

Estimación paramétrica de un oleaje tipo JONSWAP (*)

Por J. J. CONDE ALDEMIRA

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
Licenciado en Matemáticas.
E. T. S. de Ingenieros de Caminos, C. y P. de Santander

En la Parte I, publicada en el número de Noviembre de esta Revista, se hizo una revisión del estado actual de la descripción de un oleaje a corto término, analizando sus limitaciones en función de las hipótesis introducidas y la realidad observada.

En este último artículo, Parte II, se obtiene la estructura paramétrica adimensional para un oleaje tipo JONSWAP analizando su comportamiento asintótico y haciendo también referencia a la aplicación de resultados a la investigación sobre generación y descripción del oleaje, así como a la defunción del oleaje en áreas determinadas.

PARTE II

6. DEFINICION DEL ESPECTRO JONSWAP

La campaña JONSWAP se realizó en el Mar del Norte durante 10 semanas en los años 1968, 1969 a lo largo de un perfil de 160 Km. El modelo espectral JONSWAP fue un resultado auxiliar para poder analizar cuantitativamente algunos de los fenómenos que intervienen en la generación del oleaje, lo cual constituía el objeto de la campaña.

Para la presentación del modelo seguiremos la formulación original de los autores designando por $S_J(f)$ el espectro JONSWAP y por S_{PMK} el espectro Pierson Moskowitz-Kitaigorodskii.

La definición del espectro es la siguiente:

$$S_J(f) = g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp \left\{ -\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p} \right) \right\}^{-1} \exp - \frac{(f - f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2} \quad (26)$$

$$\sigma = \sigma_a \quad (f \leq f_p)$$

$$\sigma = \sigma_b \quad (f > f_p)$$

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 28 de febrero de 1983.

en donde f_p es la "frecuencia de pico", el parámetro α es el de Phillips, ya que se comprueba fácilmente que

$$[27] \quad S_J(f) \simeq f^{-5}$$

cuando $\frac{f}{f_p}$ es muy grande.

Los otros tres parámetros definen la forma del espectro, siendo γ la relación entre los máximos de S_J y S_{PMK} el cual se obtiene como caso particular cuando $\gamma=1$. Los parámetros σ_a y σ_b definen el intervalo de amplitudes del máximo espectral. En la figura 4 se esquematiza la definición de los parámetros.

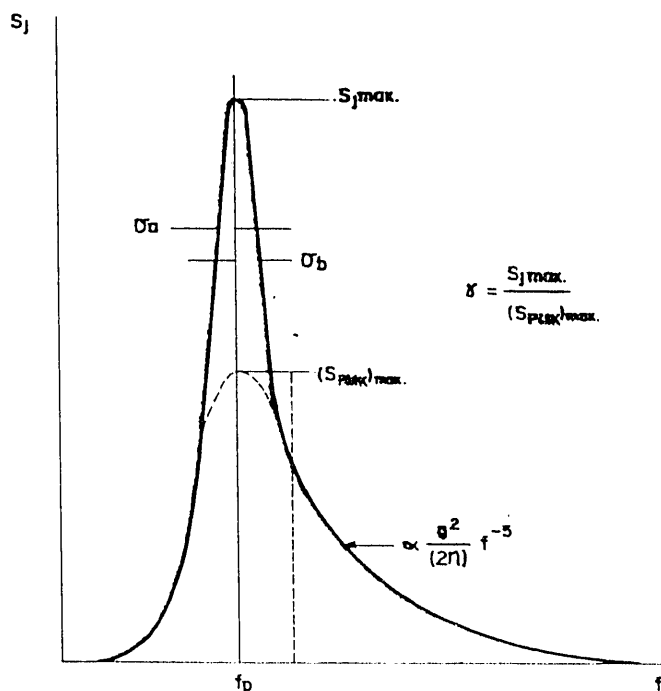
Tomando como variable independiente el "fetch adimensional"

$$[28] \quad \tilde{x} = \frac{gx}{U_{10}^2}$$

en donde x es la longitud del fetch y U_{10} la velocidad del viento al nivel de 10 m, los autores obtuvieron las correlaciones de parámetros f_p y α que tienen las siguientes expresiones;

$$[29] \quad \tilde{f}_p = \frac{f_p U_{10}}{g} = 3,5 \tilde{x}^{-0,33}$$

$$[30] \quad \alpha = 0,076 \tilde{x}^{-0,22}$$



DEFINICION ORIGINAL DE LOS PARAMETROS DEL ESPECTRO JONSWAP

Figura 4

Para los parámetros γ , σ_a , σ_b no pudieron obtenerse correlaciones análogas debido a la dispersión de resultados por lo que obtuvieron solamente los valores medios correspondientes a la campaña.

$$[31] \quad \begin{aligned} \gamma &= 3.3 \\ \sigma_a &= 0.07 \quad \sigma_b = 0.09 \end{aligned}$$

que fueron los que utilizaron en sus cálculos. En las aplicaciones posteriores siempre se mantuvieron para los parámetros σ_a y σ_b los valores de 31 y ello es lo que haremos también en este trabajo.

7. PARAMETRIZACION DEL ESPECTRO JONSWAP

La dificultad práctica de aplicación del modelo S_j en su definición original se deriva de la definición de los parámetros en función del Fetch adimensional y de la necesidad de aplicar técnicas numéricas para obtener los

parámetros de aplicación. Ello hizo que algunos investigadores se planteasen la construcción de tabulaciones que tuviesen como datos de entrada los parámetros estructurales de tipo convencional —altura de ola, periodo, etc.—

Hasta el momento actual las tabulaciones de Overvik (1975) y la de Houmb-Overvik (1976) son las más generales. Para su obtención se partió de registros de oleaje obtenidos en el Mar del Norte —41 para la primera y 110 para la segunda— admitiéndose a priori que el oleaje era de "tipo J".

Overvik obtuvo su tabulación a partir de minimizar los errores absolutos mediante un ajuste por mínimos cuadrados. Houmb-Overvik partieron de una expresión del tipo;

$$[32] \quad \alpha = K_1 (H_s f_p)^{K_2} f(\gamma)$$

obteniendo K_1 y $f(\gamma)$ por ajuste de los datos de partida. A partir de esta expresión obtuvieron por integración numérica de

$$[33] \quad m_0 = \frac{H_s^2}{16} = \int_0^\infty S(f) df$$

una relación del tipo

$$[34] \quad \gamma = \gamma(H_s, f_p)$$

que junto con [32] les permitió obtener

$$[35] \quad \alpha = \alpha(H_s, f_p)$$

Conviene indicar en cuanto a estas tabulaciones que han sido obtenidas a partir de muestras de pequeña extensión y con datos del Mar del Norte.

8. CALCULO ADIMENSIONAL DEL ESPECTRO JONSWAP

8. 1. Expresiones generales

Como ya indicamos, consideramos que σ_a y σ_b son los valores medios de la campaña. En este caso y tomando como variable indepen-

$$\text{diente } U = \frac{f}{f_p}, \text{ el espectro adimensional } S_j^*(f) = \frac{S_j(f)}{S_j(f_p)} \text{ viene dado por}$$

ESTIMACION PARAMETRICA DE UN OLEAJE TIPO JONSWAP

Hs	T _z	3.0-3.99	4.0-4.99	5.0-5.99	6.0-6.99	7.0-7.99	8.0-8.99	9.0-9.99	10.0-10.99	11.0-11.99	12.0-12.99	13.0-13.99	14.0-14.99	15.0-15.99
2.0-2.49	6.630 0.0332 0.2310	4.410 0.0138 0.1752	1.920 0.0070 0.1358	PM										
2.5-2.99		5.364 0.0195 0.1773	3.356 0.0097 0.1408	1.247 0.0055 0.1115	PM									
3.0-3.49		6.088 0.0262 0.1787	4.241 0.0130 0.1430	2.186 0.0074 0.1159	1.047 0.0044 0.0935	PM								
3.5-3.99		6.664 0.0337 0.1797	4.942 0.0167 0.1443	3.222 0.0113 0.1119	1.292 0.0058 0.0969	PM								
4.0-4.49		7.131 0.042 0.1805	5.516 0.0207 0.1453	3.901 0.0116 0.1203	2.043 0.0072 0.1000	1.078 0.0045 0.0844	PM							
4.5-4.99			5.997 0.0252 0.1461	4.469 0.0141 0.1214	2.901 0.0086 0.1023	1.263 0.0056 0.0854	PM							
5.0-5.49			6.417 0.0300 0.1467	4.953 0.0167 0.1222	3.500 0.0102 0.1036	1.733 0.0067 0.0872	1.059 0.0044 0.0755	PM						
5.5-5.99			6.762 0.0352 0.1472	5.373 0.0196 0.1228	3.985 0.0119 0.1044	2.450 0.0079 0.0893	1.212 0.0053 0.0762	PM						
6.0-6.49			7.074 0.0408 0.1476	5.792 0.0227 0.1233	4.410 0.0138 0.1051	3.079 0.0089 0.0906	1.420 0.0062 0.0770	1.014 0.0042 0.0681	PM					
6.5-6.99				6.069 0.0259 0.1237	4.787 0.0157 0.1056	3.505 0.0102 0.0914	1.964 0.0071 0.0787	1.146 0.0049 0.0686	PM					
7.0-7.49				6.361 0.0294 0.1241	5.125 0.0178 0.1061	3.888 0.0115 0.0920	2.522 0.0079 0.0800	1.246 0.0056 0.0690	PM					
7.5-7.99				6.625 0.0331 0.1244	5.429 0.0200 0.1065	4.232 0.0130 0.0925	3.036 0.0088 0.0810	1.470 0.0064 0.0698	1.071 0.0045 0.0624	PM				
8.0-8.49				6.864 0.0370 0.1247	5.705 0.0223 0.1068	4.546 0.0144 0.0929	3.306 0.0098 0.0816	1.968 0.0071 0.0712	1.177 0.0051 0.0628	PM				
8.5-8.99				7.083 0.0410 0.1249	5.957 0.0248 0.1071	4.831 0.0160 0.0933	3.705 0.0109 0.0821	2.429 0.0079 0.0722	1.267 0.0057 0.0631	1.000 0.0041 0.0571	PM			
9.0-9.49					6.186 0.0273 0.1074	5.093 0.0176 0.0935	3.999 0.0120 0.0825	2.852 0.0085 0.0730	1.453 0.0063 0.0637	1.089 0.0046 0.0575	PM			
9.5-9.99					6.402 0.0299 0.1076	5.335 0.0193 0.0938	4.269 0.0131 0.0828	3.202 0.0093 0.0735	1.949 0.0069 0.0648	1.177 0.0051 0.0578	PM			
10.0-10.49					6.599 0.0327 0.1078	5.559 0.0211 0.0941	4.519 0.0143 0.0831	3.479 0.0101 0.0739	2.245 0.0075 0.0656	1.259 0.0056 0.0580	1.000 0.0042 0.0529	PM		
10.5-10.99					6.783 0.0356 0.1080	5.767 0.0229 0.0943	4.751 0.0155 0.0834	3.736 0.0110 0.0743	2.613 0.0081 0.0663	1.398 0.0061 0.0585	1.083 0.0046 0.0532	PM		
11.0-11.49					6.954 0.0386 0.1081	5.961 0.0246 0.0945	4.968 0.0168 0.0836	3.976 0.0119 0.0746	2.955 0.0087 0.0668	1.659 0.0066 0.0591	1.159 0.0050 0.0534	PM		
11.5-11.99						6.143 0.0268 0.0947	5.171 0.0181 0.0836	4.200 0.0128 0.0748	3.228 0.0094 0.0672	2.007 0.0071 0.0599	1.231 0.0054 0.0537	1.000 0.0041 0.0492	PM	
12.0-12.49						6.313 0.0288 0.0948	5.361 0.0195 0.0840	4.410 0.0138 0.0751	3.459 0.0101 0.0675	2.334 0.0076 0.0605	1.320 0.0059 0.0539	1.061 0.0044 0.0484	PM	
12.5-12.99						6.473 0.0309 0.0950	5.540 0.0209 0.0842	4.608 0.0148 0.0753	3.675 0.0108 0.0677	2.642 0.0081 0.0610	1.454 0.0063 0.0545	1.130 0.0048 0.0497	PM	
13.0-13.49						6.624 0.0331 0.0951	5.709 0.0224 0.0843	4.794 0.0158 0.0755	3.880 0.0115 0.0680	2.932 0.0087 0.0614	1.737 0.0067 0.0549	1.194 0.0052 0.0499	PM	
13.5-13.99						6.767 0.0353 0.0952	5.869 0.0239 0.0845	4.971 0.0168 0.0756	4.073 0.0123 0.0682	3.175 0.0092 0.0617	2.033 0.0072 0.0555	1.251 0.0056 0.0500	1.031 0.0043 0.0462	
14.0-14.49						6.902 0.0376 0.0954	6.020 0.0254 0.0846	5.138 0.0179 0.0756	4.255 0.0131 0.0684	3.373 0.0098 0.0680	2.313 0.0076 0.0580	1.348 0.0060 0.0503	1.092 0.0046 0.0463	
14.5-14.99						7.030 0.0400 0.0955	6.163 0.0277 0.0847	5.296 0.0190 0.0759	4.429 0.0139 0.0686	3.562 0.0104 0.0622	2.579 0.0080 0.0564	1.463 0.0064 0.0506	1.150 0.0049 0.0463	

TABLA 1. OVERVIK (1.975)

H ₈	T ₀₂	4.0-4.99	5.0-5.99	6.0-6.99	7.0-7.99	8.0-8.99	9.0-9.99	10.0-10.99	11.0-11.99	12.0-12.99	13.0-13.99	14.0-14.99	15.0-15.99
2.0-2.49	5490 00160 01800	480 4150 00064 01440	589 4910 00094 01460	706 5370 00036 01110									
2.5-2.99	5920 00201 01810	480 4910 00094 01460	589 5370 00036 01110	706 5370 00036 01110	1090 00032 00960	515							
3.0-3.49	6330 00272 01820	470 5400 00129 01470	587 4250 00069 01220	636 1650 00042 00950	813								
3.5-3.99	6800 00359 01830	470 5770 00171 01480	586 4860 00092 01240	636 3620 00055 01050	808	1210 00035 00650	913						
4.0-4.49	6890 00485 01850	470 6070 00218 01490	585 5210 00112 01240	635 4240 00067 01060	800	1960 00044 00680	916	1000 00029 00750					
4.5-4.99			6290 00267 01490	585 5530 00142 01250	633 4690 00083 01070	799	3400 00052 00920	1230 00036 00750					
5.0-5.49			6490 00320 01490	585 5770 00170 01250	633 5040 00102 01080	796	4040 00102 00930	1770 00044 00750	1020 00036 00650				
5.5-5.99			6680 00390 01500	584 5940 00180 01260	632 5280 00119 01080	798	4460 00074 00940	2000 00050 00620	1230 00036 00690				
6.0-6.49			6830 00455 01500	584 5170 00239 01760	631 5490 00138 01080	798	4800 00088 00950	3810 00058 00830	1560 00041 00700	1010 00029 00620			
6.5-6.99			6960 00523 01500	584 6320 00274 01260	630 5540 00143 01090	796	5020 00100 00950	4230 00067 00840	1700 00047 00730	1180 00035 00630			
7.0-7.49				6490 00323 01270	589 5870 00185 01090	796	5220 00114 00950	4480 00075 00840	3220 00050 00740	1124 00040 00640			
7.5-7.99				6610 00363 01270	689 6020 00210 01090	795	5440 00130 00950	4770 00087 00850	3650 00055 00750	1920 00044 00650			
8.0-8.49				6730 00410 01270	689 6150 00235 01090	794	5590 00148 00960	4960 00097 00850	4230 00057 00760	2930 00048 00670	1260 00036 00580		
8.5-8.99				6870 00475 01280	688 6300 00269 01100	793	5730 00165 00960	5120 00107 00850	4440 00074 00760	3500 00053 00680	1540 00041 00590	1040 00030 00530	
9.0-9.49				6960 00523 01280	686 6410 00290 01100	793	5850 00180 00960	5330 00123 00950	4710 00084 00770	3910 00060 00690	2050 00045 00600	1140 00034 00540	
9.5-9.99					6310 00329 01100	793	5960 00199 00960	5470 00130 00860	4870 00092 00770	4130 00054 00690	3020 00048 00620	1320 00036 00540	
10.0-10.49					6600 00350 01100	792	6110 00220 00970	5580 00147 00860	5010 00100 00770	4380 00070 00700	3450 00052 00630	1650 00047 00550	
10.5-10.95					6630 00394 01100	792	6210 00248 00970	5690 00168 00850	5150 00109 00770	4580 00079 00700	3760 00057 00630	2150 00045 00560	1190 00035 00500
11.0-11.49					6770 00427 01100	792	6300 00260 00970	5800 00175 00860	5270 00117 00770	4730 00085 00640	4000 00061 00640	2830 00047 00570	1290 00040 00500
11.5-11.99					6880 00480 01110	791	6380 00290 00970	5890 00184 00860	5420 00113 00780	4870 00092 00700	4270 00068 00640	3360 00051 00580	1570 00042 00520
12.0-12.49					6960 00520 01110	791	6470 00316 00970	5980 00202 00860	5540 00143 00780	4970 00098 00700	4420 00073 00640	3710 00056 00580	2030 00045 00520
12.0-12.99							6540 00339 00970	6110 00227 00870	5640 00154 00780	5110 00108 00700	4550 00078 00640	3920 00060 00590	2670 00047 00530
13.0-13.49							6610 00363 00970	6190 00244 00870	5730 00165 00780	5230 00114 00700	4650 00082 00640	4100 00064 00590	3120 00048 00536
13.5-13.99							6680 00390 00970	6270 00261 00870	5810 00176 00780	5360 00126 00700	4810 00090 00590	4250 00068 00540	3440 00052 00540
14.0-14.49							6750 00419 00970	6340 00280 00870	5880 00186 00780	5480 00136 00710	4950 00099 00650	4300 00076 00590	3850 00055 00540
14.5-14.99							6840 00460 00950	6410 00299 00870	5900 00199 00780	5540 00143 00710	5090 00105 00650	4440 00073 00580	3780 00057 00550
													2900 00048 00500

LINEA SUPERIOR &
LINEA SEGUNDA &
LINEA TERCERA &
CANTIDAD VERTICAL T01

TABLA 2. HOUMB. AND OVERVIK (1.976)

$$S^*(U) = U^{-5} e^{-\frac{5}{4}(U^4-1)} e^{\frac{(1-U)^2}{2\sigma^2}} - 1$$

$$\sigma_a = 0.07 \quad (U \leq 1)$$

$$\sigma_b = 0.09 \quad (U > 1)$$

$$\sigma \leq U \leq \infty$$

Los momentos adimensionales $m_n^*(U)$ vienen relacionados con los dimensionales $m_n(f)$ por;

$$m_n^*(U) = \frac{m_n(f)}{S_j(f) f_p^{n+1}}$$

y como se comprueba facilmente, los parámetros $\epsilon(f)$ y $Q_p(f)$ son adimensionales por lo que sus expresiones vienen dadas por;

$$[\epsilon^*(U)]^2 = 1 - \frac{[m_2^*(U)]^2}{m_0^*(U) \cdot m_4^*(U)}$$

$$Q_p^*(U) = \frac{2}{[m_0^*(U)]^2} \int_0^\infty U [S_j^*(U)]^2 du$$

En cuanto a los periodos $T_{0.1}$, $T_{0.2}$, se obtiene;

$$\frac{T_{0.1}}{T_p} = T_{0.1}^* = \frac{m_0^*(U)}{m_1^*(U)}$$

$$\frac{T_{0.2}}{T_p} = T_{0.2}^* = \left[\frac{m_0^*(U)}{m_2^*(U)} \right]^{1/2}$$

8.2. Cálculo aproximado de las expresiones generales

El campo de definición de las funciones adimensionales es $0 \leq U \leq \infty$ que en el cálculo numérico se transforma en $U_{\min} \leq U \leq U_{\max}$. Cuando $U \rightarrow 0$, $S_j^*(U)$ tiende a cero rápidamente debido al factor $e^{-\frac{5}{4}U^4}$. Cuando $U \rightarrow \infty$ el factor dominante es U^{-5} por lo que el comportamiento asintótico de los momentos viene dado por;

$$m_n^* \rightarrow \frac{1}{n-4} U_{\max}^{n-4} \quad (n \leq 3)$$

$$m_n^* \rightarrow LU_{\max} \quad (n = 4)$$

Estas expresiones indican que $m_n^* \rightarrow 0$ cuando $n \leq 3$ mientras que es función de $U_{\max}$ para $n=4$, es decir en este último caso no existe un valor asintótico. Consecuencia de ello será que las expresiones en que interviene m_n^* , en nuestro caso la de ϵ , tendrían un error dependiente de "la frecuencia de corte", U_c , que no tendrá un comportamiento asintótico.

Rye (1977) consideró un intervalo de (0. 10) para U , mientras que en los cálculos nuestros el intervalo se amplía siendo las condiciones generales las siguientes;

$$\Delta U = 0.01 \quad \text{para } S_j^*(U)$$

$$\Delta U = 0.05 \quad \text{para } m_n^*(U); \epsilon^*(U), Q_p^*(U), T_o^*(U)$$

$$0 \leq U \leq 30$$

$$\gamma = 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12$$

En esta presentación parcial de resultados, éstos se dan en forma de curvas para algunos de los valores de γ considerados, de forma que abarque el intervalo total para poder observar las tendencias obtenidas.

8.3. Análisis de resultados y curvas de aplicación

El comportamiento asintótico de los parámetros espectrales se analizó calculando el error que se tiene en función de la frecuencia de corte considerada a partir de la expresión;

$$\mu = \left| 1 - \frac{F^*(U_p)}{F^*(U_{p+1})} \right| 100$$

habiendo sido los resultados obtenidos los siguientes;

$$a) m_n^*(U)$$

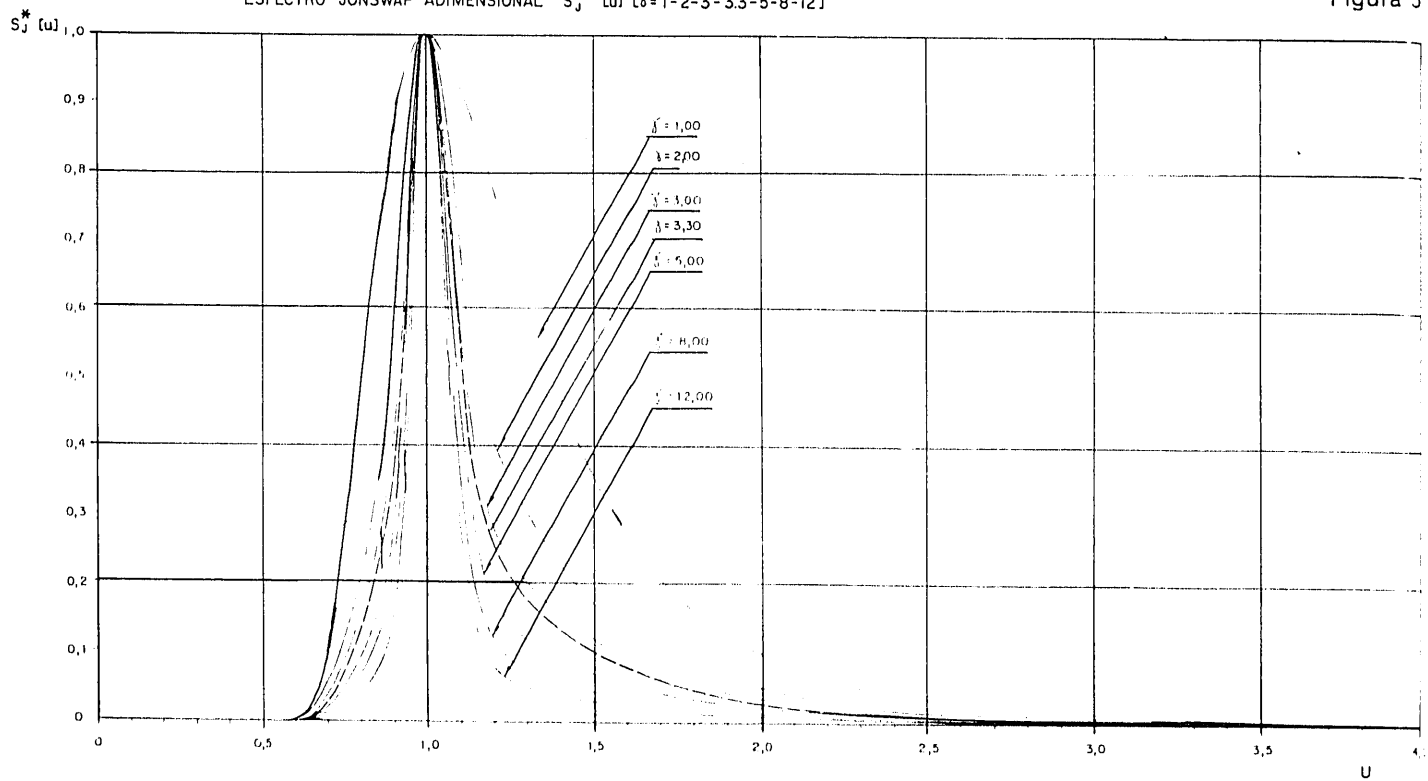
La influencia de γ aumenta con el orden del momento y disminuye al aumentar γ y la frecuencia de corte.

Para $U_c = 30$ se obtuvo;

	m_0^*	m_1^*	m_2^*	m_4^*
$\gamma = 1 \approx 0$		4×10^{-4}	97×10^{-3}	1.1
$\gamma = 5 \approx 0$		3×10^{-4}	67×10^{-3}	1.0
$\gamma = 12 \approx 0$		≈ 0	46×10	0.9

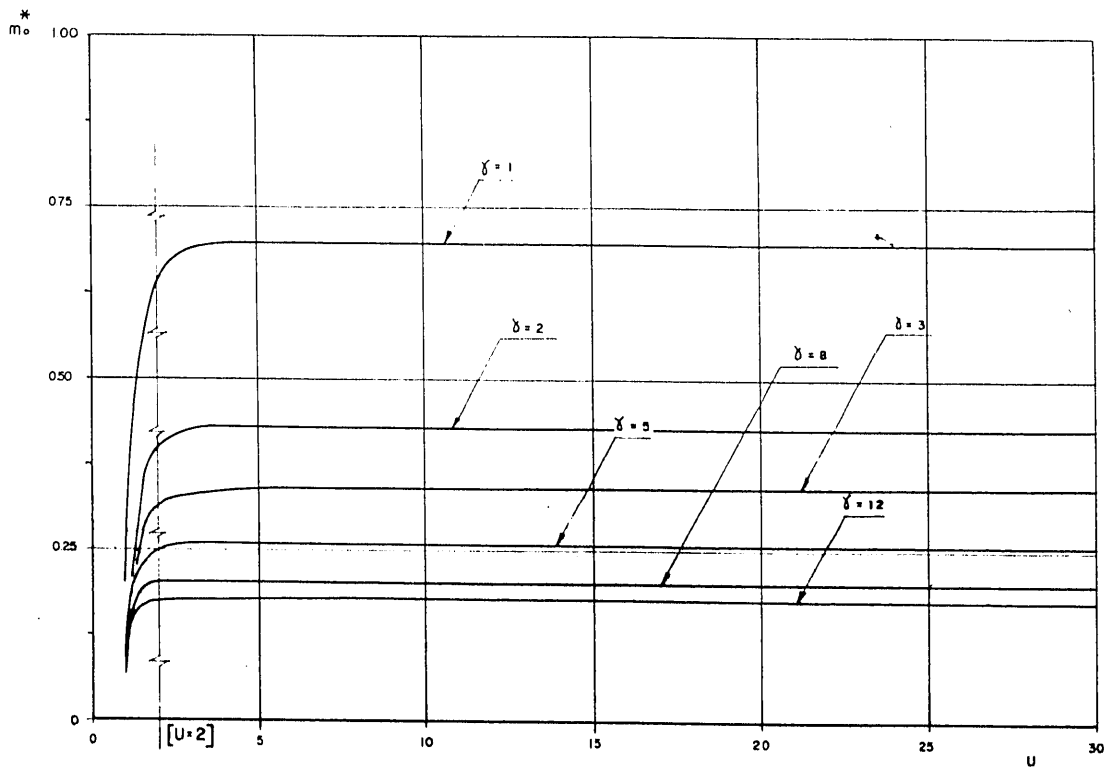
ESPECTRO JONSWAP ADIMENSIONAL $S_J^* [u]$ ($\delta = 1-2-3-3.3-5-8-12$)

Figura 5

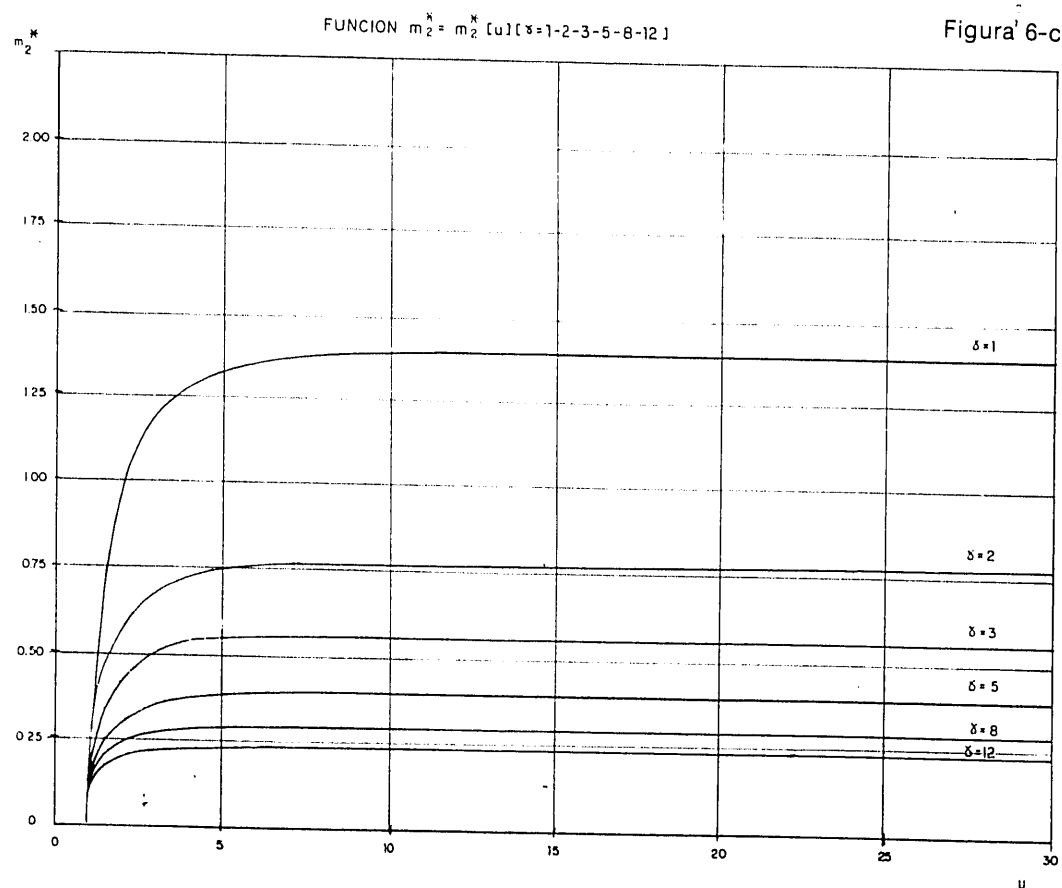
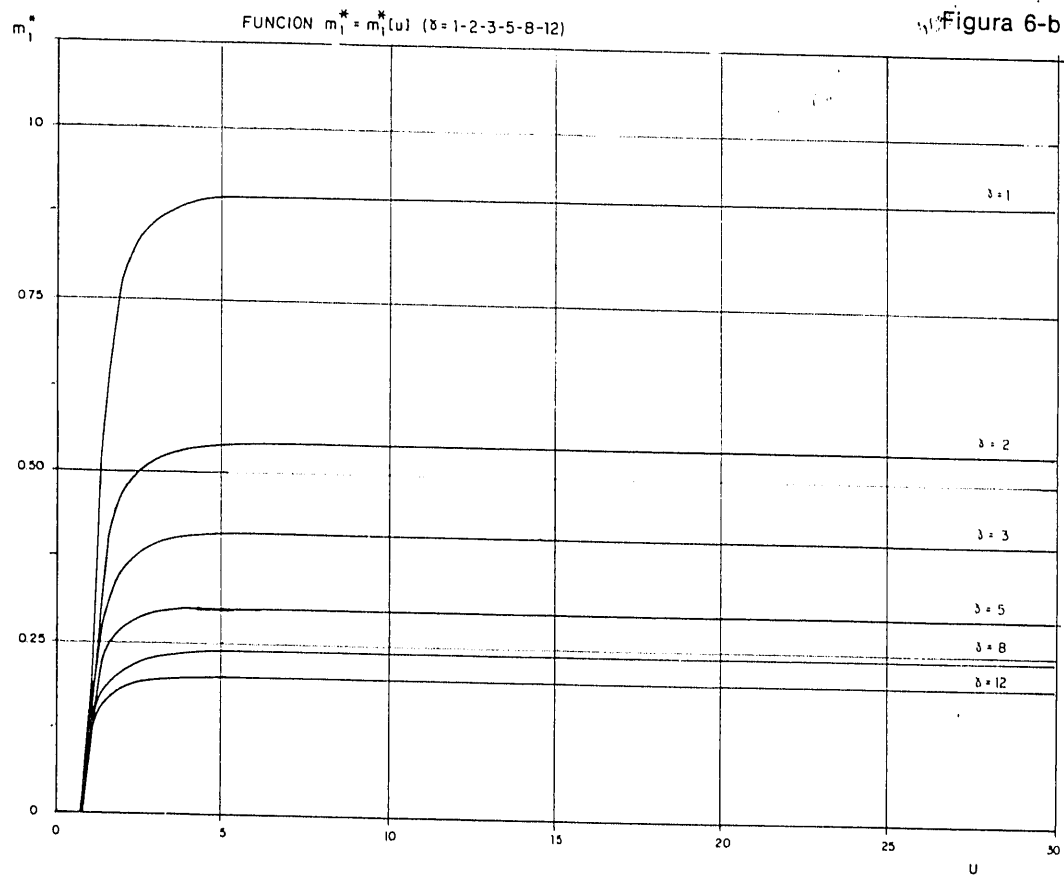


FUNCION $m_0^* = m_0^* [u]$ ($\delta = 1-2-3-5-8-12$)

Figura 6-a

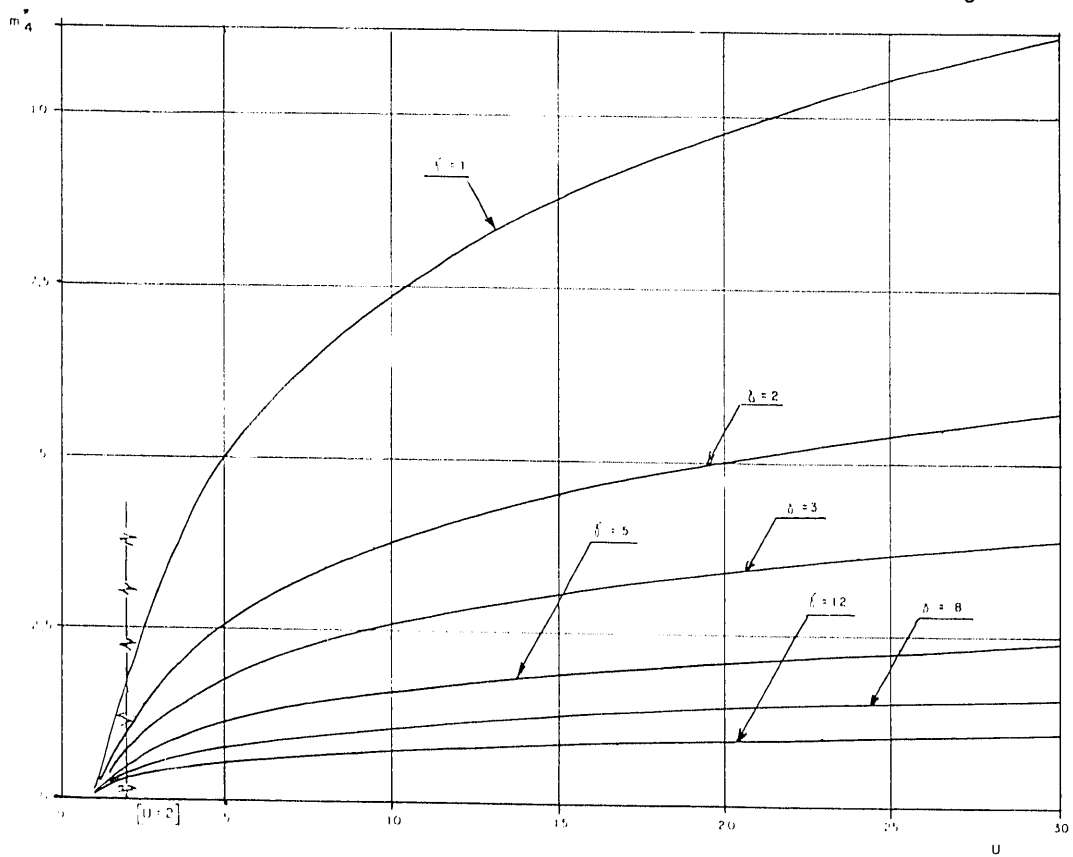


ESTIMACION PARAMETRICA DE UN OLEAJE TIPO JONSWAP



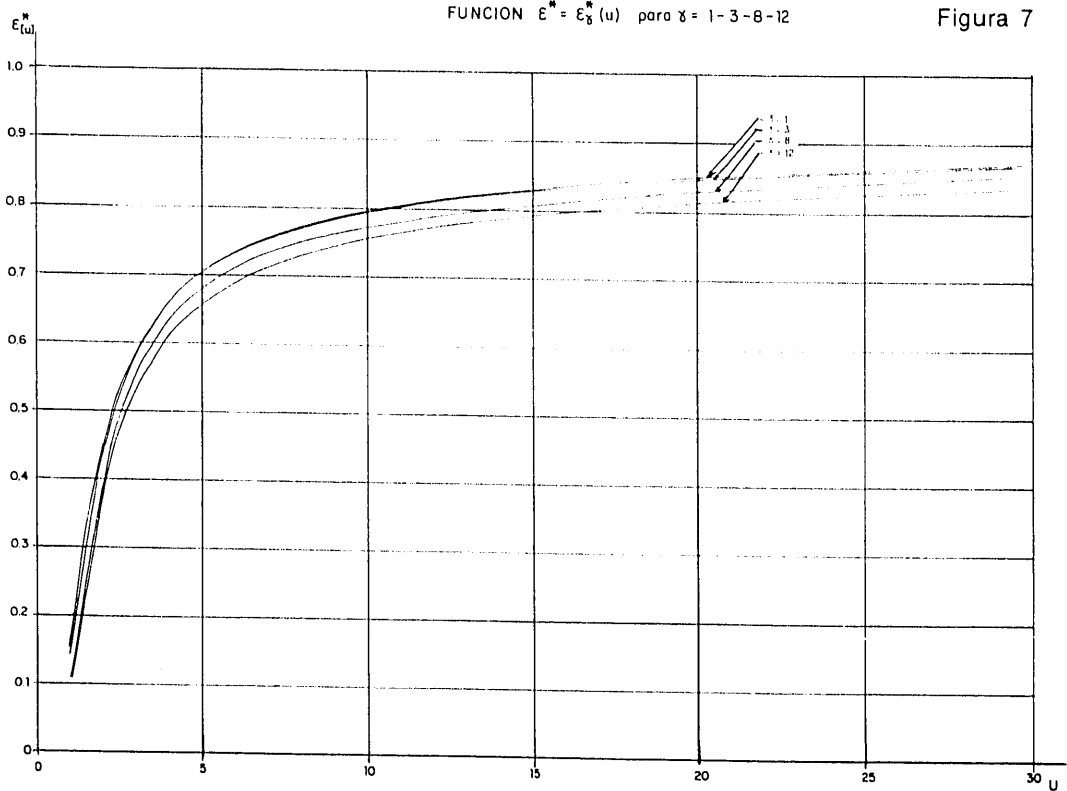
FUNCIONES $m_4^* = m_4^*(u)$ [$\gamma = 1-2-3-5-8-12$]

Figura 6-d

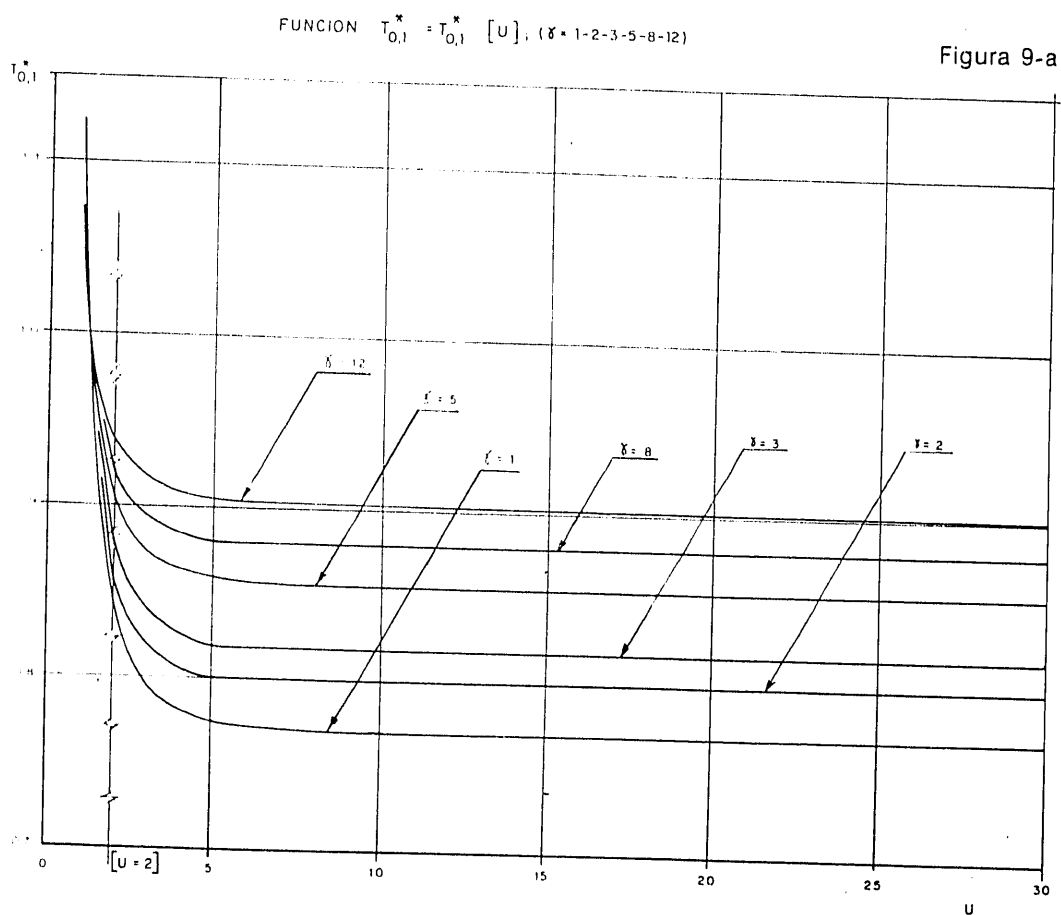
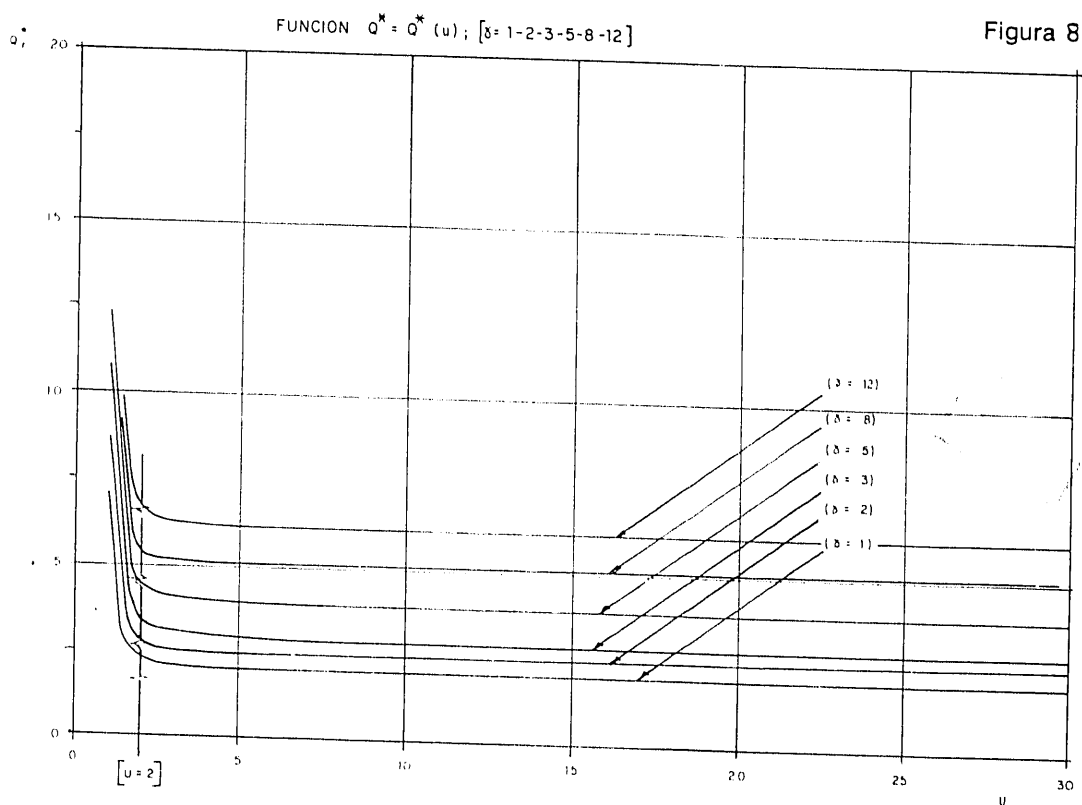


FUNCION $\epsilon^* = \epsilon_g^*(u)$ para $\gamma = 1-3-8-12$

Figura 7



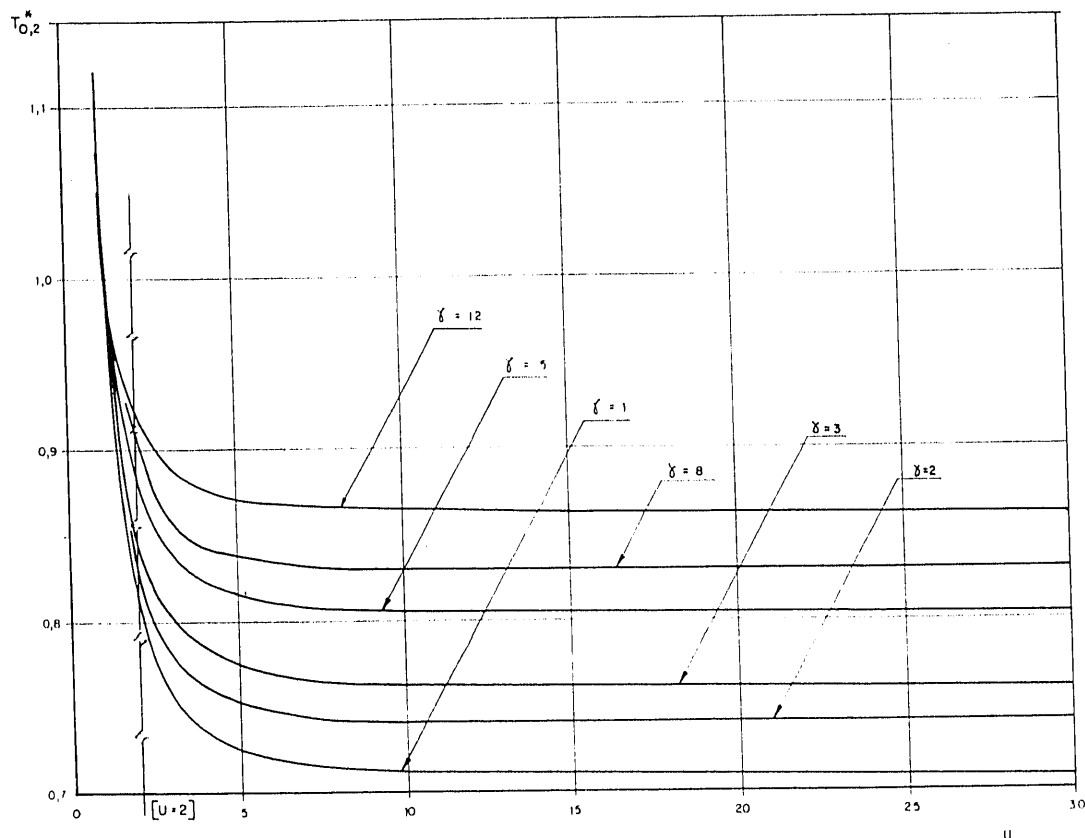
ESTIMACION PARAMETRICA DE UN OLAJE TIPO JONSWAP



ESTIMACION PARAMETRICA DE UN OLEAJE TIPO JONSWAP

FUNCION $T_{0,2}^* = T_{0,2}^* [U]$; ($\gamma = 1-2-3-5-8-12$)

Figura 9-b



b) $\epsilon^* Q_p^*$

Para valores crecientes de γ y el valor del error de truncamiento aumenta para ϵ^* y disminuye para Q_p^* decreciendo para valores crecientes de la frecuencia de corte.

Para $U_c = 30$ se obtuvo

ϵ^*	Q_p^*
$\gamma = 1 \quad 17 \times 10^{-2}$	≈ 0
$\gamma = 5 \quad 18 \times 10^{-2}$	≈ 0
$\gamma = 12 \quad 20 \times 10^{-2}$	≈ 0

Los valores de ϵ^* , de un orden sensiblemente mayor a los obtenidos para los otros parámetros, son consecuencia del comportamiento no asintótico y sí creciente de la función m^* tal como se obtuvo al obtener las funciones límites en 41.

c) $T_{0,1}^* \quad T_{0,2}^*$

Para valores crecientes de γ disminuye el valor del error de truncamiento el cual es

mayor para $T_{0,1}^*$ y para valores crecientes de la frecuencia de corte.

Para $U_c = 30$ se obtuvieron los siguientes resultados;

	$T_{0,1}^*$	$T_{0,2}^*$
$\gamma = 1$	4×10^{-4}	4.9×10^{-3}
$\gamma = 5$	3×10^{-4}	3.4×10^{-3}
$\gamma = 12$	1×10^{-4}	2.3×10^{-3}

A partir de estos resultados se obtuvieron unas curvas de aplicación que vienen definidas por:

$$[43] \quad F^* = F^*(\gamma) \quad U_c = 30$$

En este artículo se presenta la curva m^* (y) base para obtener los valores de las otras funciones paramétricas, con excepción de Q_p^* por lo que también se incluye.

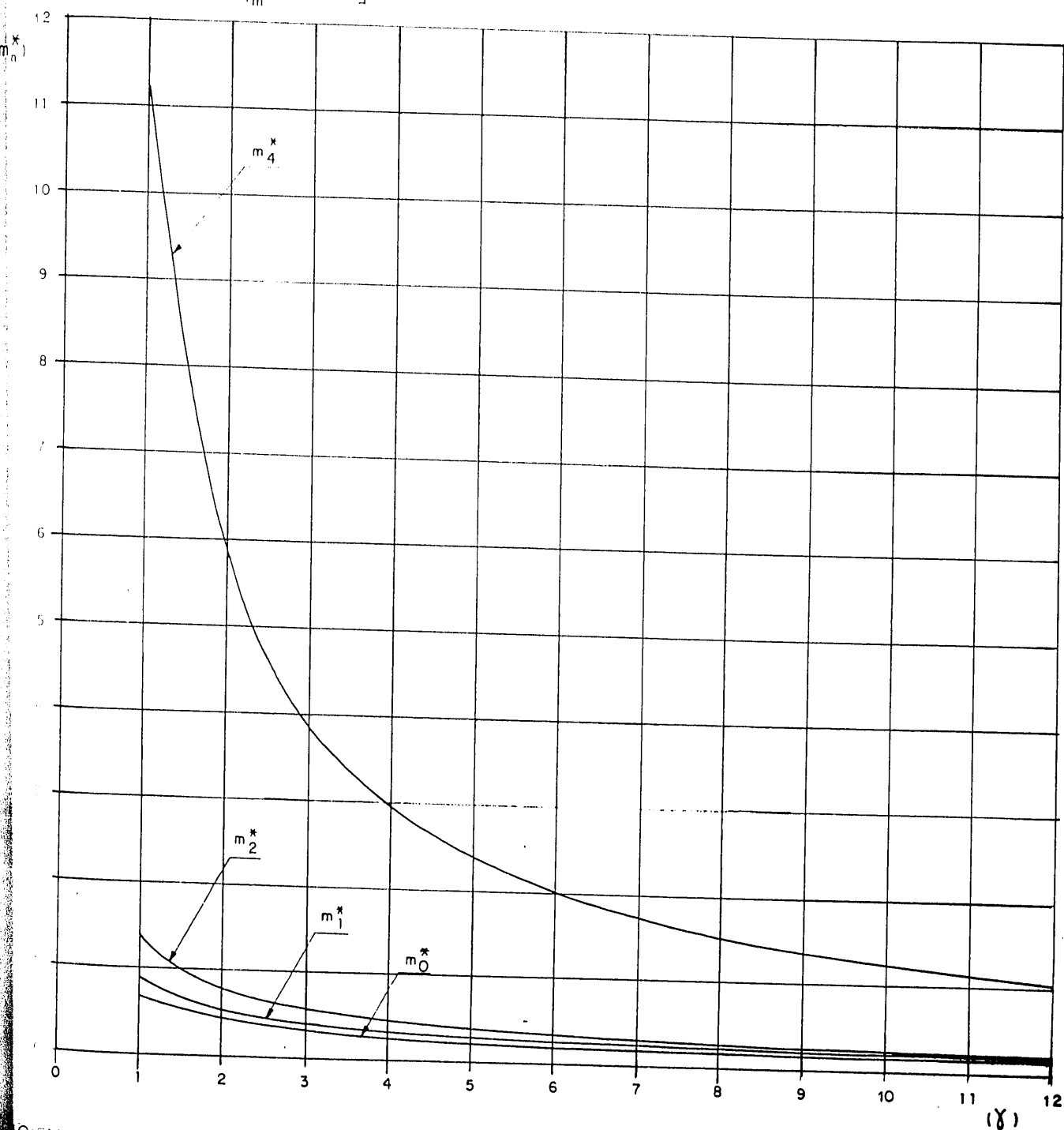
ESTIMACION PARAMETRICA DE UN OLEAJE TIPO JONSWAP

FUNCION $m_n^* = m_n^* [\gamma]$; PARA $n = 0-1-2-4$

Figura 10.

γ	1	2	3	3,3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
m_0^*	0,698	0,435	0,340	0,323	0,291	0,259	0,238	0,222	0,210	0,200	0,192	0,185	0,179
m_1^*	0,908	0,542	0,412	0,388	0,345	0,304	0,275	0,254	0,238	0,225	0,215	0,206	0,198
m_2^*	1,390	0,785	0,576	0,537	0,469	0,403	0,358	0,326	0,301	0,281	0,265	0,252	0,241
m_4^*	11,231	5,711	3,863	3,526	2,936	2,378	2,005	1,738	1,538	1,381	1,256	1,153	1,067

$$\left[U_{\max} = \left(\frac{f}{f_m} \right)_{\max} = 30 \right]$$



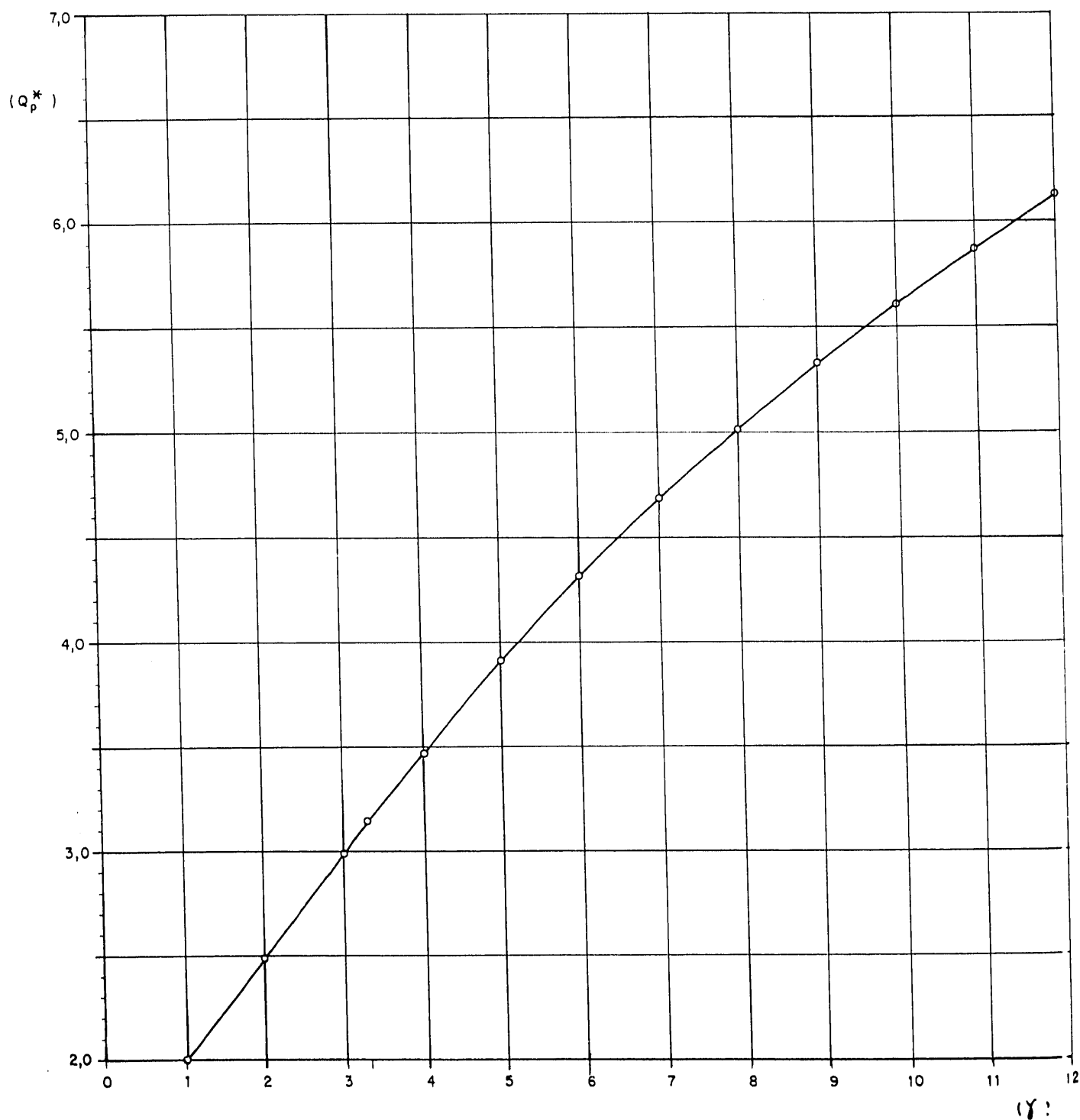
ESTIMACION PARAMETRICA DE UN OLAJE TIPO JONSWAP

FUNCION $Q_p^* = Q_p^* [\gamma]$

Figura 11

γ	1	2	3	3,3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q_p^*	2,000	2,484	2,995	3,145	3,476	3,916	4,318	4,685	5,021	5,329	5,614	5,878	6,124

$$\left[u_{\max} = \left(\frac{f}{f_m} \right)_{\max} = 30 \right]$$



9 APLICACION DE RESULTADOS

La campaña JONSWAP fue planteada para disponer de información suficiente, en extensión y densidad, sobre condiciones de los espectros de oleaje en un área de generación, para poder determinar, cuantitativamente, la estructura de la «función fuente de energía» — S — que viene definida por la ecuación:

$$[44] \quad S = \frac{\partial F}{\partial t} + v_i \frac{\partial F}{\partial x_i}$$

en donde $F = F(f, \theta; \vec{x}, t)$ es el espectro bidimensional del oleaje y v_i la velocidad de grupo. Supuesta definida la función fuente como resultado de las contribuciones de la atmósfera, de la transferencia no lineal de energía entre componentes y de los fenómenos de disipación, el fin último de la campaña fue analizar cuantitativamente algunos de los fenómenos que intervienen en la generación del oleaje por el viento. Resultado previo y auxiliar fue la obtención de un espectro paramétrico, con los parámetros $(f_m, \alpha, \gamma, \sigma_a, \sigma_b) = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ que permitió la integración numérica de la ecuación [44]. El método del cálculo considerada a los parámetros a_i como función del fetch y del tiempo, siendo aplicado posteriormente a la construcción de modelos uni- y multiparamétricos de generación de oleaje en áreas determinadas —Hasselmann (1976), Günter et al (1976), (1979).

Las anteriores aplicaciones en el campo de la generación del oleaje son las que tienen un mayor interés científico, constituyendo actualmente un campo de investigación muy intenso. Paralelamente a esta orientación, el espectro S se aplicó para la definición de condiciones de oleaje, extrapolando, como ya indicamos, las condiciones en que fue obtenido.

Refiriéndonos a los resultados paramétricos de este artículo su aplicación para definir un espectro es inmediata cuando se conocen tres parámetros iniciales, pues como hemos indicado σ_a y σ_b se han supuesto conocidos. En la mayoría de las aplicaciones a la Ingeniería Marítima dos de los parámetros iniciales son H_s y T_p a partir de los cuales se obtienen:

$$[45] \quad m_0 = \frac{H_s^2}{16} \quad f_p = \frac{1}{T_p}$$

La elección del tercer parámetro depende de la información de que se disponga inicialmente. A manera de ejemplo consideramos los dos casos siguientes:

caso a) parámetro conocido γ ; caso b) parámetro conocido S_p . Para obtener el espectro se utilizaron las siguientes relaciones:

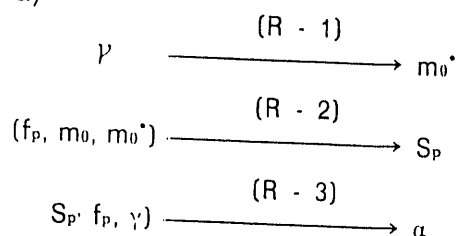
$$R - 1: \text{Curva } m_0^* = m_0^*(\gamma)$$

$$R - 2: m_0^* = \frac{m_0}{f_p S_p}$$

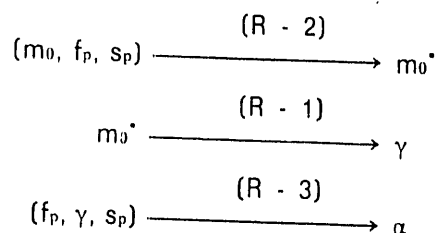
$$R - 3: S_p = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f_p^{-5} e^{\frac{5}{4}\gamma}$$

siendo los esquemas de cálculo los siguientes:

caso a)



caso b)



Los valores de (α, γ, f_p) junto con los de σ_a y σ_b definen S_j .

La aplicación sistemática del esquema anterior al oleaje a largo término, permite obtener la función de densidad conjunta de los parámetros $H_s, T_p, \gamma - P(H_s, T_p, \gamma)$ — cuando se dispone de una muestra inicial con extensión y fiabilidad suficientes para que los resultados sean representativos. Una aplicación de este tipo, pero considerando γ como parámetro estadísticamente independiente, y (H_s, T_p) estadísticamente dependientes, fue realizada por conde Aldemira J. J. y Sánchez-Arcilla

Conejo, A., para el análisis del Clima Marítimo en el Puerto de Bilbao. En este caso se partió de las curvas $H_{1/3}(t)$, $T_z(t)$ definiéndose a partir de ellas una muestra que analizada espectralmente constituyó la información de partida.

Desde el punto de vista de la investigación en el campo de la descripción paramétrica del oleaje, actualmente es objeto de una amplia investigación la estructura de las agrupaciones de olas. Estas investigaciones exigen trabajar en el dominio del tiempo —registro— relacionando esta descripción temporal con la espectral, en el dominio de la frecuencia. La importancia de estas investigaciones se debe al hecho de que la respuesta de ciertas estructuras —por ejemplo los diques— viene regulada por las agrupaciones del registro y no por el espectro solamente Goda (1970), inició las investigaciones en este campo aplicando el modelo estadístico-matemático de Piersón para simular numéricamente registros de oleaje. Hasta el momento actual, los resultados obtenidos se refieren básicamente a tendencias generales, tales como, por ejemplo, las obtenidas por Rye (1974) y Rye-Lervik (1981), que muestran la existencia de una relación entre la anchura del espectro y el índice de agrupaciones del registro. Ello lleva a considerar como parámetro representativo de la forma espectral, el introducido por Goda, Q_p , en lugar de la anchura del espectro, ϵ . La razón de esta elección se basa en que el parámetro ϵ , tal como se puede observar en la figura 7, prácticamente es independiente de γ y no alcanza un comportamiento asintótico para valores altos de U . Recientemente, Funk, Mansard (1979), introdujeron una nueva línea de investigación sobre la estructura de las agrupaciones, que se basa en el estudio del espectro de fases como función que controla el fenómeno. Esta línea se encuentra todavía en

fase de investigación no pudiéndose valorar por ello su alcance real como forma de interpretación del problema.

Finalmente, quiero referirme a algunas investigaciones básicas, el tipo complementario, que permitirían un mayor conocimiento sobre el alcance de la representatividad de la descripción paramétrica de un oleaje. El análisis de la variación de los parámetros espectrales en función del modelo numérico de cálculo del espectro, analizando especialmente la influencia de los grados de libertad, el tipo de ventana empleado, la frecuencia de corte del registro, la longitud de registro, etc., sería una investigación de interés en este sentido. Con fines prácticos, para aplicaciones concretas, deberán de analizarse de forma sistemática las relaciones estadísticas de parámetros espectrales del oleaje referidos a zonas determinadas pues con ello se podrían conocer estructuralmente las condiciones del oleaje de la zona. Goda (1979) realizó una revisión y análisis muy completo de la información existente, siendo sus resultados de interés indicativo cuando no se puede disponer de una información específica de la zona en estudio.

10. COLABORACIONES

El cálculo numérico de las funciones fue realizado en el CENTRO DE PROCESOS DE DATOS —M.O.P.U.— bajo la dirección del Dr. Ingeniero de C. C. y P. Jesús Martínez González.

1. REFERENCIAS

- B. TITJES, J. A. "Standard Sea State Spectra". Trondheim (no publicado).
- CONDE ALDEMIRA, J. J. y SANCHEZ-ARCILLA CONEJO, A. (1981). "Estudio de Ingeniería Marítima para el Puerto de Bilbao (1.ª Fase). Parte I: Clima marítimo" (No publicado) C.E.E.P.Y.C. Madrid.
- FUNK E. R., E.P.D. MANSARD (1979) "On the synthesis of realistic sea States in a Laboratory Flume". National synthesis of realistic sea States in a Laboratory Flume". National Research Council -Ottawa- Canadá.
- GODA, Y. -1970- "Numerical experiments on wave statistics with spectral simulation". Report of the Port and Harbour Research Institute. Vol. 9, n.º 3.
- (1979) "A Review on Statistical Interpretation of Wave Data". Report of the Port and Harbour Research Institute. Vol. 18 n.º 1.
- Günter, H. W. ROSENTHAL (1976) "Das Problem der Windsee bei der numerischen Vorhersage in der Nordsee".
- Berichte aus dem Sonderforschungsbereich "Meeresforschung" Heft 10.
- Günter, H. et al (1979) "A hybrid wave prediction model". JourGeophys. Res. Vol 84.
- HASSELMAN et al (1973) "Measurements o wind" wave growth and swell decay during the joint Nort Sea Wave Project (JONSWAP). Deutsche Hydrographische. Zeitschrift. -Reihe A (8.º) Nr 12.
- HASSELMAN, K., D. B. ROSS, P. MULLER, and W. SELL (1976) "A parametric wave prediction model". Jour of Phys Ocean. Vol. 6.
- HOUMB, O. G. and OVERWIK, T. (1976) "Parametrización of wave spectra and long term joint distribution of wave height and period. Proceeding Boss' 76.
- OVERVIK, T. (1975) "First between empirical and Theoretical Spectra, and Parametrización of the Jonswap Spectrum". Thesis DW of Port and Ocean Eng. Norw. Inst. of Technology, Trondheim.
- PIERSON, W. J. and MOSKOWITZ, L. (1964) "A proposed Spectral From for fully-developed wind seas based on the similarity theory of Kitaigorodskii" Jour of Geophys. Res. n.º 29.
- RYE, H. (1974) "Wave Group Formation Among Storm Waves". Coast. Eng. Elsevier (Amsterdam).
- (1977) "The stability of some currently used wave parameters". Coast. Eng. 1 - Elsevier (Amsterdam).
- RYE, H., E. LERVIK (1981) "Wave grouping studied by means of correlation techniques". Hydrodynamics in Ocean Engineering Trondheim.
- RYE, H. and SWEE, R. (1976) "Parametric representation of a wind-wave field" (1976). Cost. Eng. Honolulu.

