

CUBO O BLOQUE. MODO DE FALLO, COMPORTAMIENTO Y ANÁLISIS HISTÓRICO

Vicente Negro. Dr. Ingeniero de Caminos. Profesor Titular UPM. vnegro@caminos.upm.es

Ovidio Varela. Dr. Ingeniero de Caminos. Profesor Jubilado UPM. ovivarela@telefonica.net

José María del Campo. Dr. Ingeniero de Caminos. Profesor Titular UPM. josemaria.delcampo@upm.es

José Santos López Gutiérrez. Dr. Ingeniero de Caminos. Profesor Asociado UPM. jslopez@caminos.upm.es

Abstract

Many different concrete shapes have been developed as armour units for rubble mound breakwaters. Nearly all are mass concrete construction and can be classified as random placed or regular pattern placed. The majority of artificial armour unit are placed in two layers and they are massive. They intended to function in a similar way to natural rock (cubes, blocks, antifer cubes,...). More complex armour units were designed to achieve greater stability by obtaining a high degree of interlock (dolosse, accropode, Xbloc, core – loc,...). Finally, the third group are the regular pattern placed units with a greater percentage of voids for giving a stronger dissipation of cement hidratation (cob, shed, hollow cubes,...), This research deals about the comparison between two massive concrete units, the cubes and the blocks and the analysis of the geometry, the porosity, the construction process and the failure mode.

Resumen

Los elementos del manto principal de un dique rompeolas suelen clasificarse en tres categorías: los primeros, son piezas masivas, pesadas y voluminosas entre las que destacan las escolleras, los cubos, bloques paralelepípedicos, antifer, cubípodo,...; los segundos, son formas esbeltas complejas que presentan trabazón y fricción entre ellas, dispuestas, generalmente en malla por coordenadas (dolo, ecópodo, Xbloc, Ajack, core – loc, tetrápodo); finalmente, las terceras son piezas perforadas dispuestas en malla cuyo objetivo es disminuir el gradiente térmico generado por la hidratación de cemento en las unidades de gran tamaño (cob, shed, diode, cubo perforado, seabee,...)

El objetivo de este estudio es la revisión, análisis, descripción del modo de fallo, condicionantes constructivos e historia de dos de las piezas masivas más comunes en los diques en talud del litoral español (cubo y bloque), destacando su comportamiento ante la estabilidad y las posibilidades en la ejecución que conducen a la geometría de las piezas o unidades del manto.

Introducción

La experiencia en diques a gran profundidad y en la revisión de las múltiples secciones del Inventario conduce a pensar que derivado del nivel energético de las acciones se requiere el empleo de unidades artificiales en el manto, siendo las más usuales,

voluminosas, masivas y eficientes, elementos paralelepípedicos de hormigón, como se comentó con anterioridad.

El cubo, en su colocación sobre el talud, disminuye el índice de huecos en la zona inferior al acumularse las piezas en las partes más bajas, dejando mayores huecos en zonas superiores próximas a la coronación. El manto, aunque gana en seguridad a inicio de avería, tiende a presentar un fallo más rígido, transformando su comportamiento inicial de diseño a uno de superior fragilidad. El cubo se adoquina y gana estabilidad en una fase muy prolongada, pero ¿qué sucede si se extrae una pieza de su manto?. En este preciso momento, el comportamiento pasa a ser rígido con riesgo de destrucción total de la sección y fallo instantáneo con cierto comportamiento frágil.

Como contraste de lo anterior, parece cierto que el bloque paralelepípedo con sus posiciones de ajuste tiende a encontrar una situación más estable en el talud.

En diques a gran profundidad, las piezas macizas que rellenan espacio tienden a minimizar los huecos, incrementando las componentes de reflexión y rebase frente a la disipación de energía en el manto.

El funcionamiento del bloque paralelepípedo es diferente dada su configuración con, al menos, una dimensión mayor que la cara del cubo o la arista del mismo.

Sobre estas premisas, se ha empleado la base de datos del Inventario de Obras de Abrigo, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General de Costas, 1988, donde la amplia casuística puede ofrecer ciertas luces a las potenciales lagunas históricas, constructivas o de comportamiento ante la estabilidad de la sección de un rompeolas.

Desarrollo de la investigación

El análisis estadístico de los diques inventariados asciende a 294, los cuales se reparten aproximadamente en un cincuenta por ciento en las fachadas Atlántica y Mediterránea. La tipología en talud es la más abundante con un 83%, con un total de 125 km con relación a los 180 km estudiados. Con relación a las profundidades, la mayoría se sitúa en aguas someras, con láminas de agua inferiores a 10 metros (58%). Este porcentaje se eleva en el Mediterráneo donde dicho porcentaje asciende al 77%, reduciéndose al 39% en el Atlántico.

Sobre estas premisas (datos procedentes del Inventario de Diques de Abrigo, MOPU, 1988), se investigaron los tramos de dique y rompeolas cuyos mantos estaban formados por elementos artificiales masivos, tipo cubos y bloques paralelepípedicos de hormigón.



Figura 1. Cubos de 150 t en flanera. Punta Langosteria. A Coruña. Octubre 2008

En esta revisión inicial se analizó el bloque independiente de sus tres dimensiones, sin matizar la potencial explicación constructiva que justificase la forma y tipología del mismo. Por esta circunstancia, se detectaron variaciones muy amplias en la dimensión del “largo”, desde 1.10 x a hasta 2.50 x a y del “alto”, desde 1.07 x a hasta 1.48 x a. Predominaba una cara cuadrada, y, una variación rectangular en su dimensión de ajuste del elemento hasta desarrollo del paralelepípedo.

Las tablas justificativas procedentes del Inventario de Obras de Abrigo del Litoral Español, 1988, se adjuntan a continuación.

DIQUE	Peso (t)	Años	Bloque existente	Bloque Tipo	Talud	Clima	Comportamiento
Ondárroa	40 t	1976 – 81	2.26 x 2.26 x 3.35	a x a x 1.48 a	3/2	H = 8.55 m	No se han detectado
Bermeo	50 t	1915 – 29	2.50 x 2.50 x 3.20	a x a x 1.28 a	2/1	H = 6.00 m	Sí. Dique mixto
Bermeo	54 t	1966 – 70	2.50 x 2.50 x 3.65	a x a x 1.46 a	1.62/1	H = 6.88 m	No se han detectado
Bermeo	8 t	1976 – 81	1.30 x 1.30 x 2.00	a x a x 1.53 a	3/2	H = 3.68 m	No se han detectado
Punta Lucero	150 t	1980 – 85	3.51 x 3.51 x 5.26	a x a x 1.50 a	2/1	H = 10.10 m	No se han detectado
Lastres	40 t	1948 – 68	2.30 x 2.30 x 3.40	a x a x 1.48 a	2/1	H = 8.20 m	No se han detectado
Príncipe de Asturias	90 t	1950 – 63	2.50 x 3.12 x 5.00	a x 1.25 a x 2 a	2.30/1	H = 8.60 m	No reviste peligro
Príncipe de Asturias	120 t	1969 – 76	2.75 x 3.43 x 5.50	a x 1.37 a x 2 a	3/2	H = 9.60 m	No reviste peligro
Príncipe de Asturias	120 t	1969 – 76	2.75 x 3.43 x 5.50	a x 1.37 a x 2 a	1.62/1	H = 9.60 m	Reparación
Dique de La Osa	45 t	1964 – 76	2.00 x 2.50 x 4.00	a x 1.25 a x 2 a	2/1	H = 5.20 m	No se han detectado
Contradique Gijón	10 t	1976 – 80	1.20 x 1.50 x 2.40	a x 1.25 a x 2 a	3/2	H = 4.25 m	No se han detectado
Contradique exterior	90 t	1976 – 80	2.50 x 3.12 x 5.00	a x 1.25 a x 2 a	3/2	H = 5.00 m	No se han detectado
Playa de Aboño	5 t	1983 - 83	1.00 x 1.24 x 1.75	a x 1.24 a x 1.75 a	5/2	H = 4.65 m	No se han detectado
Playa de Aboño	20 t	1983 - 83	1.45 x 2.00 x 3.00	a x 1.38 a x 2.06 a	5/2	H = 6.51 m	No se han detectado
Playa de Aboño	15 t	1983 - 83	1.35 x 1.75 x 2.75	a x 1.30 a x 2.03 a	5/2	H = 15 t	No se han detectado
Candás	27 t	1948 – 57	1.80 x 2.30 x 3.25	a x 1.27 a x 1.80 a	2/1	H = 4.95 m	Dique mixto
San Esteban de Pravia	60 t	1927 – 44	2.70 x 2.70 x 3.20	a x a x 1.18 a	2.75/1	H = 8.75 m	Dique mixto
San Esteban. Contradique	80 t	1927 – 44	3.00 x 3.00 x 3.70	a x a x 1.23 a	2.70/1	H = 9.74 m	Dique sumergido
Cudillero	60 t	1968 - 78	2.86 x 3.10 x 3.10	a x 1.10 a x 1.10 a	1.20/1	H = 6.00 m	Refuerzo

Tabla 1. Relación de Diques de Bloques en la Fachada Cantábrica

DIQUE	Peso (t)	Años	Bloque existente	Bloque Tipo	Talud	Clima	Comportamiento
Burela	56 t	1962 – 68	2.60 x 2.60 x 3.50	a x a x 1.34 a	2.16/1	H = 6.52 m	No se han detectado
Burela	72.18 t	1982 – 86	2.75 x 2.75 x 4.12	a x a x 1.50 a	3/2	H = 7.45 m	No se han detectado
San Ciprián	90 t	1976 – 79	3.20 x 3.20 x 3.80	a x a x 1.18 a	3/1	H = 10.50 m	Refuerzo
Cillero	42 t	1981 – 84	2.30 x 2.30 x 3.45	a x a a x 1.50 a	3/2	H = 6.25 m	No se han detectado
Malpica	20 t	Sin datos	1.80 x 1.80 x 2.50	a x a x 1.38 a	5/2	H = 6.23 m	Refuerzo
Malpica	120 t	1984 – 85	3.50 x 3.50 x 4.20	a x a x 1.20 a	3/2	H = 10.70 m	Mantenimiento
Lage	30 t	1983 – 86	2.00 x 2.00 x 3.20	a x a x 1.60 a	3/2	H = 5.00 m	No se han detectado
Aguiño	11.30 t	1970 – 74	1.60 x 1.60 x 1.85	a x a x 1.15 a	2/1	H = 6.37 m	No se han detectado
Portonovo	20 t	1979	1.90 x 2.00 x 2.30	a x 1.05 a x 1.21 a	2.25/1	H = 6.60 m	Refuerzo

Tabla 2. Relación de Diques de Bloques en la Fachada Gallega y Atlántica Norte

DIQUE	Peso (t)	Años	Bloque existente	Bloque Tipo	Talud	Clima	Comportamiento
Tenerife	50 t	1949	2.00 x 2.70 x 3.50	a x 1.35 a x 1.75 a	3/2	H = 6.00 m	No se han detectado
Reina Sofía	30 t	1975 – 76	2.00 x 2.35 x 2.65	a x 1.75a x 1.325 a	3/2	H = 6.38 m	No se han detectado
Contradique Las Palmas	15 t	1975 – 79	1.50 x 1.60 x 2.50	a x 1.07 a x 1.67 a	3/2	H = 5.12 m	No se han detectado
Chipiona	9 t	1968	1.00 x 1.50 x 2.50	a x 1.50 a x 2.50 a	3/2	H = ---	Refuerzo
Puerto Santa María	11 t	1981 – 83	1.55 x 1.55 x 2.00	a x a x 1.29 a	2/1	H = 5.00 m	No se han detectado
Cádiz	12 t	1979 – 83	1.60 x 1.60 x 2.00	a x a x 1.25 a	1.75/1	H = 5.25 m	No se han detectado
Conil	16 t	1982 – 84	1.70 x 1.70 x 2.45	a x a x 1.44 a	3/2	H = 6.00 m	No se han detectado
Barbate	15 t	1950 – 56	1.71 x 1.71 x 2.33	a x a x 1.36 a	2/1 a 3.25/1	H = 4.76 m	No se han detectado
Tarifa	13.50 t	1985	1.65 x 1.65 x 2.25	a x a x 1.36 a	2.5/1	H = 4.56 m	Refuerzo

Tabla 3. Relación de Diques de Bloques en la Fachada Canaria y Atlántica Sur

DIQUE	Peso (t)	Años	Bloque existente	Bloque Tipo	Talud	Clima	Comportamiento
Algeciras	10 t	1950	1.10 x 1.60 x 2.30	a x 1.45 a x 2.10 a	2.75/1	H = 5.00 m	Refuerzo
Marbella	13 t	1071 – 75	1.60 x 1.60 x 2.30	a x a x 1.44 a	3/2	H = 4.85 m	No se han detectado
Marbella	19.50 t	1971 – 75	1.85 x 1.85 x 2.50	a x a x 1.35 a	3/2	H = 4.85m	No se han detectado
Espigón Marbella	13 t	1977	1.60 x 1.60 x 2.20	a x a x 1.37 a	3/2	H = 4.85 m	No se han detectado
Fuengirola	25 t	1970 – 74	2.00 x 2.00 x 3.00	a x a x 1.50 a	3/2	H = 6.00 m	Refuerzo
Fuengirola	37 t	1970 – 74	2.20 x 2.20 x 3.10	a x a x 1.41 a	3/2	H = 6.00 m	Refuerzo
Málaga	50 t	1878 – 97	2.55 x 2.55 x 3.20	a x a x 1.26 a	1.75/1	H = 5.00 m	Recarga
Vélez Málaga	11.40 t	1072 – 75	1.54 x 1.54 x 2.10	a x a x 1.36 a	3/2	H = 4.65 m	No se han detectado
Carboneras Pucarsa	18.50 t	1982 – 84	1.75 x 1.75 x 2.62	a x a x 1.51 a	2/1	H = ---	Refuerzo
Carboneras Pucarsa	37 t	1982 – 84	2.20 x 2.20 x 3.30	a x a x 1.50 a	2/1	H = 6.70 m	Refuerzo
Carboneras Pucarsa	58 t	1982 – 84	2.56 x 2.56 x 3.84	a x a x 1.50 a	2/1	H = 7.10 m	No se han detectado
Carboneras Pucarsa	80 t	1982 – 84	2.85 x 2.85 x 4.28	a x a x 1.50 a	2/1	H = 7.10 m	No se han detectado
Garrucha	8 t	1976 – 78	1.33 x 1.33 x 2.00	a x a x 1.50 a	2.75/1	H = 5.75 m	Refuerzo
Garrucha	20 t	1982	1.90 x 1.90 x 2.55	a x a x 1.34 a	3/2	H = 6.00 m	No se han detectado
Garrucha	30 t	1982	2.20 x 2.20 x 2.85	a x a x 1.30 a	2.25/1	H = 6.00 m	No se han detectado
Ceuta	18 t	1985 – 86	1.85 x 2.00 x 2.15	a x 1.08 a x 1.16 a	2/1	H = 5.80 m	Refuerzo
Melilla	80 t	1957 - 63	2.50 x 3.00 x 4.50	a x 1.20 a x 2.25 a	3/1	H = 7.14 m	Refuerzo

Tabla 4. Relación de Diques de Bloques en el Mar de Alborán

DIQUE	Peso (t)	Años	Bloque existente	Bloque Tipo	Talud	Clima	Comportamiento
Mazarrón	9 t	1974 – 76	1.25 x 1.25 x 2.50	a x a x 2 a	3/2	H = 4.30 m	No se han detectado
Mazarrón	14 t	1981 – 83	1.45 x 1.45 x 2.90	a x a x 2 a	3/2	H = 4.30 m	No se han detectado
Curra, Cartagena	20 t	1933	1.50 x 1.50 x 4.00	a x a x 2.67 a	1.75/1	H = ---- m	Refuerzo y reparación
Torre Vieja	39 t	1960 – 69	2.20 x 2.20 x 3.50	a x a x 1.60 a	3/1	H = 8.10 m	No se han detectado
Alicante	15 t	1958 – 60	1.50 x 1.50 x 3.00	a x a x 2.00 a	1.75/1	H = 3.34 m	No se han detectado
Altea	25 t	1975 – 77	2.00 x 2.00 x 3.00	a x a x 1.50 a	3/2	H = 6.00 m	No se han detectado
Altea	37 t	1975 – 77	2.30 x 2.30 x 3.30	a x a x 1.44 a	3/2	H = 6.00 m	No se han detectado
Calpe	15.64 t	1960 – 64	1.65 x 1.65 x 2.50	a x a x 1.51 a	3/1	H = 4.95 m	No se han detectado
Calpe	27.60 t	1984	2.00 x 2.00 x 3.00	a x a x 1.50 a	3/2	H = 7.00 m	No se han detectado
Calpe	37.50 t	1984	2.30 x 2.30 x 3.30	a x a x 1.50 a	3/2	H = 7.00 m	No se han detectado
Jávea	17 t	1952 – 62	1.70 x 1.90 x 2.40	a x 1.11 a x 1.41 a	3/1	H = 5.77 m	No se han detectado
Denia	25 y 37 t	1981 – 82	2.00 x 2.00 x 3.00	a x a x 1.50 a	3/2	H = ---- m	Refuerzo
Gandía	24 y 36 t	1962 – 72	2.40 x 2.40 x 2.80	a x a x 1.16 a	3/1	H = 7.70 m	No se han detectado
Valencia	14 t	1983 – 85	1.60 x 1.60 x 2.40	a x a x 1.50 a	7/4	H = 5.33 m	No se han detectado
Valencia	30 t	1983 - 85	2.10 x 2.10 x 3.00	a x a x 1.43 a	7/4	H = 6.56 m	No se han detectado
Burriana	20 t	1941 – 48	1.80 x 2.00 x 2.30	a x 1.11 a x 1.28 a	3/1	H = 5.00 m	Refuerzo
Tarragona	39 y 59 t	1982	2.70 x 2.70 x 3.50	a x a x 1.30 a	2/1	H = 8.85 m	No se han detectado
Barcelona	10 t	1976 – 80	1.45 x 1.45 x 2.00	a x a x 1.38 a	3/2	H = 4.55 m	No se han detectado
Barcelona	80 t	1958 – 67	2.80 x 3.00 x 4.00	a x 1.07 a x 1.43 a	2.1/1	H = 7.88 m	No se han detectado
San Feliu de Guixols	12 t	1940 – 50	1.40 x 1.50 x 2.50	a x 1.07 a x 1.78 a	2.25/1	H = 5.50 m	Recarga periódica
San Feliu de Guixols	18.60 t	1979 – 81	1.55 x 2.00 x 2.50	a x 1.29 a x 1.61 a	2/1	H = 7.50 m	Recarga periódica
Palamós	13 t	1961 – 65	1.42 x 1.50 x 2.55	a x 1.06 a x 1.79 a	2.35/1	H = 6.20 m	Recarga periódica
Soller	25 t	1983 – 84	2.05 x 2.05 x 2.60	a x a x 1.27 a	1/1	H = 5.12 m	No se han detectado
Palma de Mallorca	64 t	1959 – 71	2.75 x 2.75 x 4.00	a x a x 1.45 a	2.25/1	H = 6.94 m	Refuerzo
Cala Ratjada	33.60 t	1955	1.75 x 2.00 x 4.00	a x 1.14 a x 2.00 a	2/1	H = 5.00 m	No se han detectado

Tabla 5. Relación de Diques de Bloques en el Mediterráneo

DIQUE	Peso (t)	Años	Bloque existente	Bloque Tipo	Talud	Clima	Comportamiento
Cudillero	60 t	1986	3.00 x 3.00 x 3.00	a x a x a	3/2	H = 10.00 m	Refuerzo
Malpica	31 t	1954 – 63	2.35 x 2.35 x 2.35	a x a x a	1.75/1	H = 7.50 m	Refuerzo
Malpica	50 t	1970 – 73	2.75 x 2.75 x 2.75	a x a x a	1.75/1	H = 8.75 m	Refuerzo
Malpica	75 t	1970 – 73	3.15 x 3.15 x 3.15	a x a x a	1.75/1	H = 10.00 m	Refuerzo
Panjón	5 t	1979 – 80	1.27 x 1.27 x 1.27	a x a x a	1.75/1	H = 3.18 m	Refuerzo
Panjón	8 t	1979 – 80	1.50 x 1.50 x 1.50	a x a x a	1.75/1	H = 3.18 m	Refuerzo
Bayona	4.70 t	1979	1.27 x 1.27 x 1.27	a x a x a	3/2	H = 3.44 m	Reparación
Bayona	7 t	1969 - 72	1.45 x 1.45 x 1.45	a x a x a	3/2	H = 3.44 m	Refuerzo
La Guardia	8 t	1979	1.50 x 1.50 x 1.50	a x a x a	2/1	H = ---	Refuerzo
Rota	12 t	1979 – 81	1.70 x 1.70 x 1.70	a x a x a	3/2	H = 3.90 m	Continuas
San Felipe	11.50 t	1959	1.75 x 1.75 x 1.75	a x a x a	5/2	H = 4.42 m	No se han detectado
Barbate contradique	8 t	1965 – 68	1.55 x 1.55 x 1.55	a x a x a	2/1	H = 4.62 m	Refuerzo
Motril	18 t	1965 – 69	2.00 x 2.00 x 2.00	a x a x a	3/1	H = 5.90 m	Refuerzo
San Pedro del Pinatar	28 t	1954 – 63	2.30 x 2.30 x 2.30	a x a x a	4/1	H = 8.14 m	No se han detectado

Tabla 6. Relación de Diques de cubos en el litoral español. Fuente MOPU 1988

DIQUE	Peso (t)	Años	Bloque Tipo según Tomo I Inventario	Talud	Clima	Comportamiento
Fuenterrabía	9 t	1975 – 77	Bloques de escollera natural	3/2	H = 5.00 m	No se han detectado
Fuenterrabía	14 t	1979 – 82	Bloques de escollera natural	1.75/1	H = 5.00 m	No se han detectado
Orio	13 t	1978 – 80	Bloques de escollera natural	3/2	H = 5.85 m	Refuerzo
Orio	21 t	1978 – 80	Bloques de escollera natural	3/2	H = 7.02 m	Recarga
Orio	26 t	1980 – 86	Bloques de escollera natural	2/1	H = 8.73 m	Recarga
Guetaria	14 t	1972 – 76	Bloques de escollera natural	3/2	H = 5.63 m	No se han detectado
Guetaria	20 t	1972 – 76	Bloques de escollera natural	3/2	H = 6.63 m	No se han detectado
Guetaria	5 t	1984 – 86	Bloques de escollera natural	3/2	H = 3.00 m	No se han detectado
Lemoniz	20 t	1972	Bloques de escollera natural	3/2	H = 6.86 m	No se han detectado

Tabla 7. Relación de Diques con mantos de Bloques de Escollera natural



Figura 2. Ampliación del Dique de Puerto Vega, Asturias

Al observar las tablas históricas de las obras diseñadas y construidas en el litoral español, surge la pregunta en relación a las dimensiones tan dispares y relativamente extrañas de algunas de las magnitudes de los mismos.

Por esta circunstancia, la tipología del bloque paralelepédico aparece con una forma de $a \times b \times c$, no siendo ésta de diseño, sino, más bien, solución constructiva al problema de un manto de bloques cuyos elementos tienen un peso concreto. Se debe, principalmente, a la opción de poder verter el hormigón directamente desde el camión hormigonera. Así la tipología de diseño pasa a un " $a \times a \times \lambda a$ "; e incluso, se transforma en " $a \times \lambda a \times \mu a$ ", manteniendo el peso del bloque con un " λ " y " μ " próximos entre sí, siendo su producto entre 1 y 3.75.

Este hecho permite ahorrar el coste de la elevación del hormigón en obras con IRE (índice de repercusión económica) bajo o medio, es decir, de entidad reducida.

Los parques de bloques de obras de gran entidad, también suelen buscar esta economía, bien elevando el hormigón con cintas transportadoras, o bien, disponiendo de calles elevadas que faciliten el hormigonado por vertido directo.

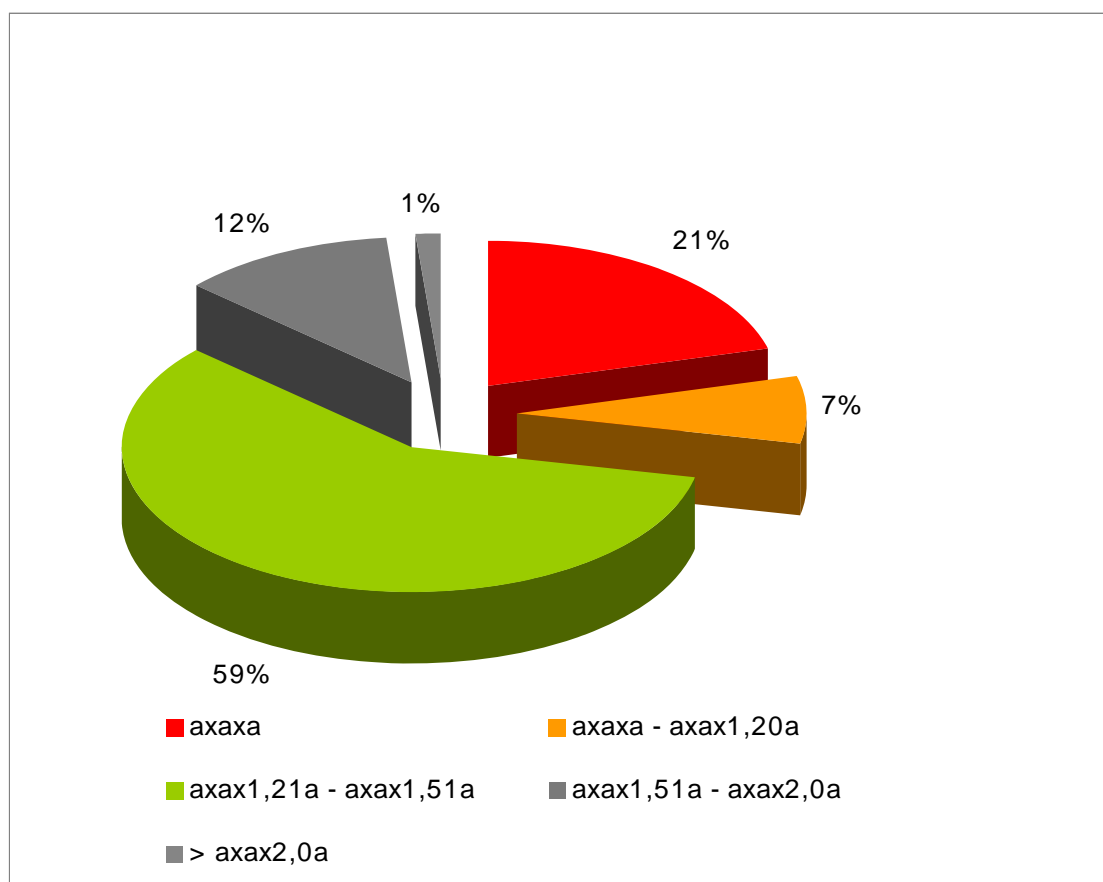


Figura 3. Distribución de cubos y bloques en el litoral español

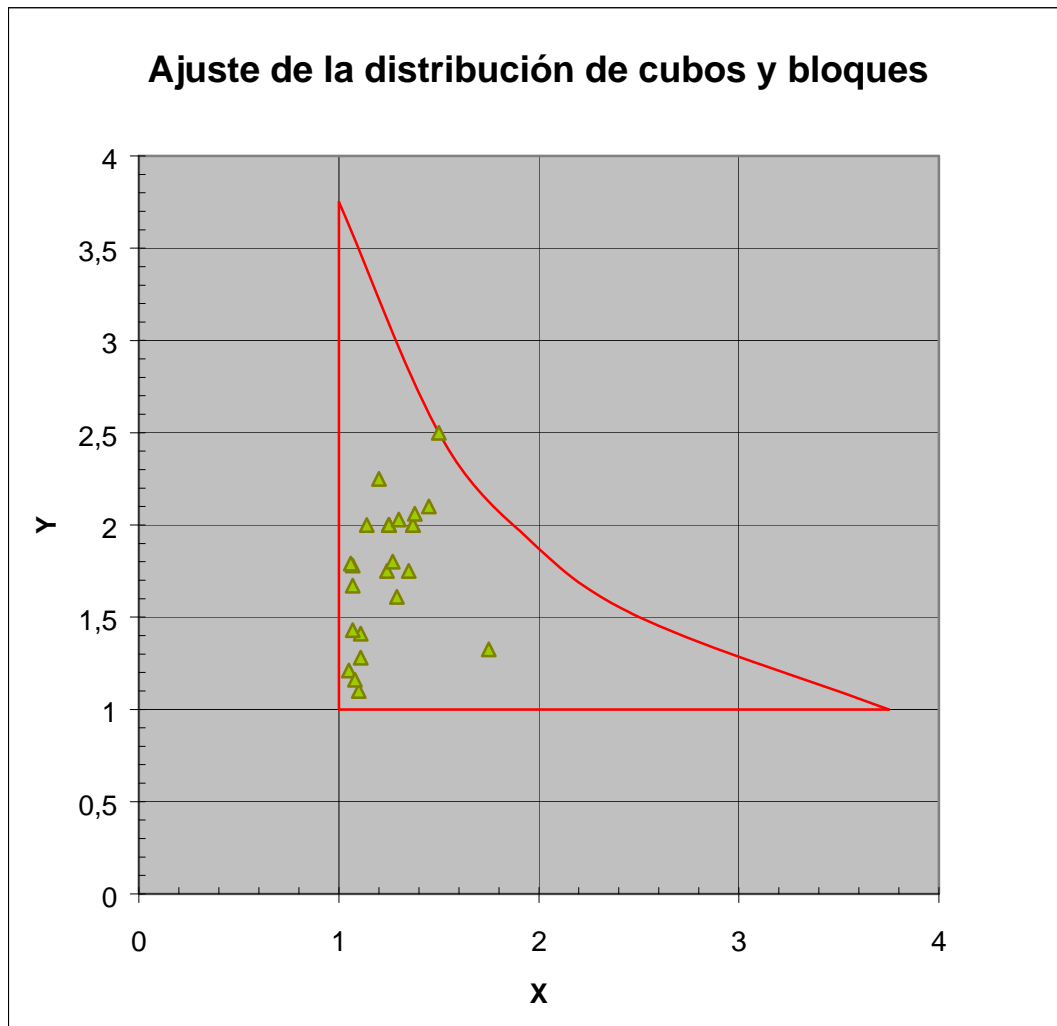


Figura 4. Ajuste de los valores de “λ” y “μ”

Partiendo de un bloque cualquiera “a x b x c” y un cubo “a x a x a”, se puede justificar el siguiente ajuste:

$$\mathbf{a \cdot b \cdot c = a \cdot (\lambda \cdot a) \cdot (\mu \cdot a); b = \lambda \cdot a; c = \mu \cdot a}$$

$$\lambda \geq 1; \mu \geq 1; \lambda \cdot \mu \leq 3.75$$

Esto representa en ejes “λ” y “μ”, una hipérbola equilátera cortada por las rectas paralelas a los ejes, “λ = 1” y “μ = 1”, donde el triángulo curvilíneo superior limitado por la bisectriz “λ = μ”, con “μ” > “λ” sitúa las dimensiones de los bloques caracterizados en el Inventario.

Hecha la reflexión desde la posición geométrica y constructiva, conviene analizar el comportamiento energético y los modos de fallo. La energía incidente del oleaje es fundamentalmente cinética. Cuando actúa sobre el talud de un rompeolas, aparecen las siguientes componentes. Una parte es absorbida y transmitida por los huecos del

manto principal que la lamina y filtra. Otra parte es reflejada y devuelta al mar, pudiendo producirse un aumento de la altura de ola producido por la propia obra en diques profundos (Iribarren, 1964). Finalmente, existe una componente potencial que queda definida por el flujo de la masa de agua, con el remonte y rebase sobre la sección.

Por esta circunstancia, toda tipología que minimice los huecos incrementa la reflexión y el rebase. En este caso, se requieren pesos mayores en las unidades del manto principal y superior cota de coronación, haciendo los diques menos competitivos desde la posición del óptimo económico o de la funcionalidad.

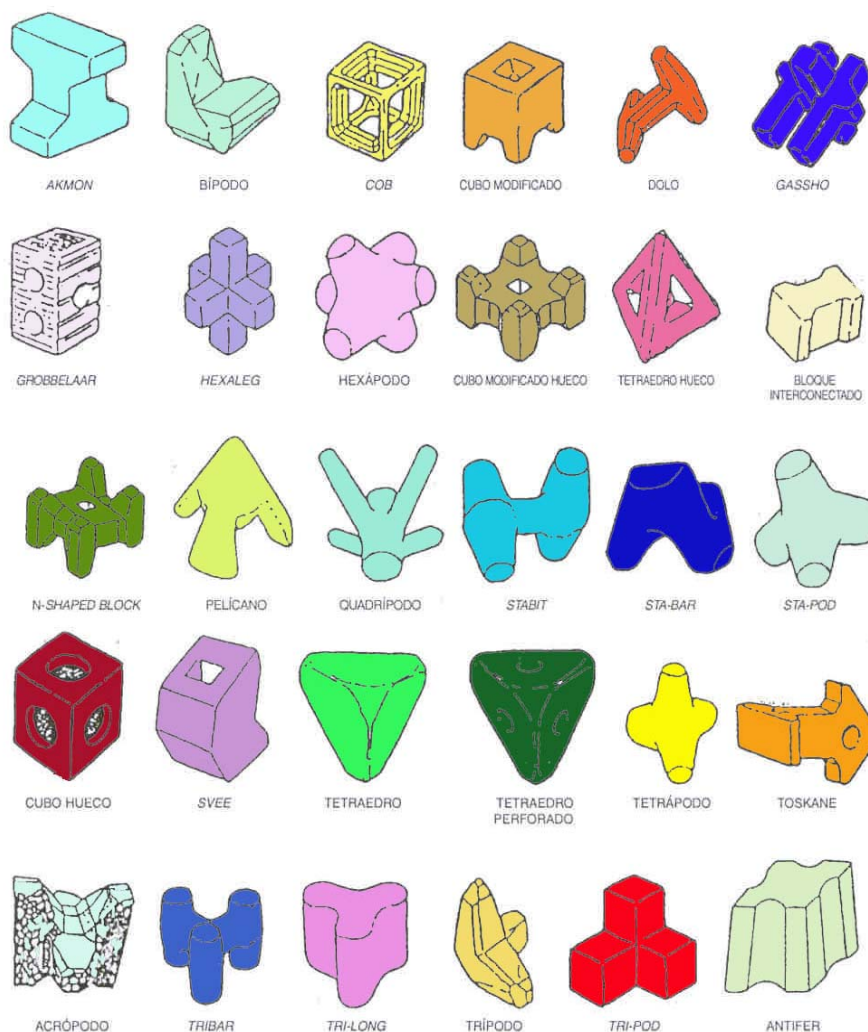


Figura 5. Evolución histórica de las piezas del manto

Conclusión y líneas de investigación

La evolución histórica de las piezas ha sido disminuir peso, garantizando su trabazón en el manto, y aumentando el índice de huecos. Por esta razón, el cubo rellena

espacio, presenta una fase de estabilidad total muy prolongada pero plantea un riesgo de destrucción total en caso de la pérdida de alguna unidad del talud. El cubo puede considerarse, desde este punto de vista, como un elemento rígido.

El bloque presenta un índice de huecos superior. Rellena mejor el espacio. Tiene una estabilidad total menos prolongada y una fase de estabilidad parcial donde se detecta el “aviso” de la avería, su riesgo de fallo y el planteamiento de mantenimiento, reparación o refuerzo. De la misma manera, el cubo suele presentar unas tasas de rebase superiores a las del bloque.

La historia de las obras marítimas demuestra que muchas veces las decisiones han sido constructivas y el proceso ha determinado las dimensiones de los elementos del manto y la elección de una o dos dimensiones de los mismos para un peso dado, bien por el uso de calles elevadas para el vertido directo, disminuyendo el coste de elevación del hormigón o la economía del dique elevando el mismo con cintas transportadoras.

Como reflexión principal, y, con relación al modo de fallo, no existe investigación sistemática que permita obtener conclusiones científicamente fiables relativas a su comparación, salvo los ensayos realizados por Losada y Desiré en la década de los ochenta.

Por esta circunstancia, se propone una línea de investigación basada en ensayos sistemáticos de las mismas secciones de rompeolas con mantos de bloques cúbicos y paralelepípedos del mismo peso unitario para conocer la curva evolutiva de daños y su comportamiento frente a los mismos estados de mar, tanto a estabilidad estructural como hidráulica.

Referencias

- Iribarren, R. y Nogales, C. *Obras Marítimas: Oleaje y Diques*, Editorial Dossat. 1964
Grupo de Trabajo GT2 de Ingeniería Portuaria. *Evaluación de las distintas fórmulas de cálculo de la estabilidad hidráulica de los elementos del manto de un dique rompeolas. II Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas. “Puertos: Diques y Obras Singulares y Costas: Gestión de zonas costeras”. Algeciras, 18 al 20 Octubre 2.006. Puertos del Estado. Octubre 2.006*
Iribarren. Ingeniería y Mar. CEHOPU. *Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo. Ministerio de Fomento. Puertos del Estado. 2000*
Diques de abrigo de España. *Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General de Costas. Tres Tomos. 1988*

Negro Valdecantos, V. y Varela Carnero, O. *Diseño de diques rompeolas. Segunda edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Señor. Nº 28. 2008*

Recomendaciones para Obras Marítimas. *Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias. Parte I. ROM 0.0. Ministerio de Fomento. Puertos del Estado. 2.001.*

Recomendaciones para Obras Marítimas. *Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. ROM 0.2/90. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 1.990.*

Losada, M. A.. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering. Volume I. Wave Phenomena and Coastal Structures. Chapter 21. Recent development in the design of mound breakwaters. 1990.*

Grupo de Trabajo 2 del Comité Técnico de Ingeniería Portuaria. *¿Se ajustan las fórmulas de cálculo del manto a los diques existentes? III Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas. Innovación en la construcción y explotación portuaria. Ministerio de Fomento. Puertos del Estado. Port de Barcelona. Octubre 2008*



Figura 6. Avería de Cabo Torres en Marzo 2007. Manto de cubos



Figura 7. Bloque de 200 t en Cabo Torres, Gijón ($D_{n50} = 4.40$ m)

Abril 2009