANALIZADA



B- OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES





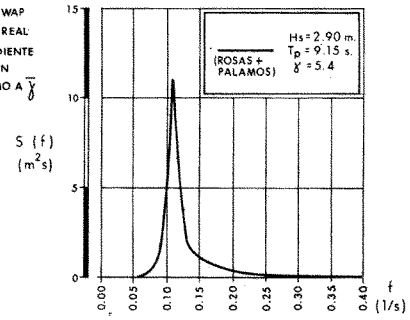
E - REGISTROS INSTRUMENTALES: CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

BOYA	$P = H_s / L\bar{T} = \frac{2\pi H_s}{g\bar{T}^2}$	$T_p / \bar{T}$	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	$T_p = (4.6 \sim 5.3)\sqrt{H_s}$	4	9 ~ 10.5
				6	11 ~ 13
				8	13 ~ 15
				10	14.5 ~ 16.5

F - REGISTROS INSTRUMENTALES: ESTRUCTURA ESPECTRAL ESCALAR BASICA DE TEMPORALES (Hs ≥ 2.00 m)

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

*(1/s)

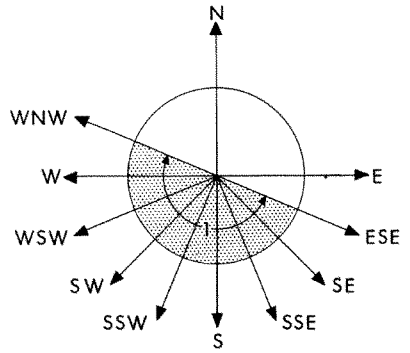


BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$*	$f_{p,max}$*	$f_{p,min}$*	σ_{f_p}*	n
PALAMOS + ROSAS	4.6	8.2	2.3	1.65	0.108	0.125	0.08	0.012	13

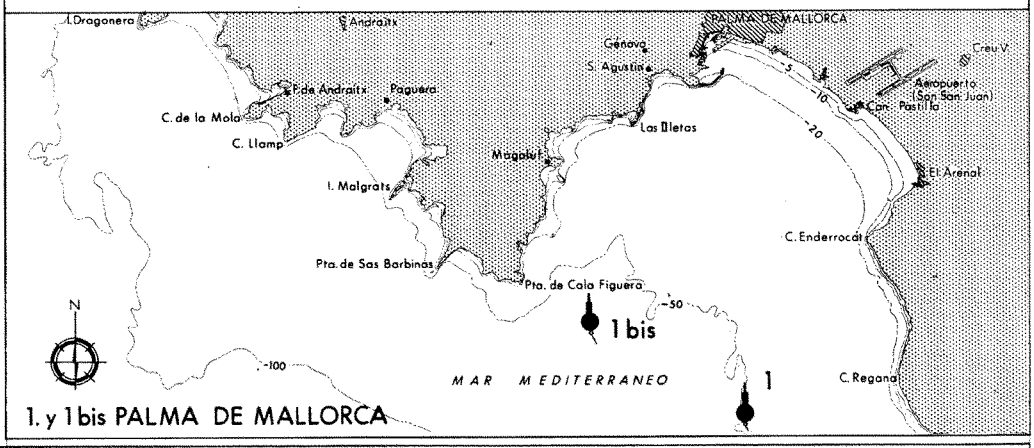
ROM 0.3-91-OLEAJE

ATLAS DE CLIMA MARITIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

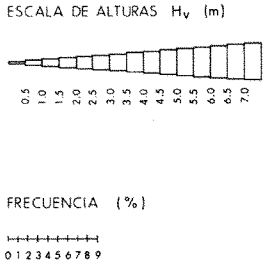


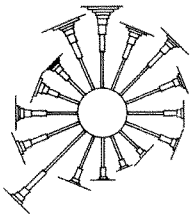
LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

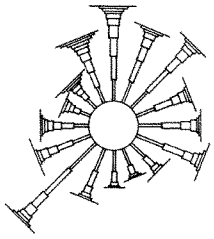


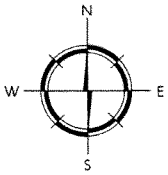
1. y 1 bis PALMA DE MALLORCA

A- OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE





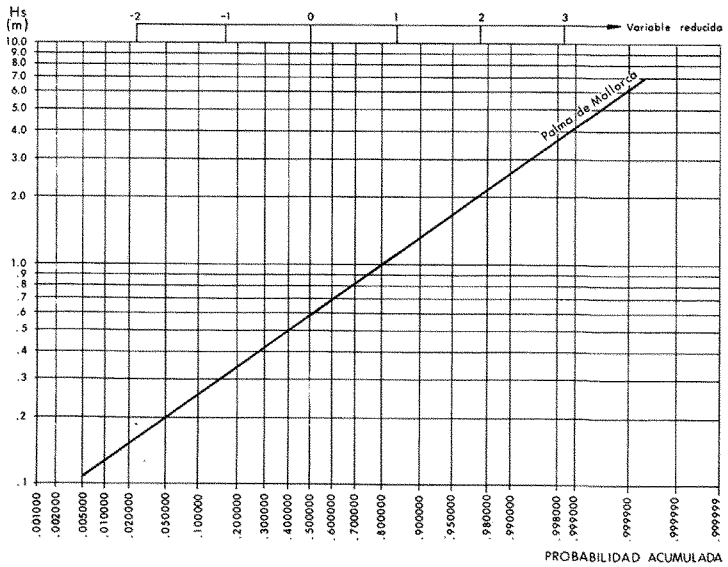




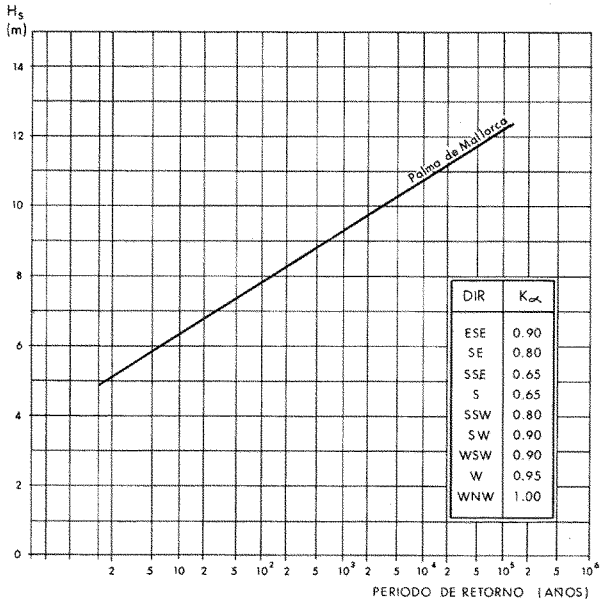
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	46150
Nº TOTAL DE CALMAS	4488
Nº TOTAL DE CONFUSAS	2466

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



DIR	K_α
ESE	0.90
SE	0.80
SSE	0.65
S	0.65
SSW	0.80
SW	0.90
WSW	0.90
W	0.95
WNW	1.00

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

BOYA	SITUACION	PROF. (m.)	PERIODO MEDIDA
1-PALMA DE MALLORCA	39º24'/26.5'N 2º39'/34.2'E	55/45	1983 / /1986 - 1987

OBSERVACIONES VISUALES

CUADRICULA :

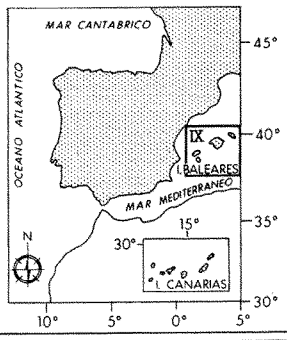
38.3º N - 41 º N

0.5º E - 5.5º E

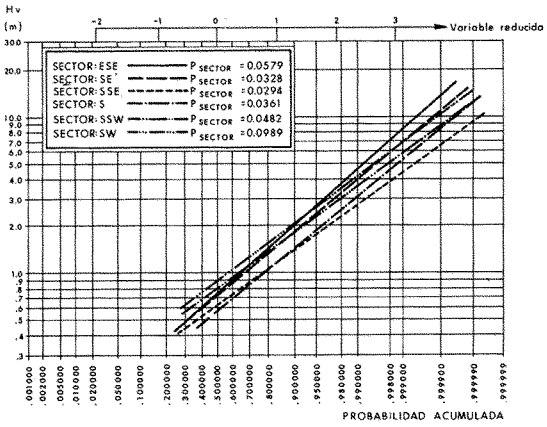
PERIODO DE MEDIDA : 1950 - 1985

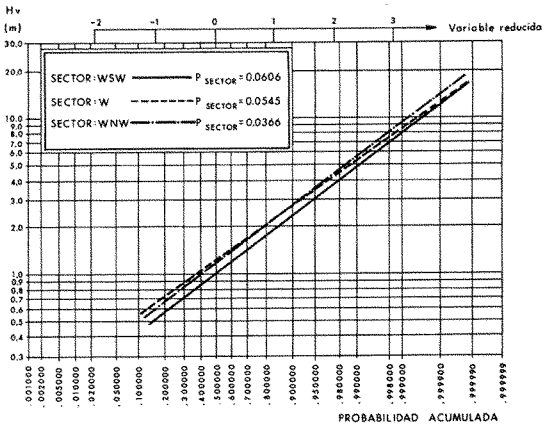
A R E A - IX

LOCALIZACION GEOGRAFICA
DE LA INFORMACION ANALIZADA



B - OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES





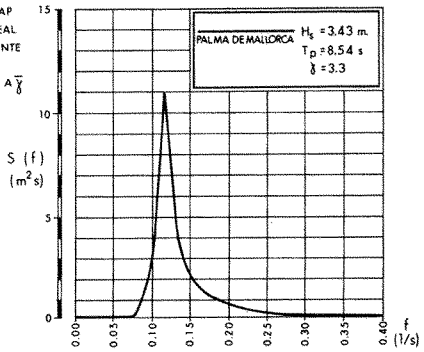
E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

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

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

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

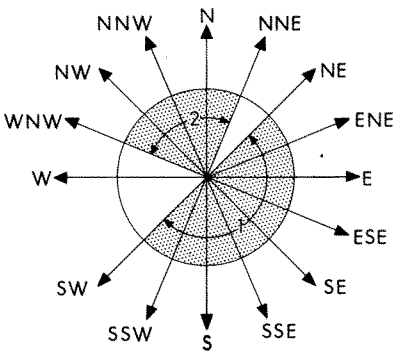
*(1/s)



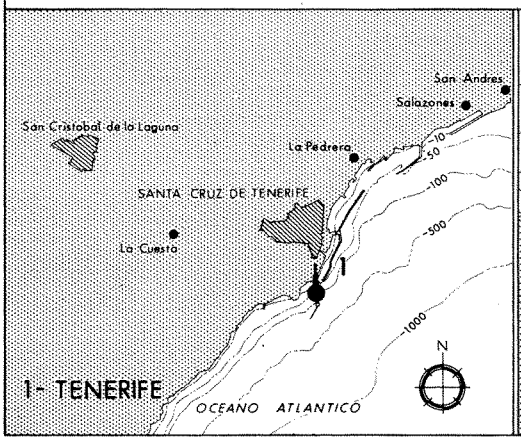
BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$*	$f_{p,max}$*	$f_{p,min}$*	σ_{f_p}*	n
PALMA DE MALLORCA	3.3	6.4	2.0	1.05	0.11	0.13	0.09	0.011	19

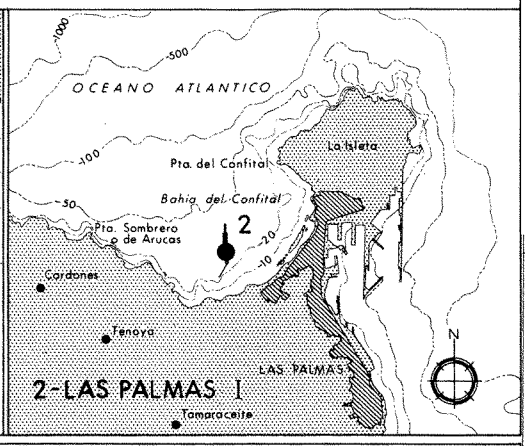
ROM 0.3-91-OLEAJE
ATLAS DE CLIMA MARITIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL

DIRECCIONES SIGNIFICATIVAS

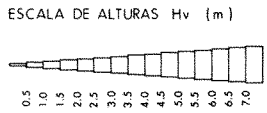


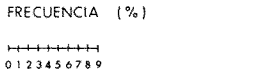
LOCALIZACION DE LA INFORMACION INSTRUMENTAL

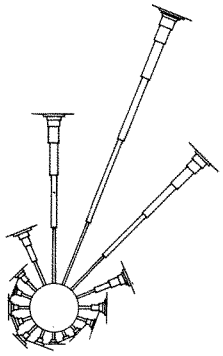


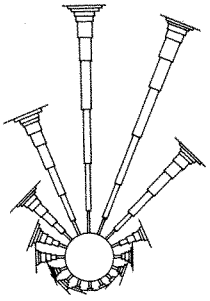


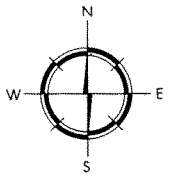
A- OBSERVACIONES VISUALES: ROSAS DE OLEAJE







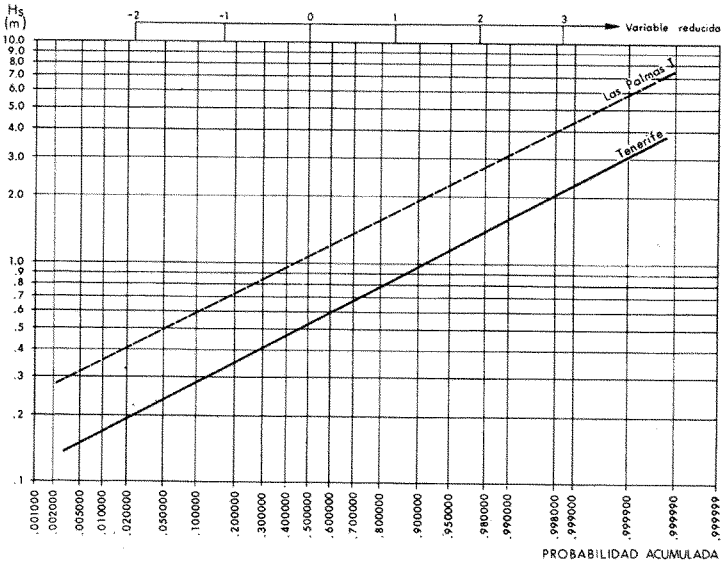




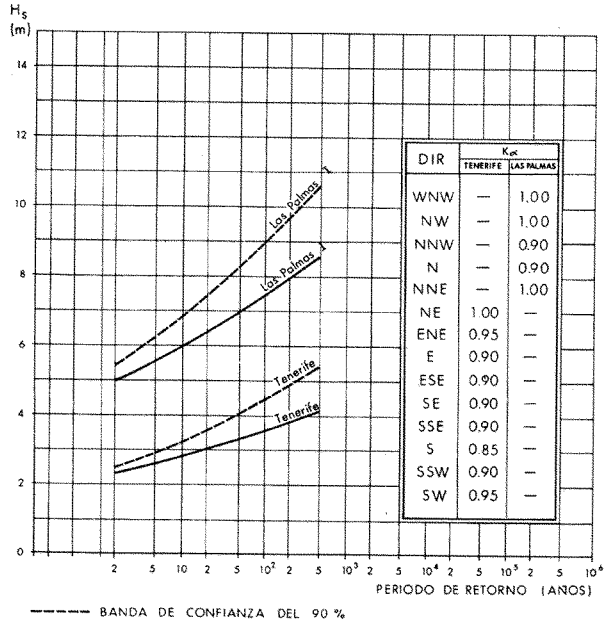
OLEAJE TIPO SEA	
Nº TOTAL DE OBSERVACIONES	121303
Nº TOTAL DE CALMAS	7204
Nº TOTAL DE CONFUSAS	12618

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



DIR	K_α TENERIFE	K_α LAS PALMAS
WNW	—	1.00
NW	—	1.00
NNW	—	0.90
N	—	0.90
NNE	—	1.00
NE	1.00	—
ENE	0.95	—
E	0.90	—
ESE	0.90	—
SE	0.90	—
SSE	0.90	—
S	0.85	—
SSW	0.90	—
SW	0.95	—

INFORMACION ANALIZADA

REGISTROS INSTRUMENTALES

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

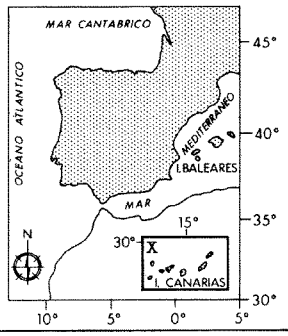
OBSERVACIONES VISUALES

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

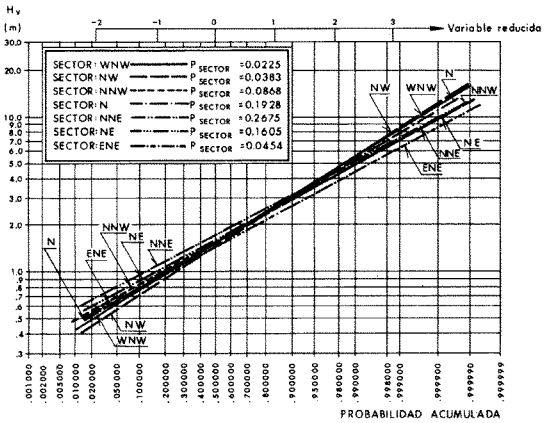
PERIODO DE MEDIDA: 1950 - 1985

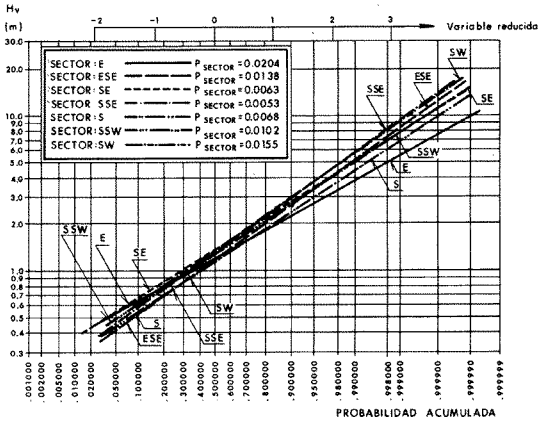
A R E A - X

LOCALIZACION GEOGRAFICA
DE LA INFORMACION ANALIZADA



B- OBSERVACIONES VISUALES : REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES





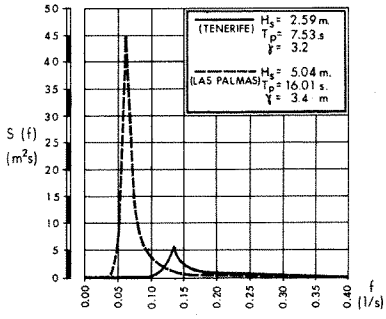
E - REGISTROS INSTRUMENTALES : CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES

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



** (1/s)

BOYA	ESPECTRO TEORICO JONSWAP $\bar{\gamma}$	γ_{max}	γ_{min}	σ_γ	$\bar{f}_p$ **	$f_{p,max}$ **	$f_{p,min}$ **	σ_{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

ROM 0.3-91-OLEAJE
ATLAS DE CLIMA MARITIMO EN EL LITORAL ESPAÑOL

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 significante 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 significante 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 atenua-ción 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 innecesa-riamente 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 pre-senta 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 significante 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 KR, a través de la siguiente ecuación:

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

siendo:

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

$H_{s,R}$: Altura de ola significante 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
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	—	—	—	—
	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	—	—	—	—

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 DETERMINACIÓNDEL OLEAJE DE PROYECTO ENAGUAS 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/ Hs, f_p, y/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:

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

$\gamma = \overline{\gamma}$
$\sigma_a = 0.07.$ para $f \leq f_p$
$\sigma_b = 0.09.$ para $f \leq f_p$

siendo $H_{s,0}$ y T_p la altura de ola significante y el periodo de pico, respectivamente, correspondientes al oleaje de proyecto en condiciones extremas para la dirección analizada, y $\overline{\gamma}$ 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 *y* 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 significante 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 significante 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 pre-ponderantemente 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.

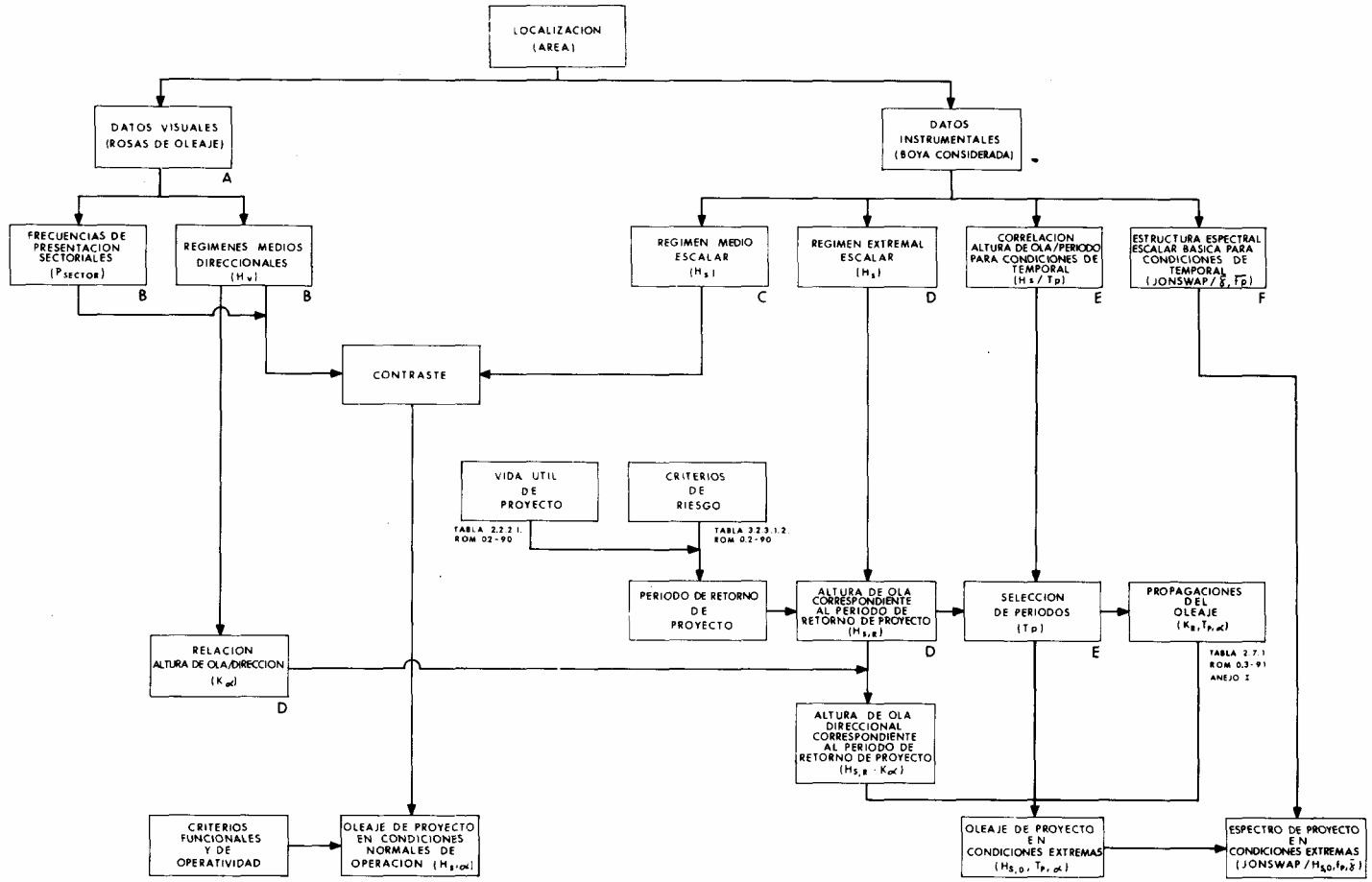


FIGURA 2.8.1. Metodología para la determinación de oleajes de proyecto a partir del Atlas de Clima Marítimo

OBRAS MARITIMAS

TECNOLOGIA