

Contraste de las formulaciones existentes para la estimación de la tasa de rebase en diques de abrigo portuario

M^{re} ÁNGELES RODRÍGUEZ (*), JOSÉ F. SÁNCHEZ (**), RAMÓN GUTIÉRREZ (***), VICENTE NEGRO (****)

RESUMEN La investigación que se resume en este artículo, resultante de diversos trabajos realizados en el CEDEX [10, 12], tiene por objeto contrastar las formulaciones desarrolladas por diferentes autores en materia de rebases en distintas tipologías de diques de abrigo. Para ello, se realizó en primer lugar la recopilación y el análisis de las formulaciones existentes para estimar la tasa de rebase sobre diques en talud y verticales. Posteriormente, se llevó a cabo el contraste de dichas formulaciones con los resultados obtenidos en dos ensayos realizados en el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX, en Cabo Prioriño, Ferrol y en la alineación tercera de Melilla.

ABSTRACT *(A comparative analysis of different methods of overtopping rates)*

The research that is summarized in this article, resultant of diverse studies realized in the CEDEX [10, 12], has for object a comparative analysis of methods of overtopping rates developed by different authors. For that, the summary was realized first and the analysis of the existing formulations to estimate the rate of overtopping on rubble mound and vertical breakwaters. Later, there was carried out the contrast of the above mentioned formulations by the results obtained in two hydraulic model tests of the Hydraulic Research Laboratory (the Center of Studies of Ports and Coasts of the CEDEX, Madrid, Spain).

1. INTRODUCCIÓN

El rebase se define como el caudal de agua que sobrepasa la coronación de un dique cuando ésta es menor que el remonte del oleaje, alcanzando así el área abrigada. Por ello, es el fenómeno que determina la cota de coronación del dique, dependiendo de la cantidad aceptable en su trasdós, a la vista de los condicionantes funcionales y estructurales de la zona abrigada.

La cuantificación del rebase en la realidad entraña dificultades evidentes, como por ejemplo el diseño, instalación y puesta en funcionamiento de los equipos de medida; el desconocimiento del momento exacto en el que se producirán los temporales que produzcan los mayores rebases, etc., habiéndose realizado escasas mediciones en prototipo [8, 13].

Por el contrario, en los ensayos en modelo físico a escala reducida su determinación es sencilla, pero los valores que se obtienen están distorsionados por los efectos de escala, de modo que solo puede considerarse como una aproximación a lo que ocurre en la realidad. No obstante, estos trabajos se consideran de gran utilidad para estimar los daños que se pueden producir en la zona abrigada por el dique [7,15].

Los efectos de escala de los modelos físicos de rebases son debidos principalmente a la imposibilidad de reducir a escala las propiedades del agua (el tamaño de las gotas y los rocíos son similares en el modelo y en la realidad), a la realización de los ensayos, en la mayoría de los casos, sin reproducir el viento y, en menor medida, al empleo de agua dulce. Todo ello determina que el fenómeno del rebase sea uno de los aspectos de más difícil reproducción en los modelos físicos y que para una mayor aproximación a la realidad se acuda a ensayos en instalaciones de grandes dimensiones, generando oleaje y viento (Figuras 1 y 2). En estas condiciones, la aproximación del modelo físico mejora notablemente, pudiéndose considerar sus resultados también de forma cuantitativa.

El objeto de la investigación sintetizada en este artículo ha sido el contraste de las formulaciones desarrolladas por los autores que han estudiado el tema del rebase sobre diques de abrigo. Previamente se analizó el estado del arte en esta ma-



FIGURA 1. Canal de Oleaje y Viento de Gran Escala. Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX. Vista general.

teria, tanto en diques en talud como verticales. Seguidamente, se contrastaron las formulaciones existentes con los resultados de dos ensayos realizados en el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX correspondientes al dique del puerto exterior de Ferrol en Cabo Prioriño [9] y al dique del puerto de Melilla en su tercera alineación [11].

2. TASA DE REBASE. CONCEPTO Y FORMULACIONES

Para la cuantificación del rebase, es habitual considerar la tasa de rebase (q) que se define como el caudal de agua que

sobrepasa una longitud de dique por unidad de tiempo cuando sobre el mismo incide un determinado número de olas.

Si en el intervalo de tiempo t_0 , alcanzan la estructura N_0 olas de alturas y períodos (H_i, T_i) y cada ola produce un volumen de rebase $V_i(H_i, T_i)$, la tasa de rebase se determina por la expresión:

$$q = \frac{1}{t_0} \sum_{i=1}^{N_0} V_i(H_i, T_i) \quad (1)$$



FIGURA 2. Detalle de un rebase con la acción del viento (izquierda) y sin ella (derecha). Fotografías tomadas con el mismo registro de oleaje y en el mismo instante.

Donde:

- q : tasa de rebase (m^3/s por m).
- N_0 : número total de olas del temporal.
- H_i, T_i : altura y período de cada ola, i , que incide en la estructura, (m), (s).
- $V_i (H_i, T_i)$: volumen de rebase producido por cada ola del registro de oleaje, por unidad de longitud, (m^3/m).
- $t_0 = \sum_{i=1}^{N_0} T_i$ duración del registro de olas del temporal, (s)

FORMULACIONES DE CÁLCULO

El cálculo de la tasa de rebase está basado en expresiones empíricas obtenidas de ensayos en laboratorio, por lo que es evidente que las formulaciones obtenidas dependen no sólo de las condiciones medioambientales - altura de ola, período del oleaje y nivel de agua- sino también de las características del modelo y sólo son de aplicación en el rango de validez de los ensayos realizados en cada caso.

En la revisión del estado del arte sobre rebases en diques en talud y verticales, son habituales dos tipos de formulaciones:

$$Q = a \cdot e^{(bR)} \quad (2)$$

$$Q = a \cdot R^{-b} \quad (3)$$

donde:

- Q : tasa de rebase adimensional, dada por expresiones del tipo:

$$\frac{q}{gHT}, \frac{q}{\sqrt{gH^3}}, \frac{q \cdot T}{L^2}; \quad (4)$$

- H, T y L característicos de cada formulación, siendo:

- H : altura de ola
- T : periodo
- L : longitud de onda

Generalmente H_0, H_s, H_{m0}, T_{0m} y L_{0m} .

- R : francobordo adimensional, definido en cada formulación.
- a y b : parámetros específicos de cada formulación.

A continuación se presentan las formulaciones propuestas por distintos autores para el diseño de diques de abrigo en talud y vertical. En primer lugar se recogen las formulaciones existentes para los diques verticales (Tabla 1) y en segundo lugar las de los diques en talud (Tabla 2).

3. CONTRASTE DE LAS FORMULACIONES

Teniendo en cuenta que la respuesta de un dique frente al oleaje depende principalmente de su tipología (Figura 3), la investigación se ha estructurado en dos partes, una primera dedicada a los diques en talud y una segunda a los verticales. En el primer caso se seleccionó el ensayo del dique de la ampliación del Puerto de Ferrol [9] y se aplicaron las fórmulas de: Bradbury (1988) [5], Aminti (1988) [4], Pedersen (1996) [20], Berenguer y Baonza (2006) [6] y el EurOtop (2007) [13]. Para el estudio de rebases sobre diques verticales se seleccionó el dique del Puerto de Melilla [11] y se aplicaron las fórmulas de Allsop (1995) [1, 2, 3], Franco (1993) [14] y el EurOtop (2007) [13].

Para los dos casos seleccionados, se ha realizado un análisis previo sobre la validez de la aplicación de las distintas formulaciones expuestas anteriormente, comprobando que las características del ensayo se ajustan a las limitaciones impuestas por los distintos autores. Se destaca que en ninguno de los casos estudiados se cumplen todas las limitaciones anteriores, necesarias para poder aplicar la formulación propuesta por ellos con garantías. No obstante, se han escogido estos dos ensayos en función del mejor ajuste que presentan a dichas limitaciones.

Se han comparado los resultados obtenidos por cada formulación con los rebases medidos en los ensayos. A continuación se presentan los resultados de los casos estudiados, uno correspondiente a la tipología de dique en talud (Ferrol) y otro a la vertical (Melilla), cuyas características se resumen en el apartado siguiente, tanto de la sección del dique como de los ensayos.

Autores	Estructura	Modelo de rebase	Tasa de rebase adimensional, Q	Francobordo adimensional, R
Goda (1985)	Diques verticales y en talud	(*)	$\frac{q}{\sqrt{2g(H_0)^3}}$	$\frac{h_c}{H_0}$
Franco, De Gerloni y Van der Meer (1994)	Dique vertical sin pared perforada	$Q = a \cdot e^{b \cdot R}$	$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{H_s} \cdot \frac{1}{\gamma_r \cdot \gamma_b \cdot \gamma_h \cdot \gamma_\beta}$
EurOtop (2007)	Dique vertical	$Q = a \cdot e^{b \cdot R}$	$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$	$\frac{R_c}{H_{m0}}$ No impulsivo ($h > 0,3$)
			$\frac{q}{h_s^2 \sqrt{gH_s^3}}$	$h_s \cdot \frac{R_c}{H_{m0}}$ Impulsivo ($h \leq 0,2$)
			$\frac{q}{h_s^2 \sqrt{gH_s^3}}$	$h_s \cdot \frac{R_c}{H_{m0}}$ Olas rotas

TABLA 1. Tasas medias de rebase. Formulaciones para diques verticales.

Autores	Estructura	Modelo de rebase	Tasa de rebase adimensional, Q	Francobordo adimensional, R
Owen (1980, 1982a y b)	Dique en talud liso, impermeable, recto y con bermas	$Q = \alpha \cdot e^{-b \cdot R}$	$\frac{q}{gH_s T_{0m}}$	$\frac{R_c}{H_s} \left(\frac{s_{0m}}{2\pi} \right)^{0.5} \frac{1}{\gamma_r \cdot \gamma_b \cdot \gamma_h \cdot \gamma_\beta}$
Goda (1985)	Diques verticales y en talud	(*)	$\frac{q}{\sqrt{2g(H_0)^3}}$	$\frac{h_c}{H_0}$
Bradbury y Allsop (1988)	Dique en talud, pendiente rocosa, impermeable y coronado con espaldón	$Q = \alpha R^b$	$\frac{q}{gH_s T_{0m}}$	$\left(\frac{R_c}{H_s} \right)^2 \left(\frac{s_{0m}}{2\pi} \right)^{0.5}$
Aminti y Franco (1988)	Dique en talud, con manto formado por una doble capa de roca, cubos o tetrápodos sobre una pendiente impermeable, con espaldón	$Q = \alpha R^b$	$\frac{q}{gH_s T_{0m}}$	$\left(\frac{R_c}{H_s} \right)^2 \left(\frac{s_{0m}}{2\pi} \right)^{0.5}$
Ahrens y Heimbaugh (1988b)	Siete diferentes diseños de diques y revestimientos	$Q = \alpha \cdot e^{b \cdot R}$	$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{(H_s L_{0p})^{1/3}}$
Pedersen y Burcharth (1992)	Dique en talud, manto de escollera ligeramente impermeable, con espaldón	$Q = \alpha R$	$\frac{q T_{0m}}{L_{0m}^2}$	$\frac{H_s}{R_c}$
Van der Meer y de Waal (1992)	Dique en talud, con pendiente lisa, impermeable y con bermas	$Q = \alpha \cdot e^{b \cdot R}$	$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{3,1(R_{u2\%} - R_c)}{H_s}$
Van der Meer y Janssen (1995)	Dique en talud, con pendiente lisa, impermeable y con bermas	$Q = \alpha \cdot e^{b \cdot R}$	$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} \sqrt{\frac{s_{0p}}{\tan \alpha}}$ para $\epsilon_{op} < 2$	$\frac{R_c}{H_s} \frac{\sqrt{s_{0p}}}{\tan \alpha} \frac{1}{\gamma_r \cdot \gamma_b \cdot \gamma_h \cdot \gamma_\beta}$ para $\epsilon_{op} < 2$
			$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}}$ para $\epsilon_{op} < 2$	$\frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\gamma_r \cdot \gamma_b \cdot \gamma_h \cdot \gamma_\beta}$ para $\epsilon_{op} < 2$
Pedersen (1996)	Dique en talud, manto de escollera ligeramente impermeable, con espaldón	$Q = R$	$\frac{q T_{0m}}{L_{0m}^2}$	$3,2 \cdot 10^{-5} \frac{H_s^5 \tan \alpha}{R_c^3 A_c B}$
Berenguer y Baonza	Diques en talud, manto de bloques o escollera, con espaldón	$Q = e^{(a \cdot b)}$	$\frac{q}{g \cdot T_p \cdot H_s}$	$X = \frac{R_c^{0,95} \cdot A_c^{0,05}}{R_c^{0,70} \cdot B^{0,30}}$
EurOtop (2007)	Dique en talud, sin espaldón	$Q = \alpha \cdot e^{b \cdot R}$	$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta}$

TABLA 2. Tasas medias de rebase. Formulaciones para diques en talud.

(*) No se presenta en forma de ecuación, sino mediante una serie de diagramas.



FIGURA 3. Distinto comportamiento frente al rebase de un dique en talud, en el que se disipa la energía de oleaje, y otro vertical, donde al no existir talud el oleaje impacta directamente contra el paramento dando lugar a que un mayor volumen de agua rebase la estructura. Ensayo del Puerto de Melilla. (2007) [11].

3.1. FICHA RESUMEN: "ENSAYOS EN MODELO FÍSICO 2D DEL DIQUE DE ABRIGO PARA LA AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE FERROL EN CABO PRIORIÑO". [9]

3.1.1. Características de la sección tipo del dique



FIGURA 4.

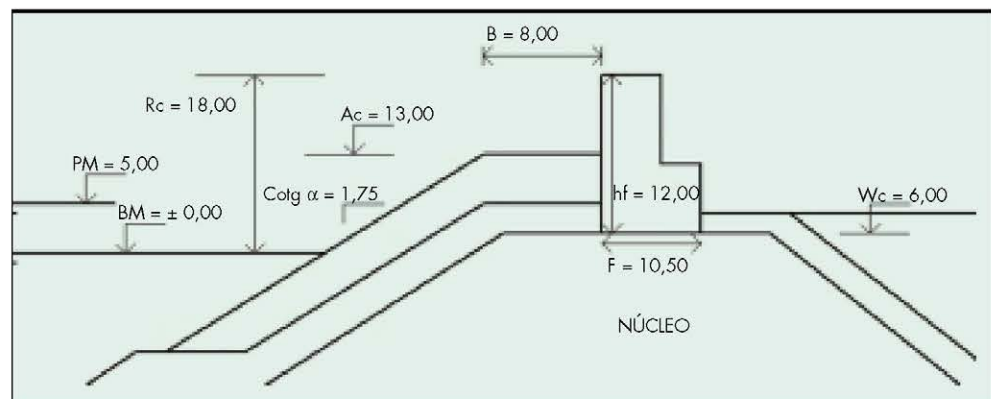


FIGURA 5.

3.1.2. Características de los ensayos

Estudio	Alturas de ola (Hs)	Periodos de pico (Tp)
Rebase	6,4 m a 8,7 m	14 y 18 s
Características de los ensayos		
Escala	1/43	
Manto	Bloques cúbicos de 90 t	
Nº de ensayos	8 (4 por periodo)	
Criterio de semejanza	Froude	
Instalación	Canal de 36*6.5*1.5 Absorción activa de reflexiones y rampa amortiguadora del oleaje	

TABLA 3.

3.1.3. Comparación resultados ensayos-fórmulas de rebase

Las conclusiones que se derivan de la aplicación de las fórmulas de rebase al caso del dique de la ampliación del Puerto de Ferrol, son las siguientes:

- Fórmula de Bradbury, Allsop y Stephens (1988).
- Los resultados de los ensayos se sitúan entre los correspondientes a las secciones A y C de la fórmula, lo cual parece en principio razonable si se tiene en cuenta que, por un lado, los valores de los cocientes adimensionales propuestos por los autores se aproximan más al rango de variación de los correspondientes a la Sección tipo A, mientras que

la geometría de la sección se parece más a la sección tipo C. El ajuste es algo mejor con la sección tipo A.

- Esta fórmula se obtuvo para diques en talud con manto principal de escollera, por lo que al aplicarse a un caso de bloques, el rebase que pueda predecir la fórmula debería ser superior al medido, ya que, los bloques disipan más la energía del oleaje. Este comportamiento se cumple para la sección tipo A con alturas de ola bajas. A partir de Hs en torno de los 8 m, la tasa de rebase obtenida en los ensayos supera a la obtenida en la fórmula (suponiendo una sección tipo A de las estudiadas por Bradbury).

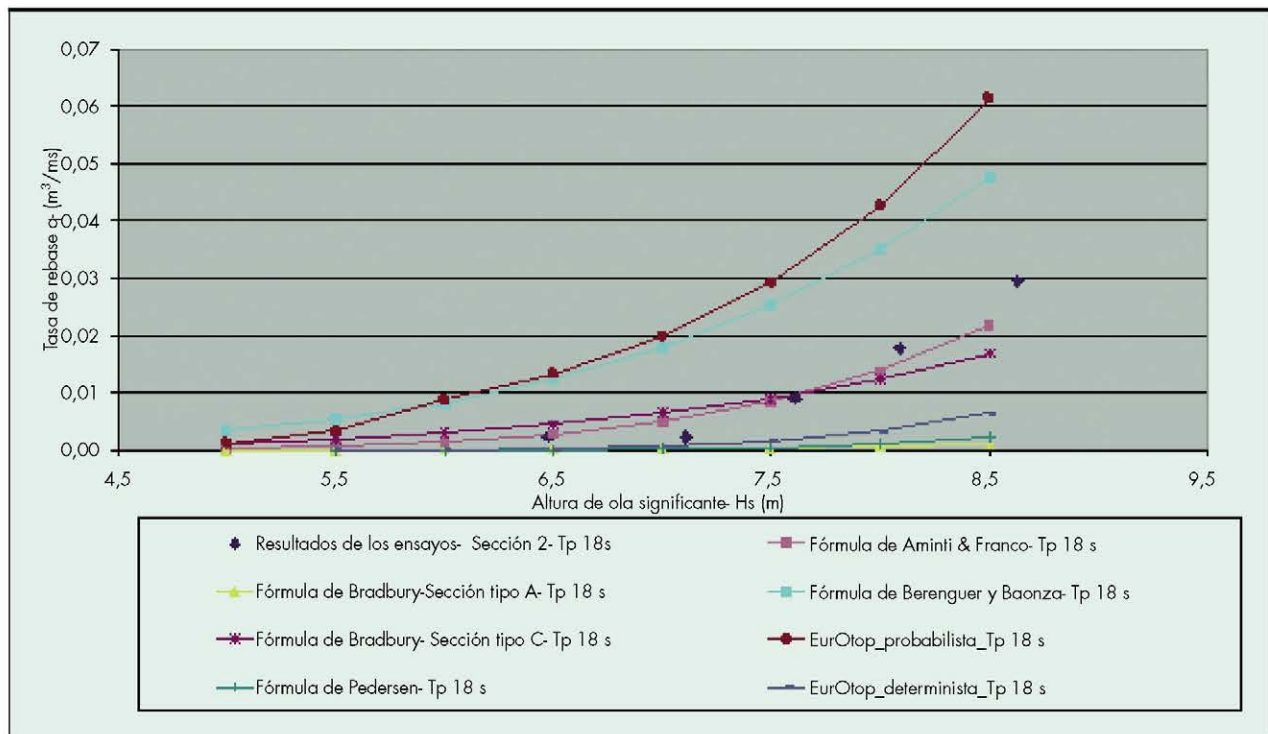


FIGURA 6. Comparación entre las tasa de rebase medidas y calculadas para varias formulaciones. T_p 18 s.

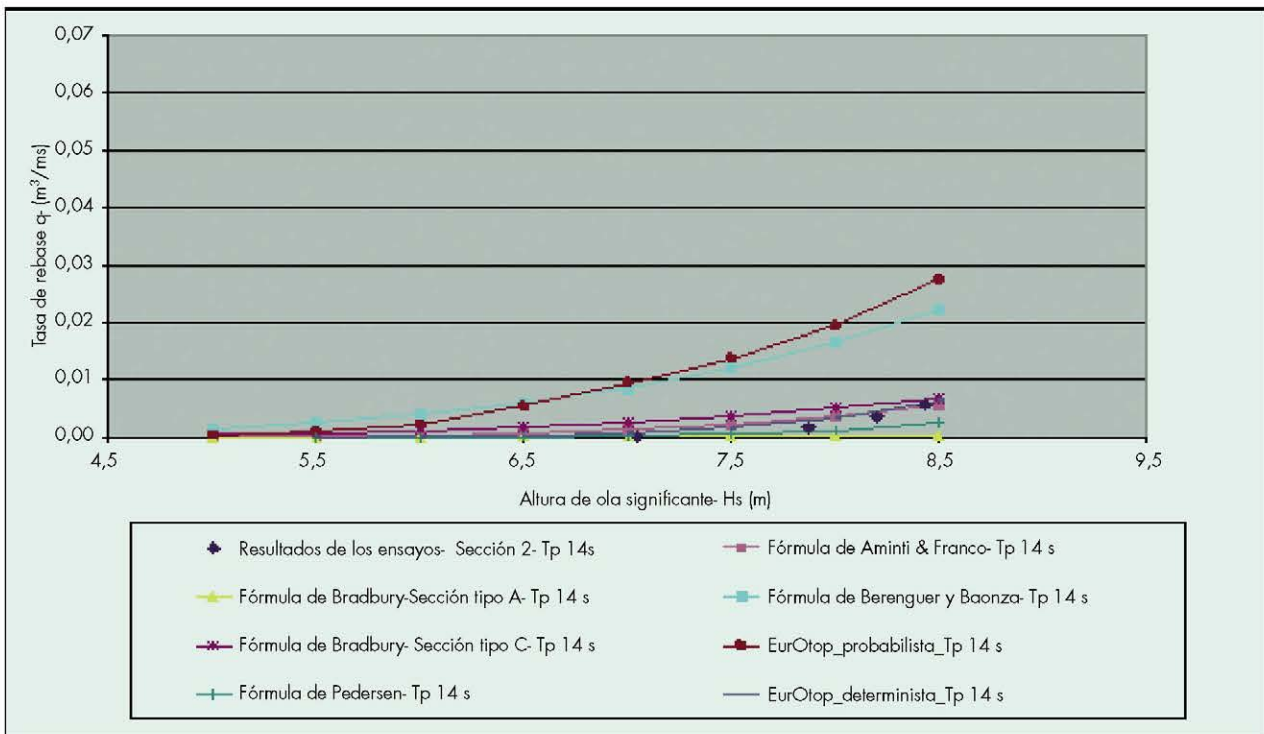


FIGURA 7. Comparación entre las tasa de rebase medidas y calculadas para varias formulaciones. Tp 14 s.

- No existe un buen ajuste entre las condiciones de ensayo y el rango de aplicación de la fórmula. Por tanto, aunque los resultados puedan ser similares, la aplicación directa de la fórmula no garantiza que los resultados sean coherentes con el método aplicado.
- Fórmula de Aminti y Franco (1988).
 - La sección tipo de Ferrol no cumple la mayoría de las condiciones bajo las cuales se obtuvo la fórmula, por lo que habría que decir que en este ensayo no sería aplicable la formulación. Sin embargo, los resultados obtenidos son similares a los medidos en los ensayos, sobre todo para las mayores alturas de ola ensayadas, donde las características del ensayo están más próximas a cumplir las limitaciones impuestas por los autores.
 - Para alturas de olas significativas mayores de 7,5 m, la tasa de rebase obtenida en los ensayos aumenta, y, en el caso del oleaje de 18 s de periodo de pico, los valores obtenidos en los ensayos se sitúan ligeramente por encima de los que predice la fórmula.
 - Para el oleaje de 14 s de periodo de pico, la fórmula predice valores superiores en todo el rango de Hs ensayadas. En todo caso, se puede decir que las tasas de rebase obtenidas en los ensayos del caso de estudio y según la fórmula para una determinada altura de ola, son del mismo orden de magnitud.
- Fórmula de Pedersen (1996).
 - La sección tipo objeto de estudio se ajusta en gran parte a los requerimientos asociados al rango de aplicación de la fórmula, estando la principal diferencia en el tipo de elemento del manto principal (escollera en el caso de la fórmula, bloques en el caso del dique estudiado).
- Las tasas de rebase obtenida al aplicar la formulación es mayor que la registrada en los ensayos, lo que puede ser debido principalmente al diferente tipo de elemento del manto principal, que hace que exista diferente porosidad en el manto.
- Si comparamos los resultados obtenidos para los dos periodos de pico, se puede ver que los ensayos se ajustan mejor a la fórmula en el caso de $T_p = 18$ s, siendo mayores las diferencias con el oleaje periodo de pico de 14 s.
- Fórmula de Berenguer y Baonza (2006).
 - Las condiciones de ensayo de la sección tipo del dique del puerto de Ferrol se ajustan de forma aceptable a las condiciones que definen el rango de aplicación de la fórmula.
 - La tendencia que adopta la evolución de la tasa de rebase obtenida con la fórmula se ajusta a la obtenida en los ensayos. Sin embargo, para ambos periodos analizados la tasa de rebase obtenida con la fórmula es mayor que la medida en los ensayos, aunque dentro del mismo orden de magnitud.
 - Puede decirse por tanto que esta fórmula permite predecir de forma aceptable los resultados, estando del lado de la seguridad.
 - El ajuste es mayor en el caso del oleaje de mayor periodo de pico, $T_p = 18$ s.
- EurOtop (2007).
 - Para la aplicación de esta formulación se ha seleccionado la estructura más similar a la ensayada de las propuestas en el EurOtop. La estructura escogida para la aplicación del EurOtop es un dique en talud de escollera, al que se le aplica un coeficiente

de rugosidad para un manto bicapa constituido por bloques cúbicos ($\gamma_r = 0,47$).

- El ajuste es mejor para el periodo de 14s, en el que el resultado medido en los ensayos se encuentra entre los obtenidos con las aproximaciones probabilista y determinista, siendo preferible el ajuste obtenido con la aproximación determinista, ya que es recomendable, debido a la irregularidad del fenómeno, que los resultados obtenidos con las formulaciones garanticen un cierto margen de seguridad, como

ocurre en este caso, al quedar por encima de los resultados medidos en los ensayos. Mientras que para el periodo de 18 s la tasa de rebase medida es superior a la calculada con la formulación.

Es conveniente destacar que el inicio de rebase en los ensayos realizados se produjo para una altura de ola significativa de 7,04 m para el periodo de 14 s y de 6,48 m para el periodo de 18 s, mientras que las formulaciones aplicadas estimaron rebases para alturas de ola significantes de 5 m e incluso menores, como se observa de las figuras anteriores.

3.2. FICHA RESUMEN: "PUERTO DE MELILLA. ENSAYOS EN MODELO FÍSICO 2D DE LAS SECCIONES TIPO, VERTICAL Y EN TALUD, DE LA NUEVA ALINEACIÓN DEL DIQUE N-3". [11]

3.2.1. Características de la sección tipo del dique



FIGURA 8.

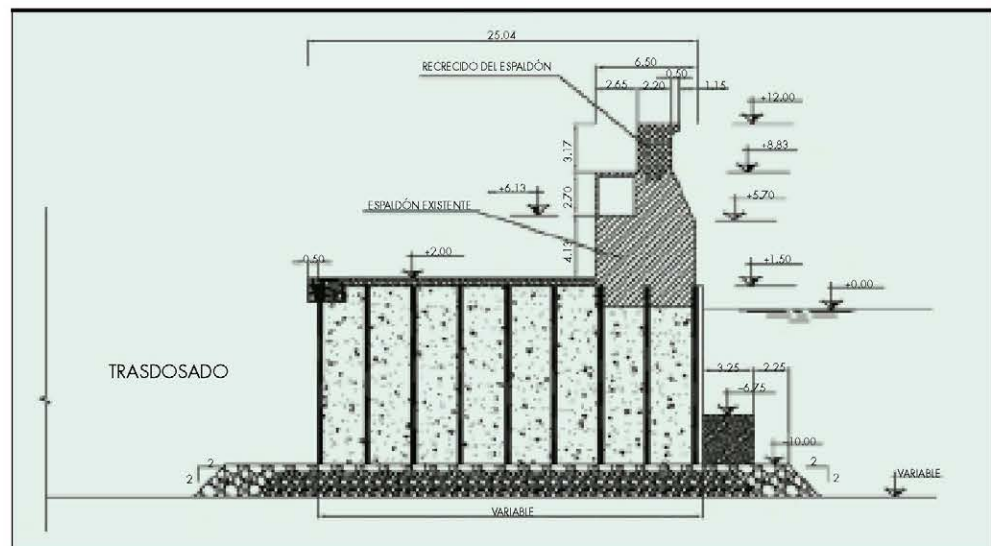


FIGURA 9.

3.2.2. Características de los ensayos

Estudio	Alturas de ola (Hs)	Períodos de pico (Tp)
Rebase	4 - 6,5	11,4
Características ensayos		
Escala	1/27	
Nº de ensayos de rebases	16 (7 ensayo 1 y 9 ensayo 2)	
Ensayos	Ensayo 1: Rc = 8,83 m	
	Ensayo 2: Rc = 12 m	
Criterio de semejanza	Froude	
Instalación	Canal de 36*6.5*1.5 Absorción activa de reflexiones y rampa amortiguadora del oleaje	

TABLA 4.

3.2.3. Comparación resultados ensayos-fórmulas de rebase

Antes de analizar los resultados, conviene señalar la diferencia existente en la escala vertical de las Figuras 9 y 10, lo que viene a confirmar algo obvio y es el importante papel que desempeña la cota de coronación de la estructura en el rebase, aumentado esta, evidentemente se reducirá el rebase, pero es necesario llegar a un compromiso con los condicionantes ambientales y económicos, que hacen que no sea viable aumentar ésta hasta conseguir que la tasa de rebase sea nula.

Las conclusiones que se derivan de la aplicación de las fórmulas de rebase al caso del dique del Puerto de Melilla, son las siguientes:

- Allsop et al (1995).
- En las dos soluciones ensayadas los resultados obtenidos al aplicar la formulación quedan por debajo de los obtenidos en los ensayos, lo que hace que los valores que predice el método estén del lado de la inseguridad.
- Franco et al (1993-1998).
- No se produce un buen ajuste de la fórmula a los ensayos, quedando los resultados obtenidos con la formulación por debajo de los registrados en los ensayos. Esto se debe a que el ensayo no cumple todas

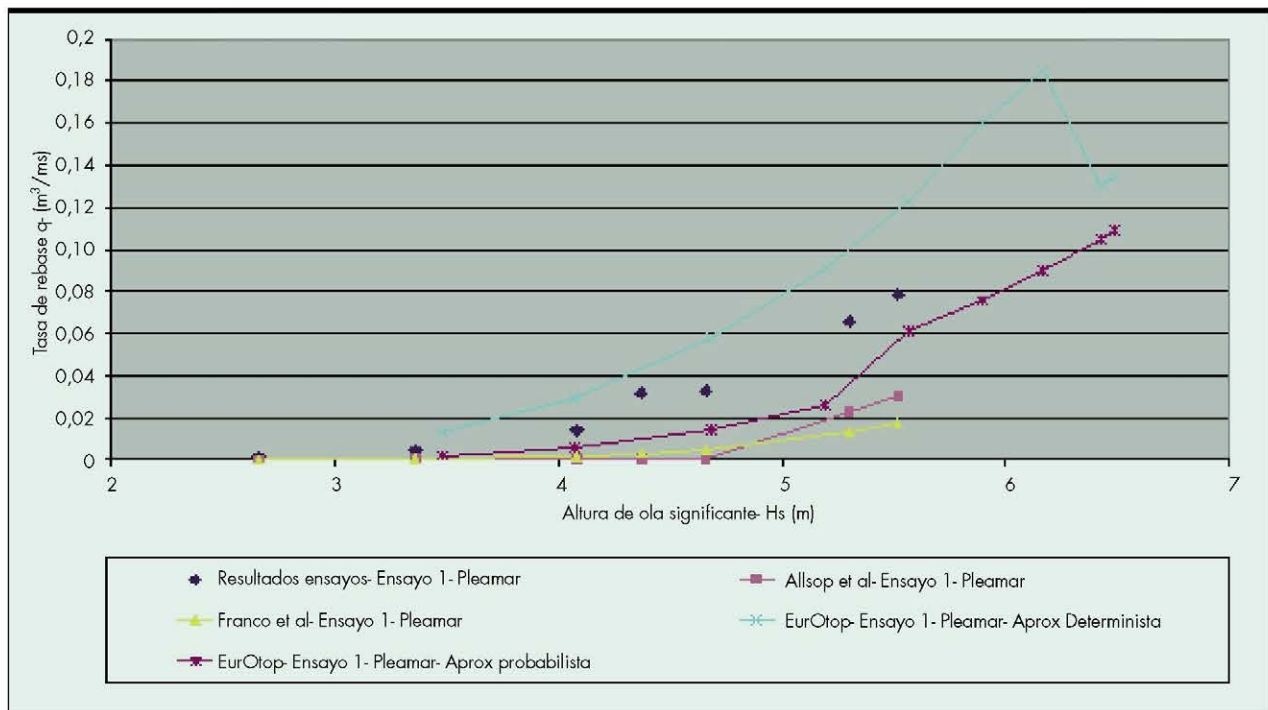


FIGURA 10. Comparación entre las tasa de rebase medidas y calculadas para varias formulaciones. Tp 11,4 s. Rc= 8,83 m.

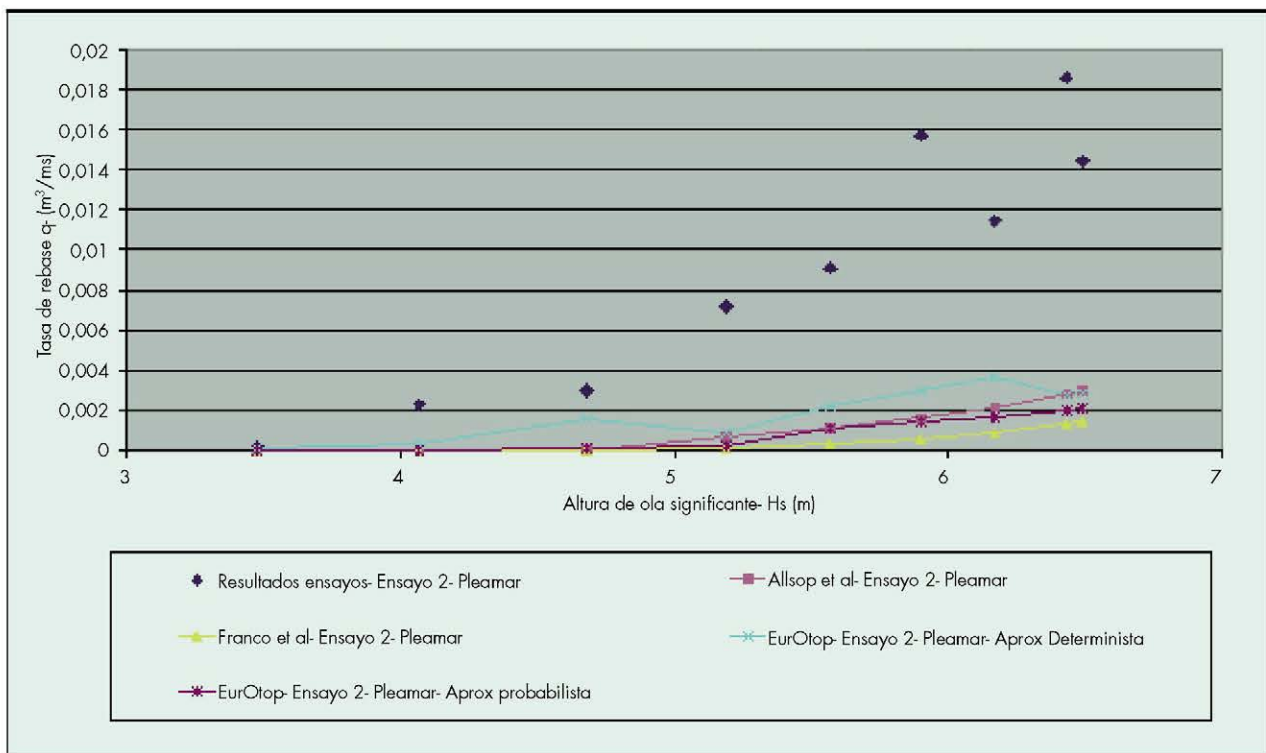


FIGURA 11. Comparación entre las tasa de rebase medidas y calculadas para varias formulaciones. T_p 11,4 s. R_c = 12 m.

condiciones bajo las que los autores obtuvieron su formulación. En todo caso, se observa una evolución similar en el incremento de la tasa de rebase en los dos ensayos realizados.

- EurOtop (2007).
 - Se obtiene un mejor ajuste de las fórmulas a los valores medidos en el Ensayo 1, donde la tasa de rebase obtenida en la aproximación determinista queda por encima de la registrada en el ensayo, quedando del lado de la seguridad. La tasa de rebase registrada en los ensayos queda comprendida entre la obtenida con la formulación para las dos aproximaciones.
 - En el Ensayo 2, los resultados obtenidos al aplicar la formulación quedan por debajo de los resultados registrados en los ensayos, quedando del lado de la inseguridad.

4. CONCLUSIONES

Se ha observado una disparidad significativa en las tendencias y en el grado de ajuste mostrado en la aplicación de las distintas formulaciones en los dos casos de estudio seleccionados.

Las formulaciones recogidas en este artículo están basadas en expresiones empíricas obtenidas a partir de ensayos en laboratorio, por lo que, sólo son válidas para las condiciones geométricas (sección tipo) e hidrodinámicas (oleaje, nivel de agua) reproducidas en las pruebas empleadas para su obtención.

El rango de aplicación de las formulaciones analizadas no coincide por completo con el de los dos ensayos adoptados para su contraste, los cuales se han elegido de forma que fue-

ran representativos para la mayoría de las formulaciones. No obstante, los resultados de dicho contraste son ilustrativos de la disparidad de valores que se obtienen con cada una de las formulaciones, según se acaba de indicar. Por ello, aunque los modelos físicos presentan algunos inconvenientes derivados fundamentalmente de los efectos de escala, siguen siendo la herramienta más precisa y fiable para el estudio específico de cada caso, especialmente cuando se adoptan modelos de grandes dimensiones y se genera viento.

5. NOMENCLATURA

- T_{om} : periodo medio del oleaje en aguas profundas, s.
- T_{op} : periodo de pico en aguas profundas, s.
- $T_{m-1,0}$: periodo medio del oleaje definido por m_0/m_1 , s.
- H_s : altura de ola significativa, m.
- H'_0 : altura de ola equivalente significativa en aguas profundas, m.
- H_s : altura de ola significativa, m.
- H_{m0} : altura de ola de momento centrado de orden cero ($= 4\sqrt{m_0}$), m.
- L_{om} : longitud de onda, en profundidades indefinidas, correspondiente al periodo medio. ($= gT_m/2 \cdot \pi$), m.
- L_{op} : longitud de onda, en profundidades indefinidas, correspondiente al periodo de pico. ($= gT_m/2 \cdot \pi$), m.
- m_i : momento espectral de orden i.
- ξ_{op} : Número de Iribarren para el periodo de pico en profundidades indefinidas. ($= \tan \alpha / \sqrt{s_{op}}$).
- γ : factor de reducción debido a la fricción del manto.

- γ_b : factor de reducción debido a la oblicuidad.
- γ_r : factor de reducción debido a la presencia de berma.
- γ_h : factor de reducción debido a la profundidad (aguas poco profundas).
- S_{op} : peralte del oleaje basada en $T_p (= 2\pi \cdot H_{m0} / g \cdot T_p^2)$.
- S_{om} : peralte del oleaje basada en $T_m (= 2\pi \cdot H_{m0} / g \cdot T_p^2)$.
- $R_{u2\%}$: nivel del remonte excedido un 2%, m.
- h_s : parámetro establecido para determinar el tipo de inte-

racción oleaje- estructura $(= 1,35 \cdot \frac{h_s}{H_{m0}} \cdot \frac{2\pi h_s}{g \cdot T_{m-1,0}^2})$, m.

- h_s : profundidad a pie de dique, m.
- R_c : francobordo de la estructura, m.
- A_c : cota de coronación del manto, m.
- B : Ancho de la berma de coronación, m.

6. REFERENCIAS

- [1] Allsop, N.W.H. (1986). 'Sea walls'. Hydraulic Research Wallingford.
- [2] Allsop, N.W.H.; Besley, P. & Madurini, L. (1995). 'Overtopping performance of vertical and composite breakwaters, seawalls and low reflection alternatives'. MCS Project Final Report, Art. 4.7, University of Hannover.
- [3] Allsop, N.W.H.; McKenna, J.E.; Vicinanza, D.; Whitaker, T.T.J. (1996). 'New design methods for wave impact loadings on vertical breakwaters and seawalls'. Proc. of 25th Int. Conf. on Coastal Eng., pp 2508-2521. Orlando.
- [4] Aminti, P., and Franco, L. (1988). "Wave Overtopping on Rubble Mound Breakwaters," Proc. 21st Int. Conf. on Coastal Eng., Vol 1, pp 770-781.
- [5] Bradbury, A.P.; Allsop, N.W.H.; Stephens, R.V. (1988). 'Hydraulic performance of breakwater crown walls'. HR Wallingford, Report SR 146.
- [6] Berenguer, J.M.; Baonza, A. (2006). 'Diseño del espaldón de los diques rompeolas'. II Congreso Nacional de la Asociación Técnica de Puertos y Costas, pp 35- 46. Algeciras.
- [7] Burcharth, H.F.; Hughes, S.A. (2006). 'Coastal Engineering Manual (CEM)'. Ed., Vincent, L.; Demirebilek, Z.
- [8] CLASH (2005). 5º Programa Marco de la UE. Contrato nº EVK3-CT-2001-00058. (www.clash-eu.org).
- [9] CEDEX (2000). 'Ensayo en modelo físico 2-D del dique de abrigo para la ampliación del puerto de Ferrol en Cabo Prioriño'; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Clave CEDEX: 21-499-9-214, informe técnico para Puertos del Estado).
- [10] CEDEX. (2007). 'Estado del arte de las investigaciones sobre los rebases en los diques'; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Clave CEDEX: 21-407-9-313, informe técnico para Puertos del Estado).
- [11] CEDEX. (2008). 'Puerto de Melilla. Ensayos en modelo físico 2D de las secciones tipo, vertical y en talud, de la nueva alineación del dique N-3. Ensayo de la sección en talud'; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Clave CEDEX: 21-407-9-313, informe técnico para Puertos del Estado).
- [12] CEDEX. (2010). 'Esfuerzos y rebases sobre espaldones de diques verticales y en talud. Contraste de las formulaciones recogidas en el estado del arte de las investigaciones sobre esfuerzos y rebases en espaldones de diques verticales y en talud con los resultados de ensayos en modelo físico realizados en el CEDEX'; Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX (Clave CEDEX: 21-407-9-313, informe técnico para Puertos del Estado).
- [13] EurOtop (2007). "Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment manual". The EurOtop Team: Allsop, N.W.H.; Bruce, T.; Kortenhaus, A.; Pullen, T.; Schüttrumpf, H.; van der Meer, J.W. (www.overtopping-manual.com).
- [14] Franco, L.; de Gerloni, M.; Van der Meer, J.W. (1994). 'Wave overtopping on vertical and composite breakwaters'. Proc. 24th Int. Conf. on Coastal Eng., Kobe, Vol 1, pp 1030- 1044.
- [15] Goda, Y. (1985). 'Random seas and design of maritime structures'. World Scientific Publishing, Singapore, ISBN 981-02-3256-X.
- [16] Negro, V.; Varela, O.; García, J.H.; López, J. S. (2008). 'Diseño de diques verticales'. Colección Señor 26. Segunda edición. Colegio de Ingenieros de Caminos. ISBN: 84-380-0182-3.
- [17] Negro, V.; Varela, O.; García, J. H.; López, J.S. (2008). 'Diseño de diques rompeolas'. Colección Señor 28. Segunda edición. Colegio de Ingenieros de Caminos. ISBN:84-380-0216-1.
- [18] Pedersen, J.; Burcharth, H.F. (1992). 'Wave forces on crown walls'. Proc. 23rd Int. Conf. on Coastal Eng., Venecia, Vol 2, pp 1489-1502.
- [19] Pedersen, J. (1994). 'Dynamic response of rubble mound breakwater crown walls'. Proc. 2nd Workshop MCS-Project, MAST II, Milán.
- [20] Pedersen, J. (1996). 'Experimental study of wave forces and wave overtopping on breakwaters crown walls'. Hydraulics & Coastal Engineering Laboratory, Department of Civil Engineering, Aalborg University, Dinamarca, Series paper 12. ISBN: 0909-4296.