

Temporales en la zona de Cartagena 1986-2005

MANUEL SOTILLO MEMBIBRE (*)

RESUMEN La estación de medida y registro de oleaje de Cabo Palos es de las primeras del proyecto REMRO (Red Española de Medida y Registro de Oleaje) y ha estado funcionando continuamente desde su apertura; esto nos ha aportado una colección importante de datos; que nos permite estudios estadísticos de valores extremos y un estudio descriptivo de las principales tormentas y sus periodos de retorno.

STORMS IN THE CARTAGENA COAST

ABSTRACT *The station of measurement and registry of sea waves of Cabo Palos is one of the first of project REMRO (Spanish Network of Measurement and Registry of Sea waves) and has been working from its opening; it has contributed one to us a big set of data; it allows statistical studies of extreme values and descriptive studies of main storms and its return periods.*

Palabras clave: Temporales, Régimen extremal, Periodo de retorno, Máximos anuales, Espectro de potencia, Estados del mar, Densidad espectral y Series temporales de oleaje.

1. INTRODUCCIÓN

En este artículo vamos a estudiar los temporales registrados por la boya de oleaje escalar, fondeada en la zona de Cartagena, de la Red de Medida y Registro de Oleaje (REMRO) desde 1 de Enero de 1986 y 31 de Diciembre de 2005.

Veremos los temporales mayores registrados en los 20 años y los máximos anuales. Calcularemos el régimen extremal por el método de Pico sobre umbral, y analizaremos el mejor ajuste.

Clasificaremos los temporales según la altura significativa y mostraremos una tabla con los temporales de mayor altura significativa.

2. SITUACIÓN

La boya de Cabo de Palos está fondeada en las coordenadas $37^{\circ} 39,25' N$ de latitud y $00^{\circ} 38,30' W$ de longitud. Profundidad 67 m.

3. TEMPORALES MÁXIMOS ANUALES

En la Tabla 1 muestra los temporales máximos anuales. El año del máximo temporal registrado fue en 1995 con 5,46 metros de altura de ola significativa. El menor de los temporales máximos anuales corresponde al año 2005 con 2,67 metros.

Observamos que el número de temporales máximos anuales distribuidos en meses de ocurrencia es: Marzo (5), Febrero (4), Enero (4), Octubre (3), Noviembre (1), Septiembre (1), Agosto (1) y Mayo (1).



FIGURA 1. Carta de Situación.

(*) Técnico Superior del Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX.

AÑO	H _s (metros)	FECHA
1986	3,55	30 de Agosto
1987	4,15	5 de Enero
1988	3,51	16 de Febrero
1989	5,12	18 de Marzo
1990	5,34	3 de Marzo
1991	4,54	23 de Octubre
1992	4,50	3 de Mayo
1993	3,42	25 de Marzo
1994	5,16	18 de Enero
1995	5,46	28 de Febrero
1996	3,61	15 de Febrero
1997	3,25	29 de Octubre
1998	3,33	20 de Septiembre
1999	3,51	8 de Octubre
2000	3,85	1 de Enero
2001	4,94	10 de Noviembre
2002	4,84	28 de Marzo
2003	4,75	10 de Enero
2004	3,82	15 de Marzo
2005	2,67	9 de Febrero

TABLA 1.

4 RÉGIMEN EXTREMAL

Se le da el nombre de régimen extremal a la función de distribución de los valores extremos de una determinada variable, que vamos a concretar en la altura significativa H_s . Entre los métodos más utilizados destacamos: el método de la muestra total, el método de los valores de pico y el método de los máximos anuales. Por los años registrados vamos a usar el segundo de los métodos.

Para el cálculo del régimen extremal vamos a utilizar el método de Picos Relativos sobre Umbral (POT). (Goda, 1988). En primer lugar hay que definir el periodo de tiempo entre dos picos consecutivos para que se estimen independientes entre sí. Luego extraemos de las series temporales registradas aquellos temporales independientes que superen una cierta altura significativa umbral H_T en el pico del temporal. El conjunto de picos de la tormenta lo adoptamos como muestra inicial. Se calcula el tiempo efectivo de medida teniendo en cuenta el peso climático. De modo que estimemos el número medio de temporales anuales (λ), siendo $\lambda = N_T / T_{efe.}$

Una vez determinado λ (número medio de temporales anuales) se define una segunda altura umbral $H_1 > H_T$ contabilizando el número de temporales que lo supera N_1 . El conjunto de altura N_1 constituye la muestra utilizada para el análisis extremal. La muestra se ajusta por el método de los mínimos cuadrados a la distribución de Weibull con parámetros de forma $C = 0,75, 1,0, 1,4$ y $2,0$.

En la estación de Cabo Palos hemos tomado una separación entre picos de 60 horas, la altura $H_T = 1,70$ m. la altura $H_1 = 2,25$ m. El periodo de tiempo efectivo ponderado 18,88. El número de temporales $N_T = 464$ y $N_1 = 218$. El número medio de temporales anuales $\lambda = 24,576$. La desviación típica $\sigma = 0,688$.

El ajuste elegido es Weibull 1,4

5. TEMPORALES DE $H_S > 4,50$ M.

En la tabla 6 vemos los temporales de $H_s > 4,5$ m. con la fecha de ocurrencia.

TEMPORALES EN LA ZONA DE CARTAGENA 1986-2005

H(m)med	T.RETORNO	DESV(m)	H(80%)	H(90%)	H(95%)
3,8	1	0,1967	4,1	4,2	4,2
4,7	3	0,3062	5,1	5,2	5,3
5,1	5	0,3611	5,6	5,7	5,8
5,7	10	0,439	6,3	6,4	6,6
6,3	20	0,5204	7	7,2	7,3
7,2	50	0,633	8	8,2	8,4
7,9	100	0,7215	8,8	9	9,3
8,6	200	0,8128	9,6	9,9	10,1
8,9	300	0,8673	10,1	10,4	10,7

TABLA 2. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL 0,75.

H(m)med	T.RETORNO	DESV(m)	H(80%)	H(90%)	H(95%)
3,9	1	0,1635	4,1	4,2	4,2
4,7	3	0,2376	5	5,1	5,1
5	5	0,2725	5,4	5,5	5,6
5,5	10	0,3202	5,9	6	6,1
6	20	0,368	6,4	6,6	6,7
6,6	50	0,4314	7,2	7,3	7,5
7,1	100	0,4795	7,7	7,9	8
7,6	200	0,5276	8,2	8,4	8,6
7,8	300	0,5557	8,6	8,8	8,9

TABLA 3. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL 1,00.

H(m)med	T.RETORNO	DESV(m)	H(80%)	H(90%)	H(95%)
3,9	1	0,1412	4,1	4,2	4,2
4,6	3	0,1911	4,8	4,9	5
4,9	5	0,2134	5,2	5,2	5,3
5,3	10	0,2428	5,6	5,7	5,7
5,6	20	0,2713	6	6,1	6,2
6,1	50	0,3078	6,5	6,6	6,7
6,4	100	0,3346	6,9	7	7,1
6,8	200	0,3608	7,2	7,4	7,5
7	300	0,3758	7,5	7,6	7,7

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL 1,40.

H(m)med	T.RETORNO	DESV(m)	H(80%)	H(90%)	H(95%)
3,9	1	0,1293	4,1	4,2	4,2
4,5	3	0,1654	4,7	4,8	4,9
4,8	5	0,1808	5	5,1	5,1
5,1	10	0,2007	5,3	5,4	5,5
5,4	20	0,2195	5,7	5,7	5,8
5,7	50	0,2429	6,1	6,1	6,2
6	100	0,2597	6,3	6,4	6,5
6,3	200	0,2758	6,6	6,7	6,8
6,4	300	0,2849	6,8	6,9	6,9

TABLA 5. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL 2,00.

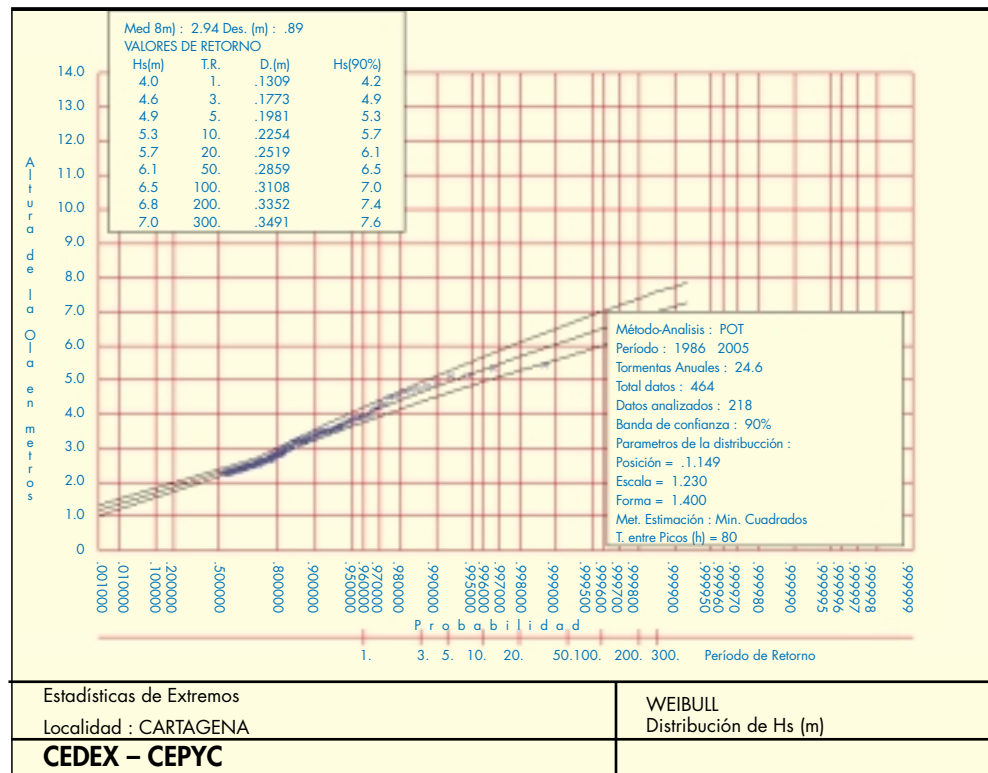


FIGURA 2.

6. ESTUDIO DE LOS MAYORES TEMPORALES

El pico del **temporal máximo** fue registrado el 28 de Febrero de 1995 a las 16 horas y alcanzó una altura significativa $H_{zs} = 5,46$ metros.

En las figura 4 y 5 se representan las Curvas de Estados del Mar, que representan la evolución de las alturas $H_{z,s}$, H_{max} , T_z y $T_{z,s}$.

En las graficas el eje de abscisas esta la escala de tiempos, y en la de ordenadas hay un eje para las alturas en metros y otro para los periodos en segundos.Fig. 4

En las Curvas de Estados del mar observamos como se va incrementando la altura a partir del día 26 hasta alcanzar

el pico el día 28 después desciende la altura, tiene una cierta simetría en la subida y bajada de la altura; lo mismo sucede con los periodos. La altura máxima supero los 11 metros. La duración del temporal contado desde que supera el nivel de 2 m. hasta que vuelve al cruzarlo en sentido descendente es de 3 días.

En la figura 6 se representa la evolución espectral del oleaje, en el eje X se representa la frecuencia en Herzios, en el eje Y el tiempo en días y el eje Z la densidad espectral. Podemos observar en la fecha del temporal como va creciendo la densidad espectral y el desplazamiento hacia la izquierda en las frecuencias.

Año	Mes	Día	Hora	Hs	Nº.
1995	2	28	16	5,46	1
1990	3	3	7	5,34	2
1994	1	18	12	5,16	3
1989	3	18	18	5,12	4
2001	11	10	9	4,94	5
2002	3	28	20	4,84	6
2003	1	10	17	4,75	7
1995	3	12	14	4,71	8
1989	10	16	2	4,65	9
2003	11	18	10	4,55	10

TABLA 6.

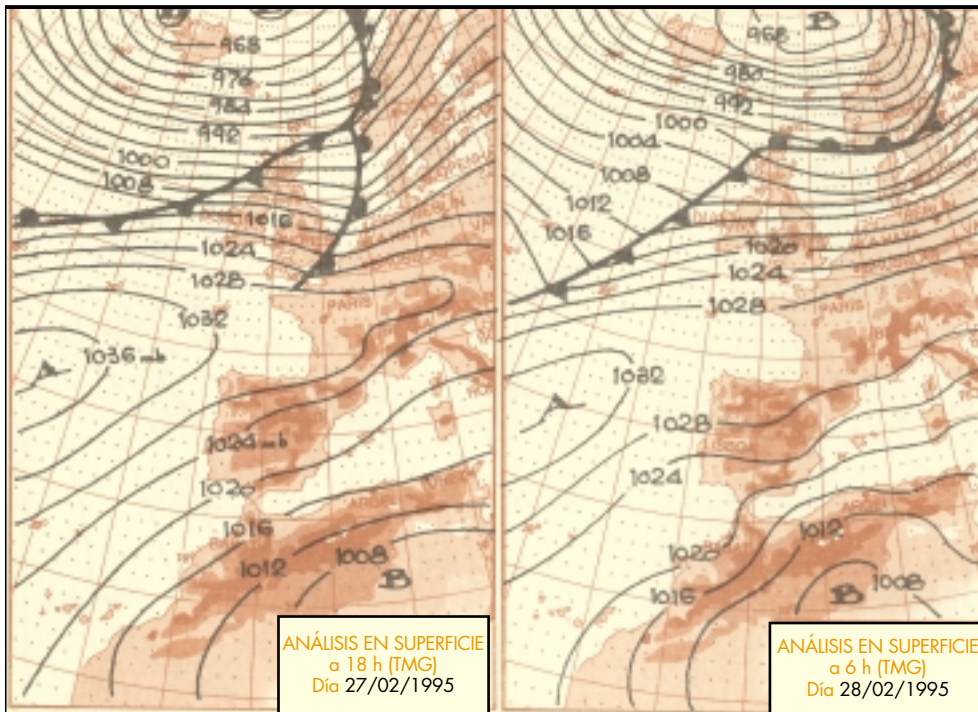


FIGURA 3. Mapas de isobaras correspondiente a los días del temporal máximo. Observemos la borrasca del Norte de Africa. En las borrascas del Hemisferio Norte los vientos giran en sentido contrario de la agujas del reloj.

El **segundo temporal** según la altura H_s ocurrió el 3 de Marzo de 1990 en la muestra de las 7 horas, tiene una $H_s = 5,34$ m.

En la curva de Estados del Mar (fig. 7), podemos observar el rápido crecimiento de las alturas y los periodos en el comienzo del temporal. Observamos que la altura máxima se acerca a los 11 metros. El temporal tiene una duración de 5 días. Los periodos tienen un incremento rápido y una bajada más suave. La forma del temporal es asimétrica con dos picos (como si fueran dos temporales seguidos).

La figura 8 representa la evolución espectral en el podemos observar el rápido crecimiento de la densidad de

energía y e desplazamiento hacia las bajas frecuencias del temporal.

El **tercer temporal** mayor fue el día 18 de Enero de 1994 a las 12 horas. La altura $H_s = 5,16$ m., la curva de Estados del Mar esta representada en la fig. 9. Se observa el rápido incremento de las alturas hasta llegar al pico del temporal con un descenso más suave. La altura máxima casi alcanza los 9 metros. La duración del temporal desde que cruza el nivel de 2 metros en sentido ascendente hasta que lo vuelve a cruzar en sentido descendentes es de 3 días. El temporal tiene forma asimétrica.

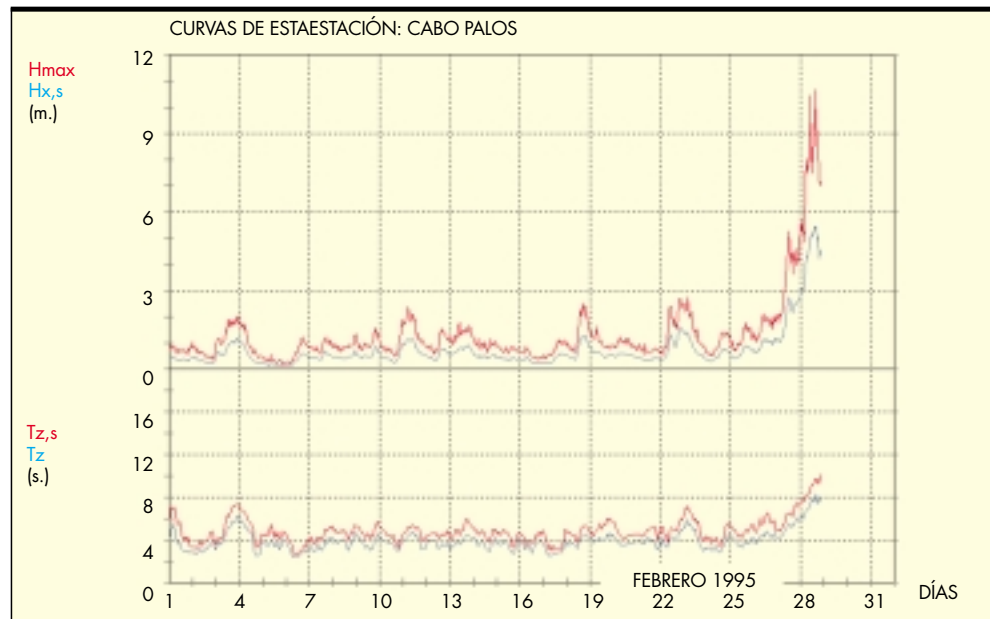


FIGURA 4.

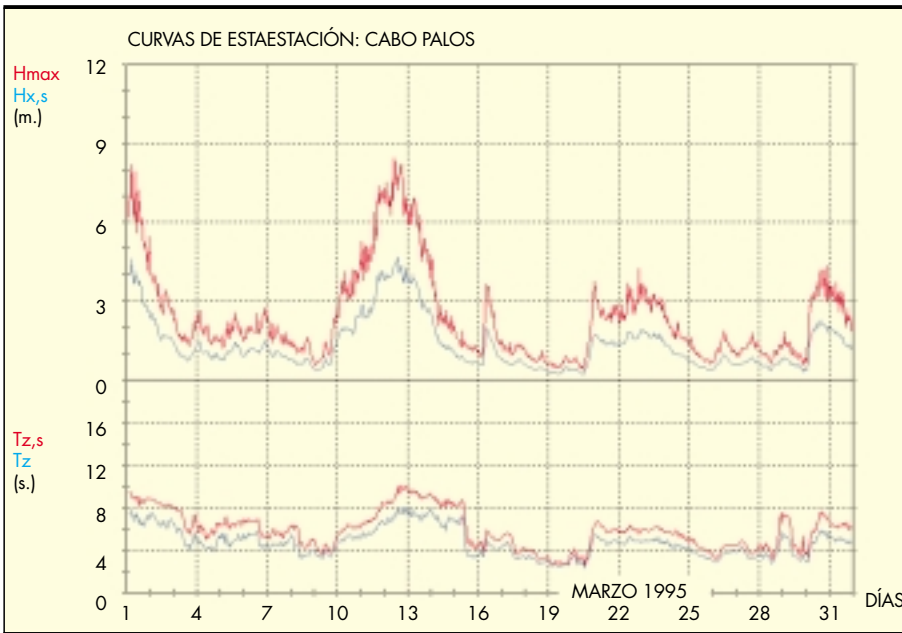


FIGURA 5.

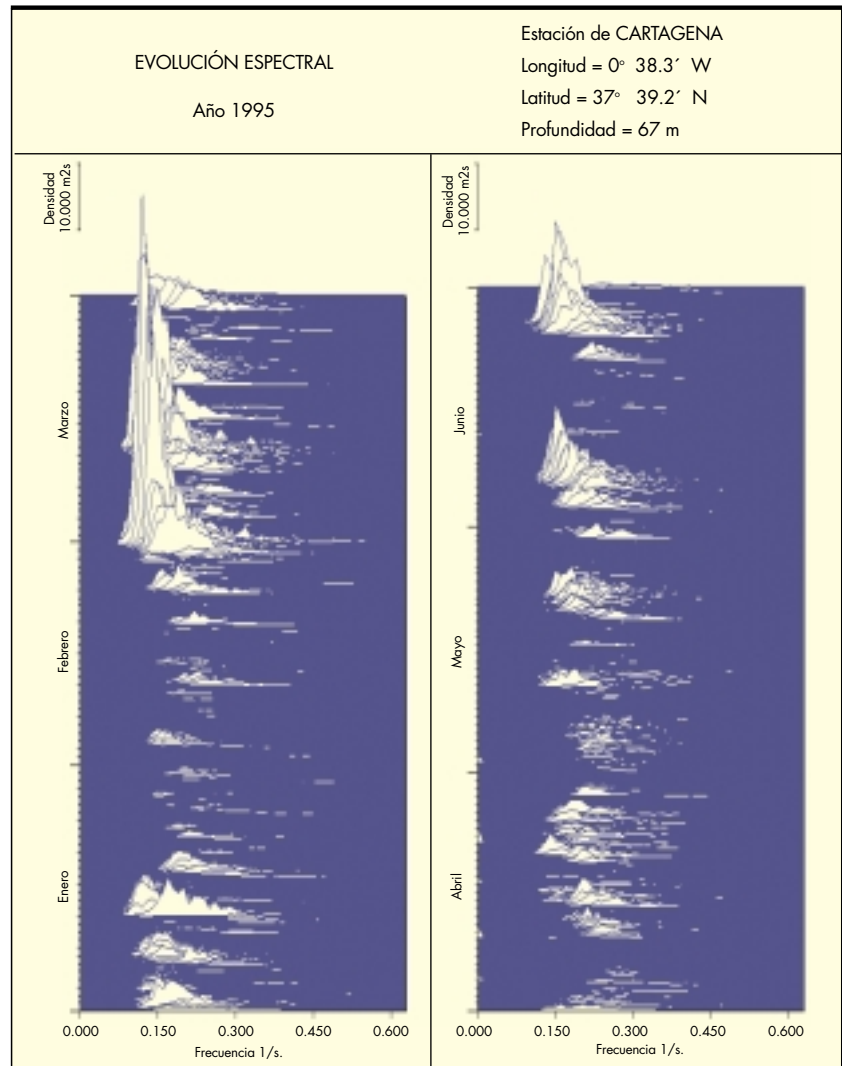


FIGURA 6.



FIGURA 7.

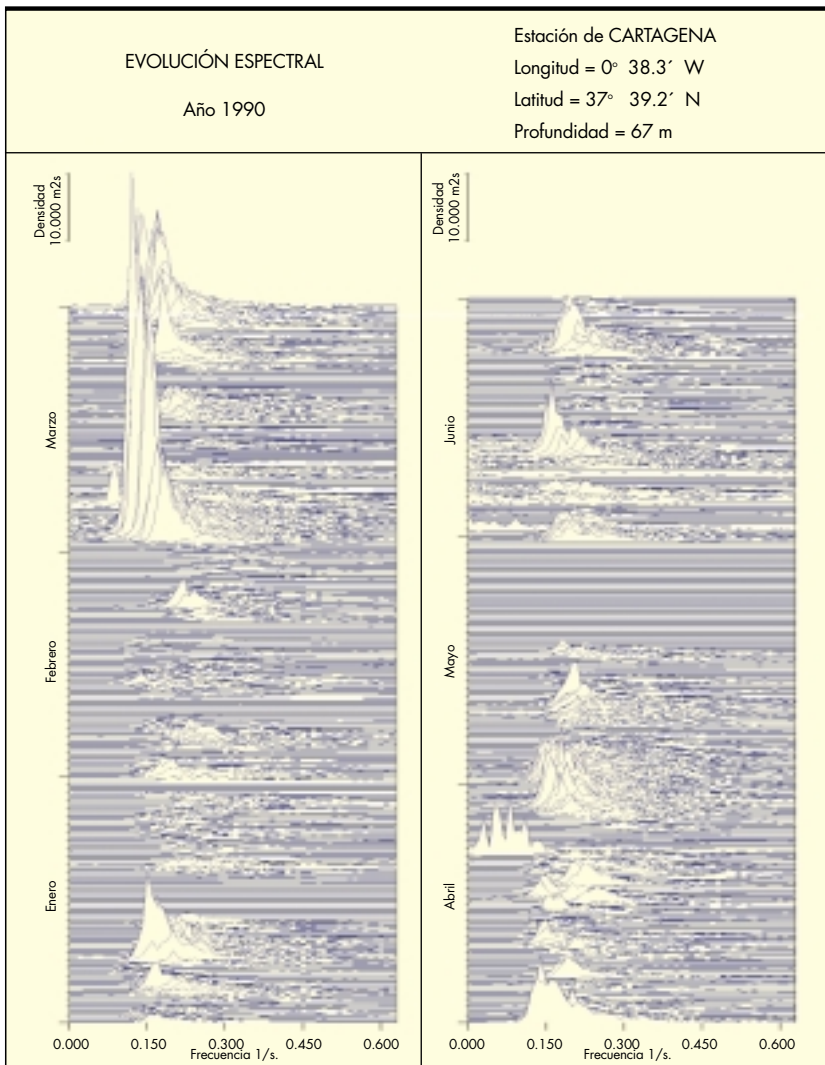


FIGURA 8.



FIGURA 9.

La evolución espectral del temporal lo muestra la fig. 10. Se observa en la sucesión de espectros como la frecuencia del pico se va desplazando a la izquierda.

El **cuarto temporal** tuvo el pico el día 18 de Marzo de 1989 a las 18 horas y también supero los 5 m. $H_s = 5,12$ metros. En la figura 11 vemos la curva de estados del mar correspondiente al mes de Marzo de 1989. La altura máxima sobrepasa los 10 metros. La duración del temporal es de 3 días. El temporal tiene dos picos y forma asimétrica, tiene más pendiente las subida.

En la figura 12 se representa la evolución espectral se observa como va aumentando la energía del oleaje y el desplazamiento de la frecuencia de pico hacia la izquierda.

El **quinto temporal** tuvo su pico el 10 de Noviembre de 2001 a las 9 horas. En la figura 13 hemos representado la curva de Estados del Mar correspondiente al mes de Noviembre. Observamos que es un temporal que sube hacia el pico rápido y tiene un descenso un poco más suave, vemos que la altura máxima alcanza los 9 metros. La duración en menor de 3 días y a continuación sigue el mes con dos temporales de menor altura. En las curvas de periodos vemos el incremento y decremento que experimentan el periodo medio y periodo significativa.

En la figura 14 observamos la evolución espectral durante el segundo semestre de 2001 y observamos en el mes de Noviembre como se va desarrollando el temporal y el desplazamiento hacia la izquierda de la frecuencia del pico.

7. SUMARIO Y CONCLUSIONES

Hemos estudiado los temporales registrados en la estación de Cabo Palos durante 20 años consecutivos. En primer lugar hemos destacado el temporal máximo de cada año en la tabla 1. Los años con temporales de mayor altura son: 1995, 1990, 1994 y 1989. Los años de temporales máximos anuales de menor altura son: 1999, 1988, 1998 y 2005. En 4 de los años la altura significativa fue superior a 5 m. y sólo un año fue menor de 3 metros de altura significativa.

El régimen extremal, es la función de distribución de los valores extremos de un determinado parámetro, aquí lo en particular la altura significativa H_s y lo hemos analizado por el método de Picos Relativos sobre Umbral (POT). Lo hemos ajustado a las distribuciones de WEIBULL de parámetros 0.75, 1.0, 1.4 y 2.0 y se ha seleccionado la distribución WEIBULL 1.4. Para un periodo de retorno de 20 años la altura significativa con un nivel de confianza del 90% es 6,10 m. y para 50 años es 6,60 metros.

De la ROM 0.3-91-Oleaje tenemos para Cabo Palos que las direcciones de los temporales son NE, ENE, E, ESE, ESE, SE, SSE, S y SSW. El coeficiente $K_a = 1$ para las direcciones NE y ENE.

A continuación hemos hecho una lista de los diez temporales máximos registrados en los 20 años, para esto en la serie de temporales hemos escogido los que su pico tiene una altura significativa $H_s > 4,50$ m. Observamos que los años que tiene más temporales en la lista son 1995, durante este año se registraron el primero y octavo; en 1989 el cuarto y el noveno y en 2003 el séptimo y decimo. El segundo fue en 1990, el tercero en 1994. Esta lista nos permitirá comparar cualquier temporal que suceda y clasificarlo según su altura significativa.

En el siguiente párrafo hemos estudiado con más detalle los temporales máximos con curvas de Estados del Mar, gráficos de la Evolución Espectral y espectros de los picos del temporal.

El registro del oleaje durante años nos permite conocer mejor el comportamiento del oleaje a largo tiempo y definir con mayor precisión la función de distribución extremal. Conviene seguir midiendo el oleaje para poder calcular con más precisión el régimen extremal y los periodos de retorno.

8. AGRADECIMIENTOS

A Mercedes Martínez Coordinadora del Programa REMRO y a Luís Arribas Auxiliar Técnico del Programa REMRO.

Al Área de Ingeniería de Sistemas y Redes de Medida por el apoyo informático y los autores de las aplicaciones informáticas utilizadas: Tomás Echegoyen, Cristina Benito, Gines Ibáñez, Julio González.

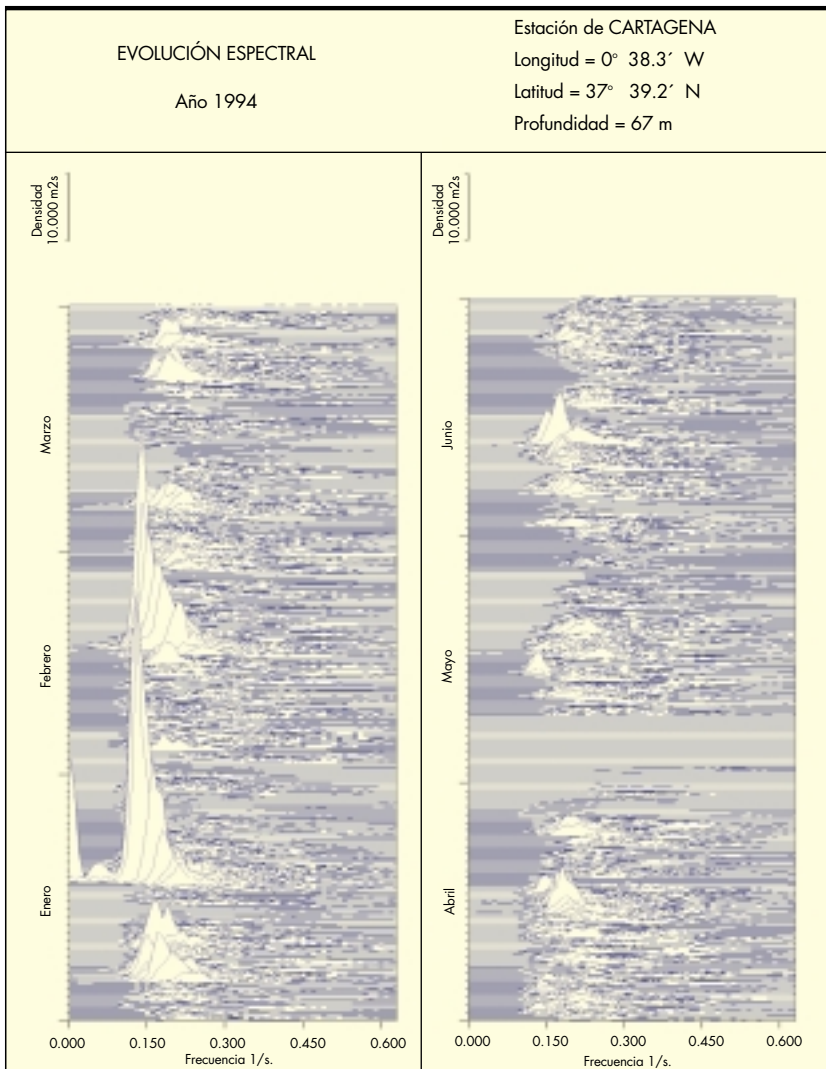


FIGURA 10.



FIGURA 11.

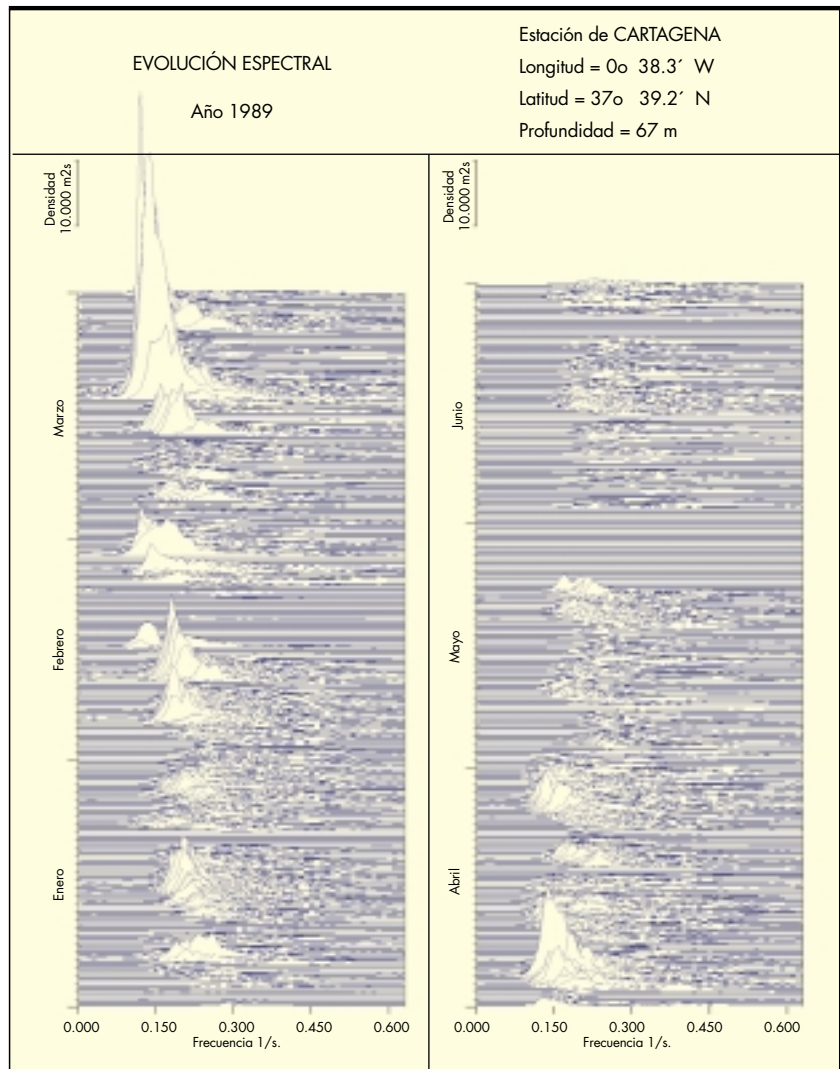


FIGURA 12.

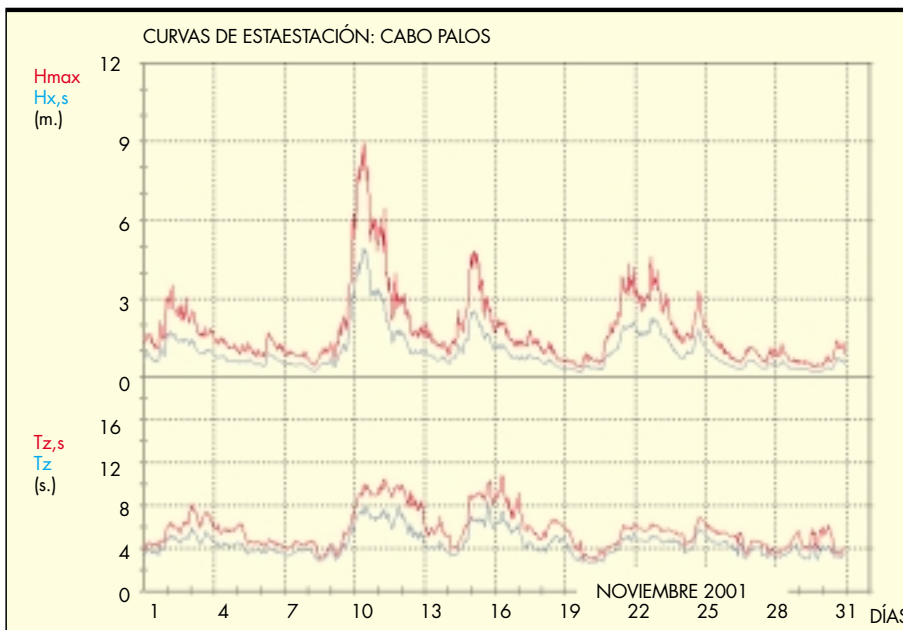


FIGURA 13.

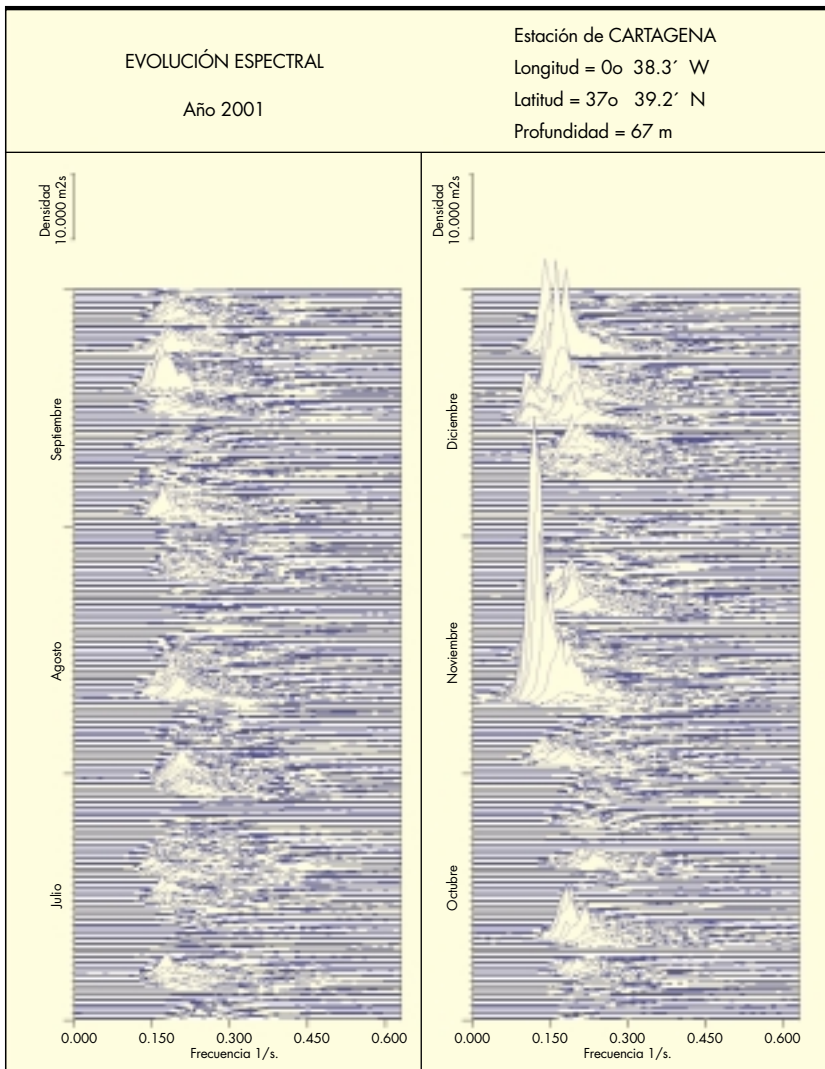


FIGURA 14.

9. BIBLIOGRAFÍA

FERNÁNDEZ A. y MARTÍNEZ M.(1986) <Modelo de cálculo y proceso de parámetros oceanográficos>I. Oleaje. Cuaderno de Investigación M9. CEDEX.

GODA <On the Methodology of selecting Design Wave Height> 21 CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE COSTAS. Málaga 1988.

GODA Y. and KOBUNE K. Distribution Function Fitting for Storm Wave Data. Coastal Engineering-1990.

MARTÍN M.J.<Puesta a punto de los programas de análisis medio y extremal de oleaje> Centro de Estudios de Puertos y Costas.CEDEX. Madrid 1987.

MARTÍN M.J. y MARTÍNEZ J. <Análisis medio y extremal de oleaje> Cuaderno de Investigación C22.CEDEX.1990.

MARTÍNEZ M. , SANTÁS J.C. y SANZ L. <Red Española de Medida y Registro de Oleaje> 21 CONFERENCIA INTERNACIONAL DE INGENIERÍA DE COSTAS. Málaga 1988.

MARTÍNEZ M., BUCETA J.L. y SOTILLO M.,Informes técnicos < REMRO Datos de Oleaje > relativo a los años registrados1986-1992 Centro de Estudios de Puertos y Costas. Cedex para Puertos del Estado. Madrid 1987-1993.

MARTÍNEZ M., SOTILLO M. y ARRIBAS L. <REMRO Datos de Oleaje> relativo a los años registrados 1993-2005

Centro de Estudios de Puertos y Costas. Cedex para Puertos del Estado. Madrid 1994-2006.

MARTÍNEZ M., SOTILLO M. y ARRIBAS L. <REMRO Datos de Oleaje 2005> Centro de Estudios de Puertos y Costas. Cedex. Madrid 2006.

OCHI.<Stochastic Analysis and Probabilistic Prediction of Random Seas. Advances in Hydroscience> V-13. 1982.

ROM 0.3-91 Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español. MOPT1992.

SOTILLO MEMBIBRE M. <Correlación de estaciones de medida de oleaje. I+D. Centro de Estudios de Puertos y Costas. Cedex. Madrid 1993

SOTILLO MEMBIBRE M. <Temporales en el litoral español: Relación entre altura de ola máxima y altura significativa>. Ingeniería Civil nº 88 /1993.

SOTILLO MEMBIBRE M. <Correlación de series de datos de oleaje>. Ingeniería Civil nº 99/1995.

SOTILLO MEMBIBRE M. <Temporales en la costa cantábrica: correlación de alturas y periodos de olas> Waves 2005. Ingeniería Civil nº 140/2005.

SOTILLO MEMBIBRE M. <Temporales en la costa de Málaga 1982-2005. Ingeniería Civil nº 143/2006.