

ANEJO Nº8. CARACTERÍSTICAS ALTERNATIVA ELEGIDA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL DIQUE

2.1. CÁLCULO DE LA ALTURA DE OLA PARA EL DISEÑO DE DIQUES EXENTOS SUMERGIDOS

2.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS DIQUES EXENTOS SUMERGIDOS

2.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y CÁLCULO DE DIQUE EN TALUD

2.4. MATERIALES Y SECCIÓN TRANSVERSAL

3. ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

3.1. INTRODUCCIÓN

3.2. PERFIL DE PLAYA DESEADO

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ARENA NATIVA

3.4. CÁLCULO DEL VOLUMEN

3.5. FORMA EN PLANTA

3.6. PERFIL TEÓRICO

3.7. APORTE DE ARENA

4. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se realizará el dimensionamiento de los diques exentos por lo que se estudiarán todos los parámetros necesarios como son: la altura de ola de cálculo, materiales a utilizar...

Acto seguido, se dispondrá el plan de ejecución de la alimentación artificial.

2. DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Para la correcta ejecución de los diques exentos se deben tener en cuenta una serie de parámetros de proyecto.

- Cota de coronación y pie del dique
- Orientación
- Longitud, separación y número de diques
- Sección transversal
- Localización y separación entre diques

2.1. Cálculo de la altura de ola para el diseño de diques exentos sumergidos

La altura de ola de cálculo (H_{cal}) está condicionada por la profundidad. Para obtener dicho parámetro se ha de calcular anteriormente la altura de ola en condiciones de rotura (H_r) y la altura de ola significativa en aguas profundas (H_{so}).

➤ Altura de ola significativa en aguas profundas (H_{so})

La playa del Perelló pertenece al área VII según la ROM 0.3-91 “Recomendación para Oleaje y Atlas de Clima Marítimo en el Litoral español”. Por lo tanto, se usará la información de los cuadros D (Registros Instrumentales: Regímenes Extremales Escalares) y E (Registros Instrumentales: Correlaciones, Altura de ola / Período en Temporales).

La altura de ola significativa asociada a un período de retorno en aguas profundas en una dirección determinada puede obtenerse a partir de los resultados instrumentales disponibles en el cuadro D, por medio del coeficiente K_r , a través de esta ecuación:

$$H_{so} = \frac{K_{\alpha}}{K_R} * H_{SR}$$

- H_{so} : Altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un período de retorno para una dirección determinada
- H_{sr} : Altura de ola significativa asociada a un período de retorno obtenida del régimen extremal escalar instrumental.
- K_{α} : Coeficiente de reparto direccional para la dirección considerada.

- Kr: Coeficiente de refracción-shoaling en el punto de medida para la dirección considerada y el período establecido asociado a dicha altura de ola.

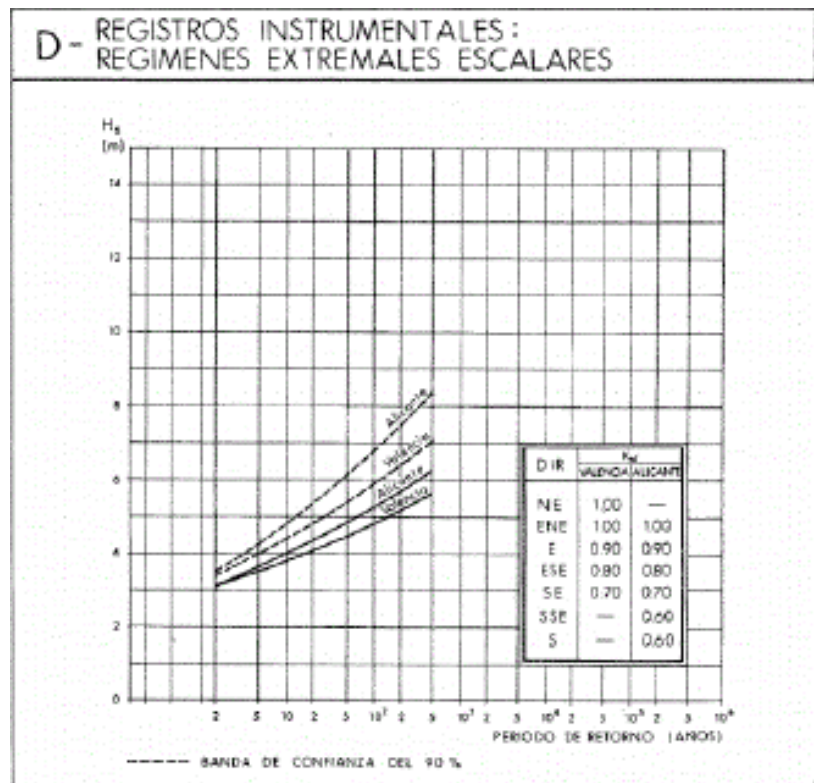


Figura 1. Cuadro D / Área VII

E - REGISTROS INSTRUMENTALES: CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES					
BOYA	$P = H_s / L_T = \frac{2\pi H_s}{g T_p^2}$	T_p / \bar{T}	RELACION FINAL $\frac{H_s (m)}{T_p (s)}$	VALORES DE DISEÑO	
				H_s (m)	T_p (s)
VALENCIA I	0.025 ~ 0.04	≈ 125	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11-14
				7	13-16.5
ALICANTE	0.025 ~ 0.04	≈ 125	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11-14
				7	13-16.5

Figura 2. Cuadro E / Área VII

Coeficiente de reparto direccional K_α Valencia (ROM 0.3-91)				
NE	ENE	E	ESE	SE
1	0,95	0,9	0,9	0,8

Figura 3. Coeficientes de reparto direccional

Coeficiente de refracción-shoaling K_r Valencia (ROM 0.3-91)						
DIRECCIÓN\PROFUNDIDAD	7	9	11	13	15	17
NE	0,94	0,88	0,87	0,83	0,87	-
ENE	0,94	0,9	0,79	0,75	0,8	-
E	0,94	0,94	0,93	0,95	0,98	-
ESE	0,94	0,91	0,93	0,95	0,96	-
SE	0,94	0,89	0,89	0,89	0,89	-

Figura 4. Coeficientes de refracción-shoaling

Aplicando la fórmula anterior se obtiene la altura de ola de proyecto según el periodo de retorno y la dirección del oleaje.

			$H_{so} = \frac{K_{\alpha}}{K_R} * H_{SR}$					
T		2	5	10	20	50	100	200
Hs		3,1	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,2
Tp mín		8,8	9,35	9,75	10,12	10,61	10,95	11,4
Tp máx		11,09	11,79	12,28	12,76	13,36	13,8	14,37
Tp		9	11	11	11	11	13	13
Hso	NE	3,52	4,02	4,37	4,71	5,17	5,78	6,27
	ENE	3,27	4,21	4,57	4,93	5,41	6,08	6,59
	E	2,97	3,39	3,68	3,97	4,35	4,55	4,93
	ESE	3,07	3,39	3,68	3,97	4,35	4,55	4,93
	SE	2,79	3,15	3,42	3,69	4,04	4,31	4,67

Figura 5. Resultados para Hso

A continuación, se establece la vida útil mínima para obras e instalaciones de carácter definitivo siguiendo las instrucciones de la ROM 0.2-90 “Acciones de Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias”.

TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

LEYENDA:

INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL:
Obras de carácter general; no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de un yacimiento concreto.

DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO:
Obras al servicio de una instalación industrial concreta o ligadas a la explotación de recursos o yacimientos de naturaleza transitoria (por ejemplo, puerto de servicio de una industria, cargadero de mineral afecto a un yacimiento concreto, plataforma de extracción de petróleo,...).

NIVEL 1:
Obras e instalaciones de interés local o auxiliares.
Pequeño riesgo de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Obras de defensa y regeneración de costas, obras en puertos menores deportivos, emisarios locales, pavimentos, instalaciones para manejo y manipulación de mercancías, edificaciones,...).

NIVEL 2:
Obras e instalaciones de interés general.
Riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Obras en grandes puertos, emisarios de grandes ciudades, ...).

NIVEL 3:
Obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional. Riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Defensa de núcleos urbanos o bienes industriales, ...).

Figura 6. Vida útil mínima para obras de carácter definitivo

Analizando la tabla, se ha elegido que sea una infraestructura de carácter general debido a su no competencia con la explotación de una instalación industrial. Además, al tratarse de una obra de regeneración y defensa costera pertenece al nivel 1 de seguridad. Por ello, la vida útil mínima para la infraestructura es de 25 años.

Para obtener el riesgo admisible de averías se consultará la ROM 0.2 – 90 “Riesgos máximos admisibles para la determinación, a partir de los datos estadísticos, de los valores característicos de cargas variables para fase de servicio y condiciones extremas”.

Para la playa del Perelló se considerará una posibilidad de pérdidas humanas reducida y una repercusión económica de inutilización de la obra media. Así, el valor de riesgo admisible (E) es de 0,3.

A partir de la siguiente formulación se puede obtener el periodo de retorno de la obra del estudio:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^L$$

TABLA 3.2.3.1.2. RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE CARGAS VARIABLES PARA FASE DE SERVICIO Y CONDICIONES EXTREMAS

a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Índice : $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15
b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Índice : $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

Figura 7. Tabla riesgos máximos

Cogiendo $L = 25$ años y $E = 0.3$, el periodo de retorno obtenido es de $T \approx 71$ años. Se interpolará la tabla de la Figura 5 para tener la altura de ola significativa en aguas profundas (H_{so}).

T (años)		71
Hso	NE	5,45
	ENE	6
	E	4,4
	ESE	3,9
	SE	3,6

Figura 8. Altura de ola significativa para $T = 71$ años

Analizando la anterior tabla, se tomará como altura de ola significativa en aguas profundas el valor de 6 metros.

Por otra parte, ha de calcularse la longitud y el periodo de ola de cálculo mediante la fórmula expresada en la Figura 2, que son las siguientes:

$$Tp = (5 \sim 6.3) \sqrt{Hs}$$

$$Lo = \frac{g * T^2}{2\pi}$$

Resolviendo estas fórmulas, se obtiene un $Tp = 12.2 - 15.4$ años, escogiendo $Tp = 14$ años, y una $Lo = 306$ metros.

➤ Altura de ola en condiciones de rotura (Hr)

La altura de ola determinante para las obras costeras es la mayor ola rompiente que pueda llegar a la obra. En el caso de las obras de regeneración de la playa de Levante, habrá que considerar la máxima altura de ola que pueda llegar a la obra sin romper antes. En el momento en que la ola rompe, la teoría de la onda solitaria afirma que:

$$\frac{Hr}{db} = 0.78$$

donde Hb es la altura de ola en condiciones de rotura y db es la profundidad de cálculo al pie de la estructura, obtenida como suma de la profundidad real de ésta ($ds=4.5$ metros de profundidad a los que se situarán los diques exentos) y la sobreelevación considerada ($s = 1$ metro).

Las curvas de Weggel representan la relación en función de la pendiente de la playa y el período de oleaje, indican la rompiente máxima que puede llegar a la infraestructura. Considerando que la playa del Perelló tiene una pendiente aproximada del 1-2% y con un período de oleaje comprendido entre 9 y 12 segundos, se obtiene una relación:

$$\frac{Hr}{db} = 1$$

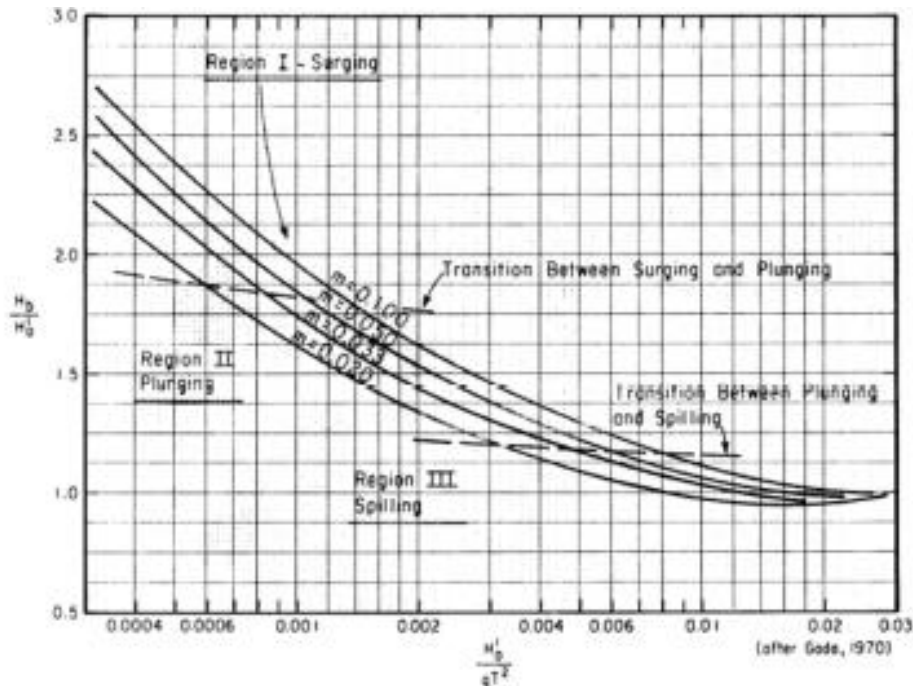


Figura 9. Curvas de Weggel

Con los valores obtenidos en la anterior figura, se tiene que:

$$H_r = 1 * ds = 1 * 5 = 5 \text{ metros}$$

Continuando con la teoría de la onda solitaria y despejando H_b se obtiene:

$$H_r = 0.78 * (5 + 1) = 4.68 \text{ metros}$$

Por tanto, la altura de ola en condiciones de rotura es $H_b = 5$ metros.

Al haber obtenido una altura de ola en rotura (H_b) de 5 metros, todas las olas mayores a ese valor romperán antes de alcanzar las obras de regeneración.

Por otro lado, se sabe que durante la presentación de un temporal existen alturas de ola individuales que pueden llegar a ser del orden de $2 * H_{1/3}$.

Por imposición de los cálculos realizados, se tiene que $H_{so} = H_{1/3} = 6 \text{ metros}$

Según el Shore Protección Manual (SPM), para elegir el valor de la altura de ola de diseño se recomienda tomar $H_{1/10}$ en espigones y diques, siendo $H_{1/10} = 1.27 * H_{1/3}$. Con un valor de 7.62 metros.

Como $H_r < H_{1/10}$, se tiene que las obras de regeneración de la playa del Perelló optan con condiciones de rotura de ola al pie de estas, así que:

$$H_{cal} = H_r = 5 \text{ metros}$$

2.2. Características geométricas de los diques exentos sumergidos

La caracterización de los diques exentos depende de la apariencia que se quiere dar a la playa. Como el objetivo del estudio es conseguir un ancho de playa seca de entre 40 - 45 metros y producir la formación de hemitómbolos, se determinarán los siguientes parámetros:

➤ Orientación del dique

Los diques exentos se orientan de tal forma que se disminuya la energía del oleaje que llega a la orilla y cambiar la dirección de la propagación del oleaje, así los efectos son los deseados.

Según si el oleaje presenta oblicuidad o es normal a la costa, los diques exentos se dispondrán paralelos o con cierta oblicuidad para proteger el tramo de costa.

En el caso de la playa del Perelló, con los datos recogidos en el “Anejo 5. Clima marítimo”, las direcciones predominantes de oleaje son ENE y NE por lo que los diques se dispondrán paralelos a la costa.

➤ Distancia del dique a la costa

La distancia de un dique exento a la costa determina la cantidad de sedimento que, en el área de resguardo que ofrece el dique, se acumula.

Si la distancia del dique exento a la costa es mayor que la distancia a la que se encuentra la línea de rotura la estructura no ofrecería el área de resguardo necesaria para acumular sedimentos.

Por lo contrario, si el dique exento está más próximo a la costa que la línea de rotura facilita la acumulación de sedimentos. Cuanto menor sea la distancia entre el dique y la línea de costa favorece la formación de un tómbolo.

Debido a que los diques, se situarán sobre la línea batimétrica de -5 metros y que se quiere conseguir un ancho de playa seca comprendido entre 35-40 metros, quedarán a una distancia de 180 metros de la costa ya regenerada.

➤ Longitud, separación y número de diques

La longitud del dique tiene influencia en la cantidad de energía que llega a alcanzar la playa. El aumento de la cantidad de sedimentos depositados en la costa es proporcional al aumento de la longitud del dique exento.

Para el cálculo de las condiciones tanto para la formación de un hemitómbolo como para una mínima respuesta de la costa, se utilizarán las siguientes formulaciones:

- Formación de hemitómbolos: Cuando existe un grupo de diques y no se quiere la formación de tómbolo.

CONDICIONES PARA LA FORMACIÓN DE HEMITÓMBOLOS		
Expresión analítica	Respuesta producida	Fuente y año
$L/y < 1$	No hay tómbolo	S.P.M. (1984)
$L/y < 0,4 - 0,5$	Saliente	Gourlay (1981)
$L/y = 0,5 - 0,67$	Saliente	Dally y Pope (1986)
$L/y < 1$	No hay tómbolo (dique aislado)	Suh y Dalrymple (1987)
$L/y < 2G/L$	No hay tómbolo (grupo de diques)	Suh y Dalrymple (1987)
$L/y < 1,5$	Saliente bien desarrollado	Ahrens y Cox (1990)
$L/y < 0,8 - 1,5$	Pequeño saliente	Ahrens y Cox (1990)
L: Longitud del dique exento y: Distancia del dique a la posición inicial de la línea de costa G: Separación entre diques exentos alineados		

Figura 10. Condiciones para la formación de hemitómbolos

$$L/y < 2G/L$$

- Mínima respuesta de la costa:

CONDICIONES PARA UNA MÍNIMA RESPUESTA DE LA COSTA		
Expresión analítica	Respuesta producida	Fuente y año
$L/y < 0,17 - 0,33$	No hay respuesta	Inman y Frautschy (1978)
$L/y < 0,27$	No hay sinuosidad	Ahrens y Cox (1990)
$L/y < 0,5$	No hay acreción	Nir (1982)
$L/y < 0,125$	Impacto mínimo	Dally y Pope (1986)
$L/y < 0,17$	Impacto mínimo	Noble (1978)
L: Longitud del dique exento y: Distancia del dique a la posición inicial de la línea de costa G: Separación entre diques exentos alineados		

Figura 11. Condiciones mínimas para una respuesta de la costa

La separación entre dos diques es muy importante para controlar la respuesta de la costa ya que influye en las corrientes responsables del transporte sólido. Además,

condiciona la cantidad de energía que accede al área abrigada, así como la difracción del oleaje en los extremos de los diques.

De las condiciones anteriores, se deduce que: “La relación a tener en cuenta para definir la separación entre diques (G) es G/L . Aportando valores elevados de G/L , la protección sobre la costa disminuye y los efectos erosivos se atenuarán, en cambio, valores bajos de la relación G/L producirá grandes erosiones, pero una costa protegida.”

- $L = 140$ metros
- $y = 220$ metros

} - $G > 45$ metros, así que se elige por una separación de 160 m

Se dispondrán diques de 140 metros de longitud, separados 160 metros cada uno y a una distancia de la costa de 220 metros aún no regenerada.

2.3. Análisis de estabilidad y cálculo del dique en talud

A continuación, se tratará el análisis de la estabilidad y el cálculo del dique en talud mediante las fórmulas del Shore Protection Manual (SPM).

La construcción de los diques en talud es una de las infraestructuras más empleadas para poder proteger la costa o abrigar una zona. Son estructuras que reducen la energía del oleaje a través de los procesos de rotura, fricción y transmisión del oleaje a la parte abrigada.

➤ Causas de fallo del dique

La estabilidad en un proyecto de construcción tiene una gran importancia y requiere el análisis de la estabilidad de toda la estructura bloque a bloque.

En 1979, Bruun elaboró la síntesis de las causas que provocan el fallo de un dique, estas son las principales causas:

- Estabilidad hidrodinámica de las piezas
- Estabilidad mecánica de las piezas
- Estabilidad geotécnica del conjunto
- Errores constructivos

Se estudiará y analizará la estabilidad del dique a partir de las causas de avería debidas a la falta de estabilidad hidrodinámica, estas son:

- Retirar las piezas que forman el manto principal a causa del oleaje.
- Movimientos continuos de los cantos del manto principal sin grandes desplazamientos instantáneos, pero capaces de deteriorar en el tiempo la conformación del manto. Se puede considerar como una rotura por fatiga.

Los movimientos que genera el oleaje sobre las piezas que conforman el manto pueden ser de dos tipos:

- Cabeceos sobre sus apoyos en el manto
- Desplazamientos de su posición en el manto.

Cuando el dique es alcanzado por un oleaje regular de pequeña altura, este permanece inalterado, excepto la extracción de piezas que no se encuentran integradas en el conjunto. Si la altura que alcanza el dique es mayor, provoca la extracción de piezas, donde acaban disminuyendo a partir de un número determinado de olas. Durante este tiempo el dique pasa por una serie de procesos donde termina estabilizándose tras el paso de un número determinado de olas.

Por otra parte, cuando las acciones incidentes debidas al flujo sobrepasan un determinado valor, las piezas del manto secundario se verán afectadas antes de que el manto principal pueda alcanzar la situación de estabilidad. Cuando la afección alcanza el manto secundario, es un daño que con el tiempo seguirá creciendo, llegando a alcanzar niveles de deformación incompatibles con la función para la que ha sido construida la estructura.

Por último, cuando el espesor del manto principal es muy grande, la deformación admisible es mucho mayor, por lo que se impondrá una limitación a dicha deformación, o por el inicio de la erosión que se provoca cuando alcanza el manto secundario o por los efectos que genera la deformación afectando a la funcionalidad del dique.

➤ Criterios de avería

Las averías empiezan a generarse cuando la altura de ola afecta a la extracción de algunos de los elementos que forman el manto principal. Cuando este proceso sucede, el dique cambia hasta una nueva situación de estabilidad parcial.

Para poder establecer una relación entre el estado de avería de un dique con los valores de los parámetros de daño se procederá a definir algunos criterios globales de avería relacionados con variaciones geométricas en el manto, aportando así, la información necesaria sobre el estado del dique.

Las diferentes intensidades de avería son:

- Inicio de avería (IA): Mínima altura de ola capaz de movilizar elementos del manto. Un 5% de las piezas del manto han sido desplazadas.
- Avería de Iribarren (AI): El fallo de la capa exterior permite la extracción de piezas de capas interiores.
- Inicio de destrucción (ID): Cuando se extrae una de las piezas de la segunda capa del manto principal.
- Destrucción (D): El daño alcanza el núcleo del dique.

Se determinará 'daño' como el porcentaje de escollera que se mueve en una banda activa.

➤ Peso de las piezas a utilizar

Las piezas que se van a colocar se determinarán a partir del cálculo de su peso. Además del peso propio de los bloques, la estabilidad de estos depende del engarce y trabazón con los elementos adyacentes y del conjunto. Así, las piezas han de ser capaces de resistir la energía de rotura del oleaje.

Para calcular el peso unitario mínimo de los elementos del manto principal se empleará la fórmula de Iribarren (modificada por Hudson):

$$w = \frac{1}{k_d * \cot \alpha} * \frac{H^3 * \rho_s}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)^3}$$

Siendo:

- w es el peso de la escollera del manto.
- ρ_s es el peso específico de la escollera, de valor 2,7 T/m³.
- ρ_s/ρ_w es el peso específico relativo del material respecto del agua marina, cuyo valor es de 2,637 T/m³
- H es la altura de ola a considerar.
- $\cot \alpha$ es la inclinación de los taludes. En este caso es 2 para ambos lados.
- K_d es el coeficiente de estabilidad.

La altura de ola (H) a introducir en esta ecuación está en función del nivel de daño que se acepte para la estructura. El Shore Protection Manual (SPM) define este nivel como el porcentaje de escollera que se mueve dentro de una banda activa, y para cada valor de daño, proporciona una relación entre la altura de ola (H) a introducir en la ecuación de Hudson, y la altura de ola de cálculo (Hcal).

Se elige un porcentaje de daño de 20-30% ya que los últimos temporales han ocasionado destrozos considerables.

$$H_{cal} = \frac{5}{1.37} = 3.64 \text{ metros}$$

Unit		Damage (%) In Percent						
		0 to 5	5 to 10	10 to 15	15 to 20	20 to 30	30 to 40	40 to 50
Quarystone (smooth)	$\frac{W}{W_{D=0}}$	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
Quarystone (rough)	$\frac{W}{W_{D=0}}$	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.60 ²
Tetrapods & Quadripods	$\frac{W}{W_{D=0}}$	1.00	1.09	1.17 ³	1.24 ³	1.32 ³	1.41 ³	1.50 ³
Tribar	$\frac{W}{W_{D=0}}$	1.00	1.11	1.25 ³	1.36 ³	1.50 ³	1.59 ³	1.66 ³
Dolos	$\frac{W}{W_{D=0}}$	1.00	1.10	1.74 ³	2.77 ³	4.20 ³	7.24 ³	1.27 ³

Figura 12. Porcentaje de daño

Por otro lado, Kd es un coeficiente de estabilidad que varía principalmente con la forma de las piezas, la rugosidad en la superficie, la angulosidad de las aristas y el grado de entrelazado obtenido en la colocación.

También depende del número de capas que se vayan a utilizar, de cómo se coloquen las piezas, de las condiciones de oleaje (rotura o no rotura) y de si estamos en la sección del morro o no.

Para el dique exento de este proyecto, se tendrán en cuenta dos capas, por lo que n=2. Además, consideramos que la escollera que se va a utilizar será rugosa y su colocación aleatoria.

No-Damage Criteria and Wave Overlapping						
Armor Units	n	Placement	Structure Trunk		Structure Head	
			K_D^2		K_D	Slope
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	
Quarystone	1	Random	1.2	2.4	1.1	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	Random	1.0	2.2	1.0	1.5 to 3.0
Rough angular	1	Random	1.0	2.2	1.0	1.5 to 3.0
Rough angular	2	Random	1.0	4.0	1.0	1.5 to 3.0
Rough angular	>3	Random	1.0	4.0	1.0	1.5 to 3.0
Rough angular	2	Special 1	1.0	4.0	1.0	1.5 to 3.0
Parallelepiped	2	Special 1	1.0	4.0	1.0	1.5 to 3.0
Decayed and Quadripod	2	Random	1.0	4.0	1.0	1.5 to 3.0
Triker	2	Random	1.0	10.0	1.0	1.5 to 3.0
Dolma	2	Random	1.0	10.0	1.0	1.5 to 3.0
Modified cube	2	Random	1.0	4.0	1.0	1.5 to 3.0
Decayed	2	Random	1.0	4.0	1.0	1.5 to 3.0
Triker	2	Random	1.0	10.0	1.0	1.5 to 3.0
Quarystone (K_{D0})	1	Uniform	1.0	15.0	1.0	1.5 to 3.0
Graded angular	2	Random	1.0	4.0	1.0	1.5 to 3.0

Figura 13. Tabla para K_d

Por lo tanto, se aplicará un $K_d=2$ para el cuerpo del diquey un $K_d=1.6$ para el morro del dique.

Como puede apreciarse en la siguiente imagen se muestra la sección tipo para diques de escollera en condiciones de rotura de ola. Donde se tiene un manto principal, manto secundario y un núcleo:

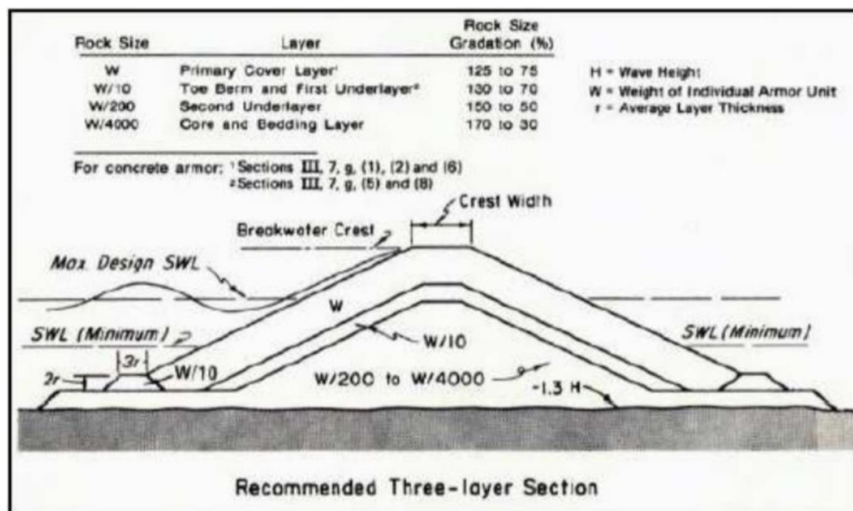


Figura 14. Recomendaciones de espesores de capa

❖ Manto principal

A partir de la fórmula de Hudson, se efectuarán los cálculos del peso específico de la escollera y el espesor de las capas ya sea del morro o del cuerpo del dique.

	CUERPO	MORRO
Kd	2	1,6
cota	2	2
H(m)	3,64	3,64
$\rho_s(T/m^3)$	2,7	2,7
$\rho_s/\rho_w (T/m^3)$	2,637	2,637
W(T)	7,421	9,276
W(kg)	7421,0	9276,2

Una vez calculado el peso de las piezas que se colocaran en el manto principal, se calcula el espesor del manto mediante la siguiente formulación:

$$r = n * K \Delta * \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- n: Número de capas
- $k\Delta$: Coeficiente de capa, donde el valor será 1 porque se utilizarán rocas angulosas con colocación aleatoria.
- W(T): Peso calculado en la tabla anterior
- γ_r : Peso específico de la pieza → Escollera

	CUERPO	MORRO
n	2	2
$k\Delta$	1	1
W(T)	7,42099067	9,27623834
γ_r	2,7	2,7
r(m)	2,802	3,018

❖ Manto secundario

El manto secundario es una capa intermedia que se encuentra entre el manto principal y el núcleo actuando como filtro y de protección del núcleo del oleaje incidente. El peso de las piezas del manto secundario es del 10% del peso del manto principal y en este caso se dispondrá una capa (n=1).

	CUERPO	MORRO
W(T)	0,742	0,928
W(Kg)	742	928
r(m)	0,679	0,732

❖ Núcleo interior

Como se ha comentado anteriormente la principal función del núcleo es ofrecer estabilidad al dique e impedir la propagación del oleaje a través de este. El material que se empleará es todo-uno de cantera con diferentes pesos que se mantendrán dentro de un rango. Para establecer el rango de pesos nos apoyamos en la anterior imagen obtenida en el SPM, donde especifica que el intervalo en el que se mueven los materiales del núcleo son $w/200$ y $w/4000$.

Por lo tanto, sabremos que los pesos del núcleo oscilan entre 1 y 47 kg.

Por último, se adjuntará a continuación una tabla resumen de los pesos y los espesores de cada una de las capas que tendrá el dique y una segunda tabla donde se determinarán las variaciones de los pesos que son permitidas según la SPM:

CAPA	MANTO PRINCIPAL		MANTO SECUNDARIO		NÚCLEO
	Cuerpo	Morro	Cuerpo	Morro	
Peso de la pieza (kg)	7421,0	9276,2	742,1	927,6	1-47
Espesor(m)	2,80	3,02	0,68	0,73	-
CAPA	MANTO PRINCIPAL		MANTO SECUNDARIO		NÚCLEO
	Cuerpo	Morro	Cuerpo	Morro	
Variaciones (%)	75-125	75-125	70-130	70-130	30-170
Peso mínimo (kg)	5565,7	6957,2	519,5	649,3	1
Peso máximo (kg)	9276,24	11595,30	964,73	1205,91	47

➤ Cota de coronación y su ancho mínimo

En el “Anejo 7. Estudio de soluciones” se explica que el dique será sumergido debido a las ventajas estéticas que conlleva. Por ello, la cota de coronación estará a -0.5 metros.

Se ha de tener en cuenta que el nivel del mar no es constante, por lo que podrán darse situaciones en las que la coronación sea visible pero nunca suponiendo una barrera visual.

Por cuestiones que en el siguiente apartado se explicarán, se ha definido un ancho de 8 metros. De todas formas, se ha de comprobar si cumple con el ancho mínimo recomendado por el SPM, mediante la siguiente formulación:

$$B = n * k\Delta * \left(\frac{w}{w_y}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

- n: Número de capas (n=2)
- $k\Delta \rightarrow$ Coeficiente de capa ($k\Delta = 1$)
- $w \rightarrow$ Peso de las piezas del manto principal
- $w_y \rightarrow$ Densidad del material de las piezas $\rightarrow 2,7 \text{ T/m}^3$

Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient k_Δ	Porosity (P) %
Quarystone (smooth) ¹	2	Random	1.02	38
Quarystone (rough) ²	2	Random	1.00	37
Quarystone (rough) ²	>3	Random	1.00	40
Quarystone (parallelepiped) ⁶	2	Special	—	27
Cube (modified) ¹	2	Random	1.10	47
Tetrapod ¹	2	Random	1.04	50
Quadripod ¹	2	Random	0.95	49
Hexipod ¹	2	Random	1.15	47
Tribar ¹	2	Random	1.02	54
Dolce ⁴	2	Random	0.94	56
Toskane ⁵	2	Random	1.03	52
Tribar ¹	1	Uniform	1.13	47
Quarystone ⁷	Graded	Random	—	37

Figura 15. Tabla para coeficiente del núcleo

ANCHO MINIMO	CUERPO	MORRO
	2,80	3,02

➤ Justificación del ancho elegido

Según la norma SPM, cuando se establece un ancho para la coronación de una estructura este debe ser suficiente para cualquier operación de construcción o mantenimiento que obligue a circular por encima de la estructura. Un ancho muy superior al ancho mínimo supone un incremento en el presupuesto, pero favorece las labores de construcción si se debe circular sobre la estructura.

Al decidir un ancho de 8 metros, permite con facilidad la circulación de los camiones, grúas, palas y cualquier tipo de maquinaria tanto para aportar el material y colocarlo, como para la extracción del material sobrante.

➤ Bermas de refuerzo

El oleaje incidente de la zona puede llegar a generar erosiones en el fondo y en la propia cimentación de los diques. Por ello, la construcción de las bermas permite proteger la zona con el fin de evitar cualquier fallo en el pie o asientos excesivos que ocasionen el fallo de la estructura.

Como el proyecto va a desarrollarse en la playa del Perelló y el fondo no es rocoso con más razón se contará con las bermas a modo de protección de las cimentaciones a ambos lados del dique, donde la anchura de estos será de 1,5 metros y con una altura de 0,5 metros. Además, se hará uso del mismo material colocado en el manto secundario.

2.4. Materiales y sección transversal

Los materiales que se van a utilizar para construir los espigones exentos serán los materiales comúnmente utilizados para ello, bloques de escollera para los mantos y material todouno de cantera para el núcleo.

La sección transversal del dique será la misma y de geometría trapezoidal. A continuación, se concretan los parámetros necesarios para definir geométricamente la sección transversal:

- El ancho de coronación del núcleo del cuerpo será de 8 metros
- Los taludes tendrán valor de 2H:1V
- Se colocará una berma a ambos lados de 1.5 metros de longitud y 0.5 metros de altura
- La cota de coronación se mantendrá constante a lo largo del dique y 0.5 m por debajo del nivel medio del mar
- El calado o profundidad de colocación será de -5.5 metros

3. ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

3.1. Introducción

El perfil de una playa está formado por cuatro zonas representadas en la siguiente figura:

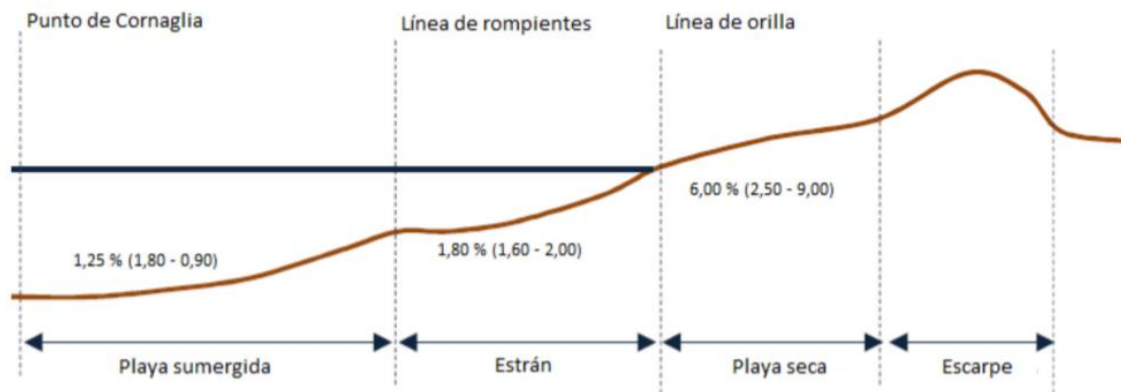


Figura 16. Zonificación del perfil de una playa

De la misma forma, la playa seca puede dividirse en diferentes tramos:

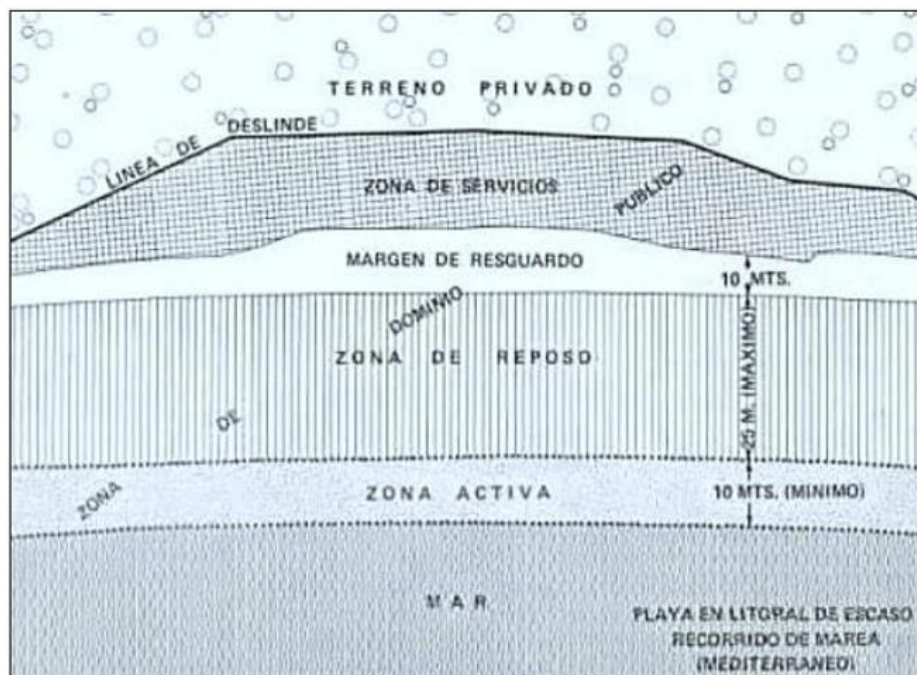


Figura 16. Tramos existentes en una playa

A continuación, se definirán los tramos y sus características:

- Zona activa: Tramo de arena más cercana a la costa que debe mantenerse libre, prácticamente en la totalidad de su longitud, para garantizar y favorecer una cómoda inmersión y tránsito a las personas que acuden a bañarse. Se recomienda que la anchura mínima de la zona activa debe ser de 10 metros, no obstante, el valor definitivo del mismo se tendrá según la pendiente de la playa en este tramo y el valor del Run-Up.
- Zona de reposo: Es la franja paralela a la zona activa, donde en esta se instalan los equipos como sombrillas, hamacas, toldos y demás elementos portátiles, particulares o uso público, para hacer confortable la permanencia en la playa. Se estima un ancho en esta zona de 10 metros, ya que si son superiores a 25 metros se considera desagradable por recorrer tanta distancia para llegar al agua, por la temperatura de la arena que puede ser elevada.
- Margen de resguardo: Se establece un ancho de 10 metros, un margen que ayuda a prever las oscilaciones naturales estacionales de playa.
- Zona de servicio: Este compuesto por los terrenos inmediatos a la zona de reposo o inactiva por el lado del suelo, es decir, la zona más interna de la playa. Es una zona que tiene como función actuar de barrera entre la zona de reposo de la playa y las zonas urbanas cercanas.

Por último, uno de los parámetros a considerar a la hora de realizar los cálculos de la forma de planta que tendrá la playa seca, con un ancho mínimo esperado de 45 metros. Esta magnitud se obtendrá como resultado de la suma de las zonas activas y de reposo. La zona de servicio no está considerada dentro del área de playa seca.

3.2. Perfil de playa deseado

➤ Cálculo del Run - Up

Run - Up se entiende como la cota de la playa seca que alcanza una ola en condiciones de ruptura. Se hará uso de la formulación de Longuet – Higgins y Stewart para efectuar el cálculo de este.

$$S = 0.19 * (1 - 2.82 * \left(\frac{H_r}{g * T^2}\right)^{0.5}) * H_r$$

Donde:

- S: Valor del Run-Up
- Hr: Altura de ola en condiciones de ruptura
- T: Periodo de la ola de altura

Cuando se están realizando cálculos del perfil de la playa se debe utilizar la altura de ola cuando rompe en la línea de costa.

En el presente proyecto se recurrirá a los que consideran las características batimétricas y el peralte que se tiene en la zona off-shore. También según los cálculos, se tomará en la zona de rompientes una pendiente media de $m = 5\%$.

RUN-UP	
Hr	5
g	9,81
T	14
Run-up	0,81338601

El Run-Up obtenido corresponde a las zonas de la costa 'desprotegidas' por los diques exentos sumergidos. A efectos de cálculo, se le sumará al Run-up una sobreelevación media de 0,4 metros, lo que es aceptable para las playas del Mediterráneo, obteniendo por lo tanto una cota de inundación total de 1,2 metros.

➤ Playa sumergida y estrán

Siguiendo los parámetros aplicados en el perfil de la playa teórico el porcentaje fijado de la playa sumergida y el estrán tienen un porcentaje medio de 1,5 %.

➤ Profundidad de cierre

Esta es la profundidad límite del perfil de playa hasta donde existe transporte de sedimentos y se considera un límite natural del perfil activo de la playa.

Para el cálculo de la profundidad de cierre se utiliza la formulación de Hallermeier (1978):

$$d_1 = 2.28 * H_{12} - 68.90 * \left(\frac{H_{12}^2}{g * T^2} \right)$$

Donde:

- d_1 : Profundidad de cierre en m
- H_{12} : Altura de ola significativa excedida doce horas en régimen medio en m
- g : Aceleración de la gravedad en m/s^2
- T : Periodo del oleaje en s

La altura de ola que es excedida 12 horas al año tiene una probabilidad de no excedencia de:

$$F(Hs_{12}) = 1 - \frac{12}{365 * 24} = 0.9986$$

Como dato de referencia, se ha evaluado el régimen medio a partir del punto SIMAR 2081111 del informe disponible de Puertos del Estado.

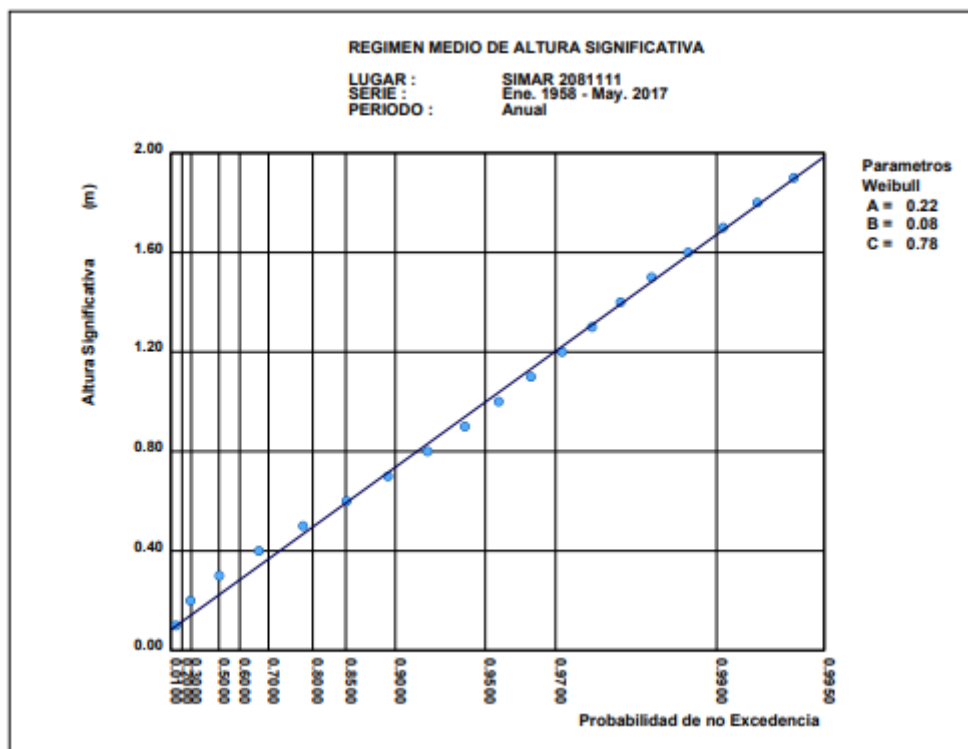


Figura 17. Régimen medio de altura significativa

Con ayuda de la Figura 17, se conocen los datos necesarios para la distribución elegida para describir el régimen medio de la serie de oleaje que es una Weibull cuya expresión es:

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - B}{A}\right)^C\right)$$

Donde se obtiene que $H_{s12}=2,88$ m y $T_s=4,77$ s, por lo que al sustituir los datos en la formula se obtiene, aproximadamente, una profundidad de cierre de 4 m.

3.3. Característica de la arena nativa

A continuación, se analizará el tamaño medio de la arena mediante los datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente. Partiendo de este dato, se decidirán las mejores características granulométricas del material a utilizar en la playa.

En ingeniería de costas no se suele trabajar con curvas granulométricas cuando la playa es de arena, sino con un tamaño medio de las partículas conocido como D_{50} . Para decidir el D_{50} a aplicar en este proyecto, es necesario saber el tamaño original de las arenas de la playa ya que el tamaño a utilizar debe ser mayor o igual a las nativas.

Por lo tanto, mediante los datos disponibles de la playa del Perelló, obtenidos del plan de Ecocartografías del litoral español elaboradas por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, presenta un $D_{50} = 0,27$ mm.



 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE		SECRETARÍA GENERAL PARA EL TERRITORIO Y LA BIODIVERSIDAD DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS		ESTUDIO ECOCARTOGRAFICO DEL LITORAL DE LAS PROVINCIAS DE ALICANTE Y VALENCIA REF: 28/4710/05	
FICHA DE PLAYAS					
Código Playa V020	HMN 29-29	Hoja 5000 747-Sueca_6-3/7-4	Municipio SUECA	Provincia VALENCIA	SIG D.G. Costas Cod. Estudio: 07 Cod SubEstudio: 01
Denominación de la Playa: Playa del Perelló					
	Datos base de la playa	Superficie total playa: 6.69Ha	Características morfología de la playa	Pendiente media: 1.53 %	
		Perímetro: 3458.17 m		Tipo de playa: Abierta	
		Longitud: 1619.45 m		Tipo de sedimento: Arenas medias	
		Anchura media: 40.88 m		D ₅₀ : 0.27 mm	
		Anchura máxima: 76.95m		Color arena: Dorada	
	Anchura mínima: 25.31m	Ajuste Dean: 0.118			
Croquis contorno					

Figura 18. Ficha playa del Perelló

3.4. Cálculo del volumen

Es necesario la división en tramos de la zona de estudio para obtener distintos perfiles representativos con los que se podrá obtener el volumen de arena necesario en cada uno.

3.5. Forma en planta

Para poder estimar la forma en planta de la playa que se va a crear debido a la construcción de los diques exentos y a la alimentación artificial, se hará uso de la formulación de las parábolas de Hsu-Evans con la que servirá de base para conocer con detalle, la forma en planta que adoptará la línea de costa de la playa.

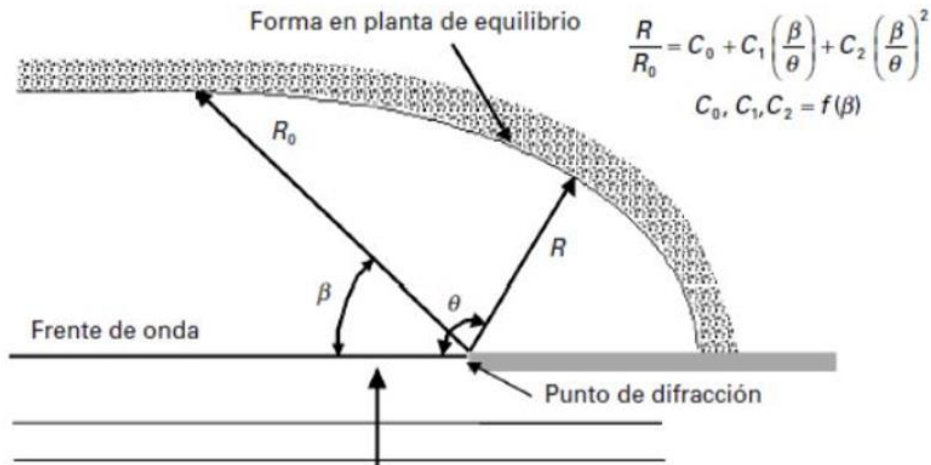


Figura 19. Parábola de Hsu – Evans

Donde:

- R_0 : Longitud de la línea de control dibujada entre los extremos de los salientes que limitan la playa.
- R : Distancia medida a partir del extremo del saliente que define la ubicación de la costa en una dirección θ .
- θ : Angulo medido a partir de la cresta del frente de oleaje dominante y la distancia R .
- β : Angulo entre la dirección del oleaje dominante y la línea de control R_0 .
- Los coeficientes C_0 , C_1 y C_2 se calculan a partir del gráfico que se observa a continuación.

<i>Hsu-Silvester (1993)</i>			
β	C_0	C_1	C_2
20	0.054	1.040	-0.094
22	0.054	1.053	-0.109
24	0.054	1.069	-0.125
26	0.052	1.088	-0.144
28	0.050	1.110	-0.164
30	0.046	1.136	-0.186
32	0.041	1.166	-0.210
34	0.034	1.199	-0.237
36	0.026	1.236	-0.265
38	0.015	1.277	-0.296
40	0.003	1.322	-0.328
42	-0.011	1.370	-0.362
44	-0.027	1.422	-0.398
46	-0.045	1.478	-0.435
48	-0.066	1.537	-0.473
50	-0.088	1.598	-0.512
52	-0.112	1.662	-0.552
54	-0.138	1.729	-0.592
56	-0.166	1.797	-0.632
58	-0.196	1.866	-0.671
60	-0.227	1.936	-0.710
62	-0.260	2.006	-0.746
64	-0.295	2.076	-0.781
66	-0.331	2.145	-0.813
68	-0.368	2.212	-0.842
70	-0.405	2.276	-0.867
72	-0.444	2.336	-0.888
74	-0.483	2.393	-0.903
76	-0.522	2.444	-0.912
78	-0.561	2.489	-0.915
80	-0.600	2.526	-0.910

Figura 20. Correlación entre coeficientes y ángulo de incidencia del oleaje

3.6. Perfil teórico

Para la elección del perfil teórico de la playa sumergida se partirá del perfil teórico de Dean.

$$y = A * X^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

- A: Parámetro que depende del tamaño del sedimento (A= 0,118)
- Y: Profundidad del perfil
- X: Distancia a la línea de costa

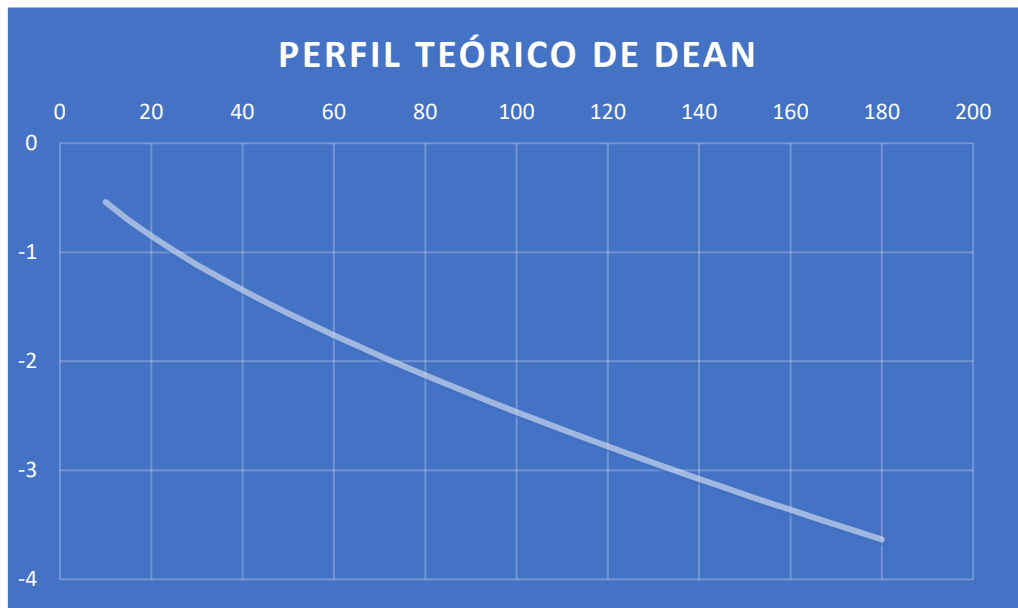


Figura 21. Perfil teórico de Dean para $A=0.118$

3.7. Aporte de arena

Para obtener el volumen de material total necesario, se ha de tener en cuenta los siguientes puntos:

- El perfil de diseño para la zona.
- Las características del material de préstamos comparadas con el material nativo de la playa.
- El factor de sobrellenado requerido.
- El avance requerido de la playa.

A la hora de calcular el volumen de arena de aportación que hace falta para la alimentación, debe determinarse antes la geometría y ubicación de los diques exentos para saber la planta teórica que tendrá la playa con la formación de los hemitómbolos.

El método usado normalmente para cubicar tramos de costa consiste en definir una serie de secciones a lo largo de la línea de costa, superponer el perfil teórico considerado para las arenas y aplicar la siguiente ecuación de cubicación de Puig Adam con la finalidad de definir el volumen de aportación correspondiente a cada una de las superficies delimitadas por las secciones impuestas en el perfil de la línea de costa.

$$Vol_A = \frac{A_n + A_{n-1}}{2} * d$$

Donde:

- Vol_A : Volumen teórico entre dos perfiles consecutivos (m^3)
- A_n y A_{n-1} : Áreas de dos perfiles consecutivos (m^2)
- d : Separación entre dos perfiles consecutivos (m)
- W : Ancho de la playa
- B : Berma

PERFILES	DISTANCIAS (m)	VOLUMEN (m^3)
P-1 / P-2	350	119700
P-2 / P-3	120	41040
P-3 / P-4	110	37620
P-4 / P-5	220	75240
P-5 / P-6	230	78660
P-6 / P-7	180	61560
P-7 / P-8	150	51300
P-8 / P-9	170	58140
P-9 / P-10	180	61560
P-10 / P-11	190	64980
P-11 / P-12	150	51300
	2050	701100

Al realizar un aporte de material que no es igual al material nativo de la zona, inevitablemente se producen una serie de pérdidas por los diferentes comportamientos frente a los agentes climáticos marinos. Luego es necesario tener en cuenta un volumen adicional de material que se determinara por el factor de sobrellenado. Al mismo tiempo, según la CERC, recomienda que se debe añadir un volumen extra para compensar las pérdidas que se tienen en el vertido y el primer año de la obra.

El factor RA de sobrellenado se calcula según el SPM a través del siguiente ábaco:

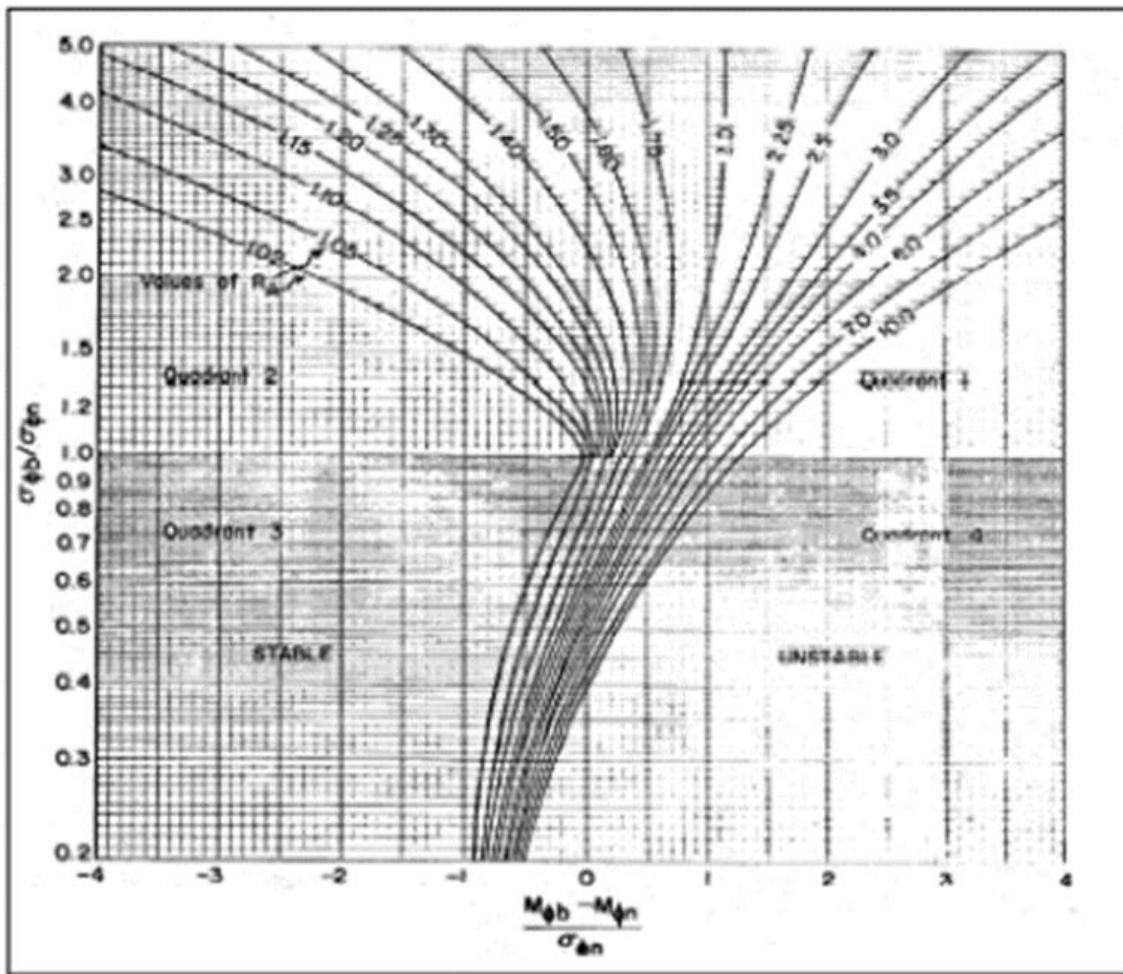


Figura 22. Ábaco para el cálculo del factor de sobrellenado

Al no disponer de los parámetros necesarios de las arenas nativas, se adoptará un valor de $R_a=1.23$ ya que así estamos del lado de la seguridad. Por lo que el volumen final de aportación a la playa es de 862353 metros cúbicos.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Shore Protection Manual (SPM, 1984)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (www.miteco.gob.es)