

# Temporales en La Coruña 1983-2008

MANUEL SOTILLO MEMBIBRE (\*)

**RESUMEN** La estación de medida y registro de oleaje de La Coruña 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 LA CORUÑA 1983-2008

**ABSTRACT** *The station for measurement and registry of sea waves located at La Coruña is one of the first measurement points of the REMRO (Spanish Network of Measurement and Registry of Sea waves). IT has been working from its opening AT 1983 and the information provided give us a large and extended data set that data set that allows us precise statistical studies of extreme values as well as descriptive studies of main storms and their 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

El estudio del oleaje es importante tanto a nivel teórico como práctico. Es de interés en la Oceanografía Física y en la Hidrodinámica. En la práctica las Ingenierías de Puertos, Costas y Naval demandan su conocimiento, también en los últimos años se han desarrollado sistemas para transformar la energía de las olas en energía eléctrica.

En la Ingeniería de Puertos para el proyecto de Obras de Abrigo y otras obras marítimas es importante conocer los regímenes extremos y medios de la zona. En la Ingeniería de Costas el oleaje es uno de los agentes principales en la erosión del litoral directamente y por las corrientes generadas por el oleaje.

La medida del oleaje, mediante instrumentos, de forma continua y la transmisión de datos en tiempo real también es útil para ayudar a la navegación y disponer de datos al instante de temporales para tomar decisiones de salida de embarcaciones.

En este artículo vamos a estudiar los temporales registrados por la boya de oleaje escalar, fondeada en La Coruña, de la Red de Medida y Registro de Oleaje (REMRO) desde 1983 y 31 Marzo de 2008.

Veremos los temporales mayores registrados en los 25 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 La Coruña está fondeada en las coordenadas 43° 24,7' N de latitud y 8° 55,23,0' W de longitud. Profundidad 50 m.

La estación receptora se encuentra en el Puerto de La Coruña.



FIGURA 1. Plano de Situación.

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

AÑO	H <sub>s</sub> (metros)	FECHA
1983	7,09	22 de Marzo
1984	8,46	4 de Octubre
1985	7,57	25 de Diciembre
1986	8,65	2 de Enero
1987	5,48	8 de Octubre
1988	6,98	3 de Enero
1989	9,36	26 de Febrero
1990	7,57	30 de Enero
1991	8,35	1 de Febrero
1992	6,30	7 de Diciembre
1993	6,80	2 de Octubre
1994	6,84	31 de Marzo
1995	6,55	10 de Febrero
1996	7,06	19 de Noviembre
1997	6,02	19 de Febrero
1998	7,00	1 de Enero
1999	6,50	17 de Enero
2000	7,06	9 de Enero
2001	10,24	28 de Enero
2002	6,38	21 de Noviembre
2003	6,97	21 de Enero
2004	6,46	25 de Diciembre
2005	8,07	18 de Enero
2006	8,32	8 de Diciembre
2007	7,74	9 de Diciembre
2008	10,32	10 de Marzo

TABLA 1.

### 3. TEMPORALES MÁXIMOS ANUALES

En la Tabla 1 muestra los temporales máximos anuales. El año del máximo temporal registrado fue 2008 con 10,30 metros de altura de ola significativa. El menor de los temporales máximos anuales corresponde al año 1997 con 5,48 metros.

Observamos que el número de temporales máximos anuales distribuidos en meses de ocurrencia es: Enero (9), Febrero (4), Marzo(3) Octubre (3), Noviembre (2),y Diciembre (5).

### 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 ( $\lambda$ ), siendo  $\lambda = N_T / T_{efe.}$

Una vez determinado  $\lambda$  (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 La Coruña hemos tomado una separación entre picos de 96 horas, la altura  $H_T = 3,0$  m. ,la altura  $H_1 = 4,0$  m.

Podemos observar como cambian los periodos de retorno al añadir los tres primero meses del 2008 por el temporal del 11 de Marzo.

### 5. LOS 10 TEMPORALES MAYORES

En la tabla 2 vemos los temporales de mayor altura significativa, con la fecha de ocurrencia.

Como podemos ver en la tabla el temporal máximo registrado en La Coruña desde que se registran datos es el del 10 de Marzo de 2007. En las figuras 4, 5, 6 y 7 podemos ver el oleaje y algunas consecuencias del temporal.

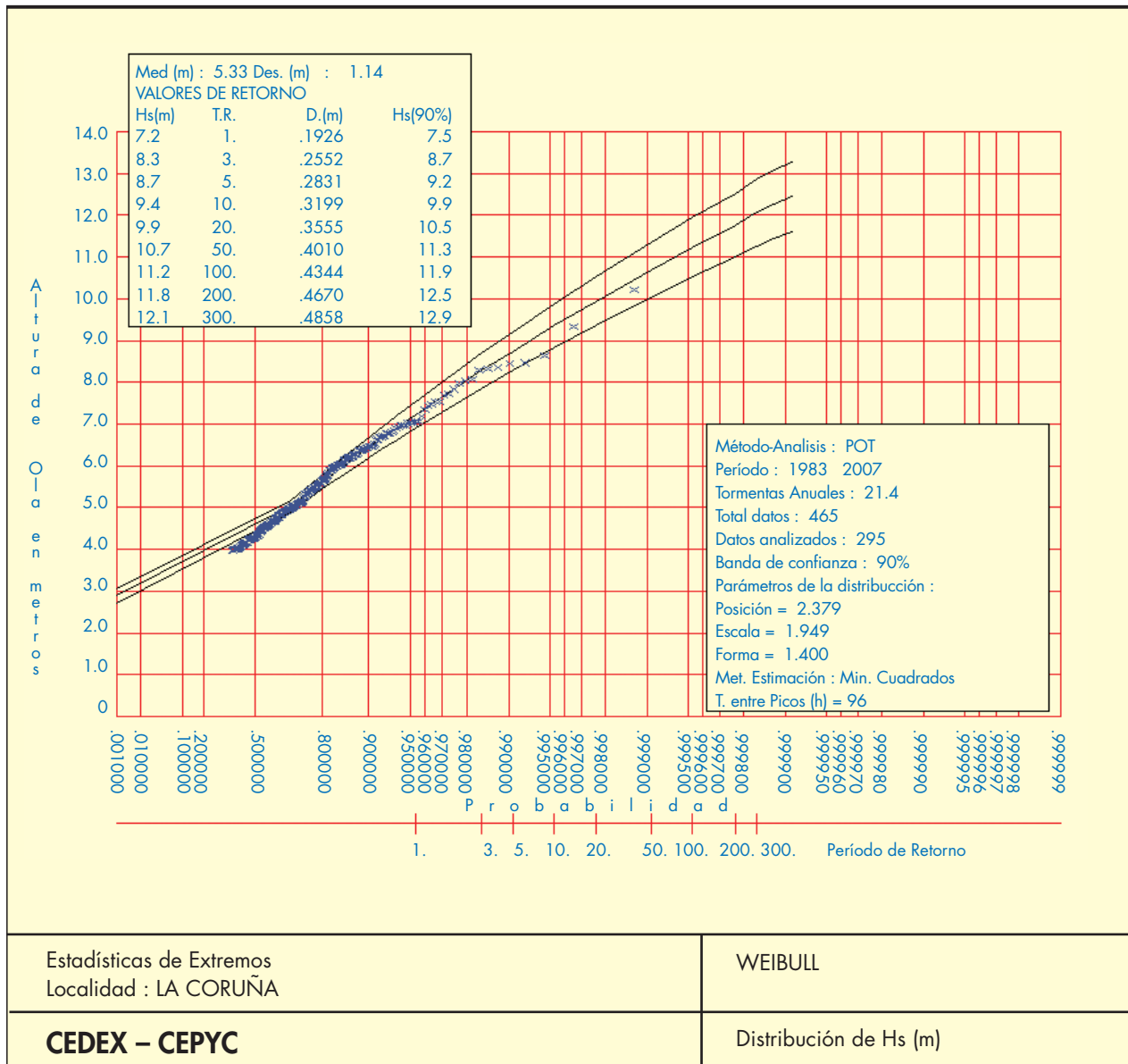
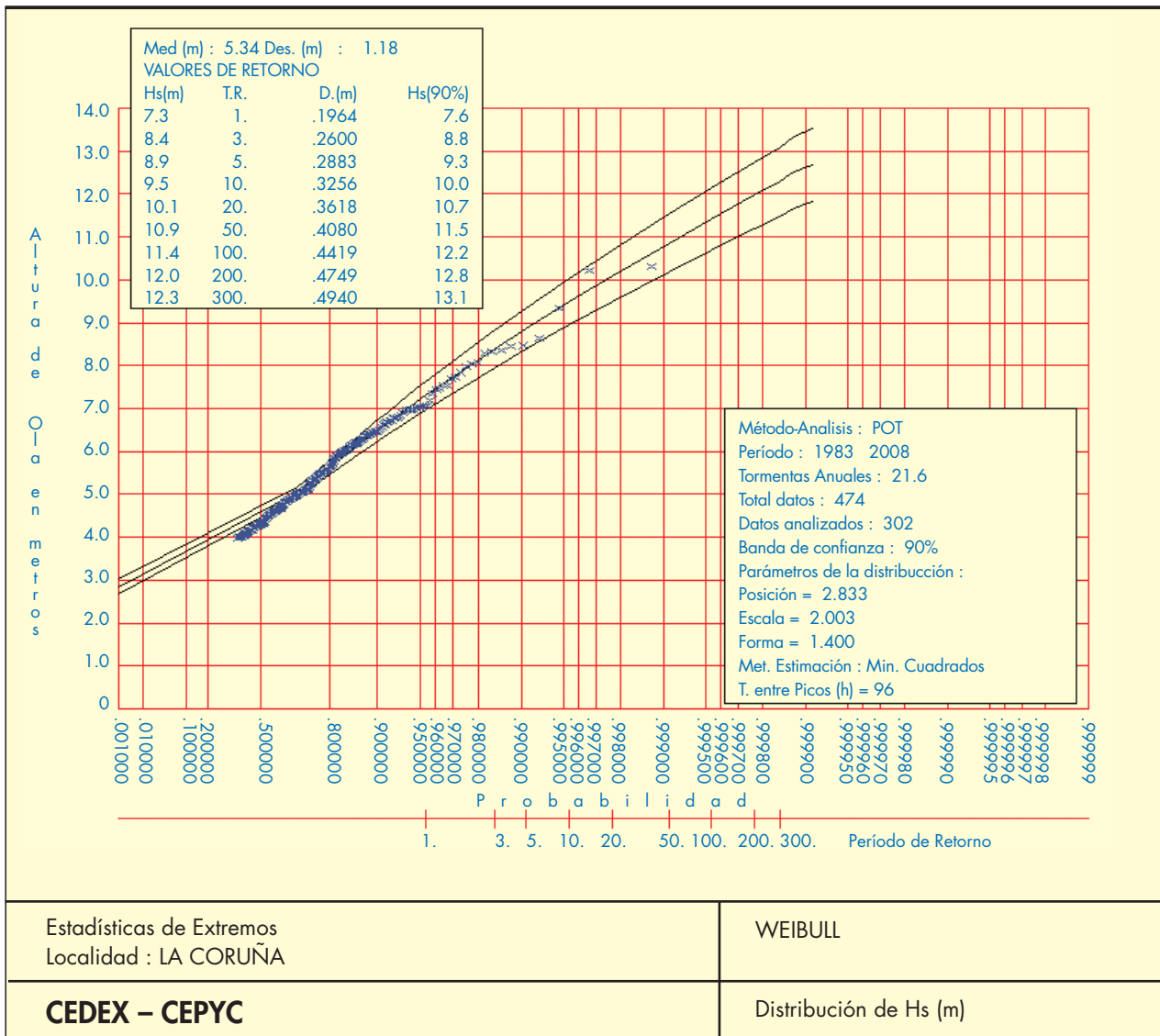


FIGURA 2. Régimen extremal 31 Diciembre de 2007.



Estadísticas de Extremos  
Localidad : LA CORUÑA

WEIBULL

**CEDEX – CEPYC**

Distribución de Hs (m)

FIGURA 3. Régimen extremal 31 de Marzo de 2007.

Año	Mes	Día	Hs	Nº
2008	3	10	10,32	1
2001	28	1	10,24	2
1989	2	26	9,36	3
1986	1	2	8,65	4
1986	11	23	8,49	5
1984	10	4	8,46	6
1984	12	26	8,38	7
2006	12	8	8,32	8
2005	1	18	8,07	9
2007	12	9	7,74	10

TABLA 2.



FIGURA 4. La Coruña las olas rebasan la balaustrada (B.Iglesias-internet).



FIGURA 5. La Coruña temporal 11 de Marzo 2008.



FIGURA 6. Después del temporal Riazor.



FIGURA 7. Playa de San Amaro 11 Marzo 2008.

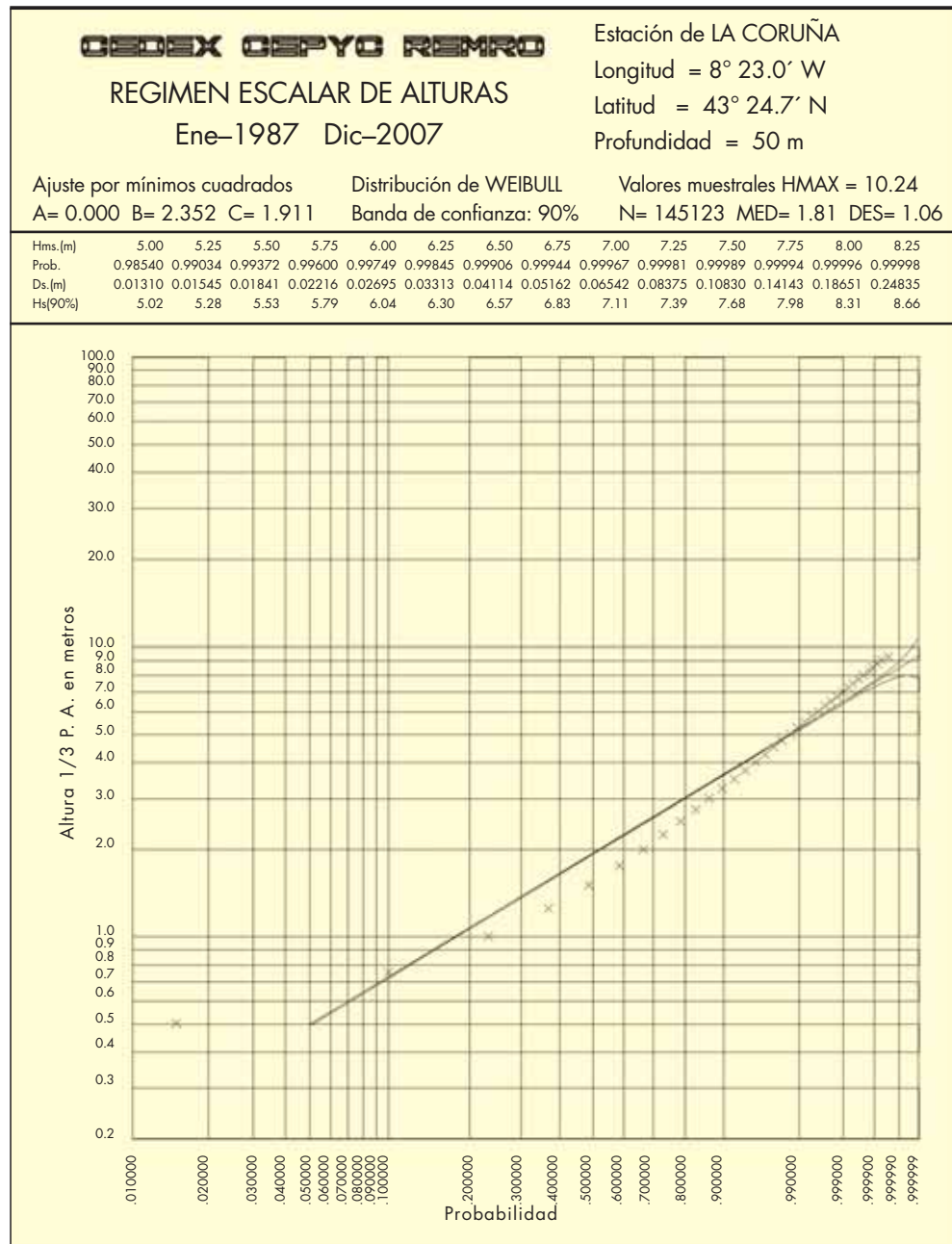


FIGURA 8.

### 6. RÉGIMEN MEDIO DEL OLAJE

El Régimen Medio representa la probabilidad de que los parámetros de oleaje elegidos ( $H_{z,s}$ ) no sobrepasen un determinado valor. Se ha ajustado la distribución de oleaje a largo término a la función de Weibull de dos parámetros.

El régimen medio se hace para años completos, no incluye los tres meses del 2008.

### 7. MATRIZ ALTURA-PERÍODO

Es una tabla de encuentros de altura y período; en cada casilla se escribe el tanto por ciento de ocurrencias sobre el total de observaciones. La escala horizontal representa intervalos en segundos y la vertical intervalos de altura en metros.

En la figura 9 vemos la tabla de encuentros altura período en cada casilla tenemos el porcentaje de ocurrencias dentro del intervalo. La distribución abarca períodos entre 3 y 19 segundos y alturas 8 m. (los porcentajes menores 0,1 no se representan) el porcentaje mayor 6,06 corresponde a olas entre 1,0 y 1,5 m. de altura y entre 7 y 8 s de período.

### 8. EVOLUCIÓN ESPECTRAL

La representación espectral del oleaje da una interesante información del mismo en el dominio de la frecuencia. Al aplicar el análisis de Fourier de ondas compuestas a una serie temporal registrada se obtiene una representación de la energía en función de la frecuencia.

MATRIZ DE DOBLE ENTRADA : ALTURA - PERIODO ZONA : LA CORUÑA

Fecha Inicio = 1986-1 fecha Final =2007-12 N. de meses = 264 Variables : Hzs (m) - Tzs[s]

alturas	periodos																							Total
	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23			
0- .5		.01	.10	.42	.52	.29	.15	.05	.01														1.56	
.5- 1.0		.06	.90	2.94	5.37	5.31	3.85	2.20	1.01	.34	.09	.03	.01	.01									22.13	
1.0- 1.5			.12	.91	3.50	6.06	5.53	4.32	2.79	1.49	.56	.18	.08	.03	.01	.01							25.60	
1.5- 2.0				.07	.64	2.58	4.07	4.14	3.23	1.90	.91	.32	.15	.07	.02	.01							18.12	
2.0- 2.5					.09	.69	1.98	2.64	2.94	1.87	.98	.44	.15	.07	.04	.01							11.93	
2.5- 3.0					.02	.17	.79	1.45	1.87	1.68	1.02	.47	.21	.06	.03	.01							7.80	
3.0- 3.5						.04	.19	.70	1.14	1.26	.97	.54	.23	.08	.04	.01							5.22	
3.5- 4.0							.06	.31	.58	.73	.74	.51	.21	.06	.03	.01							3.25	
4.0- 4.5							.02	.11	.23	.35	.44	.39	.20	.09	.03	.01							1.86	
4.5- 5.0								.03	.10	.18	.29	.25	.17	.08	.04	.01							1.15	
5.0- 5.5								.01	.04	.09	.12	.13	.12	.07	.03	.01							.62	
5.5- 6.0									.01	.04	.07	.07	.08	.06	.01	.01							.36	
6.0- 6.5										.02	.03	.03	.02	.05	.02	.01							.20	
6.5- 7.0										.01	.02	.01	.02	.02	.01	.01	.01			.01			.10	
7.0- 7.5											.01	.01	.01	.01	.01	.01							.05	
7.5- 8.0												.01		.01	.01								.03	
8.0- 8.5																							.01	
8.5- 9.0																							.01	
9.0- 9.5																								
9.5- 10.0																								
10.0- 10.5																								
10.5- 11.0																								
11.0- 11.5																								
11.5- 12.00																								
Total		.07	1.13	4.34	10.15	15.14	16.65	15.96	13.96	9.98	6.26	3.41	1.66	.77	.33	.12	.05	.02					100.-	

FIGURA 9.

A continuación, en las figuras 10, 11 y 12, mostraremos las gráficas de evolución espectral para los tres mayores temporales:

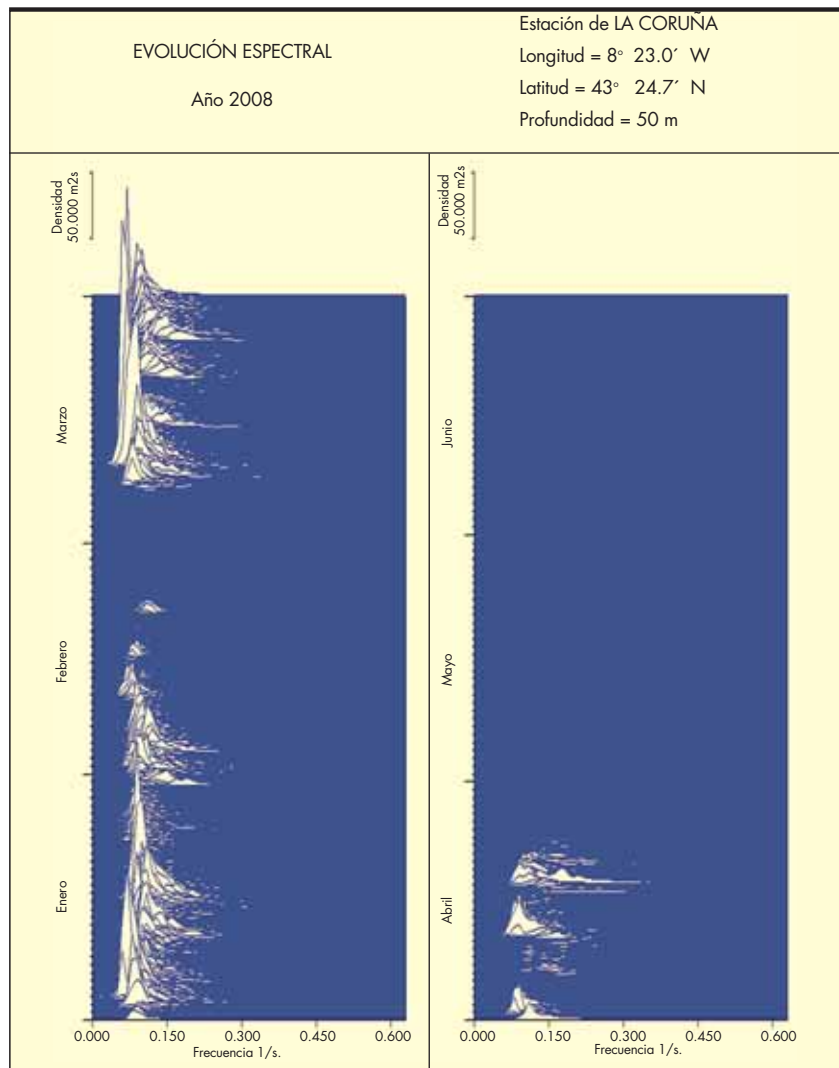


FIGURA 10.

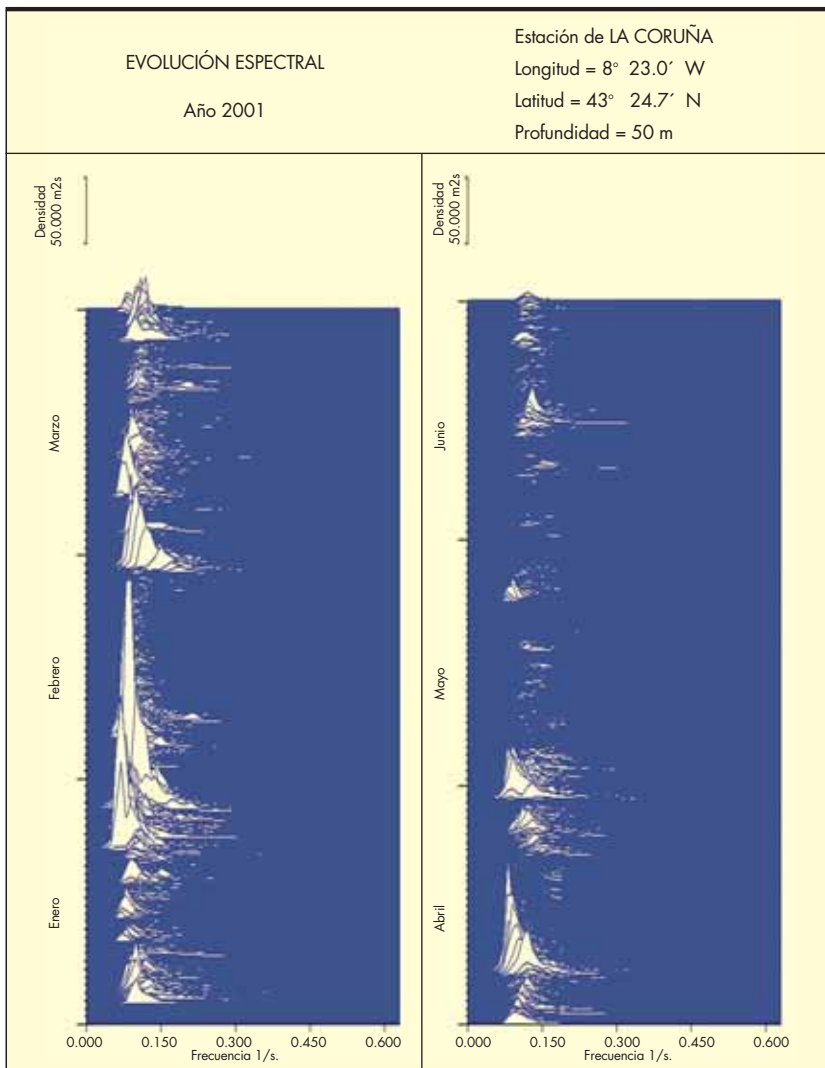


FIGURA 11.

### 9. CURVAS DE ESTADO DEL MAR

Representan la evolución de una determinada magnitud a lo largo del periodo de medición.

El sistema de referencia tiene en ordenadas la magnitud representada, y en abscisas el tiempo de medición.

En el presente informe se han realizado dos gráficas: una de alturas  $H_{z,m}$ , y  $H_{z,s}$  y otra de periodos  $T_{z,s}$ ,  $T_z$ , agrupadas de esta forma para mayor facilidad de interpretación.

El periodo representado es la totalidad del año 2006, ordenado por meses. El número de medidas representado es de veinticuatro por día.

En la curva de alturas, el eje de abscisas representa un mes y las unidades días. El de ordenadas tiene unidades metros y mantiene la misma escala durante el año, para facilitar comparaciones.

En la curva de periodos, el eje de abscisas también tiene como unidad el día. En el de ordenadas la unidad es el segundo; la escala se mantiene a lo largo del año.

Los tramos en los que no aparecen dibujadas las curvas indican que o bien no fueron tomados los datos por avería u otra circunstancia o bien que, una vez tomados y procesados, se comprobó que no eran válidos.

Representamos en las figuras, 13, 14 y 15 la de los tres mayores temporales:

### 10. CAMPO DE PRESIONES PARA LA SITUACIÓN DE TEMPORAL MÁXIMO

La posición de la borrasca y el anticiclón provocan fuertes vientos que generan grandes olas sobre la costa de Galicia y la cornisa cantábrica. Recordemos que en el Hemisferio Norte la borrascas giran en sentido contrario a la agujas del reloj y los anticiclones en el sentido de la agujas del reloj. Ver figura 16.

### 11. SUMARIO Y CONCLUSIONES

En este artículo se analizan series de datos de oleaje tomados durante 20 años, 24 horas/día con una duración de 42,667 minutos que al digitalizarlas 2 puntos por segundo nos quedan series de 5120 puntos. Estas series han pasado un control de calidad y se han analizado estadística y espectralmente; dándonos los parámetros de oleaje más usados. (175.200 series aproximadamente analizadas).



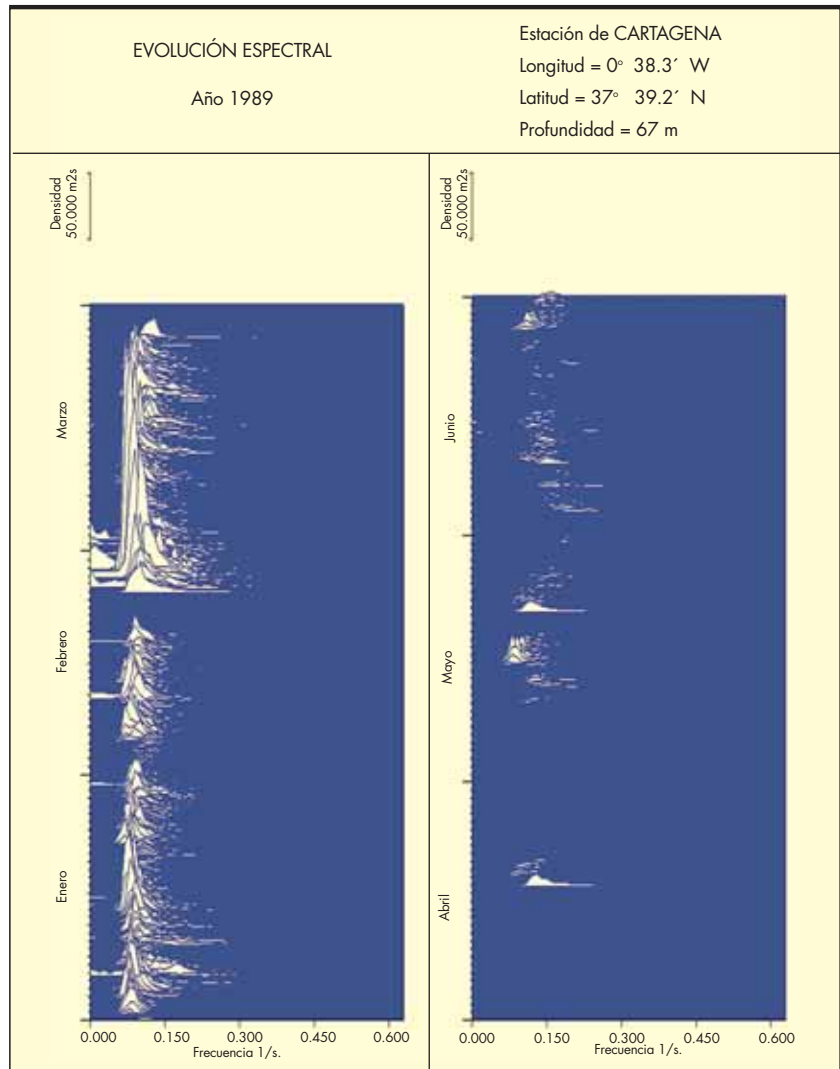


FIGURA 12.

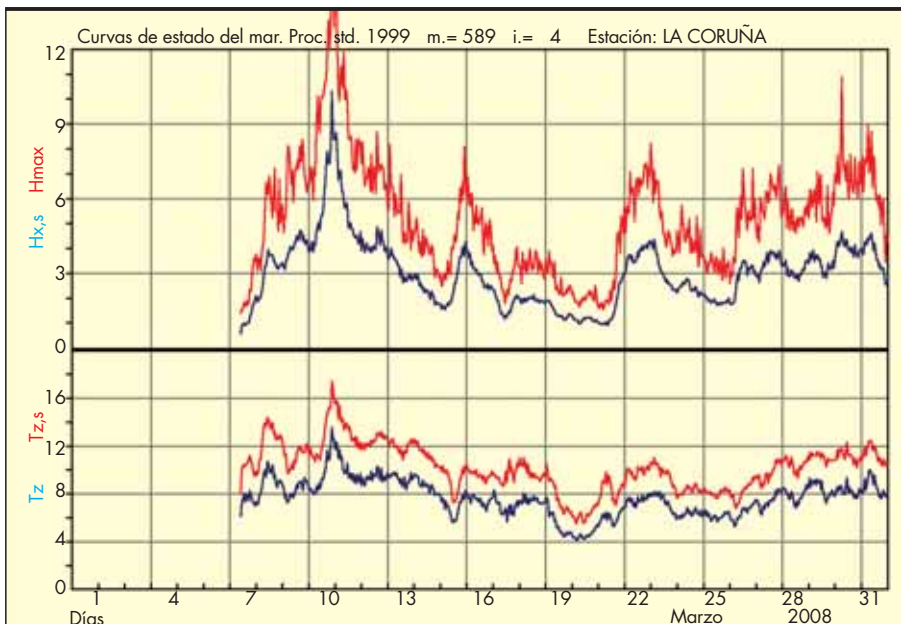


FIGURA 13. Temporal de 11 de Marzo de 2008.

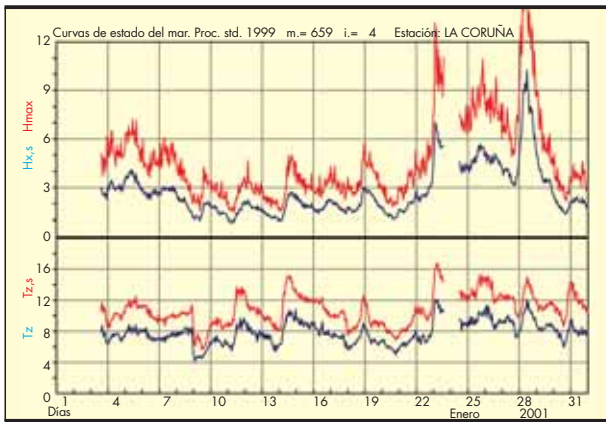


FIGURA 14. Temporal de 28 de Enero de 2001.

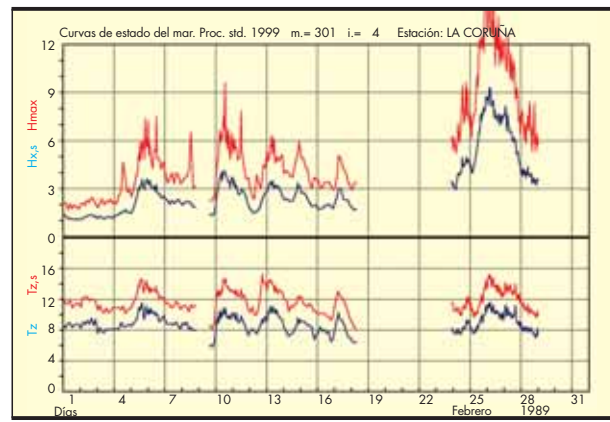


FIGURA 15. Temporal de 26 de Febrero de 1989.

En la tabla 1 se muestran los temporales máximos anuales. El año del máximo temporal registrado fue 2008 con 10,30 metros de altura de ola significativa, que coincidiendo con la pleamar ha producido daños materiales en paseos marítimos y otras obras. El menor de los temporales máximos anuales corresponde al año 1987 con 5,48 metros.

En la figura 2 y 3 de estadística de extremos vemos como cambian las alturas del periodo de retorno al incluir los temporales del 2008.

En la lista de los 10 temporales mayores observamos que entre los diez temporales máximos 5 son desde 2001 a 2008. También los dos mayores de 10 m. están dentro de esos años. La década de los 80 tiene los 5 restantes y ocupan los

lugares del 3º al 7º; los años. Los años 1984 y 1986 tuvieron 2 temporales que rebasaron los 8 metros.

En la figura 8 vemos la gráfica del régimen medio acumulado desde 1987 a 2006 observamos que la probabilidad que no se supere que no se supere 1 m. de altura de ola  $H_z$  es menor 0,200 (muy pequeña) sin embargo la probabilidad que no se sobrepase la altura de ola  $H_z$  10 m. es 0,99999 la probabilidad que no se supere esa altura es muy alta).

En la figura 9 vemos la tabla de encuentros altura período en cada casilla tenemos el porcentaje de ocurrencias dentro del intervalo. La distribución abarca periodos entre 3 y 19 segundos y alturas 8 m. (los porcentajes menores 0,1 no se representan) el porcentaje mayor 6,06 corresponde a olas entre 1,0 y 1,5 m. de altura y entre 7 y 8 s de período.

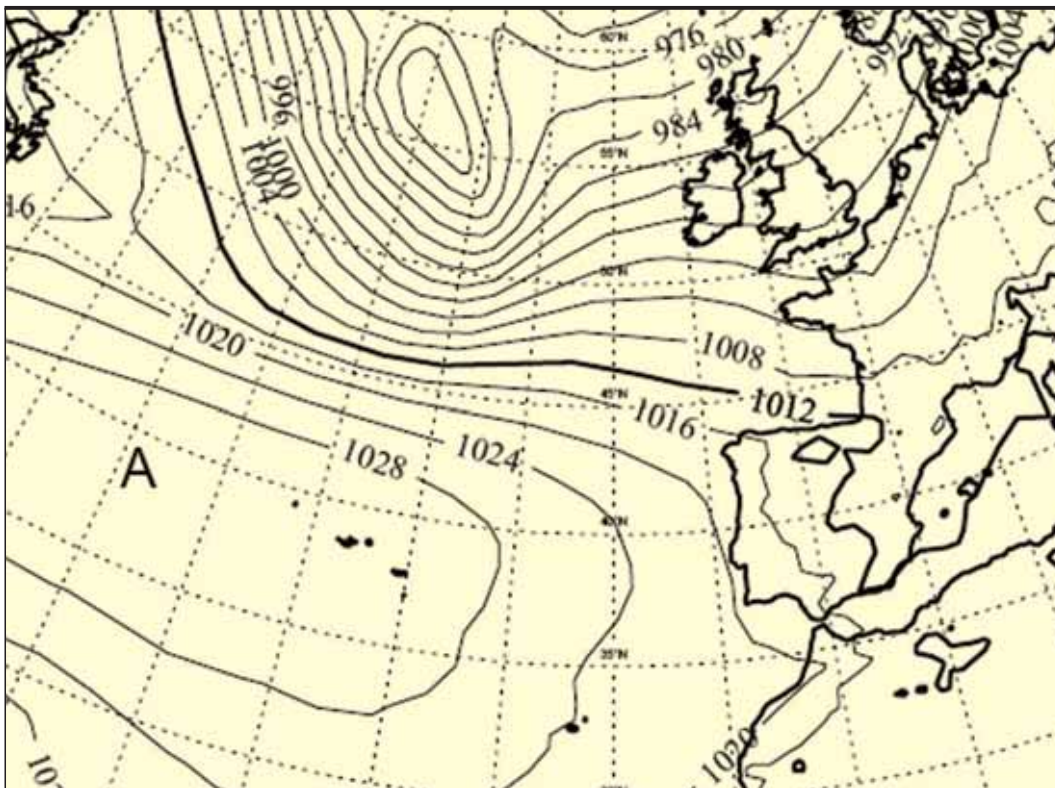


FIGURA 16.

## 12. AGRADECIMIENTOS

Al Área de Medidas en la Naturaleza a José Carlos Santás, Mercedes Martínez y Luís Arribas.

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

Al los que han puesto fotografías de temporales en Internet que nos permiten tener una imagen a los que trabajamos con las series temporales.

## 13. 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 IN-

TERNACIONAL DE INGENIERÍA DE COSTAS. Málaga 1988.

MARTÍNEZ M., BUCETA J.L. y SOTILLO M. < REMRO Datos de Oleaje > Centro de Estudios de Puertos y Costas. Cedex. Madrid .1986-1992

MARTÍNEZ M., SOTILLO M. y ARRIBAS L. < REMRO Datos de Oleaje > Centro de Estudios de Puertos y Costas. Cedex. Madrid 1993-2007.

OCHI.<Stochastic Analysis and Probabilistic Prediction of Random Seas. Advances in Hydrosceince> 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 cántabra: 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 143/2006.

SOTILLO MEMBIBRE M.<Temporales en Cabo Silleiro: de 1986 a 2006> Cimbra 376/200.

**GH**  
GRUAS

INDUSTRIAS ELECTROMECAÑICAS GH, S.A.



APDO. 27, B° SALBATORE  
20.200 BEASAIN (GUIPUZCOA)

WWW.GHSA.COM

TELF: +34 943 805 660  
EMAIL: GHSA@GHSA.COM