

Congestión en canales de puertos deportivos^(*)

Por RAFAEL SOLER GAYA

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

En base a diversas observaciones realizadas en instalaciones portuarias deportivas de la Bahía de Palma de Mallorca, durante el verano de 1983, expone el autor algunos parámetros, ajustados a las costumbres de las flotas de aquella localidad, que permiten determinar los "índices de congestión" y los "índices de inconveniencia" que usualmente se utilizan para cifrar la calidad de los canales de entrada y salida de las instalaciones deportivas desde el punto de vista del tráfico.

1. EVALUACION DE LA CALIDAD DE LOS CANALES

Las entradas y salidas de los barcos deportivos o de recreo en los puertos o instalaciones portuarias no se producen de un modo uniforme sino que, sea por las costumbres del país o por las horas de presentación de las brisas, hay movimientos acentuados a determinadas horas. Por ello, la calidad de las bocas o canales, desde el punto de vista del tráfico, se evalúa con los índices de que se tratará.

1.1. Criterio legal

El Reglamento de la Ley de Puertos Deportivos, aprobado por Real Decreto 2.486/80 de 26 de septiembre, establece en el punto 4 de su artículo 3.º que la «congestión» en la entrada de los puertos deportivos no será mayor de 35 interferencias por hectárea a cualquier hora del día, de acuerdo con el índice de J. M. Nichol y A. L. Ely (1). Este índice es de aplicación a la navegación a vela, pero estos autores también tratan de otro —que no contempla el Reglamento—

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de junio de 1984.

(1) Ely, Allen L., and Nichol, John M., «Congestion in Marina Entrance Channels Due to Sailboats», Journal of the Waterways, Harbor and Coastal Engineering Division, ASCE, vol. 99, No. W W 4, Proc. Paper 10137, November 1973, pp. 415-424. Los autores utilizan para longitudes millas terrestres, y para velocidad, los nudos; el índice se expresa en número de interferencias por acre y hora. Las fórmulas que más adelante se exponen son en unidades del sistema métrico con el correspondiente factor de conversión.

de gran interés para la navegación a motor, que es el índice de «inconveniencia».

1.2. Definición de los índices

El «índice de congestión» se define según sigue:

$$C = \frac{10 \cdot K \cdot Q \cdot Q_s \cdot L_p}{W^2 \cdot V_p}, \text{ donde:}$$

C = «índice de congestión» n número de encuentros por Ha. y hora.

K = coeficiente adimensional determinado por el ábaco de la figura 1 en función de la relación N entre el número de barcos a motor que salen y éstos más todos los que entran en el período de tiempo estudiado, y el ángulo que forma el viento reinante con el eje del canal (ángulo θ).



Vista aérea del Club de Mar (Mallorca), donde se aprecia el movimiento simultáneo de embarcaciones a través de su bocana.

CONGESTION EN CANALES DE PUERTOS DEPORTIVOS

Q = número total de barcos entrando o saliendo, excepto los que salen a vela en el período estudiado (hipótesis de viento en contra saliendo).

Q_s = número de barcos a vela que salen en el período estudiado (hipótesis de viento en contra saliendo).

L_p = longitud en metros del área de bloqueo del barco a motor de mayor eslora (puede cifrarse en tres esloras del mayor después de eliminar el 5 por 100 de los mayores).

W = anchura del canal de entrada o de los canales, en metros.

V_p = velocidad máxima a motor en Km/hora.

El «índice de inconveniencia» se define según sigue:

$$I = \frac{K \cdot Q_s \cdot L_p \cdot L}{1.000 W \cdot V_p}, \text{ donde:}$$

K , Q_s , L_p , W , V_p son los valores ya definidos, y

I = «índice de inconveniencia», en número de interferencias por barco a motor mientras atraviesa el canal.

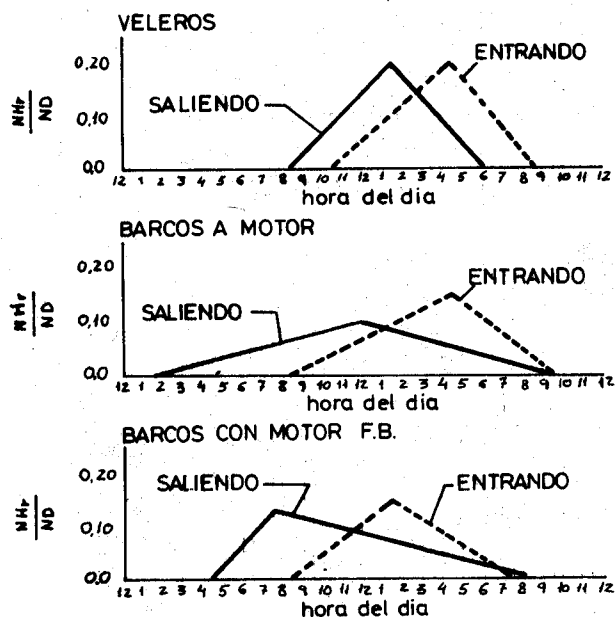
L = longitud del canal en metros.



Las tablas de vela constituyen una novedad en el estudio de la congestión de las bocas de entrada de los puertos.

Para la determinación del coeficiente K se recurre al cálculo previo del valor N para cada hora punta, según la figura 1, para entrar seguidamente en el ábaco de esta figura, que da el valor de K en función de determinadas hipótesis de presentación de viento y composición de flota.

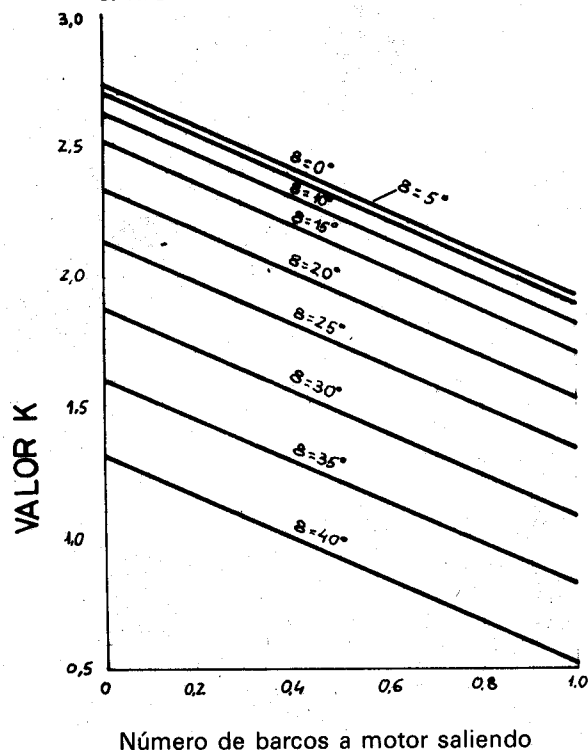
CALCULO PREVIO DE N



NHr = Número de barcos de cada clase que entran y salen por el canal por hora.

ND = Número de barcos de cada clase que entran o salen por el canal por día.

CALCULO DE K



N = Suma de barcos a motor saliendo más todos los que entran

Fig. 1.—Determinación del valor K .

1.3. Hipótesis admitidas

Este sistema de cálculo implica la previa aceptación de algunas hipótesis de los autores para determinar K, como son:

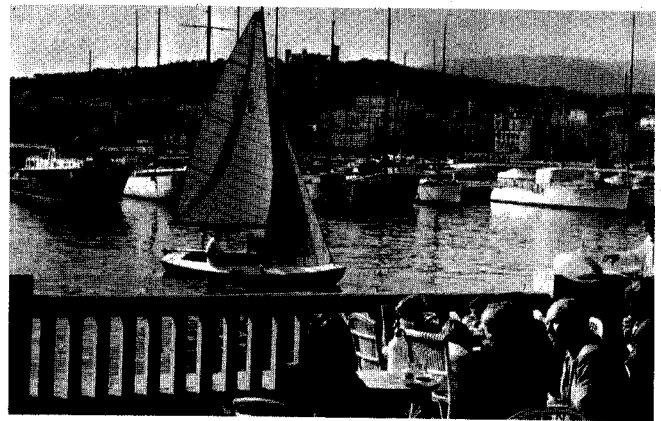
- 1.^a Que la relación de velocidades medias de motoras (V_p) y de veleros (V_v) es constante e igual a: $V_p = 1,6 V_v$.
- 2.^a Que la relación entre mangas de motoras (B_p) y esloras de motoras (L_p) es constante e igual a: $B_p = 0,333 L_p$.
- 3.^a Que la relación entre esloras de veleros (L_v) y esloras de motoras (L_p) es constante e igual a: $L_v = 0,3 L_p$.
- 4.^a Que la relación entre mangas de veleros (B_v) y esloras de motoras (L_p) es constante e igual a: $B_v = 0,056 L_p$.
- 5.^a Por último, se admite que el ángulo que forma la dirección del viento con el rumbo del velero (ceñido) es de 45° .

A las hipótesis anteriores, que dan lugar a las fórmulas y pudieran considerarse universales, hay que añadir otras que ya dependen, en gran medida, de las costumbres locales o de las características del puerto; tales son las que se refieren a los horarios de entradas y salidas, que influyen en la determinación del valor de N y las descomposiciones de las flotas de los distintos puertos entre las tres clases de barcos contemplados, a saber: «veleros», «barcos a motor» y «barcos con motor fuera borda».

1.4. Incidencia del «windsurfing» y de los artefactos turísticos

Pero, además, durante los últimos años, sobre todo en los puertos deportivos que se encuentran adosados a playas muy concurridas, se da un fenómeno difícilmente encajable en las hipótesis anteriores, como es el de la presentación de las tablas de vela («windsurfing») y de los «artefactos flotantes».

Las tablas de vela son asimilables, en cierto modo, a los veleros, aun cuando sus dimensiones escapan a las hipótesis de medias antes señaladas. Pero donde más influye la perturbación del «windsurfing» es en la costumbre de que gran número de tablas utilizan frecuentemente las bocas de los puertos deportivos sea por rea-



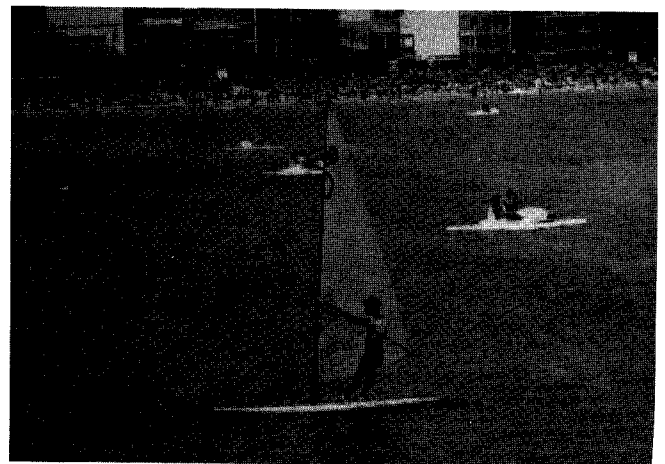
Los anchos de canal en las zonas de planchas y pantalanes deben determinarse considerando el resguardo de los amarres de proa.

lizar repetidos y cortos recorridos, sea para disfrutar del relativo abrigo de esta zona.

Los artefactos flotantes, denominados según las localidades «pedalos» o «velomares», escapan también a las hipótesis por un doble motivo: por no encajar dentro de las dimensiones geométricas previstas y por su bajísima velocidad, que les constituye en uno de los obstáculos más importantes.

1.5. Parámetros para la evaluación

Al objeto de cifrar el alcance de estas perturbaciones, y de hallar cuales podrían ser los porcentajes de movimientos y los polígonos de frecuencias de entradas y salidas de las diferentes clases de barcos —para ajustar el cálculo previo



Los artefactos flotantes constituyen un serio obstáculo en las bocas de puertos deportivos próximos a las playas.

de N— fueron realizadas, entre otras, dos tandas de observaciones durante el verano de 1983, aprovechando los largos fines de semana que suponía el ser lunes los días festivos 25 de julio y 15 de agosto. Fueron realizadas así dos triples tandas de observaciones los días 23, 24 y 25 de julio y 13, 14 y 15 de agosto, con el auxilio de alumnos de la Escuela de Náutica de Palma de Mallorca y de la de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, distribuyéndose las observaciones en tres turnos diarios, ajustándolas a unos formatos preestablecidos.

2. OBSERVACIONES EFECTUADAS

2.1. Puntos de observación

Se realizaron en las principales instalaciones portuarias deportivas de la Bahía de Palma, a saber: El Arenal, San Antonio de la Playa (Ca'n Pastilla), Portitxol, y el propio Puerto de Palma, separando las de la zona del Clb de Mar de las de la del Club Náutico. Este conjunto de instalaciones alberga un total de 3.329 barcos distribuidos en 587 veleros, 1.850 barcos a motor y 892 fuera bora; también se encuentran en ellas, o en las costas inmediatamente próximas, un total de 146 artefactos flotantes y 289 tablas de vela (aun cuando en la Bahía existan muchas más). En consecuencia, el total de elementos controlados fue de 3.764.

2.2. Clase de observaciones

Se corresponden con los tipos de barcos que se consideran para el cálculo de C y del valor N, y, además, las tablas de vela y los artefactos. Todo ello con unos estados formados con los criterios siguientes.

Veleros (casilla 1.1.).—Son los barcos sin motor dotados de arboladura y de aparejos para velas. Se exceptúan las tablas.

Tablas de vela (casilla 1.2.).—Concepto preciso que no exige mayor explicación.

Motor puros (casilla 2.1.).—Barcos a motor sin arboladura ni aparejos y, por ello, de imposible navegación a vela.

Motor mixtos (casilla 2.2.).—Barcos a motor con arboladura y aparejos, por lo que tanto pueden navegar a motor como a vela.

Total motor (casilla 2.).—La suma de las casillas 2.1 y 2.2.

Fuera borda puros (2.1.).—Barcos dispuestos con este tipo de propulsión sin arboladura ni aparejos, por lo que no pueden navegar a vela.

Fuera borda mixtos (casilla 3.2.).—Barcos con propulsión de este tipo pero, además, con arboladura y aparejos que les permite navegar a vela.

Total fuera borda (casilla 3.).—La suma de las casillas 3.1 y 3.2.

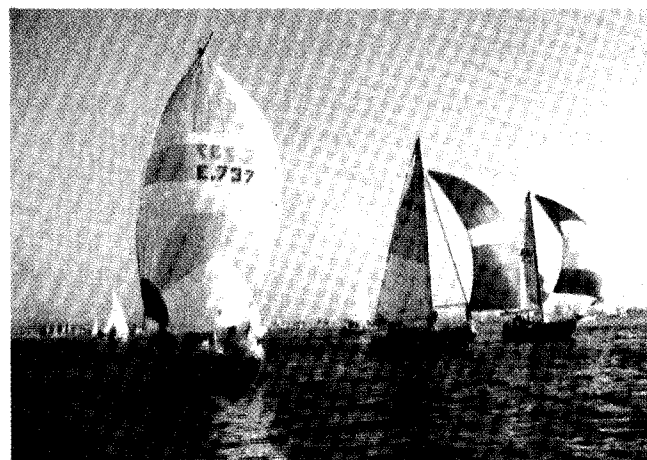
Mercantes (casilla 4.1.).—Barcos dedicados al transporte de mercancías, pasajeros, excursiones o trabajos.

Pesca (casilla 4.2.).—Barcos dedicados a la pesca profesional (lista 3.^a).

Artefactos (casilla 4.3.).—Toda suerte de elementos flotantes accionados por pedales o remos; en especial los que alquilan en las playas para turistas.

Otros barcos (casilla 4.).—La suma de las casillas 4.1, 4.2 y 4.3.

Previo a las observaciones fue realizado el «aforo» de barcos de cada uno de los conceptos de estas casillas, en cada una de las cinco zonas de observación; debe aclararse, sin embargo, que en las anotaciones de las encuestas u observaciones fueron considerados «veleros» todos los barcos que izan la vela a la vista del observador, aun alcanzando la boca del puerto.



En las encuestas se han considerado «veleros» todos los barcos que izan la vela a la vista del observador, aun cuando rebasen la boca del puerto.

Los observadores tomaron nota en cada casilla del movimiento de entrada y salida que existía en cada media hora; todo ello para preparar el valor de la frecuencia en cada intervalo de clase en el polígono de frecuencias correspondiente a los movimientos de cada día (período de veinticuatro horas), de tal modo que en ordenadas se disponía el porcentaje de movimientos sobre el total. Estos polígonos de frecuencia fueron realizados para cada día y, a su vez, para las medias de todos los días y, por último, para las medias de todas las instalaciones (valores globales).

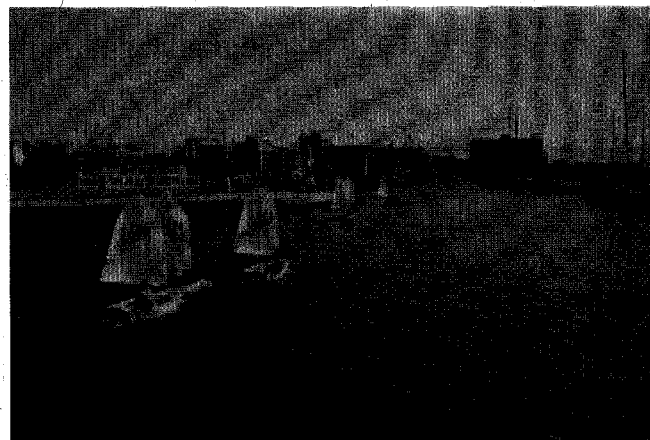
2.3. Costumbres de las flotas

De la observación de los polígonos de frecuencia se desprendió una primera conclusión: que las costumbres, muy variadas, dependían del tipo de usuario del puerto y que diferían de las americanas (ver fig. 1). En la figura 2 se esquematizan con horas legales los tres tipos asumibles y que pueden explicarse del siguiente modo.

Modalidad A.—Existen tres modas ocasionadas por producirse tres horas de máximo movimiento: una primera, en la mañana, en que salen barcos de recorrido relativamente lejano, por ejemplo excursiones largas o motivadas por la pesca; otra a media mañana, cuando salta la brisa, en que se producen salidas de entrenamientos o de regatas, o de veraneantes que acuden a lugares próximos a tomar baños y, por último, otra, a primera hora de la tarde, en que se producen entrenamientos o regatas en segunda tanda o quienes acuden a bañarse por la tarde.

Modalidad B.—En ella existen solo dos modas, ya que la tercera es poco acusada o queda prácticamente anulada, sea por no organizarse regatas por la tarde o por no existir la costumbre de salidas vespertinas.

Modalidad C.—En ella existe una sola moda, que corresponde a una hora avanzada de la mañana; en estos puertos no existen usuarios de largo recorrido que salgan a pescar en la madrugada, ni, tampoco, actividades apreciables durante la tarde; los barcos únicamente tienen movimientos masivos en las horas del baño matutino o de regatas.



La práctica de las regatas supone puntas acusadas en la entrada y salida de los puertos deportivos.

En la tabla I se definen las modalidades de cada instalación portuaria.

Otra observación interesante fue que las flotas pesquera y mercante, en las dos observaciones del puerto de Palma, prácticamente pueden

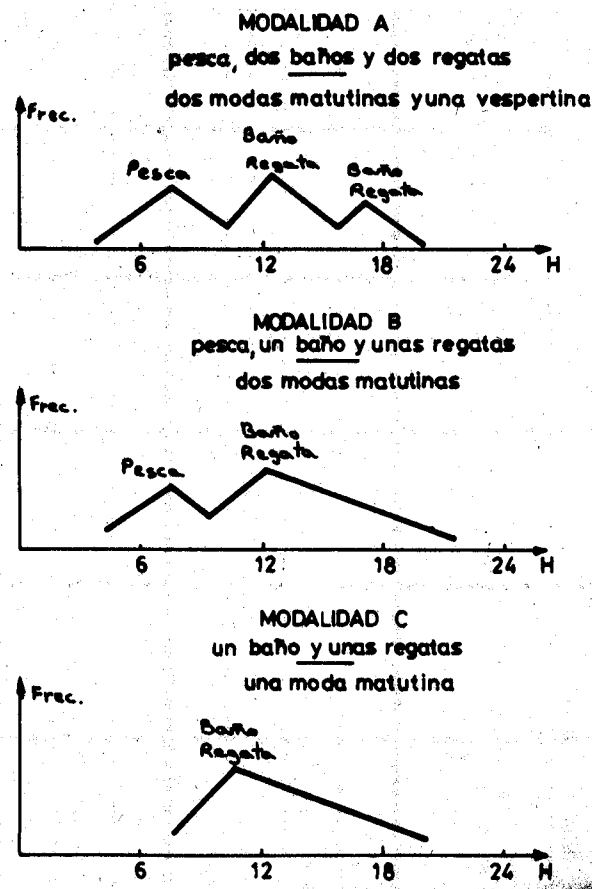


Fig. 2.—Distintas costumbres de puertos deportivos.

CONGESTION EN CANALES DE PUERTOS DEPORTIVOS

TABLA I

MODALIDADES DE COSTUMBRES DE LAS FLOTAS

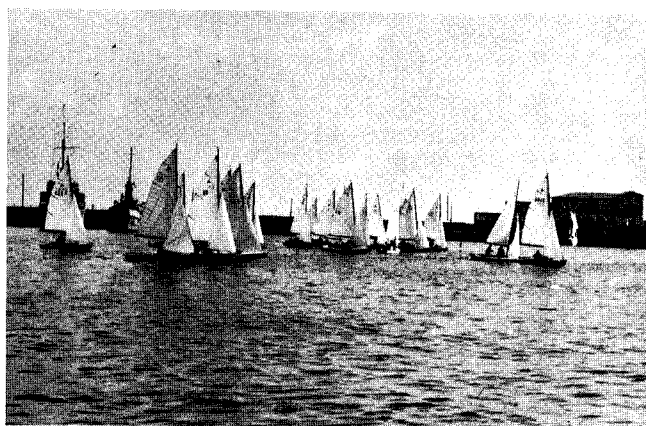
Forma de los polígonos de frecuencias de entradas y salidas

FECHAS	DIAS	CLASE DE BARCOS	R.C. NAUTICO				CLUB DE MAR				PORTITXOL				S. ANTONIO PLAYA				EL ARENAL			
																						
			E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
23-7-83	SABADO	VELEROS	X	X			X	X					X	X			X	X			X	X
		MOTOR			X	X			X	X			X	X			X	X			X	X
		F.B.			X	X			X	X			X	X			X	X			X	X
		OTROS	X	X			-	-	-	-	-	-	-	-	X	X			X	X		
24-7-83	DOMINGO	VELEROS	X	X			X	X			-	-	-	-	X	X					X	X
		MOTOR			X	X			X	X			X	X			X	X			X	X
		F.B.	X	X					X	X	X	X					X	X			X	X
		OTROS	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X			X	X			X	X		
25-7-83	LUNES FIESTA	VELEROS	X	X			-	-	-	-	X	X			X	X					X	X
		MOTOR			X	X			X	X			X	X			X	X			X	X
		F.B.	X	X					X	X	X	X					X	X			X	X
		OTROS	X	X			-	-	-	-	-	-	-	-			X	X	X	X		
10-8-83	MIERCOLES LAB.	VELEROS	X	X			X	X			-	-	-	-			X	X			X	X
		MOTOR			X	X	X	X					X	X	-	-	-	-			X	X
		F.B.	-	-	-	-	X	X			-	-	-	-			X	X			X	X
		OTROS	X	X			-	-	-	-	-	-	-	-			X	X	X	X		
14-8-83	VIERNES	VELEROS	X	X			-	-	-	-	-	-	-	-	X	X					X	X
		MOTOR			X	X			X	X	X	X					X	X			X	X
		F.B.			X	X			X	X	X	X			X	X					X	X
		OTROS	X	X			X	X			-	-	-	-	-	-	-	-	X	X		
13-8-83	SABADO	VELEROS	X	X			X	X			X	X			X	X					X	X
		MOTOR			X	X	X	X					X	X			X	X			X	X
		F.B.	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X					X	X			X	X
		OTROS			X	X	X	X			-	-	-	-	-	-	-	-	X	X		
14-8-83	DOMINGO	VELEROS	X	X			-	-	-	-	X	X			X	X					X	X
		MOTOR			X	X			X	X	X	X					X	X			X	X
		F.B.	X	X			X	X			X	X					X	X			X	X
		OTROS	X	X			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X		
15-8-83	LUNES FIESTA	VELEROS	X	X			-	-	-	-	X	X					X	X			X	X
		MOTOR			X	X			X	X			X	X			X	X			X	X
		F.B.			X	X	-	-	-	-	X		X		X	X					X	X
		OTROS	X			X	X	X			-	-	-	-			X	X	X	X		
DIA MEDIO		VELEROS	X	X			X	X			X	X			X						X	X
		MOTOR			X	X			X	X			X	X			X	X			X	X
		F.B.			X	X	X	X			X	X			X	X					X	X
		OTROS	X	X			X	X			X	X					X	X	X	X		

E= entradas

S= salidas

X̄ = 3 modas



Los barcos deportivos no constituyen serios obstáculos para el tráfico comercial.

ignorar la flota deportiva y de recreo, pues, en virtud de las jornadas laborales, las horas punta, o modas, no coinciden.

2.4. Simplificación de polígonos de frecuencia

De los datos recogidos se desprende que entre dos modas de frecuencia de movimientos existe, en general, una hora en que el movimiento de barcos es prácticamente nulo; ello sugiere unos polígonos de frecuencia simplificados que, tomando como modas aquellos valores de los porcentajes máximos obtenidos, adopten la forma de dos pares de rectas tales, que pasando por los puntos de máximo movimiento, el total de movimientos que definan sea el mismo, es decir, formen triángulos tales que la suma de movimientos que definen sea igual a los reales de las observaciones. En base a estas hipótesis, y considerando que el valor de la moda sea el x_i correspondiente al máximo y_i , si k es el número de intervalos m que recorre cada uno de los dos lados del triángulo del polígono, la recta de este lado queda definida por (figura 3)

$$y' - y_i = \text{tg}\alpha (x' - x_i)$$

donde $\text{tg}\alpha$ es el coeficiente angular de la recta, y si $(x' y')$ son las coordenadas de las rectas del polígono simplificado y $(x y)$ son los valores de las observaciones en el polígono real, se tendrá:

$$y_1 + y_2 + y_3 + \dots + \frac{1}{2} y_n = y'_1 + y'_2 + \dots + \frac{y_i}{2}$$

$$\sum_{n=1}^1 y = \sum_k^1 y'$$

$$x' = x_i$$

$$y' = y_i$$

$$x'_{i-1} = x_i - m$$

$$y'_1 = y_i - 1 m \text{ tg}\alpha$$

$$x'_{i-2} = x_i - 2 m$$

$$y'_2 = y_i - 2 m \text{ tg}\alpha$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$x'_{\text{borde}} = x_i - km$$

$$y'_k = y_i - km \text{ tg}\alpha = 0$$

$$\sum_k^1 y' = ky_i - m \frac{k(k+1)}{2} \text{ tg}\alpha$$

$$\text{y como } \text{tg}\alpha = \frac{y_i}{k m} \text{ es } \sum_{n=1}^1 y = ky_i - \frac{k+1}{2} y_i =$$

$$= \frac{k_y}{2} - \frac{y_i}{2}; k = \frac{y_i + 2 \sum_{n=1}^1 y}{y_i}$$

que permite conocer $\text{tg}\alpha$ y cada una de las rectas.

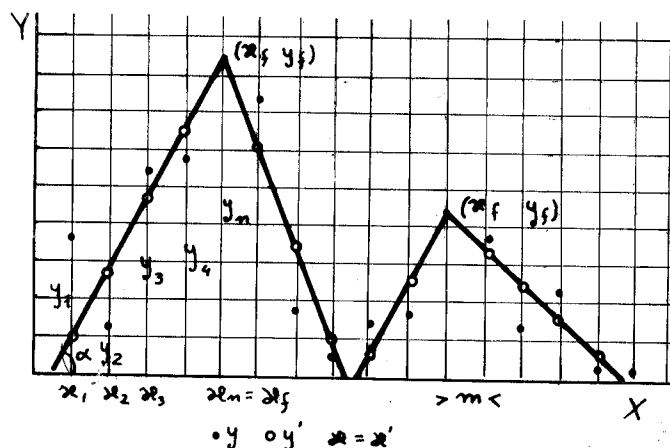
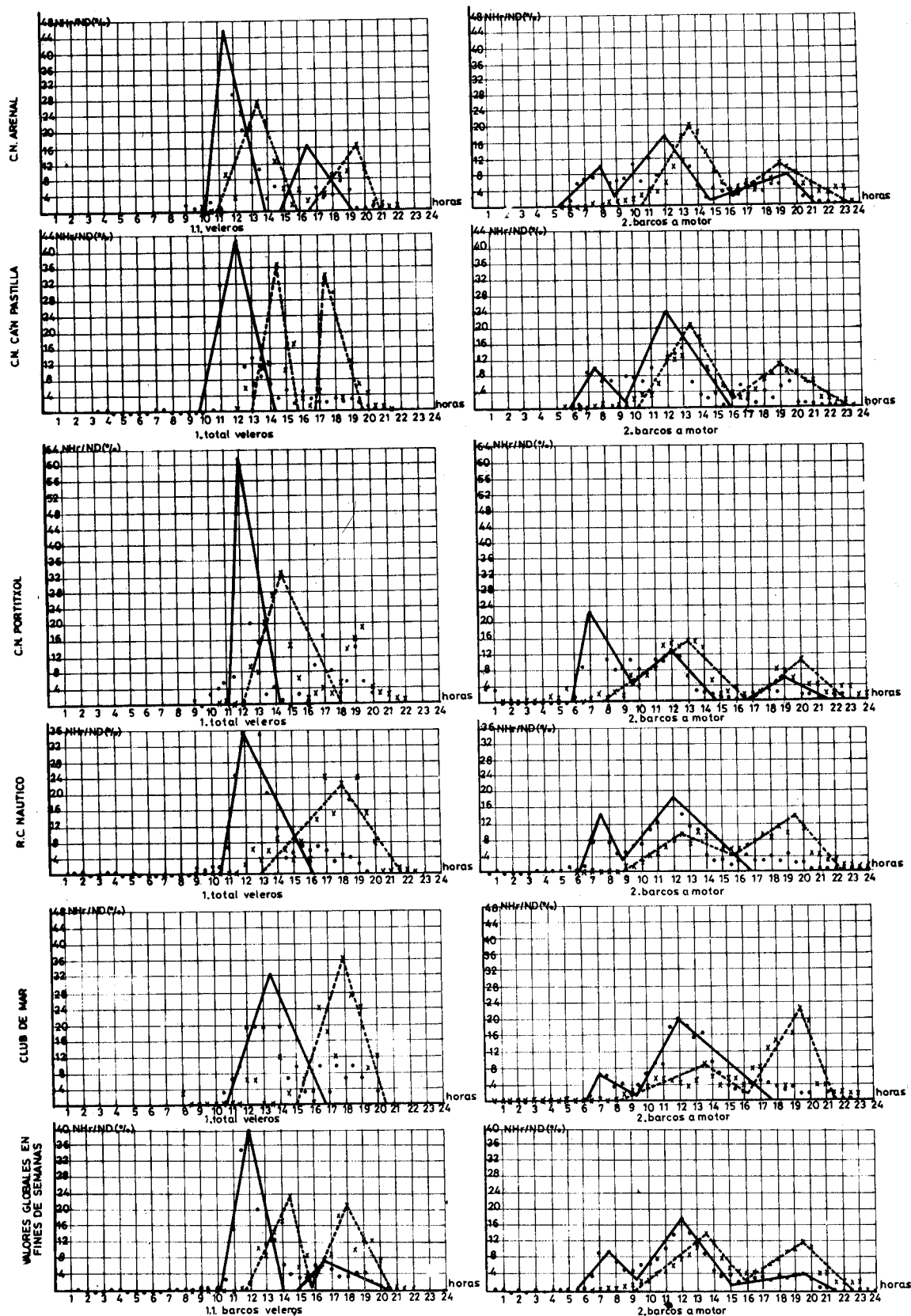


Fig. 3.—Simplificación de polígonos de frecuencia.

Aplicando esta fórmula a las cuatro clases de barcos contempladas resultan para los cinco centros de observación los polígonos de frecuencia que se definen en las figuras 4.1 y 4.2, donde se podrá comprobar la forma muy diferente que tienen según la costumbre de los usuarios del puerto. Estos polígonos corresponden a la media de los días de observación de fin de semana que ya han sido descritos anteriormente. También se hicieron unas observaciones en día laborable que, a su vez, difieren extraordinariamente de los resultados en días festivos y

CONGESTION EN CANALES DE PUERTOS DEPORTIVOS



NHr = Número de barcos de cada clase que entran y salen por el canal por hora.

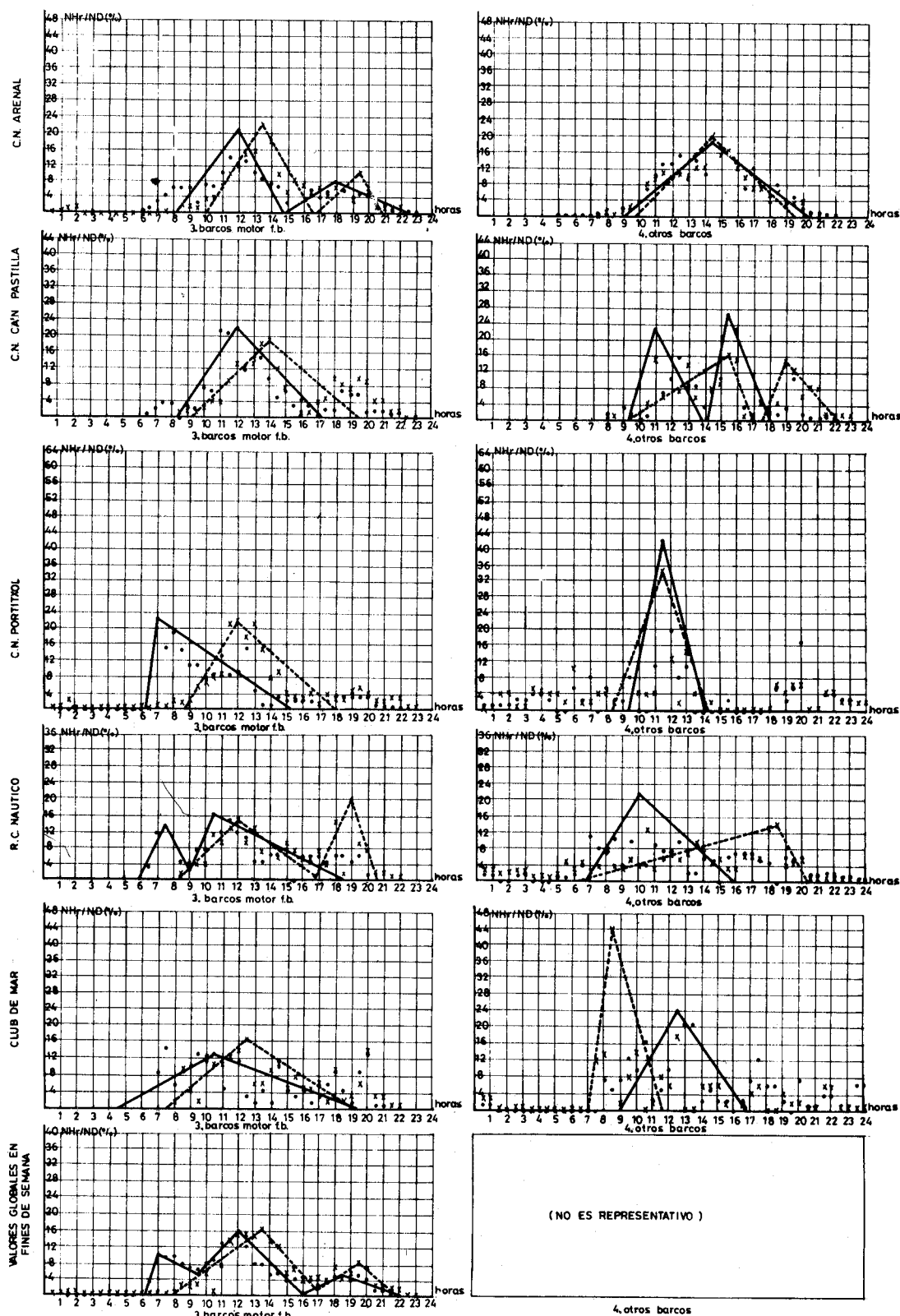
ND = Número de barcos de cada clase que entran o salen por el canal por día.

--- ENTRADAS X
— SALIDAS •

NOTA: Los puntos corresponden a intervalos de clase de media hora con porcentaje de frecuencia mitad.

Fig. 4.1.—Polígonos de frecuencias de valores medios.

CONGESTION EN CANALES DE PUERTOS DEPORTIVOS



NHr = Número de barcos de cada clase que entran y salen por el canal por hora.

ND = Número de barcos de cada clase que entran o salen por el canal por día.

----- ENTRADAS x
—— SALIDAS •

NOTA: Los puntos corresponden a intervalos de clase de media hora con porcentaje de frecuencia mitad.

Fig. 4.2.—Polígonos de frecuencias de valores medios.

CONGESTION EN CANALES DE PUERTOS DEPORTIVOS

de fin de semana, pero como los movimientos son notablemente inferiores carecen de interés para nuestros efectos.

Los polígonos de frecuencia de las cinco instalaciones deportivas de la bahía, vistas conjuntamente como si de un solo puerto se tratara (valores globales), se observan en las figuras 4.1 y 4.2, donde se han eliminado los correspondientes a las tablas de vela y a los artefactos flotantes por cuanto no son representativos en valores globales al afectar prácticamente solo a un puerto (típicamente de playa), como es el de El Arenal, cuyo polígono de frecuencias de movimientos de tablas de vela se muestra en la figura 5; comparados con los que han sido expuestos en la figura 1, formados en base a las informaciones de asociaciones americanas, se observan notables diferencias.

Por último, en la tabla II aparecen los distin-

tos porcentajes de movimientos de cada uno de los tipos de barcos sobre el aforo de las correspondientes instalaciones, así como el valor global, reseñando el tanto por 100 máximo que se mueve, el tanto por 100 mínimo y el que resulta como valor medio, todo ello referido a un día.

En esta tabla aparecen más del 100 por 100 que se mueven en tablas de vela y en artefactos

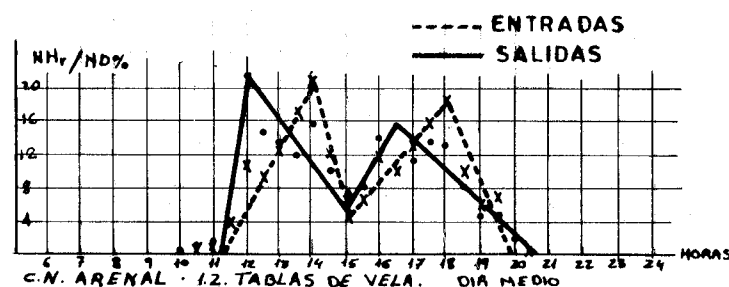


Fig. 5.—Polígono de frecuencia de movimientos.

TABLA II

AFOROS Y PORCENTAJES DE BARCOS QUE SE MUEVEN POR DIA

Paraje	Día	1.1 Vele- ros	1.2 Tablas	1 Total veleros	2.1 Motor. puros	2.2 Motor. mixtos	2 Total motor.	3.1 F.B. puros	3.2 F.B. mixtos	3 Total F.B.	4.1 Mercan- tes	4.2 Pesca	4.3 Artef.	4 Otros barcos
El Arenal.	Aforo	141	82	223	160	227	387	156	21	177	—	6	35	41
	Máximo %	48	272	130	38	55	47	50	40	48	—	183	656	562
	Medio %	29	204	102	26	41	35	38	27	36	—	15	499	429
	Mínimo %	18	134	61	19	19	19	27	10	26	—	—	414	414
San Antonio de la Playa ..	Aforo	106	27	133	90	136	226	88	8	94	—	—	14	14
	Máximo %	88	52	70	44	43	39	53	50	53	—	—	229	229
	Medio %	49	26	45	30	34	33	40	29	39	—	—	126	126
	Mínimo %	16	11	15	9	22	19	34	—	32	—	—	75	54
Portitxol	Aforo	163	1	164	62	146	208	247	82	329	—	20	31	51
	Máximo %	20	500	20	15	66	48	27	30	22	—	80	77	52
	Medio %	12	107	13	9	48	37	17	16	17	—	24	23	25
	Mínimo %	7	—	7	2	16	13	8	4	11	—	—	3	3
Club de Mar	Aforo	102	28	130	116	338	454	140	31	171	1	—	60	61
	Máximo %	15	4	12	74	16	29	24	18	21	50	—	22	30
	Medio %	9	1	7	55	13	26	17	6	11	393	—	15	22
	Mínimo %	4	—	3	54	12	23	4	—	3	250	—	4	8
Real Club Náutico	Aforo	75	8	83	270	305	575	106	15	121	—	74	48	122
	Máximo %	100	13	61	19	38	26	22	70	18	—	32	65	50
	Medio %	54	4	49	15	30	23	12	33	15	—	13	52	31
	Mínimo %	28	—	27	12	34	19	6	3	6	—	1	35	16
Todos (global)	Aforo	587	146	733	698	1.152	1.850	735	157	892	1	160	188	289
	Máximo %	48	167	62	35	39	35	34	34	30	1.200	53	175	128
	Medio %	28	120	49	26	30	29	23	18	22	764	39	124	89
	Mínimo %	13	77	26	20	24	18	14	1	14	410	2	92	62

Veleros + Motor + Fuera borda = 587 + 1.850 + 892 = 3.329

Otros barcos + Tablas = 146 + 289 = 435

Total flota 3.764

flotantes, lo que significa que un mismo barco entra y sale varias veces o/y que hay gran afluencia de barcos ajenos a la instalación portuaria.

Los porcentajes máximos de movimientos de motoras son altos en comparación con los americanos de Newton Bay, de California, mientras que los de veleros son solo algo inferiores.

	Bahía de Palma	Newton Bay
Veleros	48 %	51 %
Motoras	35 %	21 %

3. APLICACION A LOS CALCULOS DE CONGESTION

3.1. Proceso a seguir

Con los resultados de las observaciones antes expuestos ya se puede abordar con más seguridad y exactitud el cálculo de los índices de «congestión» o de «inconveniencia». Para ello, el proyectista, que conoce el aforo total del puerto, tiene que decidir si presume aplicables a su caso estos resultados, y determinar:

- 1.^a Si es suficiente el estudio en las bocas con todo el aforo o también deben considerarse puntos interiores con aforo parcial. La complejidad de las plantas puede dificultar la elección.
- 2.^a Cómo distribuye este aforo en los tres tipos de barcos que se contemplan en los cálculos, a saber: «veleros», «barcos



La determinación de los puntos de estudio en canales interiores ofrece dificultades con plantas de espejo de agua de cierta complejidad.

a motor», y «barcos con motor fuera borda». Esta es una determinación función de las hipótesis de proyecto, que debe fijar el promotor. En todo caso puede resultar de interés conocer la distribución de los cinco tipos de instalaciones que se recoge en la tabla II.

- 3.^a Conocida la composición de la flota, debe determinar cuales son los tantos por 100 máximos de movimientos que pueden acontecer en un fin de semana; para ello también se puede acudir a la tabla II que expone estos valores máximos.
- 4.^a Hay que elegir la costumbre que tendrá el puerto o, si ésta no es previsible, adoptar un valor global y atribuir unos polígonos de distribución de frecuencias de entradas y salidas del tipo que se señala en la figura 4. En este aspecto es sumamente importante conocer el tipo de puerto, es decir, si se trata de un puerto deportivo ordinario o bien de un puerto playero en que se producirán previsiblemente interferencias por artefactos flotantes o por tablas de vela. En este último caso, aparte de la variación que supone la elección del polígono de frecuencias, entra en juego, además, el número de estos artefactos o tablas. Y ello se debe contemplar a través de la elección del valor correspondiente en la tabla II.
- 5.^a Queda la duda del tratamiento a dar a las tablas de vela y a los artefactos flotantes, ya que se apartan abiertamente de las hipótesis básicas para determinar las fórmulas (valor K).

En las tablas de vela no parece, o no repugna al menos, que se cometan errores de consideración si se suma su número al de los veleros, ya que la discrepancia esencialmente solo se produce en los valores supuestos para las relaciones geométricas; debe adoptarse, sin embargo, la precaución de contar, no solamente las tablas del aforo del puerto, sino las de las playas inmediatas, por cuanto ha quedado demostrado en las observaciones que muchas de éstas también afectan a la boca del puerto, sea por visitarla sus ocupantes, sea por atravesarla repetidas veces (ver tabla II).

Más dudosa resulta la asimilación de los artefactos flotantes con las motoras fuera borda, esencialmente por la diferencia de velocidades. Como en la determinación del factor K interviene, en varios de sus sumandos, el factor V_p/V_s (que se ha estimado igual a 1,66) resulta obvio que la distorsión que se introduciría sería de consideración; para mayor complicación, estos artefactos no siguen rumbos paralelos al eje del canal, sino que van erráticos, conducidos por turistas inexpertos; de todos modos, su inclusión daría lugar a la consideración de una velocidad media superior a la real y, por consiguiente, por una parte a un valor de K pesimista, encontrándose el resultado del lado de la seguridad; pero, por otra parte, al entrar V_p en el denominador de C y de I , este efecto tiende a compensarse; acaso una solución ecléctica resultaría de considerar un valor medio de V_p resultante de la media ponderada de contemplar los artefactos y las medias de las motoras. También es preciso considerar que, encontrándose de ordinario reguladas las velocidades límites a 2, o a lo sumo a 3 nudos, por reglas de policía en el puerto o de navegación en los canales, esta distorsión tiene, en cierto modo, un límite superior por cuanto los artefactos flotantes alcanzan velocidades del orden de 1 nudo. De todos modos, las tendencias son de prohibir o de limitar, mediante reglas de policía, la presencia de estos artefactos en las bocas de los puertos.

3.2. Ejemplo de aplicación y conclusiones que sugiere

El caso concreto del puerto deportivo de El Arenal se expone en la tabla III, que recoge los resultados de los cálculos conforme se ha expuesto. Se ha repetido el cálculo para tres hipótesis de aplicación de polígonos de frecuencia, según indica la tabla. han sido cifrados nueve índices de congestión: los tres C_1 ignorando las tablas de vela y artefactos; los dos C_2 considerando también tablas de vela en las horas de mayor C_1 y los tres C_3 considerando, además, los artefactos en estas horas y en la hora punta de éstos. Como era previsible —y es conocido que sufren los usuarios de este puerto—, las tablas y los artefactos hacen crecer desmesuradamente

el índice de congestión que, si bien en horario de costumbre americana es discreto y admisible sin ellos, en comparación con el de 35 interferencias por Ha. y hora, pasa a ser claramente inadmisibles al considerarlos. Las cifras de la tabla resultan de la hipótesis más pesimista (mayor valor de K) de considerar el ángulo $\theta = 0^\circ$.

Otra consecuencia deducida de los valores de C hallados es que las costumbres de las flotas en la Bahía de Palma son, en todo caso, más desfavorables para la congestión que las americanas; basta comparar las cifras de 78 u 83, según la hipótesis de la Bahía que se considere, con la de 30 de la hipótesis americana. Las congestiones, con polígonos de frecuencia reales, son más del doble de las resultantes de la aplicación de los de costumbres americanas, y superan ampliamente el límite reglamentario.

Rafael Soler Gayá.



Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, desempeña diversos destinos en la Comisión Administrativa de Grupos de Puertos (Ingeniero Encargado de Puertos agregados a la Dirección de Palma, Director del Grupo de Puertos de Menorca y del de Baleares) y en la Jefatura de Puertos y Costas de Baleares (Señales Marítimas). Actualmente es Director del Puerto de Palma de

Mallorca. Tiene a su cargo la Cátedra de Explotación y Dirección de Puertos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Barcelona. Es uno de los delegados españoles de la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Navegación. Autor de numerosos proyectos de instalaciones y obras para servicio de embarcaciones menores en el sector público, tanto de infraestructura portuaria como en ayudas a la navegación. Tiene publicados diversos artículos sobre obras portuarias para barcos deportivos y de recreo y sobre señales marítimas (REVISTA DE OBRAS PUBLICAS y «Boletín Informativo del MOPU»). Ha sido profesor en los Cursos Iberoamericanos de Planificación, Explotación y Dirección de Puertos organizados por el CEEPYC (Laboratorio Ramón Iribarren), y en Seminarios de Señales Marítimas en la ETS del ICCP de Madrid y Santander.