

COMPARACION DE LOS DATOS VISUALES Y REGISTROS DE BOYAS DEL OLEAJE EN EL MAR DE ALBORAN

FRANCISCO JAVIER SANCHEZ PALOMAR (*)

JOSE MANUEL DE LA PEÑA OLIVAS (**)

RESUMEN. En el presente artículo se analizan las dos fuentes de datos de oleaje más usualmente utilizadas: los datos visuales del «National Weather Records Center» y los datos de boyas de la Red Española de Medida y Registro de Oleaje para el Mar de Alborán. Asimismo se proponen dos coeficientes, Ced y Kpc , como correctores, de forma aproximada, del oleaje y transporte sólido litoral respectivamente.

ABSTRACT. *At the present article, it is analysed the both sort of wave data that it is more usual used in Spain: wave observations of National Weather Records Center and automatic observing bouys of «Red Española de Medida y Registro de Oleajes» for Alboran Sea. Besides it is proposed two coefficients, Ced and Kpc , for correcting each other wave and solid litoral transpot.*

1. INTRODUCCION

Uno de los graves inconvenientes con que se enfrenta el ingeniero de costas, al abordar cualquier estudio litoral, es encontrar fuentes de información y datos fiables de la zona de estudio. Dichos datos se pueden obtener, o bien haciendo campañas de toma de datos en la naturaleza, cuando dichos datos no necesitan un tiempo prolongado de observación para que estadísticamente sean fiables, o acudiendo a bases de datos cuando el tiempo es factor fundamental en el conocimiento y fiabilidad de las variables que entran en juego.

El oleaje, agente fundamental en los procesos litorales, cae dentro del último de los grupos, siendo imprescindible su conocimiento para estudiar cualquier proceso costero. El tiempo necesario para obtener resultados fiables debe ser el máximo posible, debiendo prolongarse la toma de datos varios años para que los mismos sean estadísticamente fiables y den un conocimiento lo más exacto posible del oleaje en una zona determinada. Esto sólo es posible con un registro continuo y prolongado del oleaje.

Entre los registros de oleaje más comúnmente empleados, por el número de datos con que cuentan, en

España se encuentran: los suministrados por el «National Weather Records Center» (NWRC), situado en la localidad de Asheville, en el estado de Carolina del Norte, en EE. UU., y los facilitados por la Red Española de Medida y Registro de Oleaje (REMRO), situada en Madrid.

Una y otra fuente tienen diversas limitaciones e inconvenientes, no pudiendo analizarse conjuntamente de forma sencilla, debido primordialmente a que los datos del NWRC son direccionales y los de la REMRO escalares.

A continuación se van a estudiar someramente dichas fuentes de datos de oleaje, con las limitaciones que cada una de ellas posee. Seguidamente se analizará las limitaciones que poseen cada una de las fuentes mencionadas, para con posterioridad, tomando datos de una y otra fuente en el mismo lugar, comparar los resultados de las dos.

Para finalizar se obtendrán una serie de coeficientes correctores de los datos, para así uniformar la dos fuentes con las hipótesis que en el apartado correspondiente se presentan.

2. FUENTES DE DATOS DE OLEAJE

Las dos fuentes más comúnmente empleadas en la actualidad en España, suministradoras de datos de oleaje, son, como se ha descrito anteriormente: el NWRC, situado en Asheville-Carolina del Norte, en EE. UU., y la REMRO, situada en Madrid.

Los datos de oleaje provenientes del NWRC son observaciones tomadas por diferentes fuentes como: bar-

(*) Ingeniero Técnico de Obras Públicas, Jefe de Sección de la División de Estudios Litorales, Sector de Costas, del Centro de Estudios de Puertos y Costas.

(**) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos e Ingeniero Técnico de Obras Públicas, Jefe de la División de Estudios Litorales, Sector de Costas, del Centro de Estudios de Puertos y Costas.

cos en ruta, barcos meteorológicos, observaciones de boyas, etc. Los instrumentos de toma de datos utilizados han sido muy variados, pues dichos datos comenzaron a tomarse en el pasado siglo. En 1963, la «International Marine» estableció los cánones para establecer la manera en que debían tomarse los datos para una mejor informatización de los mismos.

Los datos vienen diferenciados según el tipo de oleaje, Sea o Swell, proporcionando para cada observación: la altura, el período y la dirección de la ola, así como las coordenadas geográficas del punto de observación.

La altura de ola suministrada por dichos datos, al ser éstos visuales, es la altura de ola significativa $H_{1/3}$, que, por otra parte, es la más corrientemente utilizada en el estudio de los procesos litorales.

La REMRO consta básicamente de un conjunto de boyas situadas en distintos puntos de la costa española, a poca distancia de ella y, por tanto, ancladas a una profundidad no excesiva. El número total de boyas es de 15, estando situadas en: el Cabo Silleiro, La Coruña, Gijón, Bilbao, Palamós, Valencia, Alicante, Cabo de Palos, Cabo de Gata, Málaga, Ceuta, Cádiz, Tenerife, Las Palmas y Mallorca. La profundidad de anclaje de las boyas oscila entre 21 y 90 m, lo que indica que todas ellas se encuentran en la plataforma continental.

Los datos suministrados por las boyas se procesan y uniformizan en el CEPYC en Madrid, proporcionando datos escalares en todos los casos. Para cada observación se facilita, entre otros, la altura de ola significativa $H_{1/3}$ y el período de ola.

3. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DISTINTAS FUENTES DE OLAJE

Los datos suministrados por el NWRC, como se ha descrito anteriormente, facilitan la altura y período de la ola, así como en la dirección que proviene y el tipo de oleaje que es. La altura de ola es la significativa $H_{1/3}$ y vienen agrupadas en intervalos escalonados de 0,5 m de amplitud, partiendo de 0,5 m hasta alcanzar los 49,5 m; las alturas de ola inferiores a 0,25 m la supone calmas. Los períodos de onda vienen expresados en escalones de 2 segundos; comenzando por valores menores de 5 segundos, hasta el último escalón para valores mayores de 21 segundos. Las direcciones del oleaje se ordenan en 36 husos de 10° . Todas las observaciones vienen separadas según sea el tipo de oleaje: Sea o Swell.

El sistema de toma de datos que utiliza la REMRO es sustancialmente distinto, así como la salida de datos que facilita; resumiéndose todo ello en que las boyas van transmitiendo continuamente las medidas del oleaje a una estación de tierra, ésta toma únicamente una muestra de 43 minutos cada 3 horas, en condiciones normales, y de 43 minutos cada hora si existe temporal. Cada muestra se procesa individualmente, procediéndose por el CEPYC a realizar el cálculo espectral y estadístico del oleaje con controles y filtros de eliminación de ruidos, etc. De la muestra procesada se obtiene entre

otros: el período de cruce, el período de cresta, las frecuencias $1/3$ de cresta y cruce, las alturas $1/3$ de cresta y cruce, las alturas máximas de cresta y cruce, la anchura espectral, el período óptimo, la altura significativa, las densidades espectrales, etc. Todo ello va adjuntado con la fecha y hora de toma de la muestra, así como el tiempo y la frecuencia de muestreo: dos puntos por segundo. Una vez procesadas todas las muestras de un mes, se pueden plasmar en diferentes tipos de salidas: curvas de estado del mar, listados, etc. A su vez todas ellas se almacenan en un banco de datos, pudiéndose, con total facilidad, realizar estudios de oleaje anuales o hiperanuales.

Una vez descrita someramente una y otra fuente, a continuación, y como consecuencia de lo antedicho, se exponen los inconvenientes y diferencias que pueden surgir entre cada una de las dos fuentes.

El principal inconveniente achacable a los datos del NWRC tiene dos vertientes: la primera de ellas es la heterogeneidad en la toma de datos; siendo la segunda el procesado de los mismos, dado que pasa por dos escalones, el realizado por el propio NWRC y el efectuado por cada organismo receptor de los datos, no existiendo, muchas veces, criterios homogéneos para su procesado. A su vez, la gran ventaja que posee este banco de datos reside en la cantidad y extensión, en espacio y tiempo, de las observaciones, además de proporcionar datos direccionales. Otro de los inconvenientes, aunque éste en menor medida, es la densidad de los datos, pues existen zonas de alta concentración de los mismos, coincidiendo generalmente con las rutas marítimas más utilizadas, disminuyendo dicha concentración en zonas poco transitadas por barcos o en las proximidades de la costa.

Los datos facilitados por la REMRO poseen el gran inconveniente de proporcionar datos escalares de oleaje, lo que obliga frecuentemente a no poderse utilizar para estudios costeros, donde el conocimiento direccional del oleaje es imprescindible; además los lugares de toma de datos son puntuales, existiendo una clara diferenciación de oleaje entre uno y otros puntos de toma de datos, añadiéndose que la extensión en tiempo de datos no es aún demasiado grande. Por contra, la ventaja que poseen éstos es la sistematización y continuidad en su adquisición, teniendo en todo momento una visión clara del clima marítimo que se está produciendo en el lugar de ubicación de las boyas, si bien ésta es escalar.

4. COMPARACION DE DATOS VISUALES Y DE BOYAS EN EL MAR DE ALBORAN

A la vista de lo expuesto en los puntos anteriores, se puede concluir que una y otra fuente de datos de oleaje son complementarias. En este artículo se pretende, a falta de un trabajo más riguroso, completo y extenso, buscar unos coeficientes que correlacionen las dos fuentes de datos de forma sencilla y práctica. Para ello se ha tomado el Mar de Alborán, dada la distorsión aparente que existe entre una y otra fuente.

El número de estaciones costeras con boyas de la REMRO en el Mar de Alborán son tres: Ceuta, Málaga y Cabo de Gata. Más una estación más en la boca de entrada del Mar de Alborán: Cabo de Palos. Se han elegido, por tanto, estas cuatro estaciones y sobre cada una de ellas una malla de datos visuales, con contornos, expresados en coordenadas geográficas de:

Ceuta:

- Boya: 35° 54' 12" N - 5° 19' 30" O
21 m de profundidad.
- Malla de datos: 35° 49' 48" - 36° N
5° 5' - 5° 25' 12" O.

Málaga:

- Boya: 36° 41' 30" N - 4° 25' O
25 m de profundidad.
- Malla de datos: 36° 31' 40" - 36° 42' N
4° 18' - 4° 30' O.

Cabo de Gata:

- Boya: 36° 42' 5" N - 2° 10' 32" O
55 m de profundidad.
- Malla de datos: 36° 36' 36" - 36° 43' 48" N
2° 4' 48" - 2° 15' O.

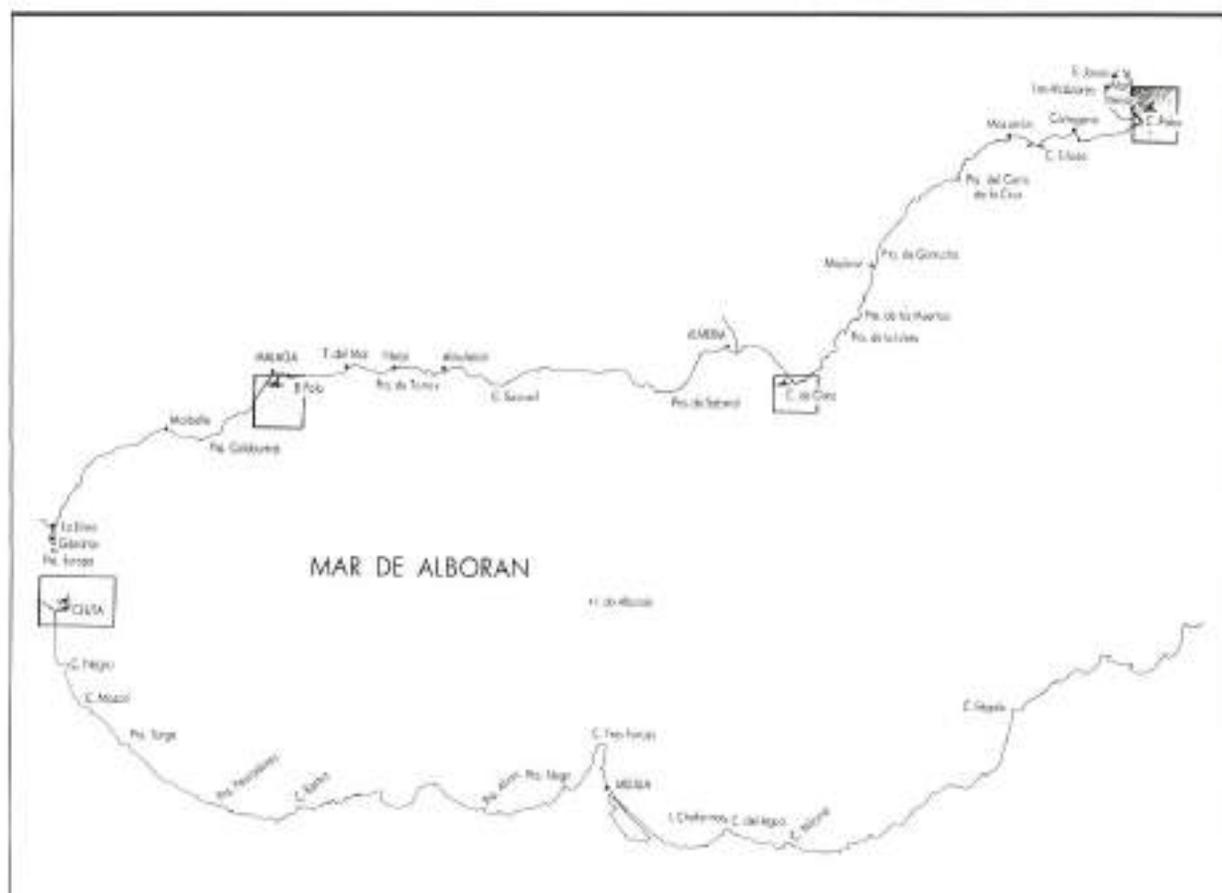
Cabo de Palos:

- Boya: 37° 39' 15" N - 0° 38' 18" O
67 m de profundidad.
- Malla de datos: 37° 34' 48" - 37° 45' N
0° 33' - 0° 43' 12" O.

Los datos obtenidos con cada una de las fuentes, procesados en el CEPYC, se presentan a continuación, teniendo en cuenta:

— Para los datos visuales:

1. Las calmas vienen incluidas en el primer escalón de alturas de ola, de 0 a 50 cm.
2. Los datos direccionales se han transformado en escalares.
3. El listado está compuesto por dos columnas: la primera corresponde a frecuencias relativas de cada escalón y la segunda a frecuencias acumuladas de excedencia de cada escalón.
4. Se supone calmas aquellas alturas de ola menores de 25 cm.
5. La altura de ola significativa máxima se supone inferior a 500 cm.
6. La unión de los datos visuales tipo Sea y tipo Swell se ha efectuado teniendo en cuenta la fre-



cuencia de presentación de cada uno de ellos; así las fórmulas de conversión en cada zona son:

Ceuta: 0,681 Sea + 0,319 Swell.
 Málaga: 0,647 Sea + 0,353 Swell.
 Cabo de Gata: 0,639 Sea + 0,361 Swell.
 Cabo de Palos: 0,615 Sea + 0,385 Swell.

- Al final aparece el número total de calmas, así como el porcentaje que éstas representan. Añadiéndose el número total de observaciones existentes en la malla elegida.

— Para los datos de boya:

- Todos los datos de oleaje se han transformado para presentarse con alturas de ola escalonadas por intervalos, al igual que aparecen los datos de oleaje.
- Las calmas vienen incluidas en el primer escalón de altura de ola, de 0 a 50 cm.
- Se supone calmas aquellas alturas de ola menores de 20 cm.
- El listado está compuesto, al igual que la presentación de los datos visuales, por dos columnas: la primera son las frecuencias relativas de cada escalón y la segunda son frecuencias acumuladas de excedencia de cada escalón.
- La altura significativa máxima se supone no superior a 500 cm.
- Al final aparece el número total de calmas, así como el porcentaje que éstas representan. Añadiéndose el número total de observaciones tomadas por la boya en cuestión.

De los datos que se muestran en los listados, representados en las gráficas adjuntas, tanto para frecuencias relativas como acumuladas, se desprende:

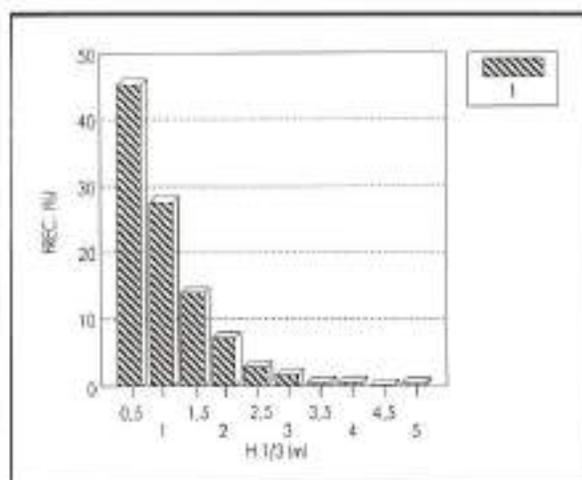
- En Ceuta, los datos visuales dan altura de ola mayores que la boya, estando más repartida la frecuencia de presentación para cada escalón de altura de ola. Así, los datos de la boya dan para el primer escalón (0-0,5 m) una frecuencia de presentación del 81,46 %, de la cual el 41,26 % corresponde a calmas, mientras que los datos visuales arrojan una frecuencia de presentación para el mismo escalón del 45,34 % de ellos el 11,25 % son de calmas.
- En Málaga ambas fuentes de datos siguen una tónica parecida a la observada en Ceuta, dando alturas de ola mayores en los registros visuales, > 5 m, que la boya, no habiéndose registrado alturas mayores de 4 m. Las frecuencias de presentación para los escalones de altura de ola van distanciándose progresivamente desde el escalón de 0,5 a 1 m, donde las frecuencias son similares. También se puede apreciar una gran diferencia entre los porcentajes de calma de uno y otro registro; así, los datos visuales dan el 16 % de calmas, frente a un 38,98 % de calmas en el registro de boyas.
- En el Cabo de Gata los datos suministrados por ambas fuentes, como se puede apreciar, se aproximan; si bien para escalones de alturas mayores aumenta la diferencia entre sus frecuencias respectivas de presentación. Las calmas, contrariamente a lo que sucede en Ceuta y Málaga, son mayores en los datos

FRECUENCIAS DE PRESENTACION DE ALTURAS DE OLA CON DATOS VISUALES

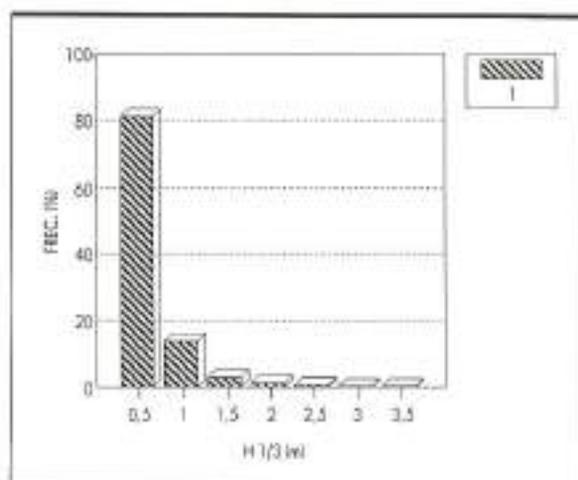
ALTURA DE OLA (m)	CEUTA (%)		MALAGA (%)		CABO DE GATA (%)		CABO DE PALOS (%)	
	REL.	ACU.	REL.	ACU.	REL.	ACU.	REL.	ACU.
0,0 - 0,5	45,34	45,34	69,36	69,36	37,29	37,29	46,21	46,21
0,5 - 1,0	27,65	72,69	16,93	86,29	24,69	61,98	28,51	74,72
1,0 - 1,5	13,88	86,87	6,51	92,80	13,68	75,66	12,51	87,23
1,5 - 2,0	7,22	91,09	4,28	97,08	11,40	87,06	7,32	94,55
2,0 - 2,5	2,76	96,85	1,34	98,42	5,04	92,10	2,62	97,17
2,5 - 3,0	1,64	98,49	0,72	99,14	3,20	95,30	1,57	98,74
3,0 - 3,5	0,50	98,99	0,21	99,35	1,91	97,21	0,71	99,45
3,5 - 4,0	0,39	99,38	0,10	99,45	1,56	98,77	0,20	99,65
4,0 - 4,5	0,10	99,48	0,11	99,56	0,38	99,15	0,05	99,70
4,5 - 5,0	0,31	99,79	0,10	99,66	0,52	99,67	0,05	99,75
CALMAS	11,25		16,00		10,23		11,00	
TOTAL OBS.	3.840		1.937		5.501		1.982	
TOTAL CALMAS	432		310		563		218	

FRECUENCIAS DE PRESENTACION DE ALTURAS DE OLA EN BOYA

ALTURA DE OLA (m)	CEUTA (%)		MALAGA (%)		CABO DE GATA (%)		CABO DE PALOS (%)	
	REL.	ACU.	REL.	ACU.	REL.	ACU.	REL.	ACU.
0,0 - 0,5	81,46	81,46	78,93	78,93	40,77	40,77	33,67	33,67
0,5 - 1,0	13,65	95,11	15,48	94,41	37,29	78,06	44,15	77,82
1,0 - 1,5	2,92	98,03	3,50	97,91	14,21	92,27	14,67	92,49
1,5 - 2,0	1,25	99,28	1,24	99,15	4,64	96,91	4,66	97,15
2,0 - 2,5	0,46	99,74	0,52	99,67	1,59	98,50	1,69	98,84
2,5 - 3,0	0,19	99,93	0,25	99,92	0,73	99,23	0,63	99,47
3,0 - 3,5	0,07	99,99	0,07	99,99	0,40	99,63	0,29	99,76
3,5 - 4,0	0,00	99,99	0,01	100,00	0,13	99,76	0,08	99,84
4,0 - 4,5	0,00	99,99	0,00	100,00	0,12	99,88	0,09	99,93
4,5 - 5,0	0,00	99,99	0,00	100,00	0,12	100,00	0,07	100,00
CALMAS	41,26		38,98		5,38		6,40	
TOTAL OBS.	9.205		9.891		3.272		10.082	
TOTAL CALMAS	3.789		3.855		176		645	



DATOS VISUALES. CEUTA.



HISTOGRAMA DE BOYAS. CEUTA.

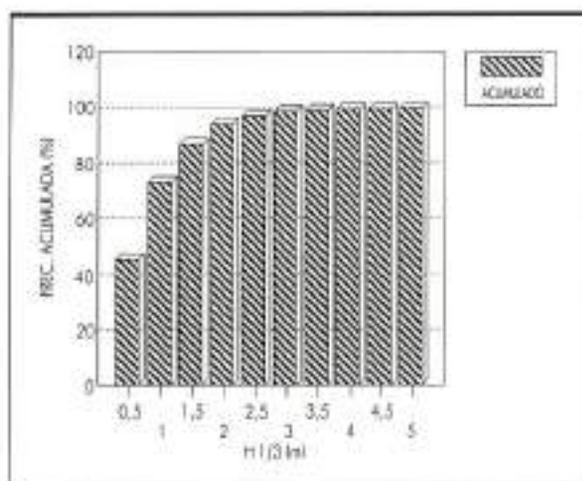
visuales, 10,23 %, que en el registro de la boya, 5,38 %.

- En el Cabo de Palos las diferencias observadas en los anteriores puntos se van amortiguando más, aun cuanto mayores son las alturas. Igual sucede con las calmas, siendo mayor su frecuencia de presentación para los datos visuales, 11 %, frente al 6,40 % registrado en la boya.

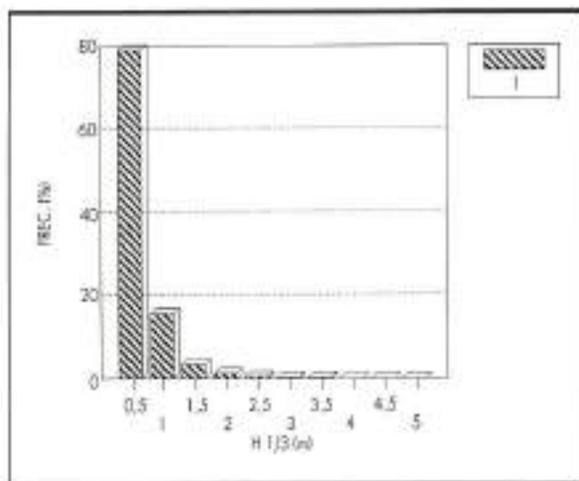
Cabe finalmente terminar diciendo que cuando más se interna en el Mar de Alborán, mayor diferencia existe entre uno y otro registro, por lo que parece apropiado adaptar o corregir los datos visuales para su uso, dado que si no se estaría mayorando el oleaje.

5. COEFICIENTES CORRECTORES

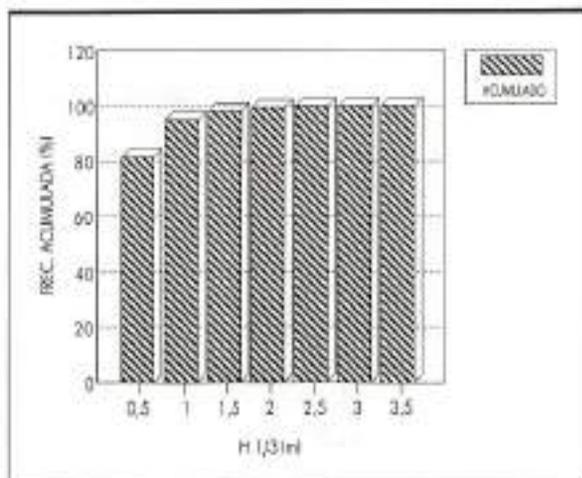
Para valorar cuantitativamente las diferencias entre



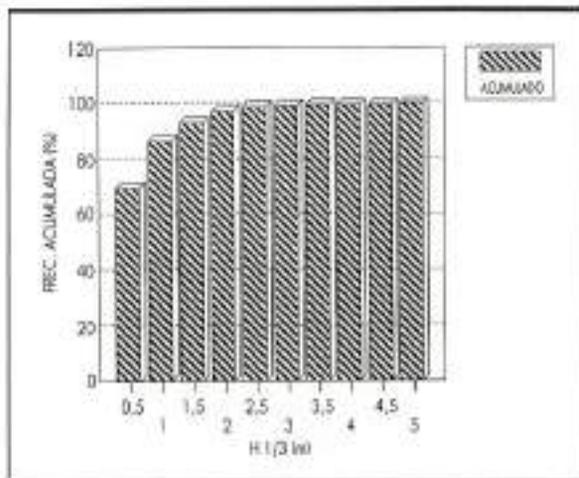
DATOS VISUALES. CEUTA.



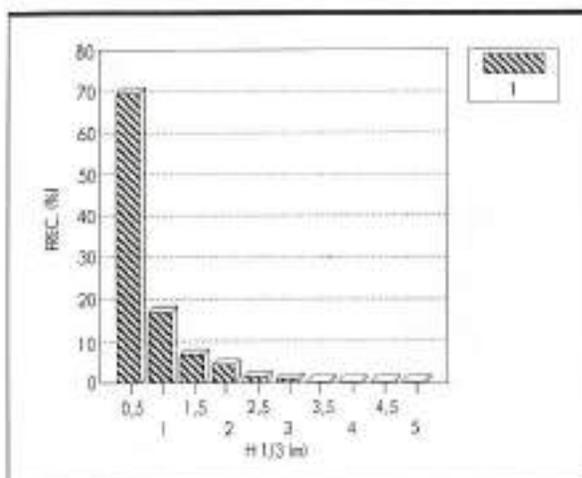
HISTOGRAMA DE BOYAS. MALAGA.



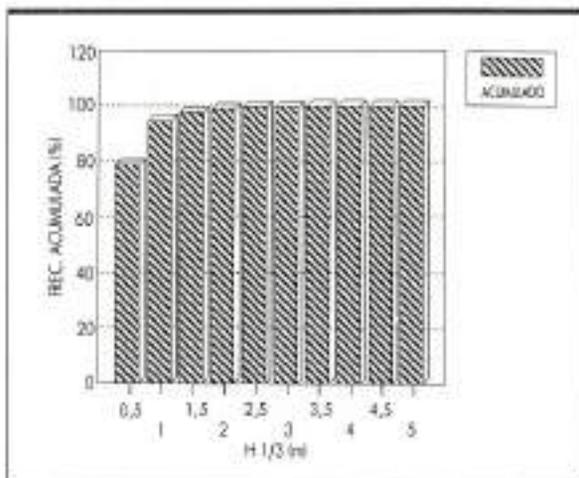
HISTOGRAMA DE BOYAS. CEUTA.



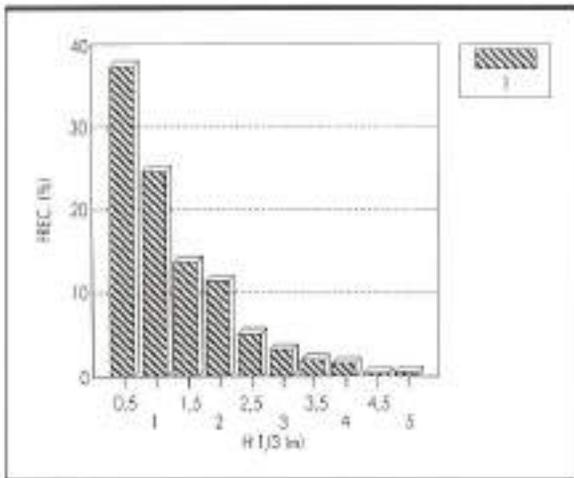
DATOS VISUALES. MALAGA.



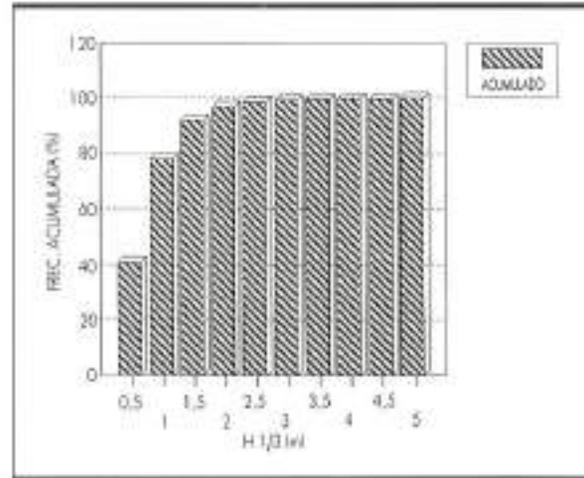
DATOS VISUALES. MALAGA.



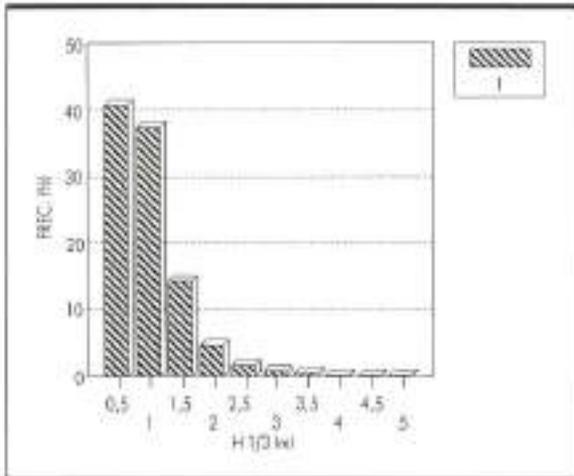
HISTOGRAMA DE BOYAS. MALAGA.



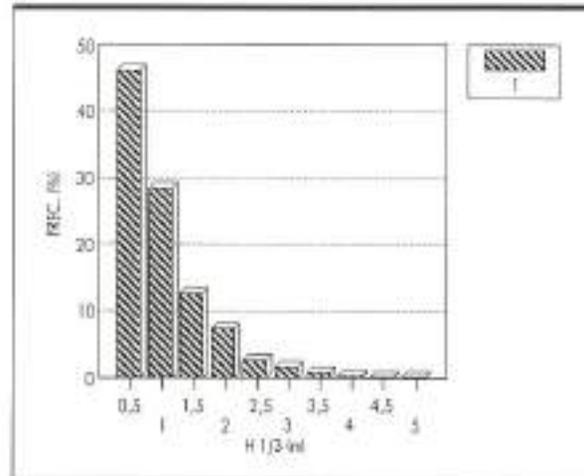
DATOS VISUALES. CABO DE GATA.



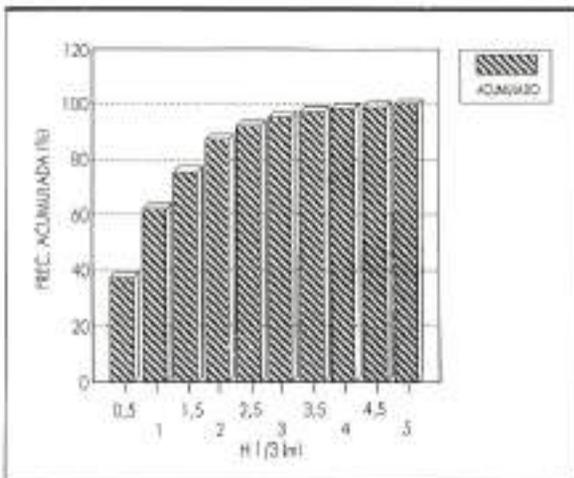
HISTOGRAMA DE BOYAS. CABO DE GATA.



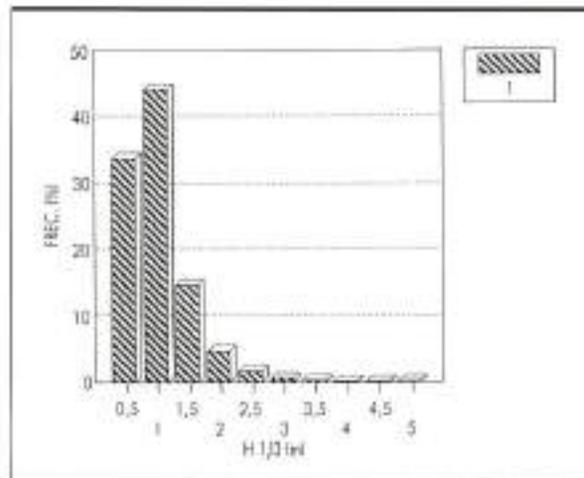
HISTOGRAMA DE BOYAS. CABO DE GATA.



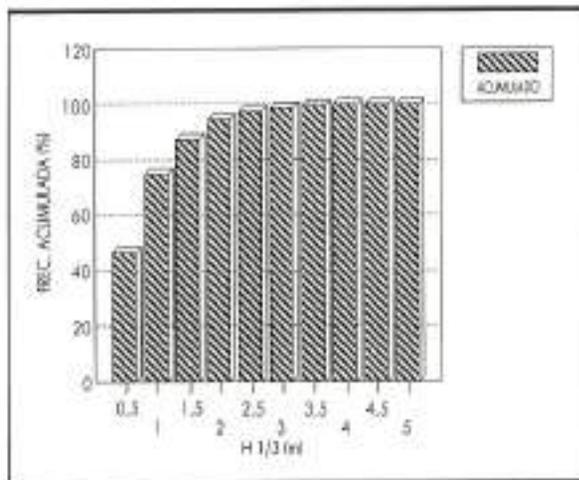
DATOS VISUALES. CABO DE PALOS.



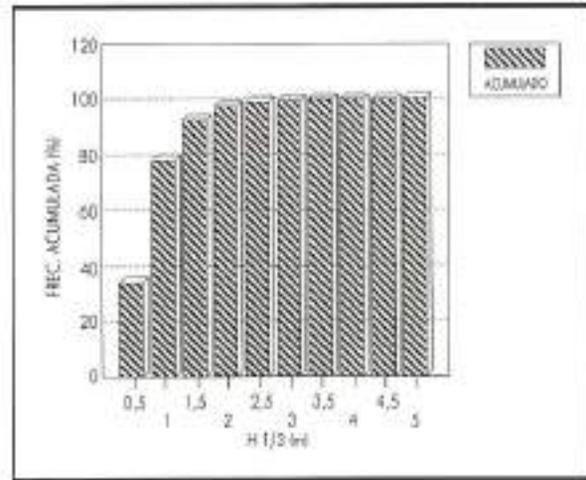
DATOS VISUALES. CABO DE GATA.



HISTOGRAMA DE BOYAS. CABO DE PALOS.



DATOS VISUALES. CABO DE PALOS.



HISTOGRAMA DE BOYAS. CABO DE PALOS.

ambos registros se ha calculado la relación existente entre las frecuencias de presentación entre los datos suministrados por la boyas y los facilitados por los datos visuales, insertándose a continuación en el cuadro adjunto.

RELACION ENTRE LAS FRECUENCIAS DE PRESENTACION DE ALTURA DE OLA EN BOYAS Y DATOS VISUALES				
H 1/3 [m]	FRECUENCIA EN BOYA/FRECUENCIA DATOS VISUALES			
	CEUTA	MALAGA	CABO DE GATA	CABO DE PALÓS
0,0 - 0,5	1,798	1,138	1,093	0,729
0,5 - 1,0	0,494	0,914	1,510	1,549
1,0 - 1,5	0,210	0,538	1,039	1,172
1,5 - 2,0	0,173	0,290	0,408	0,637
2,0 - 2,5	0,165	0,384	0,315	0,642
2,5 - 3,0	0,119	0,350	0,229	0,406
3,0 - 3,5	0,131	0,340	0,208	0,408
3,5 - 4,0	0,000	0,097	0,078	0,391
4,0 - 4,5	0,000	0,000	0,319	1,780
4,5 - 5,0	0,000	0,000	0,235	1,380
CALMAS	3,667	2,436	0,526	0,582

El problema práctico que generalmente se presenta es adaptar los datos visuales a los registros de boyas, dado que estos últimos, por todo lo expresado en los anteriores apartados, parece que se ajustan más a la realidad.

Para ello se han calculado dos coeficientes correctores para adaptar los resultados obtenidos con los datos visuales a los que se obtendría utilizando los registros de las boyas, de forma muy aproximada y práctica, si éstas suministrasen los datos por direcciones, suponiendo, como anteriormente se ha escrito, que las diferencias en los registros, así como los registros en sí de las boyas, se distribuyen direccionalmente del mismo modo que lo hacen los datos visuales.

Los dos coeficientes, *Ced* y *Kpc*, corrigen:

- Las frecuencias de presentación de cada escalón de altura de ola, siendo su expresión matemática:

$$Ced = Hi \cdot FV/Hi$$

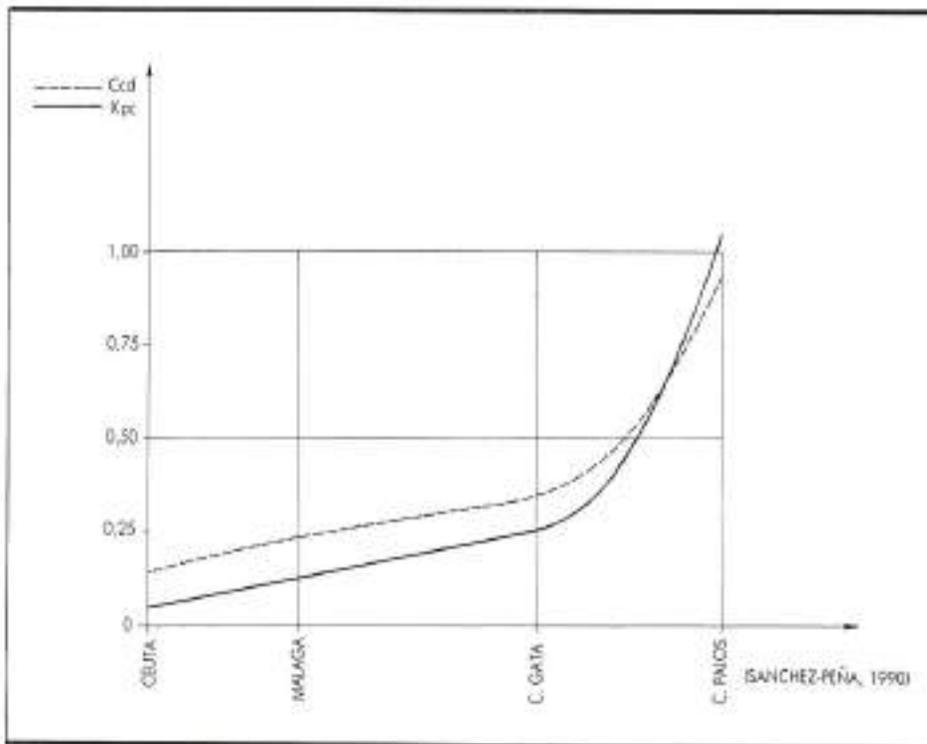
- La capacidad de transporte, calculada con los datos visuales, siendo su expresión matemática:

$$Kpc = (Hi)^{3/2} \cdot FV/(Hi)^{3/2}$$

Tanto uno como otro coeficiente corrector se han calculado para las estaciones, reiteradamente utilizadas en este estudio, situadas en el Mar de Alborán y que poseen boya de registro de oleaje. Los valores de cada uno de los coeficientes para dichas estaciones son:

	CEUTA	MALAGA	CABO DE GATA	CABO DE PALÓS
<i>Ced</i>	0,136	0,235	0,347	0,933
<i>Kpc</i>	0,047	0,129	0,252	1,041

Para los puntos intermedios situados en las costas españolas del Mar de Alborán, entre Ceuta y el Cabo de Palos, los coeficientes *Ced* y *Kpc* se pueden determinar mediante las gráficas adjuntas.



Coefficientes correctores de uso de los datos visuales en las costas españolas del Mar de Alborón.