

# ANÁLISIS MEDIO Y EXTREMAL DEL OLEAJE. EXPLOTACION DEL BANCO DE DATOS DEL CEPYC

MARIA JESUS MARTIN SOLDEVILLA (\*)

**RESUMEN.** La importancia del conocimiento del comportamiento estadístico del oleaje en sus valores medios y extremos radica en su aplicación a obras de ingeniería portuaria y costera. La estadística correspondiente puede aplicarse tanto a los datos registrados por sensores, como a observaciones visuales reportadas por distintos tipos de barcos.

Los datos visuales presentan un gran interés por su abundancia espacial y temporal y, sobre todo, por su contenido en información direccional. Sin embargo, la simplicidad de la observación lleva aparejada una gran inexactitud siendo necesario desarrollar en cada caso fórmulas específicas que relacionen ambos tipos de datos.

Por otro lado, la metodología estadística actualmente en uso no ofrece criterios inequívocos para la estima de la función de distribución (F.D.) de variables geofísicas de evolución continua a partir de una muestra aleatoria eligiéndose aquella que «mejor ajuste» presenta a la muestra analizada.

Para evitar en lo posible errores en las extrapolaciones, una vez elegida la F.D. el método de ajuste empleado será aquel cuya recta, de la que se obtendrá el régimen medio correspondiente, presente un mejor ajuste en la zona de interés.

En el presente trabajo se desarrolla un programa de ordenador que permite realizar la explotación de ambos tipos de datos ofreciendo una respuesta rápida y fiable de cara a efectuar predicciones. El programa incluye tanto los tratamientos estadísticos apropiados a las fuentes analizadas como los métodos de análisis más utilizados en la literatura especializada.

**ABSTRACT.** *For Harbour and Coastal Engineering is very important the knowledgde of the behavior of mean and extreme statistical values. This statistics can be obtained from field measured data or from visual observations reported from ships.*

*Visual data are very interesting due to the large amount of existing information in space and time containing directional information. However, the simplicity of an observation is followed by inaccuracies so it is necessary setting up relationships between both types of data.*

*On the other hand, the statistical existing methods does not offer unique criteria for the estimation of the distribution function of continuously evolving geophysical variables based on an aleatory sample selecting the one that fits better to the sample points.*

*To avoid extrapolation errors, once the distribution function is selected, the fitting method will be the one whose fitting line offers a better adjustment to particular points selected from the sample.*

*In this work a computer program is developed in order to get a quick and reliable reponse to made predictions from both, visual and measured waves data. The statistical treatments and analysis methods included are the most frecuently considered in specialized literature.*

## 1. INTRODUCCION

El conocimiento del régimen medio del oleaje resulta de gran importancia de cara a la explotación portuaria así como para obras de ingeniería de costas ya que define el grado de agitación del mar que es un factor decisivo tanto a efectos de maniobrabilidad de buques, amarres, etc., como por su incidencia sobre el movimiento de arenas y erosión del litoral.

Su determinación equivale a estimar la función de (F. D.) estadística de la variable, altura o período, para un año climático medio.

Por otra parte el diseño de obras tales como diques de abrigo o estructuras en mar abierto requiere la estimación previa del régimen extremal correspondiente a la zona de interés ya que las averías comienzan una vez superada una cierta altura de ola. La elección de un valor determinado de éste parámetro irá ligado a una probabilidad y, consecuentemente, a un riesgo conocido.

El cálculo o estima de la F. D. de la variable y de la F. D. extremal, régimen medio y extremal respectiva-

(\*) Doctora en Ciencias Químicas. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (MOPU).

mente, requieren el uso de métodos estadísticos específicos.

La estadística correspondiente puede aplicarse tanto a los datos observados visualmente como a los medidos instrumentalmente dependiendo la bondad de las estimas realizadas de la calidad estadística de la muestra analizada.

## 2. OBJETO Y DESCRIPCION DEL TRABAJO

La adquisición de los datos visuales del litoral español procedentes del National Climatic Data Center de Asheville (North Caroline), (NCDC) y su posterior implementación en el actual Banco de Datos Visuales del CEPYC, hacía necesario el desarrollo de un paquete de programas que permitiera realizar la explotación rápida de estos datos que, hasta entonces, venía haciéndose de forma manual.

Por otro lado, la adecuación de la Base de Datos Instrumentales existente en el CEPYC, perteneciente a la Red de Medida y Registro de Oleaje (REMRO), llevo a introducir la posibilidad de efectuar la explotación de dichos datos con el citado paquete.

### 2.1. DESCRIPCION DEL TRABAJO DESARROLLADO

El trabajo se desarrolló básicamente en tres etapas:

1. Recopilación de información sobre las diferentes formas de presentación de datos instrumentales y visuales suministrados por distintos organismos con objeto de hacer operativo el paquete de programas en la explotación de todas las fuentes.
2. Revisión de la bibliografía especializada a fin de considerar tanto los métodos de tratamiento de datos como las F. D. más empleadas en estos tipos de análisis.
3. Implementación de los métodos y F. D. establecidas tras efectuar el estudio anterior.

Efectuado el punto 1, los posibles formatos de entrada que el programa contempla incluyen, básicamente, las principales fuentes de información existentes. Dichas fuentes se reducen, para el litoral español, a:

**DATOS INSTRUMENTALES.** Procedentes en su mayoría de la REMRO y de las campañas oceanográficas realizadas en el CEPYC. Su obtención y análisis se efectúa automáticamente una vez establecido el punto y período de tiempo deseado. Los puntos de medida de los que se dispone actualmente información se señalan con un punto en la figura 1, encontrándose en la tabla 1 la localización geográfica correspondiente.

Por su parte, el tiempo de registro disponible es variable en cada caso existiendo en todos ellos información, tanto bruta como elaborada, como mínimo, desde el año 1984.

Los parámetros que suministra la información elaborada son de dos tipos:

AREA	BMT (Hv)	NCDC (Hv)	Hs
I	43,00°N-45,00°N	43,00°N-45,00°N	43° 24' N 3° 8,6' W
	1,50°W-7,00°W	1,50°W-7,00°W	43° 34' N 5° 39' W
II	43,20°N-45,00°N	43,20°N-45,00°N	43° 24,4' N
	7,00°W-11,00°W	7,00°W-11,00°W	8° 23' W
III	41,5°N-43,2°N	41,5°N-43,2°N	42° 1,8' N
	8,00°W-11,00°W	8,00°W-11,00°W	8° 56,5' W
IV	35,00°N-37,1°N	35,00°N-37,1°N	36° 30' N 6° 20' W
	5,6°W-10,00°W	5,6°W-10,00°W	36° 44,25' N 6° 29,1' W
V	35,00°N-37,00°N	35,00°N-37,00°N	35° 54,16' W 5° 19,8' W
	2,00°N-5,6°W	2,00°N-5,6°W	36° 41,5' N 4° 25' W
VI	—	35,00°N-38,00°N	37° 39,25' N
	—	2,00°W-2,00°E	0° 38,3' W
VII	37,8°N-40,5°N	37,8°N-40,5°N	38° 15' N 0° 25' W
	1,00°W-2,00°E	1,00°W-2,00°E	39° 27' N 0° 17,06' W
VIII	40,5°N-42,5°N	40,5°N-42,5°N	42° 11,72' N
	0,00°W-4,5°E	0,00°W-4,5°E	3° 11,85' E
IX	38,3°N-41,00°N	38,3°N-41,00°N	39° 24' N
	0,5°E-5,5°E	0,5°E-5,5°E	2° 39' E
X	26,5°N-30,5°N	26,5°N-30,5°N	28° 27,3' N 16° 14,9' W
	12,00°W-20,00°W	12,00°W-20,00°W	28° 8,5' N 15° 27,5' W

TABLA 1. Localizaciones geográficas de la información disponible.

### ESTADISTICOS.

- Períodos de cruce y de cresta máximo y significativo.
- Altura de ola de cruce y de cresta máxima y significativo, así como la calculada por el método de Draper.
- Anchura espectral estadística.

### ESPECTRALES.

- Período óptimo.
- Altura significativa.
- Anchura espectral, momentos, etc.

**DATOS VISUALES BRUTOS.** Adquiridos al NCDC y que constituyen el actual Banco de Datos Visuales del CEPYC. Esta fuente proporciona información para una cuadrícula determinada y con la amplitud del sector deseado de la altura, período y dirección del oleaje diferenciando entre el sea y el swell.



**europroject,s.a.**

**europroject** es líder científico español del proyecto internacional EUREKA para el desarrollo de ATENUADORES DE OLAJE.

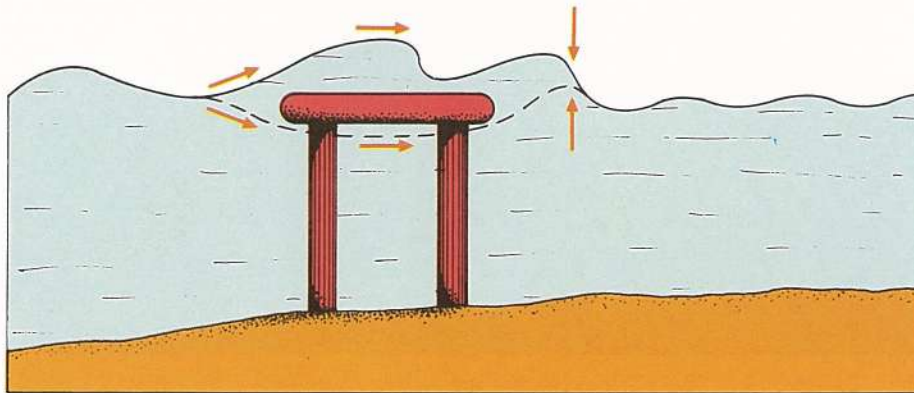
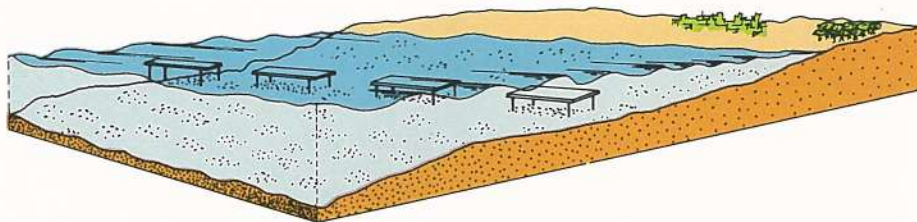
PROYECTO N.º EU 394

PROGRAMA EUREKA



**HOULE**

Dicho proyecto se inscribe dentro del área de tecnología marina y medio ambiente que promueve el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial.



Los atenuadores de oleaje constituyen unos nuevos elementos de protección basados en el principio del *muro de agua oscilante*, pensados para que presenten un comportamiento hidrodinámico superior al de los diques tradicionales, suprimiendo la mayoría de efectos negativos sobre el medio ambiente, el paisaje y la dinámica litoral.

Por sus características los atenuadores son adecuados en todos aquellos casos en que se plantea un interés preferente por la preservación del litoral y por su ordenación inmediata: playas, costas, puertos, abrigos naturales, infraestructuras y otras instalaciones.



Gran Via de les Corts Catalanes, 657, 3º, 2ª  
Tels 246 12 01 - 246 12 05. Fax. 232 53 02 08010 Barcelona

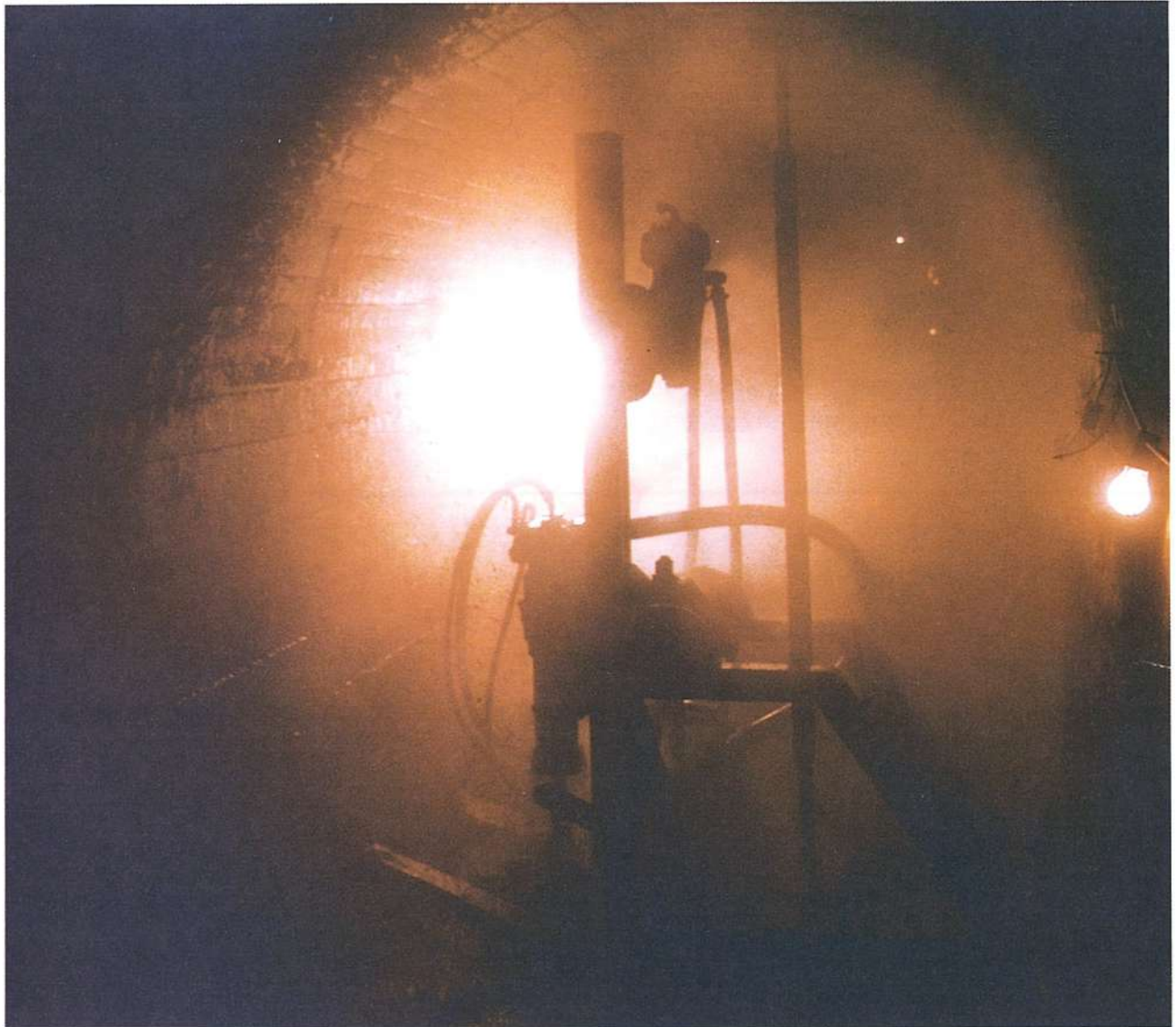


# CIMYSON

CIMENTACIONES Y SONDEOS, S.A.



GRUPO  
TERRATEST



Trabajos de perforación e inyección en la presa de Los Canchales (Badajoz), para la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Inyecciones  
Micropilotes  
Anclajes

Sondeos  
geotécnicos y mineros  
Gunitados

Hormigones tipo colcrete  
Colchón para  
revestimiento de canales

OFICINAS CENTRALES

Alcalá, 65 - 4º Dcha. • 28014 Madrid

Teléfonos: 593 16 87- 593 06 70

Telex: 22038 GROUT E • Telefax: 276 88 58



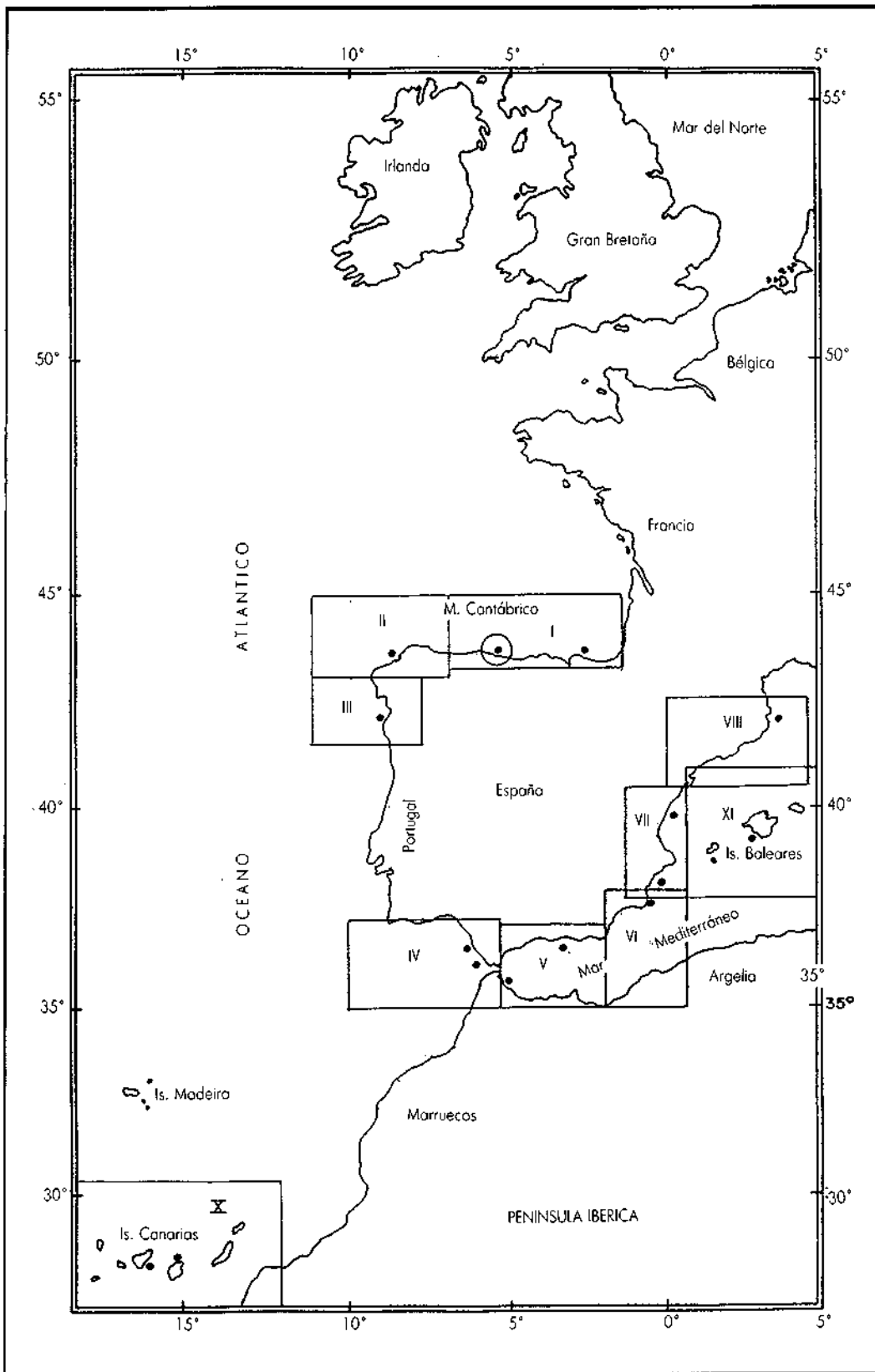


FIGURA 1.

Asimismo, dispone de información de velocidad y dirección de viento, temperatura del agua y del aire, etc.

Las áreas marítimas seleccionadas, de las que se dispone información, fueron establecidas en base a las características climáticas del litoral español.

En la figura 1 se muestra la zonificación establecida recogiendo en la tabla 1 las coordenadas geográficas límites de cada una de las áreas correspondientes.

**DATOS VISUALES ELABORADOS.** En este grupo se incluyen los datos suministrados por distintos organismos para el/las área/s de interés así como las estadísticas elaboradas que aparecen en distintas publicaciones para zonas marítimas concretas, Hogben y Lumb (1967), etc.

Su presentación es, en general, en forma de tablas estadísticas de doble entrada (Hv/Tv), para cada uno de los sectores del área analizada diferenciando, o no, el oleaje sea del swell.

Este tipo de información, suministrado por el British Maritime Technology (BMT), se encuentra disponible actualmente en el CEPYC, para las mismas áreas consideradas en la fuente anterior.

Una característica diferencial de esta última estadística es que su elaboración se realiza mediante la aplicación de un programa de ordenador a datos de velocidad de viento y altura de ola visuales, o velocidad de viento sólo.

La tabla 1 incluye también la localización de dichas áreas.

### 3. ANALISIS MEDIO DEL OLEAJE

Como se indicó anteriormente, el conocimiento del comportamiento estadístico de las variables que definen el oleaje tanto en sus valores medios como extremos, es de gran utilidad para llegar a su caracterización y predicción y así poder abordar tanto estudios de obras de defensa portuaria y costera, como cualquier obra marítima que se desee emprender.

La estadística correspondiente puede aplicarse tanto a datos instrumentales como a observaciones visuales procedentes de distintas fuentes, siendo el método de tratamiento de datos distinto en cada caso.

Si se parte de datos instrumentales la metodología de cálculo a aplicar es la que parte de las curvas de estados del mar sobre las que se van midiendo las duraciones de las excedencias en los distintos niveles de la variable y, en caso de que se pretenda calcular a partir de este régimen el correspondiente régimen de temporales por aplicación de la ecuación extremal, es necesario, además, contabilizar el número de veces que cada nivel es excedido.

También es posible determinar el régimen medio de altura de ola significativa a partir del correspondiente histograma acumulado de alturas aunque si la estacionariedad del fenómeno está por encima del intervalo entre muestras, ambos regímenes coinciden.

En cualquiera de los casos el régimen medio debe

obtenerse a partir de un período de tiempo superior o igual a un año, con un nivel mínimo de datos válidos en torno al 75 % siempre y cuando la falta de información se encuentre repartida a lo largo del año.

A la hora de elegir la muestra hay que tener en cuenta que la variabilidad que se produce entre muestras de un año puede ser grande, por lo que si calculamos el régimen medio partiendo de una muestra que comprenda un período de varios años el resultado que se obtiene estará más cerca de lo que podríamos llamar «año climático ideal».

En los datos visuales, la ausencia de un intervalo constante de tiempo entre las distintas observaciones, así como la diversidad de puntos espaciales desde los que son tomados, hacen imposible la construcción de curvas de estados del mar. Esto determina que el cálculo del régimen medio de altura de ola visual se efectúe a partir del histograma acumulado de alturas.

Además, si se parte de observaciones visuales que diferencien el sea del swell, el tipo de tratamiento diferirá del empleado cuando se parte de datos visuales o instrumentales que proporcionan un solo tipo de altura de ola por observación o medida.

Esto resulta evidente ya que en el primer caso disponemos de información de dos estados, sea y swell, en el mismo instante y lugar siendo el estado real del mar una combinación de ambos.

Aunque varios criterios han sido propuestos para tratar de obtener una sola altura de ola visual cuando se simultanean el sea y el swell, Hogben y Lumb (1967), Qualey (1980), Danbyshire y Draper (1963), Jardine (1981), Cartwright (1956), etc.; el implementado en el programa desarrollado aborda el cálculo del régimen medio de altura visual a partir de las probabilidades de no excedencia con oleaje sea y de no excedencia con oleaje swell, determinándose la probabilidad de no excedencia total como producto de ambas probabilidades para cada nivel de la variable.

El criterio seguido al tomar el producto de las probabilidades de los dos sucesos equivale, en términos estadísticos, a considerar que el nivel de la variable correspondiente no es superado ni por el oleaje sea ni por el swell ni por ambos a la vez.

#### 3.1. ELECCION DE LA F. D. METODOS DE AJUSTE

Una vez definida la muestra representativa del fenómeno en cuestión, el conocimiento del régimen medio del oleaje requiere la estimación de la F. D. estadística de la variable, para un año climático medio.

Dado que el oleaje es un fenómeno aleatorio no es posible derivar teóricamente dicha distribución siendo necesario ajustar distintos modelos de distribuciones teóricas a los datos observados o medidos durante un período de tiempo superior o igual al año.

En estudios realizados por diversos investigadores, no sólo con altura de ola sino también con otras variables oceanográficas, no se encuentran razones conclu-

**PUERTOS Y COSTAS**

DISTRIBUCION	FUNCION DE DISTRIBUCION	FUNCION DE DENSIDAD
NORMAL	$\frac{1}{B\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-A}{B}\right)^2\right] dx$	$\frac{1}{B\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-A}{B}\right)^2\right]$
LOGNORMAL	$\frac{1}{B\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^x \frac{1}{x} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - A}{B}\right)^2\right] dx$	$\frac{1}{xB\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - A}{B}\right)^2\right]$
EXPONENCIAL	$1 - \exp[-B(x-A)]$	$B \cdot \exp[-B(x-A)]$
WEIBULL	$1 - \exp\left[-\left(\frac{x-A}{B-A}\right)^C\right]$	$\frac{C}{B-A} \cdot \left(\frac{x-A}{B-A}\right)^{C-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x-A}{B-A}\right)^C\right]$
ASINTOTA I	$\exp\left[-\exp\left(-\frac{x-A}{B}\right)\right]$	$\frac{1}{B} \cdot \exp\left[-\exp\left(\frac{x-A}{B}\right)\right] \cdot \exp\left(\frac{x-A}{B}\right)$
ASINTOTA II	$\exp\left[-\left(\frac{A}{x}\right)^B\right]$	$\frac{B}{A} \cdot \left(\frac{A}{x}\right)^{B+1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{A}{x}\right)^B\right]$

**TABLA 2.** Funciones de distribución.

DISTRIBUCION	MOMENTO DE 1.º ORDEN	MOMENTO DE 2.º ORDEN**	MOMENTO DE 3.º ORDEN
NORMAL	A	B <sup>2</sup>	—
LOGNORMAL	$\exp\left(A + \frac{1}{2} B^2\right)$	$\exp\left[\left(A + \frac{1}{2} B^2\right)^2\right] \cdot \left[\exp(B^2) - 1\right]$	—
EXPONENCIAL	A + 1/B	1/B <sup>2</sup>	—
WEIBULL	A + (B-A) · Γ(1 + 1/C)	(B-A) <sup>2</sup> [Γ(1+2/C) + Γ <sup>2</sup> (1+1/C)]	$\frac{\Gamma(1+3/C) - 3\Gamma(1+1/C) \cdot \Gamma(1+2/C) + 2\Gamma^3(1+1/C)}{[\Gamma(1+2/C) - \Gamma^2(1+1/C)]^2}$
ASINTOTA I	A + B · γ*	(B <sup>2</sup> · π <sup>2</sup> )/6	—
ASINTOTA II	A · Γ(1-1/B)	A <sup>2</sup> [Γ(1-2/B) - Γ <sup>2</sup> (1-1/B)]	—

**TABLA 3.** Momentos estadísticos de las distintas distribuciones.

Sólo se indican los momentos necesarios para la estima de la distribución por el método de los momentos.

\* γ es la constante de Euler = 0,577216.

\*\* Se dan los momentos centrados en la media.

NORMAL	A = $\mu_1$	B = $\mu_2$	
LOGNORMAL	$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i$	$B = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\ln x_i - A)^2 \right]^{1/2}$	
EXPONENCIAL*	—	$B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$	
WEIBULL**	A = 0	$B^C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^C$	
ASINTOTA I***	$\frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot e^{-x_i/B}}{\sum_{i=1}^N e^{-x_i/B}} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot e^{-\ln x_i - A/B}}{\sum_{i=1}^N e^{-\ln x_i - A/B}}$	$\bar{x} - B = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot \ln f(x_i)}{\sum_{i=1}^N \ln f(x_i)}$	$\frac{1}{C} + \bar{\ln x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^C \ln x_i}{\sum_{i=1}^N x_i^C}$
ASINTOTA II	—	$\frac{1}{B} + \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{A}{x}\right)^B \ln x}{N} = \bar{\ln x}$	$\frac{1}{B} + \frac{\sum_{i=1}^N x_i^{-B} \ln x}{\sum_{i=1}^N x_i^{-B}} = \bar{\ln x}$

**TABLA 4.** Relaciones de resolución de la función de máxima verosimilitud.

- \* Resolución directa de la ecuación sólo para una variable.
- \*\* Resolución para A = 0.
- \*\*\*  $f(x_i)$  es la función de distribución.  $\bar{x}$  es el valor medio.

DISTRIBUCION	A	B	C
NORMAL	$x_{0,50}$	$x_{0,84} - x_{0,50}$	
LOGNORMAL	$\ln x_{0,50}$	$\ln (x_{0,84}/x_{0,50})$	
EXPONENCIAL	$x_{0,00}$	$1/f(x_{0,63} - x_{0,0})^{**}$	
WEIBULL	VARIABLE*	$x_{0,63}$	$1/\ln (x_{0,934}/x_{0,632})^{**}$
ASINTOTA I	$x_{0,367}$	$x_{0,692} - x_{0,367}^{**}$	
ASINTOTA II		$x_{0,367}$	$1/\ln (x_{0,692}/x_{0,367})^{**}$

**TABLA 5.** Relación entre los parámetros de la distribución y la recta del ajuste.

Los valores que se indican ( $x_N$ ) se refieren al valor que la variable aleatoria en estudio toma para esa probabilidad, (N), según la recta de ajuste.

\* El valor de A a priori es cero, pudiendo elegirse cualquier otro.

\*\* Dado que estos parámetros están relacionados con la pendiente de la recta trazada se ha elegido, por simplicidad, los valores correspondientes a la variable reducida y = 0 e y = 1, pudiéndose escoger para su cálculo otros valores cualesquiera pero siempre en términos de variable reducida.

yentes del porqué se selecciona una F.D. u otra, simplemente se utiliza aquella que mejor ajuste presenta a la muestra analizada dentro de las que, por sus características, justifican el comportamiento del fenómeno analizado.

En la bibliografía especializada las F.D. más utilizadas con este tipo de variables son:

Lognormal: J. Battjes (1970), Jasper (1958), Darbyshire (1956), Mayencon (1969), Harris (1967), etc.

Exponencial: Thompson (1972, 1977, 1982), Larras (1965, 1967), etc.

Weibull: Battjes (1972), Carter y Draper (1979), etc.

Elegida la F. D., el ajuste de la nube de puntos a una recta, o estima de los parámetros de la F. D. elegida,



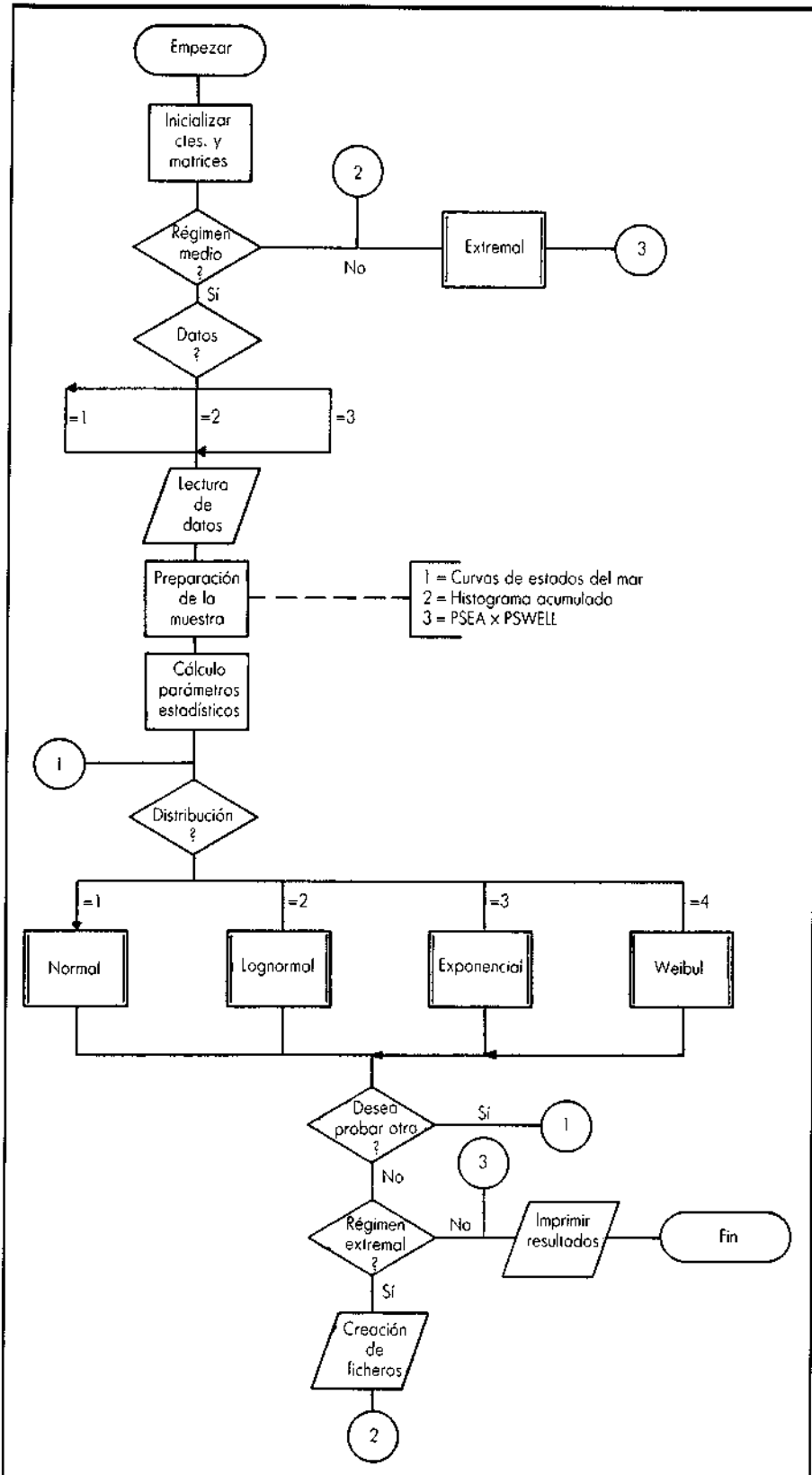


FIGURA 2.

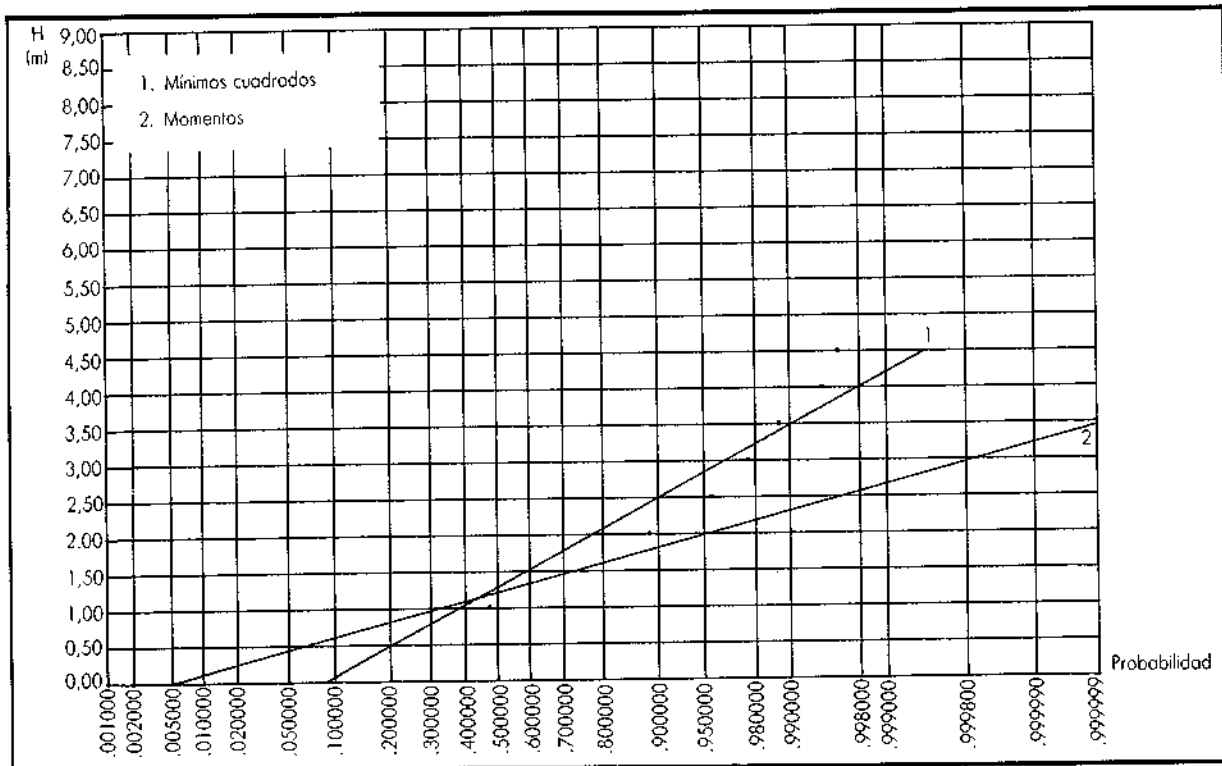


FIGURA 3. Régimen de altura significativa. Distribución normal. Gijón 119851-91,8 % datos.

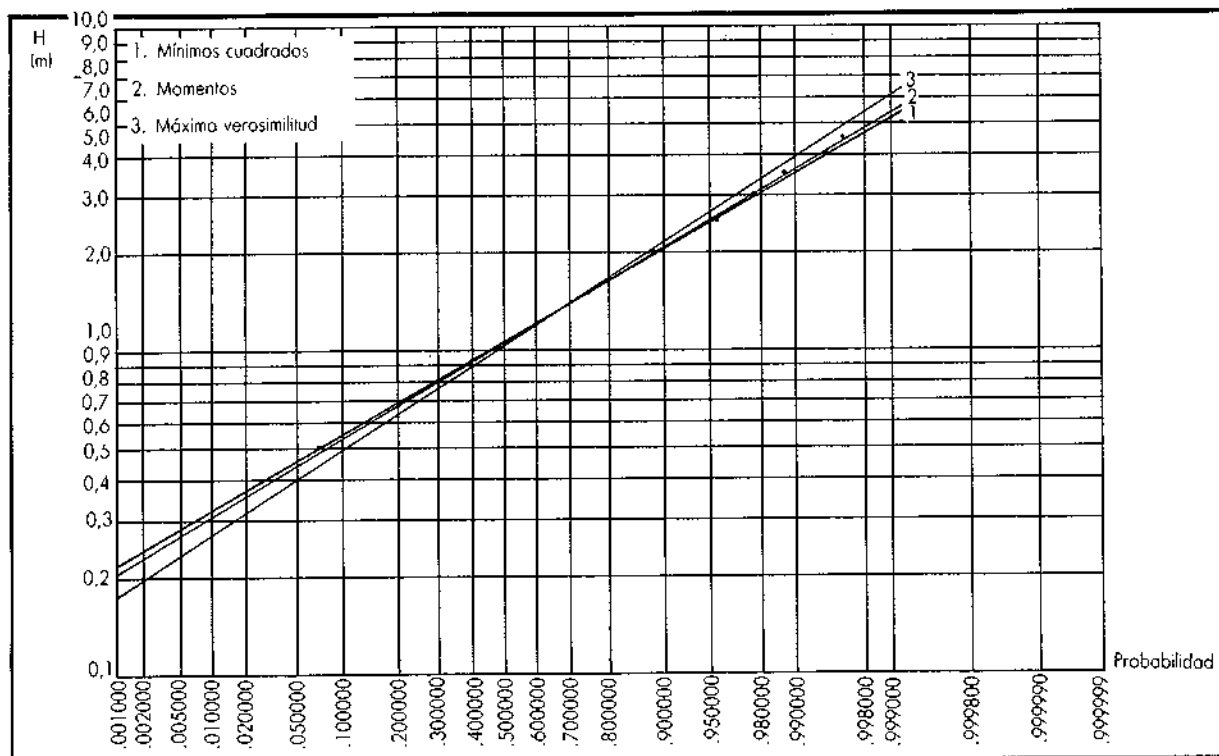


FIGURA 4. Régimen de altura significativa. Distribución lognormal. Gijón (1985)-91,8 % datos.

puede realizarse por diversos métodos, siendo los más utilizados el método de los momentos, el de la máxima verosimilitud y el denominado método gráfico (por mínimos cuadrados o visual dando más peso a la zona de interés).

En general, cuando la muestra analizada se ajusta suficientemente bien a la F. D. elegida no suelen aparecer diferencias significativas en los ajustes obtenidos por los distintos métodos.

Las tablas 3 a 5 recogen las relaciones existentes entre los momentos de la muestra, las funciones de verosimilitud y los parámetros de la recta de ajuste trazada (parámetros gráficos), con los parámetros de la F. D. considerada.

#### 4. ANALISIS EXTREMAL DEL OLAJE

La estadística ordinaria que trata las propiedades de los datos dispersos alrededor de un valor medio muestral resulta de poca utilidad cuando lo que se desea es conocer el comportamiento de valores que distan ampliamente de ese valor, tal y como ocurre cuando se desea estimar el régimen extremal de la altura de ola.

El estudio de un fenómeno en sus condiciones extremas requiere el uso de métodos específicamente diseñados para tal fin.

Entre ellos, los más utilizados con la variable altura de ola son tres:

El primero de ellos, que consiste en el ajuste a una ley probabilística, es aplicable tanto a datos visuales como instrumentales siempre y cuando se disponga de suficientes años de medida. El segundo, basado en el cálculo de la función extremal, es válido sólo para datos instrumentales puesto que parte de las curvas de estados del mar. El tercero, útil para el tratamiento de datos visuales, establece una serie de hipótesis de partida que tratan de evitar el error que se deriva de la sobreestimación de la altura de ola visual cuando ésta supera un determinado valor.

Las consideraciones previas necesarias para la elección de uno u otro método así como las características de cada uno de ellos serán objeto de una posterior publicación.

Establecida la muestra extremal representativa por cualquiera de los métodos indicados, la elección de la F. D. extremal se ha de realizar de forma idéntica a la

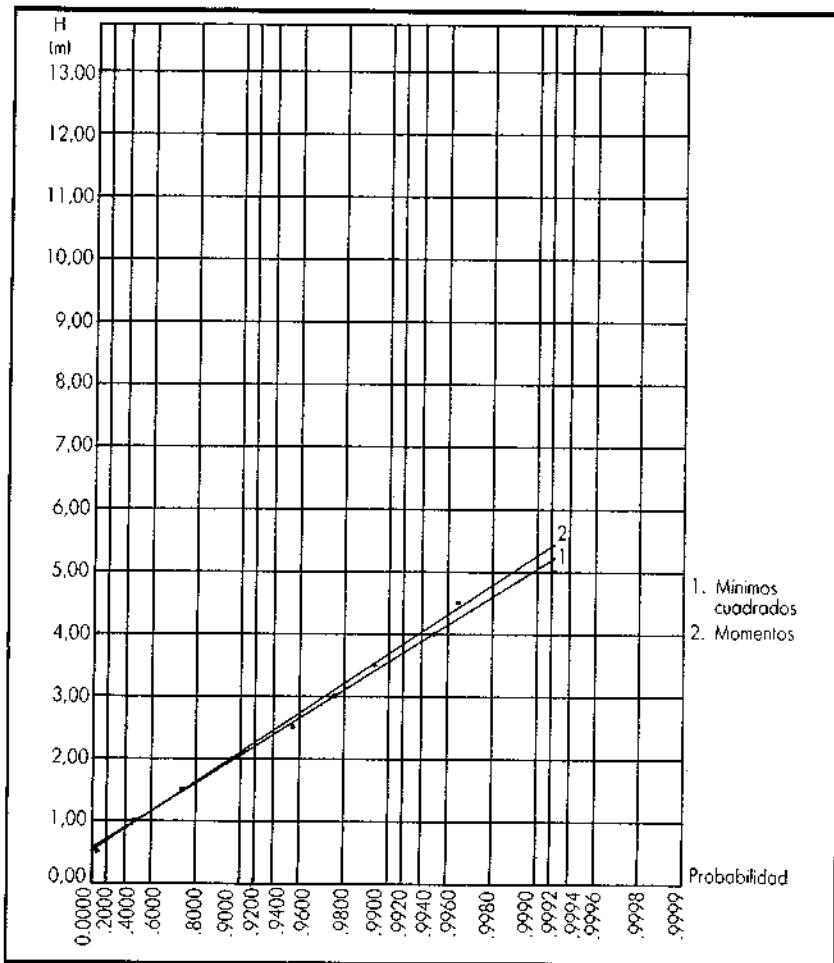


FIGURA 5. Régimen de altura significativa. Distribución exponencial. Gijón (1985)-91,8 % datos.

descrita para el caso de la F. D. de la variable que define el régimen medio.

Para efectuar este análisis y de acuerdo a la bibliografía revisada se incluyen las F. D. extremas, denominadas distribuciones asintóticas, Asíntota I, o F. D. de Gumbel, y la Asíntota II, también conocida como distribución de Fréchet.

En la tabla 1 se encuentran sus expresiones, reuniéndose en las tablas 3 a 5 las relaciones existentes entre los parámetros de las distribuciones y los métodos de ajuste correspondientes.

### 5. PROGRAMA DESARROLLADO

El programa de ordenador incluye cuatro F. D. para el análisis del régimen medio y dos asintóticas para el análisis extremal.

La tabla 1 recoge las expresiones correspondientes a las F. D. consideradas. Todas ellas son fácilmente calculables excepto la normal y lognormal. Para la obtención de estas últimas se ha utilizado la fórmula de aproximación propuesta por C. Hasting.

#### 5.1. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

El paquete consta de un programa principal encargado de solicitar datos, llamar a las subrutinas correspondientes e imprimir y/o grabar ficheros de resultados.

La entrada de datos que se contempla permite acceder a archivos correspondientes a los datos visuales e instrumentales pertenecientes a los Bancos de Datos de Oleaje del CEPYC, así como a posibles ficheros creados manualmente con datos procedentes de tablas estadísticas u otras publicaciones.

Una vez leído el volumen de datos a analizar, el programa solicita el tipo de distribución que se va a ensayar y a continuación dibuja, si se desea, el papel probabilístico correspondiente representando sobre el mismo, o en su escala, la nube de puntos muestrales.

Como se indicó, el ajuste de la muestra a una F. D. de forma gráfica consiste en trazar la recta que mejor se adapta a los puntos muestrales. Formalmente dicho ajuste se efectúa por mínimos cuadrados aunque, tradicionalmente, dicha recta es trazada a «ojo», con el inconveniente de la subjetividad pero con la gran ventaja de poder dar más peso a la zona de mayor interés.

Puesto que este último procedimiento resulta bastante eficaz, el programa prevé la posibilidad de acotar y/o eliminar aquella zona o puntos que no resulte de interés, efectuándose posteriormente el ajuste de la muestra seleccionada.

Si la muestra original no se acota y no se elimina ningún punto intermedio, el programa realiza el ajuste de la misma a la distribución elegida, además de por mínimos cuadrados, por los métodos de los momentos y

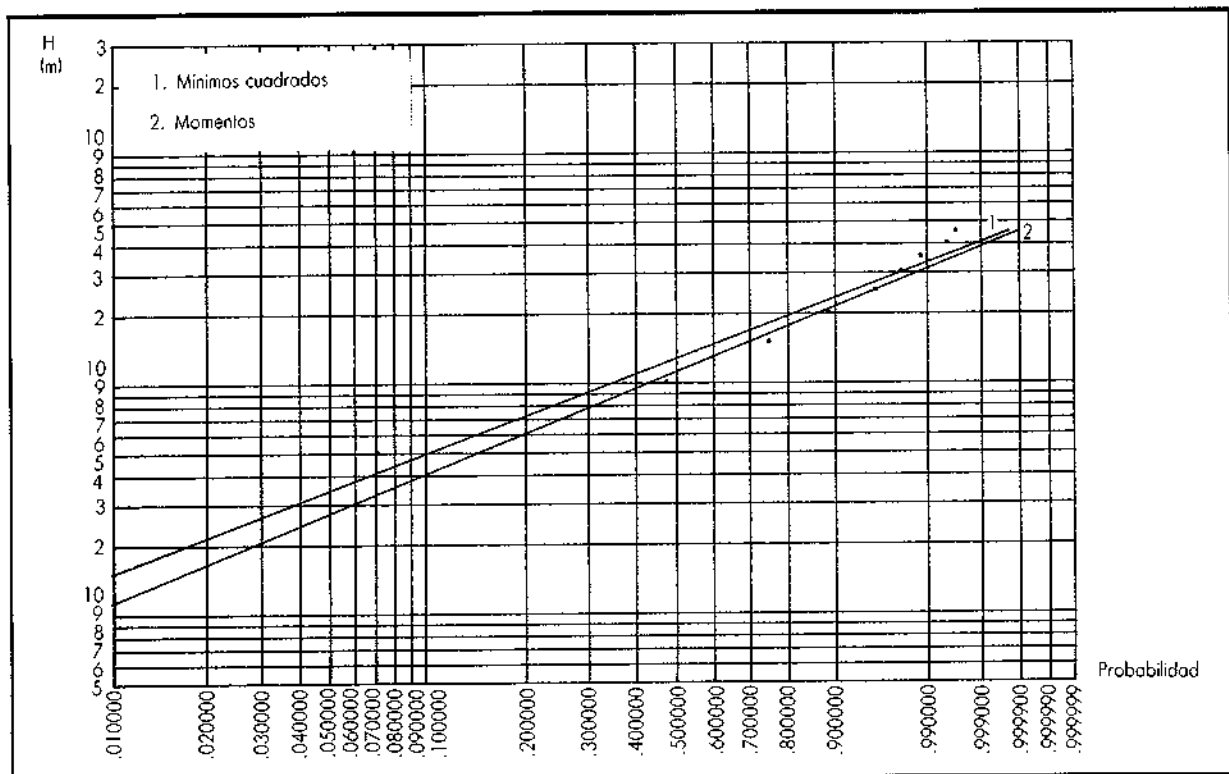


FIGURA 6. Régimen de altura significativa. Distribución Weibull. Gijón (1985)-91,8 % datos.

# NATUR'90



## FERIA DE LOS PARQUES NATURALES

Sevilla del 18 al 21 de Enero de 1990

# SAMA



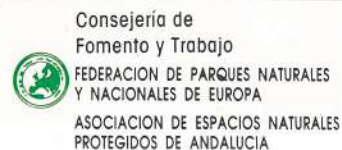
## Salón del Medio Ambiente '90

Sevilla, del 18 al 21 de Enero


ORGANIZAN:



COLABORAN:





Limpieza, protección y restauración de piedra  Impermeabilizantes para la protección total de cubiertas, tejados, fachadas y sótanos. Tratamiento humedades de capilaridad. Impermeabilización y consolidado de

hormigón y suelos  Pavimentos y revestimientos para instalaciones deportivas

 Revestimientos y pavimentos continuos de pinturas de poliuretano y de epoxi. Procesos anti-condensación. Revestimientos sanitarios para cisternas y cubas.

# 50 AÑOS DE INVESTIGACION Y SERVICIO



Todos estos productos y procesos están adaptados a la

normativa de la CEE  Pinturas intumescentes, esmal-

tes, barnices, masillas, revocos ignífugos y líquidos ignífugantes 

Pinturas y revestimientos anticorrosión, masillas de

poliuretano, protección de instalaciones y maquinaria industrial.



AJO/PÉREZ



**Industrial Química Parrot, s.a.**

Bolivia, 338 (Pere IV, 500) - Tel. (93) 307 16 00 - FAX 307 42 28 - 08019 BARCELONA

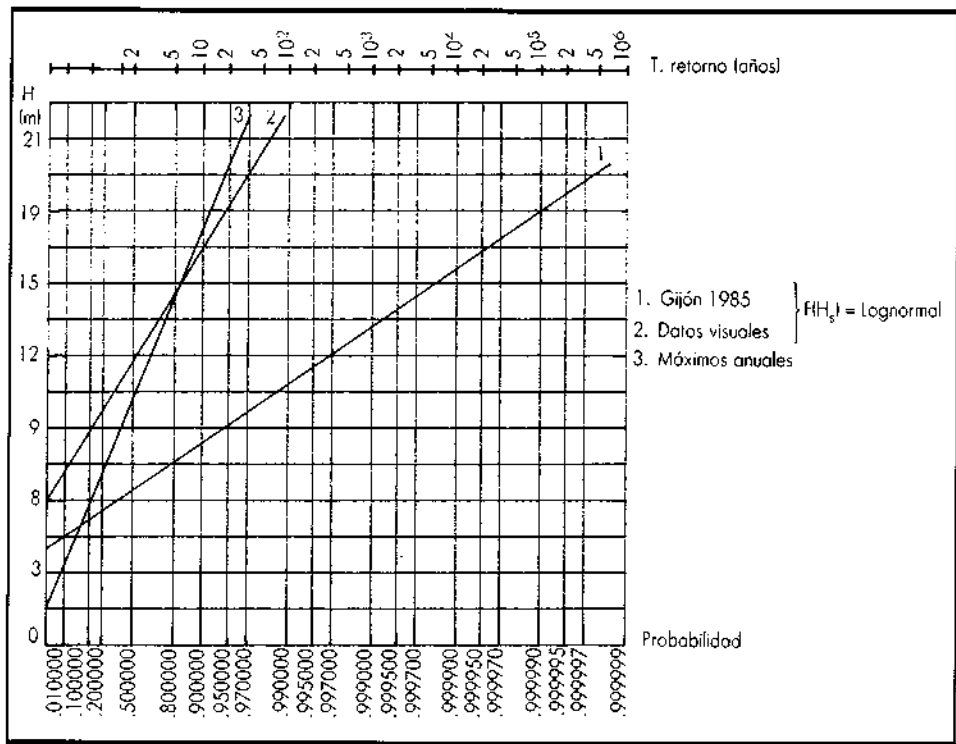


FIGURA 7. Comparación régimen extremal. Zona Cantábrica. Asintota (I).

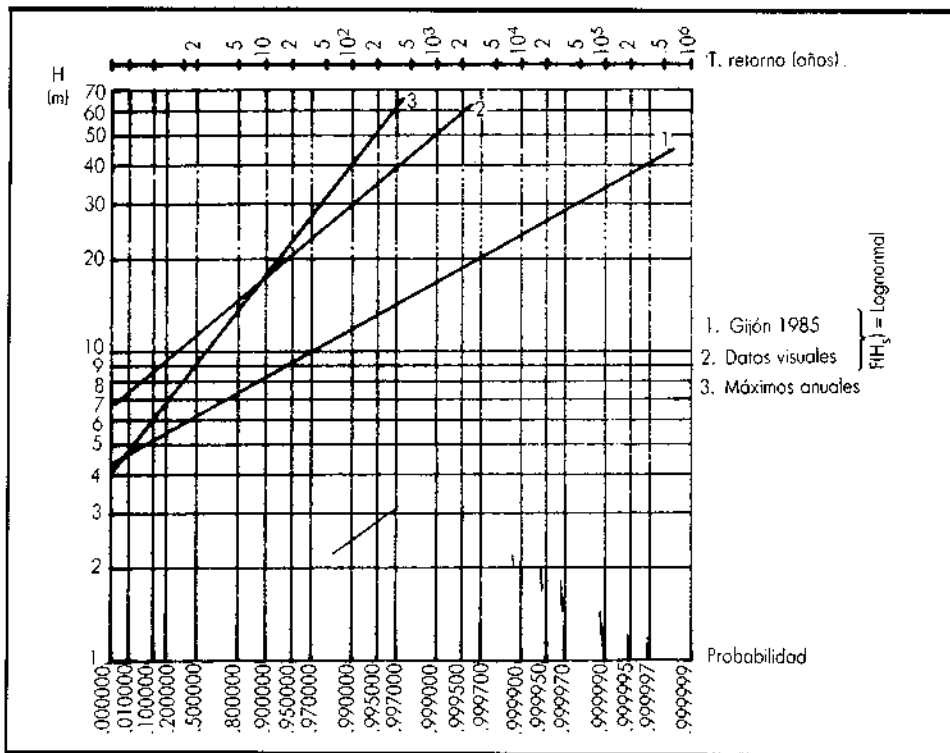


FIGURA 8. Comparación régimen extremal. Zona Cantábrica. Asintota (II).

de la máxima verosimilitud, trazando, si se desea, las rectas de ajuste correspondientes.

Si a partir del régimen medio se quiere obtener el correspondiente extremal, el programa guarda los parámetros de ajuste de las distribuciones ensayadas en un fichero para su uso posterior.

Si se parte de datos instrumentales en dicho fichero también se graban el número de excedencias y el de pruebas estadísticas que se producen en un año medio para cada nivel de la variable fijado. Dichos valores son obtenidos a partir de las curvas de estado del mar que el programa elabora por interpolación lineal.

Concluido el análisis de la muestra con una determinada distribución es posible obtener la representación gráfica, sobre el mismo papel probabilístico, del régimen medio, visual o instrumental correspondiente, introduciendo los parámetros A y B de la relación:

$$H_s = A + BH_v$$

El programa ofrece como menú los valores de A y B dados por Nordestrom, Hogben y Lumb, Cartwright y Ochi, pudiéndose asimismo introducir otros diferentes.

Concluido el análisis del régimen medio, y si se eligió continuar con el extremal, el programa calcula en función de la procedencia de los datos, instrumental o visual, el régimen extremal correspondiente aplicando la ecuación extremal, Copeiro (1979), en el primer caso y, por el método de extrapolación, Graauw (1986), en el segundo.

Si lo que se desea es tan sólo calcular la función de distribución extremal a partir de los máximos anuales o bien de valores de período de retorno que suministra la bibliografía, el programa transfiere el control a la subrutina correspondiente efectuándose la entrada de datos de forma manual o mediante un fichero creado previamente.

Cuando se parte de máximos anuales la frecuencia de representación correspondiente a la muestra ordenada se puede calcular por la fórmula propuesta por Hazen o por Weibull-Gumbel, sin que se encuentre cerrada la posibilidad de introducir otras opciones (tabla 6).

En todos los casos el ajuste de la muestra extremal se puede efectuar a las asíntotas I y II, realizándose el ajuste gráfico por mínimos cuadrados e imprimiéndose en su caso los parámetros calculados por el método de los momentos.

En la figura 2 se adjunta un ordinograma simplificado del programa.

Las figuras 3 a 6 muestran un ejemplo de las posibilidades que el programa ofrece para el análisis medio de la variable. En ellas se incluye la F. D. normal que, aunque no es asiduamente empleada con la variable analizada, se ha considerado oportuno incluirla en el paquete dado el gran número de fenómenos naturales que se aproximan bien a ella.

Por su parte las F. D. asíntóticas (asíntota I y II), consideradas en el análisis extremal, se muestran en las figuras 7 y 8.

AUTOR	FORMULA
HAZEN	$\frac{2m - 1}{2N}$
WEIBULL-GUMBEL	$\frac{m}{N + 1}$
CHEGODAYEV	$\frac{m - 0,3}{N + 0,4}$
BLOM	$\frac{m - 3/8}{N + 1/4}$
TUCKEY	$\frac{3m - 1}{3N + 1}$
GRINGORTEN	$\frac{m - 0,44}{N + 0,12}$

**TABLA 6.** Frecuencias de representación.

m = número de orden.  
N = tamaño de la muestra.

Los datos representados corresponden a muestras instrumentales pertenecientes al punto señalado como del área I y a observaciones visuales del NCDC, del mismo área (ver fig. 1).

Las salidas gráficas se acompañan de las correspondientes impresas proporcionando información completa de la muestra analizada, parámetros de las distribuciones ensayadas y momentos muestrales característicos (media, varianza, etc.).

## 6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la activa colaboración prestada por don Javier Martínez Aránzabal en los temas estadísticos tratados, así como el apoyo de la División de Ingeniería de Sistemas, en aspectos informáticos referentes a las Bases de Datos utilizadas.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS, K. S.; DACUNHA, N. M. C., y HOGBEN, N. (1983): «NMIMET: A Global Capability for Wave Climate Synthesis», *NMI Ltd.*, Feltham, U.K.
- ANG, A. H. S., y TANG, W. H. (1984): *Probability Concepts in engineering planning and design*, vols. I y II, John-Wiley, Nueva York.
- BATTJES, J. A. (1972): «Long-Term Wave Height Distribution at Seven Stations around the British Isles». *Dtsch. Hydrogr. Z.* 25, n.º 4, 180-189.
- BATTJES, J. A. (1984): «Synthesis of Design Climate». in: *Breakwaters. Design and Construction*, ICE, Thomas Telford Ltd., Londres.
- CARTER, D. J. T., y DRAPER, L. (1979): «Waves at Ocean Weather Station ALPHA». *Inst. Ocean. Sci.*, Rep. 69.
- COPEIRO, E. (1978): «Análisis extremal de variables geofísicas». Laboratorio de Puertos Ramón Iribarren, *CEDEX*, publ. n.º 15.



DEL MORAL, R., y BERENGUER, J. M. (1980): «Planificación y Explotación de Puertos, ingeniería oceanográfica y de costas», tomo I, Servicio de Publicaciones del MOPU.

GRAAUW, A. D. (1986): «Wave statistics based on ships observations». *Coastal Eng.*, 10:105-118.

GRINGORTEN, I. (1963): «A plotting rule for extreme probability paper». *Journal of geophysical Research*, vol. 68, n.º 3.

GUMBEL, E. J. (1958): *Statistics of extremes*. Columbia Univ. Press, Nueva York.

HASTINGS, C. (1985): *Approximations for digital computers*. Princeton Univ. Press, Princeton, N. J.

HAZEN, A. (1930): *Flood Flows*. John Wiley, Nueva York.

HOGBEN, N., y LUMB, F. E. (1967): «Ocean wave statistics», HNSO, Londres.

JARDINE, T. P. (1979): «The Reliability of Visually Observed Wave Heights». *Coastal Engineering*, vol. 3, p. 33-38.

JASPER, N. H. (1956): «Statistical distribution patterns of ocean waves and of wave-induced ship stresses and motions, with engineering applications». *Soc. Nav. Archit., Har. Eng. Trans.*, 64.

NORDESTROM, N. (1969): «Relationships between visually estimated and theoretical wave heights and periods». *Rept. 69-22-5*, Det. Norske Veritas. Oslo.

OCHI, M. K. (1973): «On Prediction of Extreme Values». *J. Ship Res.*, 17, n.º 1, pp. 29-37.

OCHI, M. K. (1978a): «Wave Statistics for the Design of Ships and Ocean Structures». *Soc. Nav. Archit. Mar. Eng. Trans.*, 86:47-76.

OCHI, M. K. (1978b): «Wave Statistics for the Design of Ships and Ocean Structures». *Proc. SNAME*, Nueva York, noviembre.

OCHI, M. K. (1978c): «On Long-Term Statistics for Ocean and Coastal Waves». *Proc. Conf. Coastal Eng. 16th*, 1:59-75.

OCHI, M. K. (1982): «Stochastic Analysis of Random Seas». *Advances in Hydroscience*, vol. 13, Academic Press, Nueva York (Ed.: Ven te Chow).

THOMPSON, E. F. (1977): «Wave Climate at Selected Locations Along U.S. Coasts». *Tech. Rep. 77-1, Coastal Eng. Res. Cent.*, USA.

TUCKER, M. J. (1963): «Analysis of Records of Sea Waves». *Proc. Inst. Civ. Eng.*, 26, n.º 10, pp. 305-316.

La acción fue iniciada a las 16.30 h. en punto de un sábado por la tarde: La policía bloqueó los cuatro carriles de la autopista A3 entre Francfort y Wuerzburg, cerca de Stockstadt en ambas direcciones.

La razón de este trabajo a gran escala trabajando con nueve máquinas hidráulicas para obras públicas en un lugar tan limitado era ampliar la autopista a seis carriles. La construcción del nuevo puente sobre la carretera nacional 554 entre Stockstadt y Mainhausen ya está concluida y el puente está abierto para la circulación, estando situado directamente al lado del puente antiguo que había que derribar.

Dos grandes palas sobre ruedas trajeron toneladas de arena depositándola debajo del puente sobre la calzada. De esta manera los bloques de hormigón derruidos no podían dañar la calzada al caerse sobre ella. A continuación se procedió a nivelar los taludes en los apoyos extremos para crear de esta forma las rampas precisas para la demolición. En un amplio radio alrededor del puente se quitaron todas las protecciones para garantizar el espacio preciso para el movimiento de todos los vehículos.

Para la demolición del puente antiguo se emplearon "medios suaves." No fue posible realizar voladuras a causa de la cercanía del nuevo puente. El contratista Helmut Chantré de Neu-Isenburgo cerca de Francfort, consideró el empleo de la maquinaria múltiple como única solución posible.

Se utilizaron 6 excavadoras hidráulicas, dos de ellas equipadas con un martillo hidráulico KRUPP HM 711 y otras dos con un HM 1300 cada una, otra excavadora con una tenaza para hormigón y otra montada con una bola de demolición. Esta maquinaria permitió la ejecución del trabajo completo en una sola noche.

Mientras la bola de demolición eliminaba los pasos de peatones, los martillos hidráulicos y la tenaza para hormigón trabajaban en el mismo puente. Tres excavadoras estaban sobre la calzada equipadas con martillos hidráulicos y una tenaza para hormigón. Las otras dos excavadoras estuvieron en servicio el máximo tiempo posible sobre el puente viejo, destruyendo los apoyos extremos para soltar de esta forma el puente antiguo de los laterales.

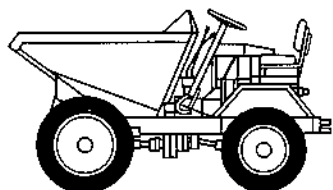
El domingo temprano el tráfico circulaba de nuevo libremente. Este trabajo demostró una vez más que los trabajos a plazo no son un problema si hay una planificación adecuada y el equipamiento preciso.



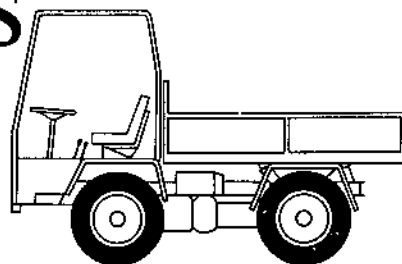
Un aliado  
muy rentable.

---

## Motobasculantes



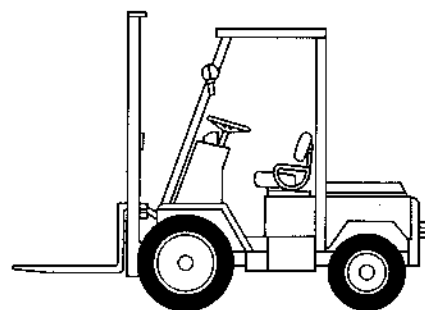
14 Modelos de 1000 a 3000 Kgs.  
Diferentes sistemas de descarga.  
Tracción a 2 y 4 ruedas.



---

## Carretillas Elevadoras

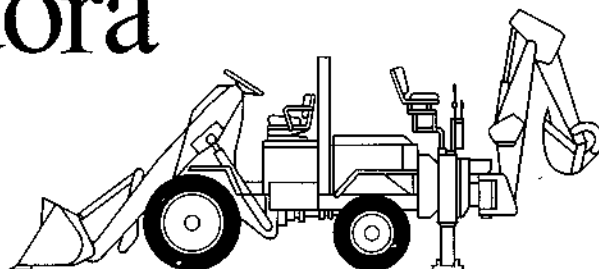
De 1000 a 2500 Kgs.



---

## Pala Cargadora

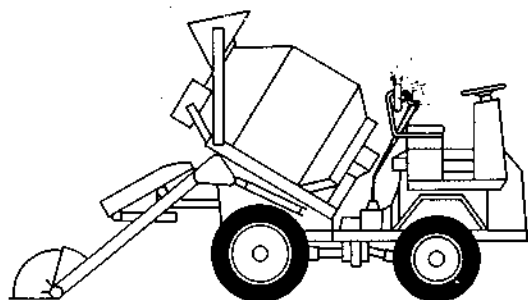
Modelo standard: 400 litros.  
Versiones con pinzas para troncos,  
retro excavadora, etc.



---

## Auto- hormigonera

Capacidad de amasada: 750 litros.



APART. P.O.B. 194  
TEL. (93) 874 73 11  
TELEX 53102 AUDU E  
MANRESA (Barcelona) ESPAÑA

---