

Temporales en la costa cantábrica: correlación de alturas y periodos de olas

MANUEL SOTILLO (*)

RESUMEN Este artículo estudia la correlación de datos de oleaje de dos boyas en el Cantábrico. En primer lugar repasamos las herramientas matemáticas, calculamos el espectro cruzado, después ajustamos a una recta de regresión. Hemos comparado los temporales registrados por las dos boyas en el intervalo común 1994 y 2002. Concluimos que la correlación entre alturas y periodos es buena. Las alturas de la boya de Gijón II son mayores, pero los periodos son menores. La comparación de valores de alturas para periodos de retorno dados son siempre más altas en Gijón II.

STORMS ON THE CANTABRIAN COAST: CORRELATION BETWEEN WAVE HEIGHTS AND RELATIONSHIP BETWEEN WAVE PERIODS

ABSTRACT This paper the correlation of the wave data of two buoys in the cantabrico sea. In the first place are reviewed the mathematics tools, the cross spectrum has been calculated, after we can fit a regression line. We have compared of the highest storms registered by both buoys in the interval of years 1994 to 2002. We conclude the linear correlation of wave heights and wave periods is good. The wave heights of Gijón II are higher than Gijón I. The wave periods Gijón II are lower than Gijón I. The comparison of return values the wave heights of Gijón II are higher than Gijón I.

Palabras clave: Temporales; Correlación.

INTRODUCCIÓN

La costa española tiene varios climas marítimos con sus características particulares. Uno es la Costa Cantábrica. Hemos trabajado con datos de oleaje de dos boyas: Gijón I y Gijón II. Vamos a hacer un estudio comparativo de los datos registrados por las dos estaciones durante el intervalo común.

La estación denominada Gijón I, comenzó en 1981 y finalizó el 6 de Diciembre de 2002. La estación de Gijón II empezó en 1994 y continua registrando datos. Estudiaremos la relación y correlación de los parámetros de oleaje.

SITUACIÓN

Las boyas de oleajes tienen las siguientes coordenadas:

- Gijón I
- Latitud: 43° 34,0' N
- Longitud: 5° 39,0' W
- Profundidad: 23 m.
- Gijón II
- Latitud: 43° 36,7' N
- Longitud 5° 40,0' W
- Profundidad: 43 m.

ANÁLISIS DE DATOS DE OLAJE

Los datos de oleaje de la estación son series de tiempo de 5.120 puntos con un intervalo de muestreo de 0,5 segundos.

En el análisis estadístico podemos calcular:

$$H_{z1/3}, T_{z1/3}, T_z \text{ y } H_{\max}$$

En el análisis espectral podemos calcular:

$$H_s \text{ y } T_p$$

Asumimos las hipótesis aceptadas normalmente:

- El oleaje se considera un proceso débilmente ergódico Gaussiano de media nula.
- La anchura de banda espectral es estrecha.
- Los picos son estadísticamente independientes.

CORRELACIÓN DE SERIES DE TIEMPO

La función de correlación cruzada de dos conjuntos de datos aleatorios describe la dependencia de los valores de un conjunto y del otro. Consideremos el par de series de tiempo $x(t)$ e $y(t)$. Una estimación para la función de correlación cruzada para los valores de $x(t)$ en el instante t e $y(t)$ en el instante $t+\tau$ puede obtenerse tomando el valor medio del producto de las dos funciones en el periodo de observación T ; el resultado es:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} 1/T \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt \quad (1)$$

Para procesos discretos definimos la función de correlación cruzada:

$$R_{xy}(r) = (1/n-r) \sum_{i=1} x_i y_{i+r} \quad (2)$$

El espectro cruzado de un par de series de tiempo es la transformada de Fourier de la función de correlación cruzada. Puesto que la función de correlación cruzada no es una fun-

(*) Centro de Estudios de Puertos y Costas. CEDEX.

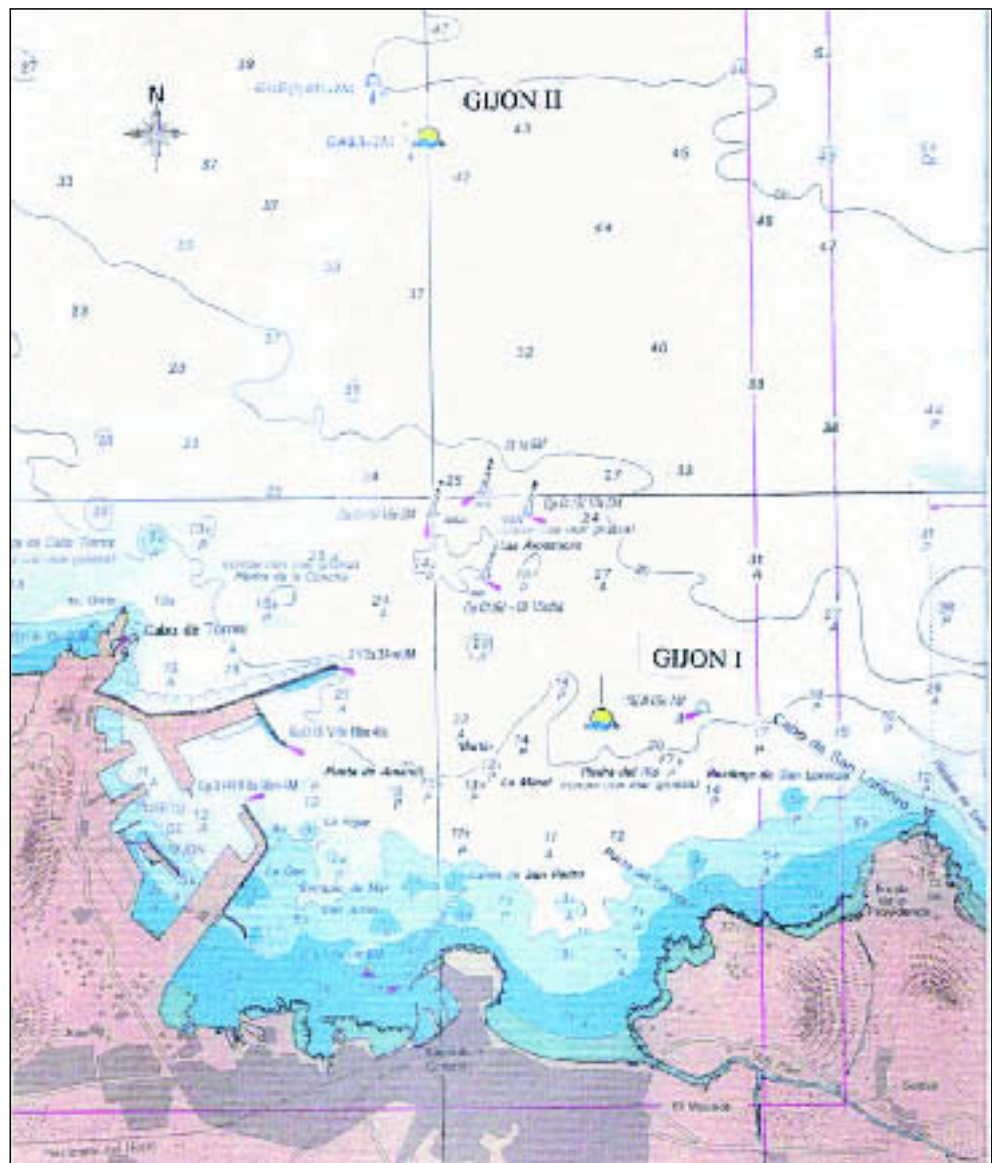


Figura 1. Carta con la situación de las boyas.

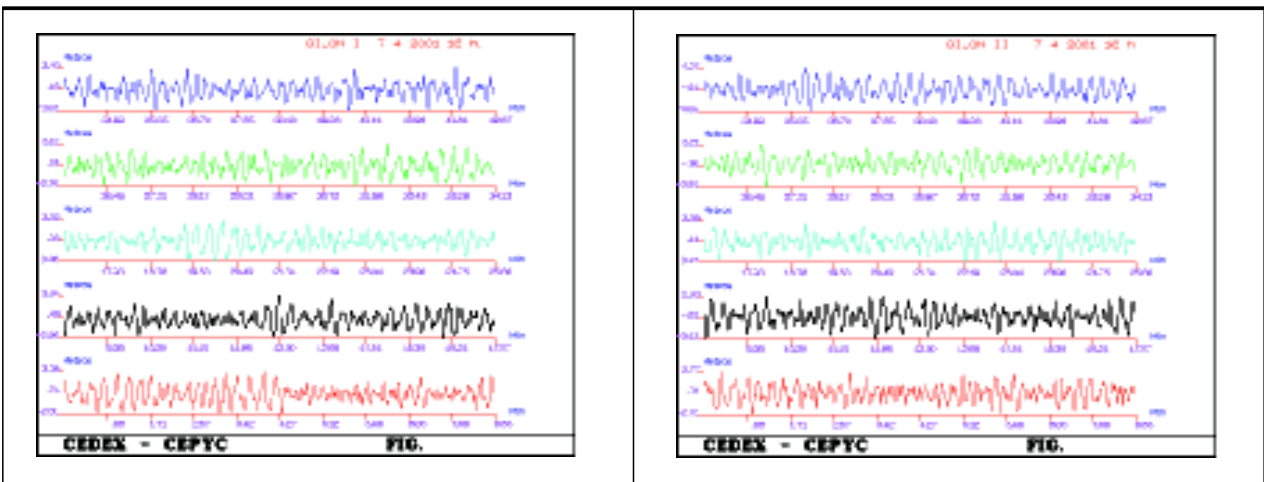


Figura 2 y Figura 3. Series de 5120 puntos, intervalo de muestreo 0,5 seg.

ción par, el espectro cruzado es en general una función compleja,

$$G_{xy} = C_{xy}(f) - jQ_{xy}(f) \tag{3}$$

Se define función de coherencia:

$$\gamma_{xy}^2 = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_x(f)G_y(f)} \leq 1 \tag{4}$$

Si la coherencia es 0 para una frecuencia particular, se dice que x(t) e y(t) son incoherentes para esa frecuencia, si x(t) e y(t) son estadísticamente independientes la coherencia es cero para todas las frecuencias. Si la coherencia es 1 para todas las frecuencias, x(t) e y(t) son totalmente coherentes.

Consideremos dos series x(t) e y(t) existe una relación entre la covarianza de x(t) e y(t) y la desviación estándar de x(t) e y(t):

$$|C_{xy}| \leq \sigma_x \sigma_y \tag{5}$$

Definimos el coeficiente de correlación:

$$\rho_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \tag{6}$$

El coeficiente de correlación oscila entre -1 y 1. Las series cuyo coeficiente de correlación es 0 se dice que son incorrelacionadas.

CORRELACIÓN DE DATOS DE OLEAJE

De las series discretas de 5.120 puntos podemos calcular parámetros estadísticos como $H_{z1/3}$, H_{max} , T_z y $T_{z1/3}$. Del análisis espectral calculamos H_s y T_p .

Ahora tomemos dos series de $H_{z1/3}$, correspondientes a Gijón I y Gijón II . Por ejemplo los datos de oleaje de Enero de

Canal	Frecuencia	P.s.Gxx	P.s.Gyy	Ganacia	Fase	Coherencia
0	.000	.80257E+03	.10724E+04	.11497E+01	.0	.9893
1	.0078	.14482E+04	.18683E+04	.11272E+01	-3.6	.9848
2	.0156	.11056E+04	.13056E+04	.10787E+01	-5.4	.9862
3	.0234	.34275E+03	.38170E+03	.10408E+01	-13.5	.9728
4	.0313	.11068E+03	.13397E+03	.10437E+01	-18.8	.8999
5	.0391	.46127E+02	.48443E+02	.91024E+00	-15.6	.7889
6	.0469	.27272E+02	.35993E+02	.96113E+00	-15.0	.7025
7	.0547	.36623E+02	.45581E+02	.10421E+01	10.9	.8725
8	.0625	.53159E+02	.56796E+02	.98936E+00	-27.9	.9161
9	.0703	.17892E+02	.20379E+02	.96987E+00	-34.7	.8259
10	.0781	.18169E+02	.19985E+02	.90417E+00	-40.9	.7432
11	.0859	.82607E+01	.83332E+01	.70433E+00	-32.3	.4918
12	.0938	.74741E+01	.58968E+01	.49256E+00	-44.7	.3075
13	.1016	.90160E+01	.42609E+01	.55488E+00	-47.2	.6515
14	.1094	.47610E+01	.46924E+01	.50088E+00	-69.8	.2545
15	.1172	.23197E+01	.61520E+01	.73738E+00	-98.3	.2050
16	.1250	.17028E+01	.48876E+01	.10669E+01	-95.8	.3965
17	.1328	.27891E+01	.43776E+01	.81752E+00	-112.7	.4258
18	.1406	.19431E+01	.28524E+01	.92884E+00	-125.0	.5877
19	.1484	.32006E+01	.54568E+01	.11484E+01	-135.1	.7735
20	.1563	.28275E+01	.61988E+01	.11006E+01	-179.0	.5525
21	.1641	.21874E+01	.19475E+01	.24063E+00	-141.7	.0650
22	.1719	.24476E+01	.27318E+01	.55810E+00	-169.0	.2791
23	.1797	.16743E+01	.39288E+01	.58643E+00	83.0	.1466
24	.1875	.38154E+01	.25946E+01	.62212E-01	-60.7	.0057
25	.1953	.34633E+01	.21839E+01	.18534E+00	-120.1	.0545
26	.2031	.20992E+01	.17009E+01	.43652E+00	-120.6	.2352

Tabla 1. Resultados del espectro cruzado.

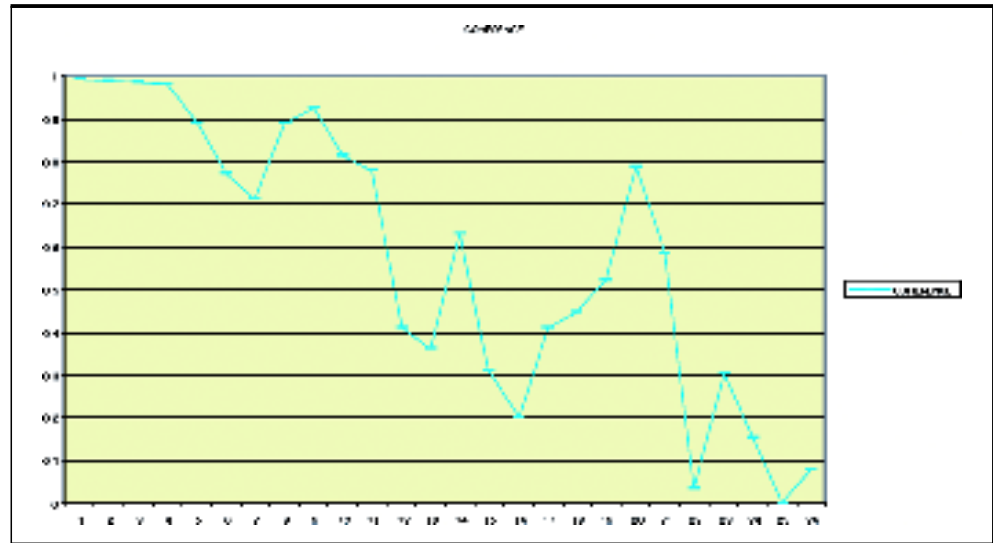


Figura 4. La coherencia tiene valores próximos a 1 para los primeros canales.

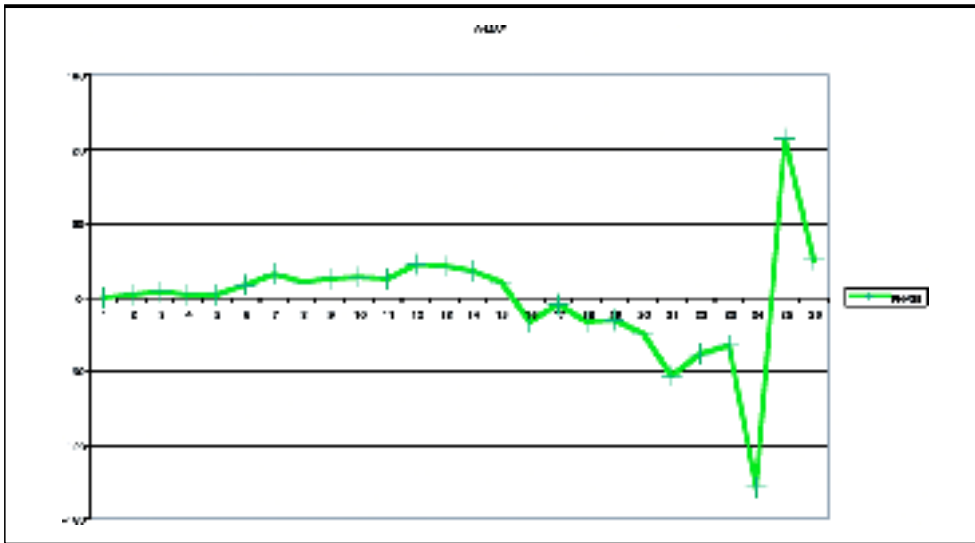


Figura 5. Fase.

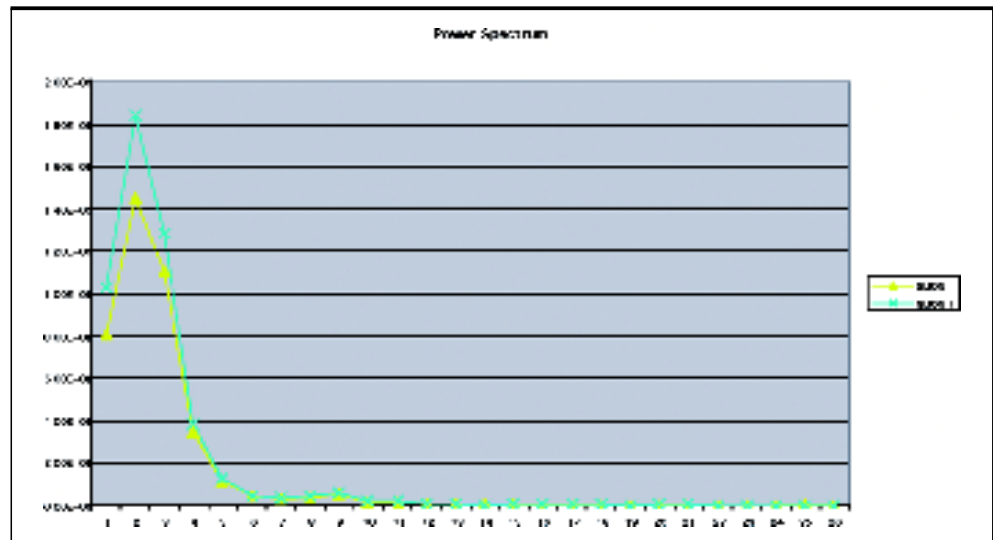


Figura 6. Espectro de potencia.

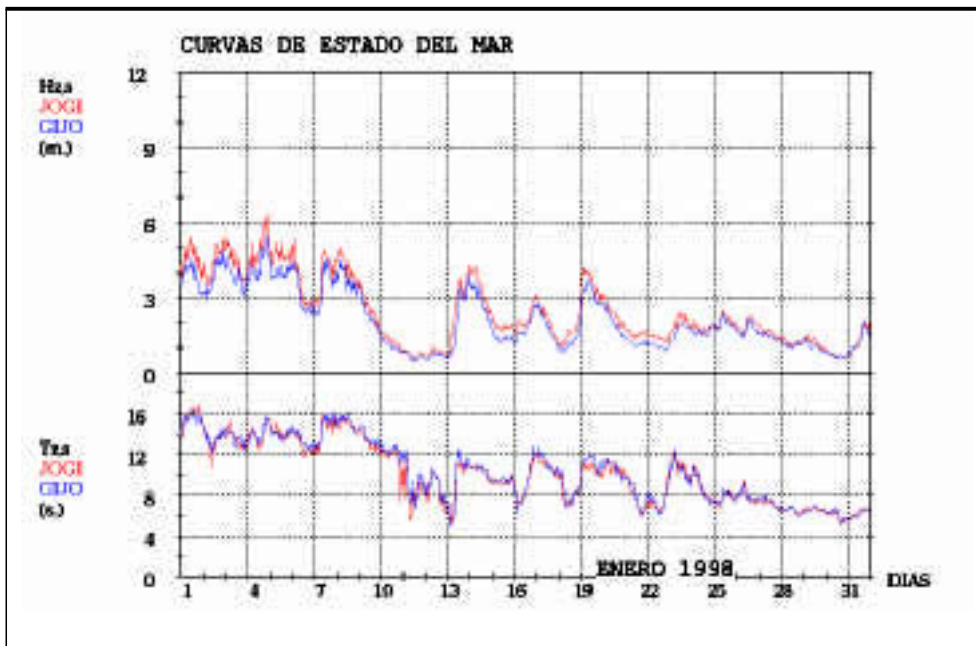


Figura 7. Comparación entre alturas y periodos de ola. Enero de 1998.

1998. Estas series tienen 744 datos y el intervalo entre muestras es de una hora.

El espectro cruzado calcula las características del espectro cruzado de dos series discretas. Las muestras están tomadas a las mismas horas y con el mismo intervalo de muestreo, una hora. A las series se corrige la tendencia y la media a cada segmento. Hemos usado una ventana Hamming de 128 puntos. Tabla 1.

En la figura 4 observamos que la coherencia es muy buena en las bandas que el espectro de potencia tiene el porcentaje más alto de energía, como vemos en la figura 6.

REGRESIÓN LINEAL

Vamos a estudiar la regresión lineal entre los parámetros

de oleaje de ambas boyas. El número de muestras es 48.653. En el eje X datos de Gijón II y en el eje Y datos de Gijón I.

El número de muestras es 48653. En el eje X datos de Gijón II en el eje Y datos de Gijón I. El coeficiente de correlación r^2 mayor corresponde a $H_{z1/3}$. Las alturas de ola son siempre más altas en Gijón II. Sin embargo los periodos son mayores en Gijón I. Figuras 8, 9, 10 y 11. Tabla 2.

COMPARACIÓN DE TEMPORALES

En la Tabla 3 vemos los temporales más fuertes entre 1994 y 2002. Diez se registraron en invierno, cuatro en primavera y cuatro en otoño.

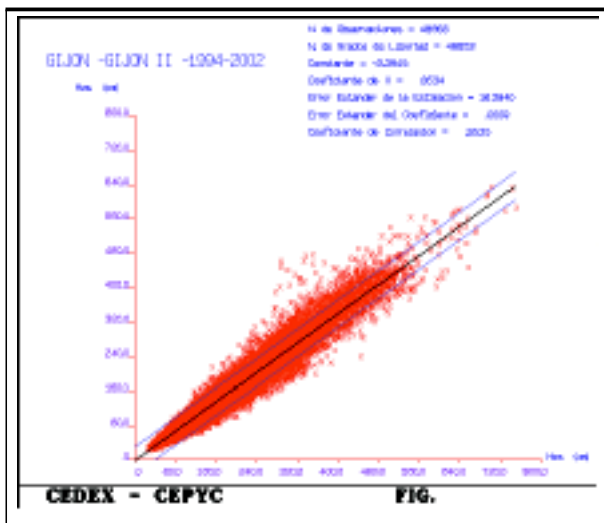


Figura 8. Regresión lineal $H_{z1/3}$.

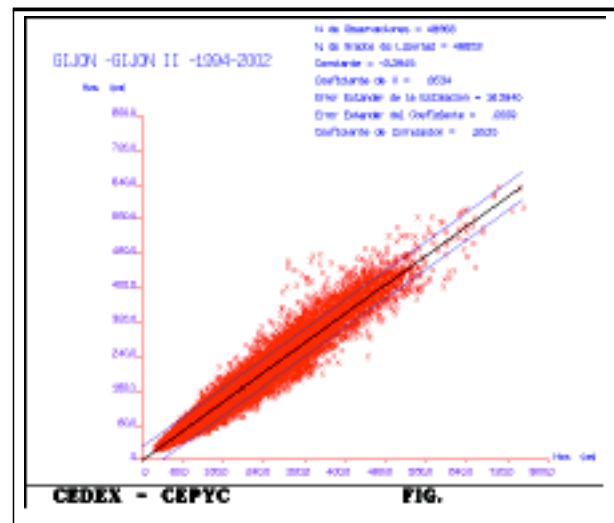


Figura 9. Regresión lineal H_{max} .

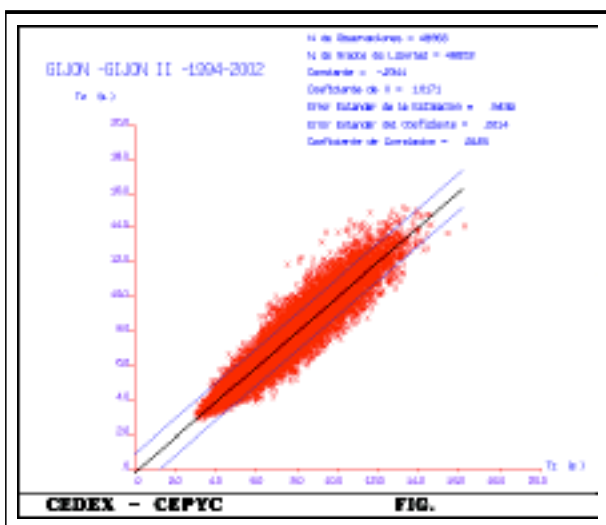


Figura 10. Regresión lineal T_z .

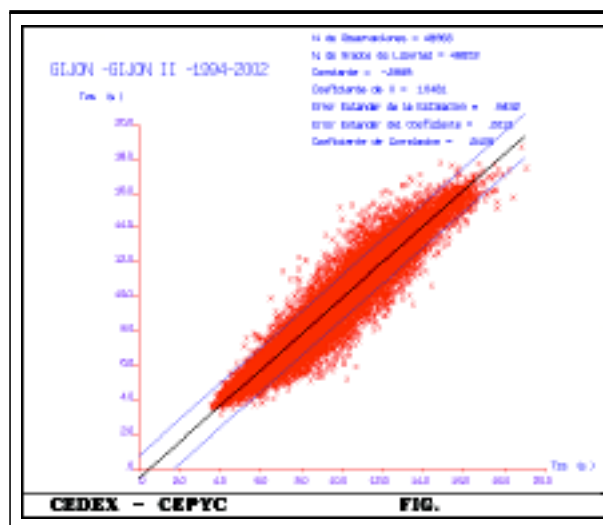


Figura 11. Regresión lineal $T_{z1/3}$.

Tabla 2. Regresión lineal $y = Bx + C$.

Parámetros	B	C	r^2
$H_{z1/3}$	0.8364	-2.3945	0.9535
H_{max}	0.8244	2.957	0.9054
T_z	1.0171	-2341	0.9185
$T_{z1/3}$	1.0481	-0.5688	0.9406

AÑO	MES	DIA	$H_{z1/3}$ GIJON I	$H_{z1/3}$ GIJON II
1994	MARZO	31	6.61	6.74
1994	ABRIL	5	5.05	6.43
1995	ENERO	21	4.71	5.53
1995	DICIEMBRE	26	4.00	4.20
1996	FEBRERO	7	6.22	7.05
1996	NOVIEMBRE	20	5.81	SIN REGISTRO
1997	FEBRERO	19-20	5.04	6.36
1997	NOVIEMBRE	9	5.44	6.98
1998	ENERO	4	5.38	6.32
1998	ABRIL	16	5.15	5.64
1999	ENERO	17	5.15	6.03
1999	DICIEMBRE	27	5.95	6.69
2000	ENERO	9	4.66	5.16
2000	NOVIEMBRE	6	6.26	7.48
2001	ENERO	28	5.55	6.51
2001	ABRIL	7-8	4.76	5.38
2002	FEBRERO	6	3.48	4.70
2002	NOVIEMBRE	22	SIN REGISTRO	5.64

Tabla 3. Temporales más fuertes 1994-2002.

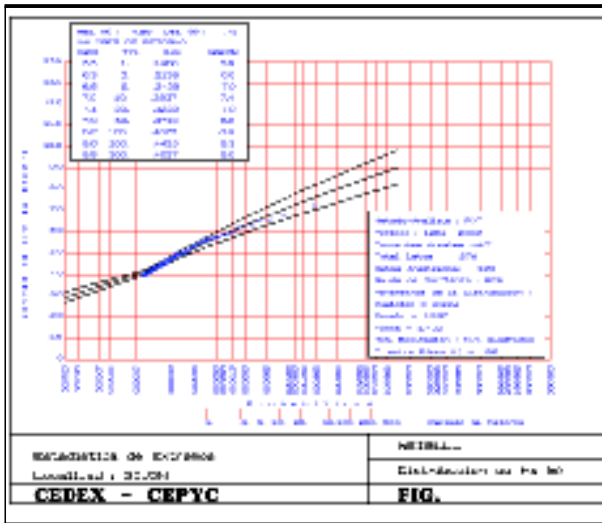


Figura 12. Gijón I.

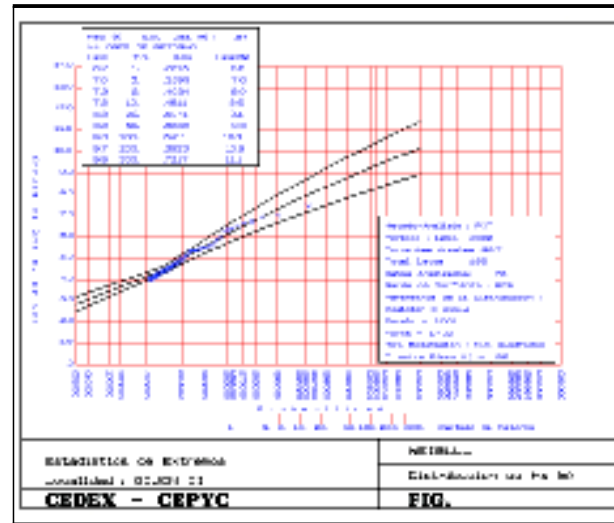


Figura 13. Gijón II.

Años	GJON I H _s (m.)	GJON II H _s (m.)
1	5.5	6.2
3	6.3	7.0
5	6.6	7.3
10	7.0	7.8
20	7.4	8.3
50	7.9	8.8
100	8.2	9.3

Tabla 4. Periodos de retorno y Alturas.

COMPARACIÓN DE REGÍMENES EXTREMOS DE OLAJE

El Análisis por el método POT con un intervalo de confianza del 90%, el ajuste por mínimos cuadrados.

El conjunto de datos analizados fue ajustado a una función de distribución Weibull con parámetro 1.4. Figuras 12 y 13.

CONCLUSIONES

Del presente estudio hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- a) La coherencia es buena para los parámetros de oleaje.
- b) La correlación lineal de los parámetros de oleaje es muy buena.
- c) La altura de ola en Gijón II es siempre mayor.
- d) El periodo de ola en Gijón I es mayor.
- e) Los parámetros de oleaje de Gijón I pueden obtenerse por la recta de regresión.
- f) De la comparación de los mayores temporales observamos que en Gijón II las alturas son superiores.

g) La comparación de las alturas esperadas para un periodo de retorno dado, vemos que Gijón II también tiene alturas mayores.

La diferencia de profundidad en la que están fondeadas las boyas Gijón II (47m.) y Gijón I (23m.) puede ser la razón de que las alturas registradas en Gijón I sean menores.

REFERENCIAS

Bendat and Piersol 1971. Random Data: Analysis and Measurement Procedures. Wiley-Interscience.
 CEDEX 1993. Correlación de estaciones e medida de oleaje. I+D. Centro de Estudios de Puertos y Costas.
 CEDEX 1994-2002 R.E.M.R.O. Datos de Oleaje. Centro de Estudios de Puertos y Costas.
 Ochi Michel 1982. Stochastic Análisis and Probabilistic Prediction of Random Seas. Advances in Hidrosience.