

COEFICIENTES DE SEGURIDAD ASOCIADOS A LOS NIVELES DE AVERÍA DEL MANTO PRINCIPAL DE DIQUES EN TALUD

M. Esther Gómez-Martín¹, Josep R. Medina²

¹Dep. de Ingeniería de la Construcción, Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante. esther.gomez@ua.es

²Lab. de Puertos y Costas, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera, 14 46022 Valencia. jrmedina@upv.es

INTRODUCCIÓN

La estabilidad hidráulica del manto principal depende básicamente de la forma geométrica de las piezas, de su colocación, del número de capas y de su posición en tronco o morro. Desde la aparición de la fórmula de Hudson (1959), popularizada por el SPM (1975), la estabilidad hidráulica de una determinada pieza suele indicarse señalando su coeficiente de estabilidad (K_D). Es muy frecuente ver en los proyectos de diques en talud que se sigue utilizando el criterio de Hudson (1959) de “daño nulo” o “Inicio de Averías” (IDa), utilizando un determinado K_D publicado para cada pieza y disposición. Con este criterio, al aumentar K_D , disminuye el peso de la pieza y por tanto el consumo de hormigón. Esto impulsó la invención del Tetrápodo en los años 50 y otras piezas con posterioridad con objeto de aumentar el K_D , mejorando la estabilidad hidráulica del manto y disminuyendo el consumo de hormigón (ver Dupray and Roberts, 2009). Sin embargo, la rotura masiva de los dolos de 42 t ($K_D=25$) del dique de Sines (Portugal) en 1978, puso de relieve la importancia de la resistencia estructural de la pieza además de su estabilidad hidráulica. Este artículo se centra en el análisis de la estabilidad hidráulica de las piezas del manto principal, suponiendo que su integridad estructural está garantizada.

Es habitual el uso de la fórmula de Hudson para el diseño de diques en talud, pero raramente se realiza una evaluación detallada de los coeficientes de seguridad implícitos que la fórmula de Hudson lleva asociados para cada pieza y valor de K_D publicado. Además, los valores de K_D utilizados habitualmente para el diseño de diques se refieren a IDa, mientras que el colapso de los diques en talud se produce después de rebasar el Inicio de Destrucción (IDe). En este artículo se analizan los coeficientes de estabilidad (K_D) publicados para distintos tipos de piezas (cubo, Cubípodo, Acrópodo y Xbloc) en mantos monocapa y bicapa, y se estiman los coeficientes de seguridad (SF) implícitos asociados a los dos niveles de averías fundamentales: IDa e IDe.

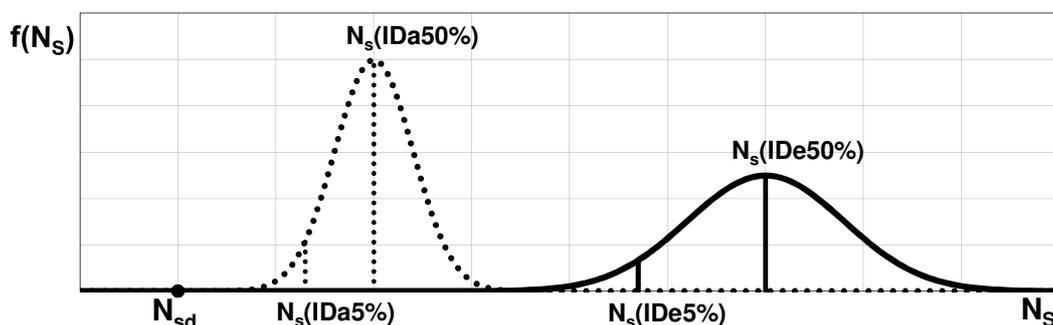


Figura 1. Función de densidad de probabilidad de $N_s(\text{IDa})$ y $N_s(\text{IDe})$.

COEFICIENTES DE SEGURIDAD IMPLÍCITOS ASOCIADOS A IDa e IDe.

Hudson (1959) e Iribarren (1965) propusieron diseñar los mantos de diques en talud a “Inicio de Averías” IDa. El diseño a IDa llevaba implícito un coeficiente de seguridad igual al cociente entre las alturas de ola correspondientes a IDe e IDa, $SF=N_s(\text{IDe})/N_s(\text{IDa})$, siendo N_s el número de estabilidad. Tanto Hudson (1959) como Iribarren (1965) consideraban valores implícitos de $SF \approx 1.6$ al proponer el diseño a IDa para los mantos de escollera, tetrápodos, cubos y bloques paralelepípedicos. En la actualidad, se suele decir que se

diseña a IDa pero, en muchos casos, el ratio $N_s(IDe)/N_s(IDa)$ ya no es 1.6. De la mayor parte de piezas que existen, sólo se publica el coeficiente de estabilidad de diseño, K_D , el cual se supone asociado a IDa; sin embargo es necesario conocer los SF implícitos a IDe, ya que la funcionalidad del dique en talud se pierde con la destrucción del dique y no con una avería parcial. Por consiguiente, es el IDe (no el IDa) el estado límite fundamental que debe condicionar el diseño.

Los valores de K_D publicados para las distintas piezas se corresponden con un número de estabilidad de diseño (N_{sd}) y están basados en ensayos físicos a escala reducida con la semejanza de Froude. Los resultados de los ensayos muestran una variabilidad experimental de $N_s(IDa)$ y $N_s(IDe)$ que permite estimar los SF implícitos, para IDa e IDe, utilizando los percentiles del 5% y 50%.

La Figura 1 muestra la función de densidad de probabilidad de $N_s(IDa)$ y $N_s(IDe)$, considerando una distribución normal para los resultados de los ensayos, donde $N_s(IDaN\%)$ y $N_s(IDeN\%)$ son los números de estabilidad correspondientes a IDa e IDe con un N% de probabilidad de no ser excedidos. De este modo, los SF implícitos a IDa e IDe pueden obtenerse con las expresiones:

$$SF(IDaN\%) = \frac{N_s(IDaN\%)}{N_{sd}} \quad SF(IDeN\%) = \frac{N_s(IDeN\%)}{N_{sd}}$$

La Tabla 1 de Medina et al. (2010) muestra los coeficientes de estabilidad de algunas piezas y una estima de los coeficientes de seguridad implícitos, para diques no rebasables y oleaje sin limitación de fondo, en función del número de capas y del tramo (tronco y morro).

Tramo	Pieza	K_D	Nº capas	talud	Inicio de Destrucción (IDe)		Inicio de Avería (IDa)	
					SF(IDe5%)	SF(IDe50%)	SF(IDa5%)	SF(IDa50%)
Tronco	Cubo	6.0	2	3/2	1.05	1.35	0.67	0.86
	Cubípodo 2	28.0	2	3/2	1.09	1.40	0.82	0.99
	Cubípodo 1	12.0	1	3/2	1.31	1.64	1.06	1.27
	Acrópodo	15.0	1	4/3	1.05 a 1.40	1.26 a 1.51	0.93 a 1.24	1.15 a 1.38
	Xbloc	16.0	1	4/3	1.17	1.68	1.17	1.32
Morro	Cubo	5.0	2	3/2	1.17	1.40	0.88	1.13
	Cubípodo 2	7.0	2	3/2	1.19	1.36	0.99	1.18

Tabla 1. K_D y coeficientes de seguridad implícitos del cubo, Cubípodo, Acrópodo y Xbloc.

Se observa que para el manto bicapa de cubos, de respuesta flexible, se suele usar un $K_D=6$ que está asociado a un nivel de averías superior a IDa ($SF[IDa50\%]=0.86<1$). Por el contrario, para los mantos monocapa, de respuesta rígida, se suelen usar K_D asociados a niveles de averías muy inferiores a IDa ($SF[IDa50\%]\approx 1.30>1$). La razón de esta disparidad es clara: disponer de unos coeficientes de seguridad razonables a IDe, $SF[IDe5\%]=1.05$ para mantos bicapa de cubos y $SF[IDe5\%]\approx 1.20$ para mantos monocapa. Por otro lado, los SF implícitos para morros son mayores que los correspondientes para troncos, debido al menor conocimiento que se tiene del comportamiento de los morros, la menor fiabilidad de los ensayos 3D y el mayor número de variables que afectan la estabilidad del morro.

REFERENCIAS

- Dupray, S. and Roberts, J. 2009. Review of the use of concrete in the manufacture of concrete armour units. Proc. of Coasts, Marine Structures and Breakwaters 2009, ICE, Vol. 1, 245-259.
- Iribarren, R. 1965. Fórmula para el cálculo de los diques de escolleras naturales o artificiales. Revista de Obras Públicas, Col. ICCP, Madrid. 113 (3005): 739-750 y 113 (3006): 829-849.
- Medina, J.R., Gómez-Martín, M.E., Corredor, A., y Santos, M. 2010. Diseño de diques en talud con el manto principal de cubípodos, Revista de Obras Públicas, Col. ICCP, Madrid. 157 (3515): 37-52.
- SPM. 1975. Shore Protection Manual, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Virginia.