

# **Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS**

## Tabla de contenido

1. OBJETO.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. ALTURA DE OLA.....	3
3.1. ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE EN AGUAS PROFUNDAS .....	3
3.2. VIDA ÚTIL MÍNIMA Y PERIODO DE RETORNO .....	5
3.3. ALTURA DE OLA EN ROTURA.....	8
3.4. ALTURA DE OLA DE CÁLCULO.....	9
4. PARÁMETROS BÁSICOS DEL ESPIGÓN.....	10
5. MATERIALES DEL ESPIGÓN.....	12
5.1. SECCIÓN TRANSVERSAL.....	12
5.1.1. CÁLCULO DE PESOS Y ESPESORES DE CAPAS .....	12
5.1.2. ANCHO MÍNIMO EN CORONACIÓN.....	16
6. ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL.....	17
6.1. PERFIL DE LA PLAYA.....	17
6.2. ZONIFICACIÓN DE LA PLAYA SECA.....	17
6.3. DESCRICIÓN DE LAS ZONAS DEL PERFIL DE PLAYA.....	19
6.3.1. COTA DE INUNDACIÓN .....	19
6.3.2. PLAYA SECA .....	19
6.3.3. PLAYA SUMERGIDA Y ESTRÁN .....	20
6.3.4. PROFUNDIDAD DE CIERRE.....	20
7. VOLUMEN DE APORTACIÓN.....	20
7.1. D50 .....	20
7.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN.....	21
7.2. FORMA EN PLANTA .....	21
7.3. PERIL TEÓRICO.....	22
7.4. VOLUMEN DE APORTACIÓN.....	23

## 1.OBJETO

En el presente Anejo se desarrollarán los cálculos justificativos de la solución óptima que resuelve la problemática en la zona de actuación del presente ESTUDIO DE SOLUCIONES.

## 2.INTRODUCCIÓN

La alternativa que se escogió como óptima, consiste en redimensionar el dique exento o el brazo sur del espigón, con lo que conllevará en un alargamiento de estos para protección frente al oleaje junto con una alimentación artificial. Esta alternativa que, según el análisis multicriterio, realizado en el “*Anejo nº9. Estudio de soluciones*”, fue la que mejor valoración obtuvo ya que no se genera impacto visual más que el que ya existe y la cota de coronación es de +0,5m.

En primer lugar, se propagará el oleaje en aguas profundas hasta la costa para luego saber la altura de ola en condiciones de rotura y si la ola rompe antes de llegar a la estructura. Seguidamente se estudiarán y definirán los parámetros necesarios para el dimensionamiento del espigón o dique exento, entre los que se encuentran la disposición en planta del mismo, la altura de ola de cálculo y el material a utilizar con el correspondiente estudio de reutilización de las escolleras de la defensa longitudinal a dismantelar.

Posteriormente, se detallarán las condiciones de alimentación artificial: granulometría necesaria, ancho de playa seca, perfil de la playa, volumen de aporte de material necesario...

## 3. ALTURA DE OLA

### 3.1. ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE EN AGUAS PROFUNDAS

Para realizar los cálculos de diseño de cualquier obra marítima ya sea dura o blanda, se deberá conocer la altura de ola de cálculo en el lugar donde se va a realizar la obra, por lo que en este anejo se calculará la altura de ola significativa en aguas profundas ( $H_{S0}$ ) y la altura de ola en condiciones de rotura ( $H_B$ ), con lo que finalmente se podrá conocer la altura de ola de ( $H_{cal}$ ).

En el presente anejo, se van a utilizar la ROM 0.3-91, concretamente los cuadros D y E correspondientes a la Zona VI de Cabo de Palos y que hacen referencia a los regímenes extremos escalares, véase *figura 1* y las correlaciones altura de ola vs periodo de temporales, véase *figura 1 y 2*.

Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

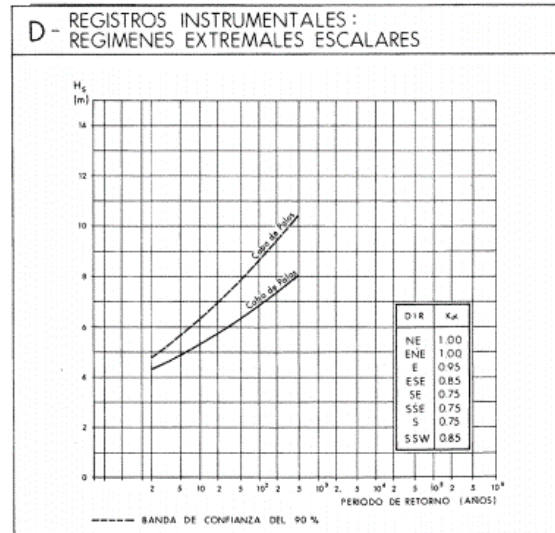


Ilustración 1. Cuadro D, Régimen extremal escalar. Fuente: ROM 0.3-91

**E - REGISTROS INSTRUMENTALES :  
CORRELACIONES  
ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES**

BOYA	$P = H_s / L_p = \frac{2 \sqrt{H_s}}{g T_p^2}$	$T_p / \bar{T}$	RELACION FINAL $\frac{H_s (m)}{T_p (s)}$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s (m)$	$T_p (s)$
CABO DE PALOS	0.035 ~ 0.06	≈ 1.20	$T = (3.9-5.1) \sqrt{H_s}$	4	7.5-10
				6	9.5-12.5
				8	11 - 14.5

Ilustración 2. Cuadro E, Correlaciones altura de ola/ período en temporales. Fuente: ROM 0.3-91

Para calcular la altura significativa en aguas profundas de un periodo determinado con una determinada dirección se calcula con la siguiente formula:

$$H_{so} = K_{\alpha} / K_R \cdot H_{sr}$$

Donde:

- **Hsr**: Altura de ola significativa asociada a un período de retorno obtenida del régimen extremal escalar instrumental (cuadro D).
- **Kα**: Coeficiente de reparto direccional para la dirección considerada, véase tabla 1.

Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

K $\alpha$	
NE	1
ENE	1
E	0,95
ESE	0,85
SE	0,75
SSE	0,75
S	0,75
SSW	0,85

Tabla 1. Coeficiente de reparto direccional. Elaboración propia.

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

Área	Pto. Medida	Dirección	Tp						
			7	9	11	13	15	17	19
VI	Cabo de Palos	NE	-	0,99	0,92	0,85	-	-	-
		ENE	-	0,99	0,95	0,85	-	-	-
		E	-	0,99	0,97	0,96	-	-	-
		ESE	-	0,99	0,97	0,94	-	-	-
		SE	-	0,99	0,96	0,94	-	-	-
		SSE	-	0,99	0,98	0,96	-	-	-
		S	-	0,99	0,98	0,97	-	-	-
		SSW	-	0,99	0,9	0,78	-	-	-

Tabla 2. Tp vs Dirección. Fuente: Tabla 2.7.1. ROM 0.3-91.

Con lo que la altura de ola significativa en aguas profundas se obtiene con los datos anteriormente expuestos y los resultados son los siguientes:

T		2	5	10	20	50	100
Hsr		4,30	4,90	5,30	5,80	6,35	6,90
Tp, min		8,09	8,63	8,98	9,39	9,83	10,24
Tp, max		10,37	11,07	11,51	12,04	12,60	13,13
Tp		9,00	9,00	11,00	11,00	11,00	13,00
Hso	NE	4,34	4,95	5,76	6,30	6,90	8,12
	ENE	4,34	4,95	5,58	6,11	6,68	8,12
	E	4,13	4,70	5,19	5,68	6,22	6,83
	ESE	3,69	4,21	4,64	5,08	5,56	6,24
	SE	3,26	3,71	4,14	4,53	4,96	5,51
	SSE	3,26	3,71	4,06	4,44	4,86	5,39
	S	3,26	3,71	4,06	4,44	4,86	5,34
	SSW	3,69	4,21	5,01	5,48	6,00	7,52

### 3.2. VIDA ÚTIL MÍNIMA Y PERIODO DE RETORNO

Según la ROM 0.2-90 “Acciones de Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias” y según tabla 2.2.1.1. que define las vidas útiles según el tipo de obra y el nivel de seguridad, esta actuación se incluye dentro de una infraestructura general. Además, las obras de defensa y regeneración de costas tienen un nivel de seguridad 1, por lo que, según esto, véase *tabla 3*, la obra debe tener una vida útil mínima de 25 años (L).

Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

<b>TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)</b>			
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, ...).

Tabla 3. Vida útil para obras de carácter definitivo. Fuente ROM 0.2-90.

Siguiendo con la misma ROM 0.2-90, se determina el valor del riesgo de fallo para las obras que se van a ejecutar, consultando la tabla 3.2.3.1.2 que determina los riesgos máximos admisibles para la determinación, a partir de datos estadísticos, se tiene lo siguiente:

Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

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

Tabla 4. Riesgos admisibles. Fuente: ROM 0.2-90

Con lo que se considera una posibilidad de pérdidas humanas reducida y una repercusión económica de inutilización de la obra media. Por ello, el valor del riesgo admisible (E) asciende a 0,3. Con estos datos se puede calcular el periodo de retorno (T) con la siguiente fórmula:

$$P_f = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^V$$

Siendo:

- **P<sub>f</sub>**: probabilidad de fallo
- **T<sub>R</sub>**: periodo de retorno (en años)
- **V**: vida útil (en años)

Así pues, se obtiene un periodo de retorno de 70 años.

Ahora con este periodo ya se puede acudir a la tabla anterior para calcular la altura de ola significativa en profundidades indefinidas según este periodo:

T		70
H <sub>sr</sub>		6,50
T <sub>p</sub> , min		9,94
T <sub>p</sub> , max		12,75
T <sub>p</sub>		11,00
H <sub>so</sub>	NE	6,57
	ENE	6,57
	E	6,24
	ESE	5,58
	SE	4,92
	SSE	4,92
	S	4,92
SSW		5,58

Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Se escogerá como altura de ola significativa en aguas profundas la de 6,24 metros, que tendrá la dirección E, ya que, en Puertos del Estado, la rosa de oleaje extremal para la boya de Cabo de Palos marca la dirección con mayor altura de ola la procedente del E.

Retrocediendo a la ROM 0.3-91 se puede definir el periodo de ola con ayuda del cuadro E anteriormente mencionada, con lo que:

$$T = 4.45x \sqrt{H_{sr}} = 11.12$$

### 3.3. ALTURA DE OLA EN ROTURA

A continuación, después de haber obtenido la altura de ola significativa en aguas profundas, se procede a calcular la altura de ola en condiciones de rotura ( $H_b$ ). Lo que implica propagar la altura de ola calculada a la zona donde se van a ejecutar las obras. En el momento de rotura según la teoría de la onda solitaria se puede afirmar que:

$$H_b = 0,78 \cdot d \approx 0,8 \cdot d$$

Donde  $H_b$  es la altura de ola en condiciones de rotura y  $d$  es la profundidad de cálculo al pie de las estructuras, suma de la profundidad de las estructuras y la sobreelevación considerada.

La altura de ola en rotura puede variar en función de la pendiente del fondo, la profundidad frente a la obra, la altura y período de las olas incidentes. Con las curvas de Goda, véase figura 3, se puede obtener la relación  $H_b/b$  en función de la pendiente de la playa y del período del oleaje.

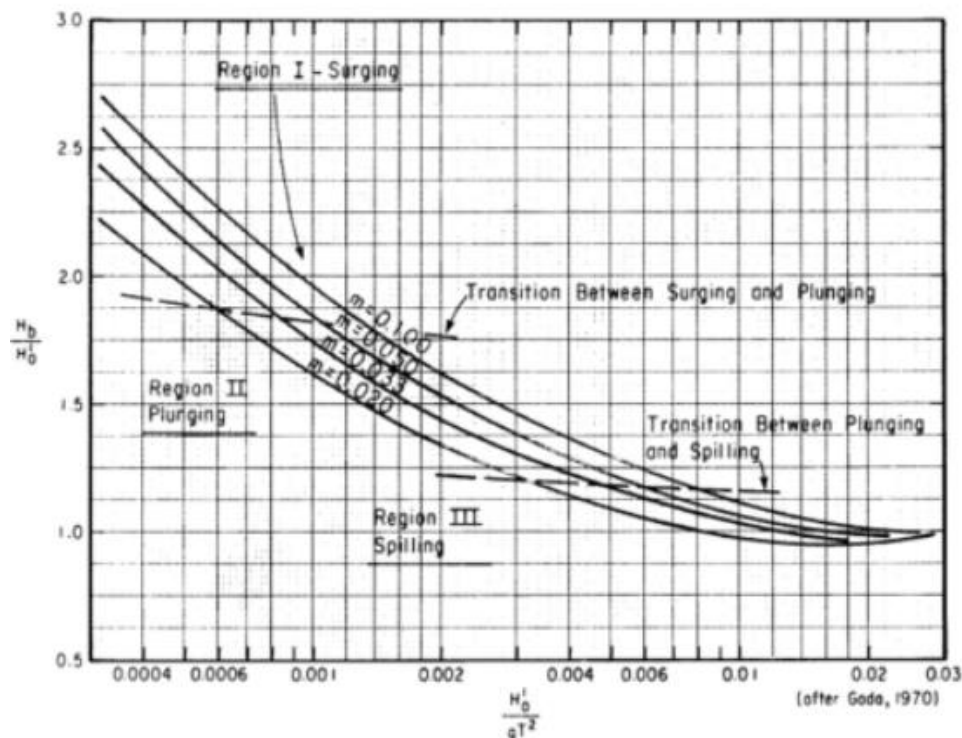


Ilustración 3. Curvas de Goda

Por lo tanto, con la pendiente de fondo por delante del espigón Sur de la Playa del Espigó, que es aproximadamente del 2% y el periodo de oleaje que es aproximadamente 11 segundos, con ayuda de las curvas de Goda se puede decir que la relación altura de ola significativa-periodo de ola es de 0,0053 lo que nos lleva a tener una relación de  $H_b/d$  de 1,09.



Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Así que, sabiendo que los diques exentos se encuentran a una profundidad de 4,3 metros, véase figura 4, según la información que proporciona Navionics, se puede decir que:



Ilustración 4. Batimetría más precisa de la zona de actuación. Fuente: Navionics

$$H_b = 4,3 \times 1,09 = 4,69 \text{ metros}$$

Por lo que en el momento en que la ola rompe, la teoría de la onda solitaria afirma que:

$$H_b = 0,78 \cdot d \approx 0,8 \cdot d$$

Siendo:

- $H_b$ : la altura de ola en condiciones de rotura
- $d$ : profundidad de cálculo a pie de las estructuras,  $d = d_s + s$ , siendo:
- $d_s$ : profundidad según batimetría en el emplazamiento de las estructuras
- $s$ : sobreelevación considerada

En este caso, en el pie del dique situado a una profundidad de 4,3 m, se considera una sobreelevación debida a la carrera de marea meteorológica, astronómica y la variación del nivel del mar de 1 m, así que, el valor de la altura de ola en rotura sería de 4,24 m.

Comparando la altura de ola mediante la teoría de onda solitaria y la altura de ola calculada anteriormente, se dice que la primera es menos restrictiva y por tanto se considera una altura de ola en rotura de  $H_b = 4,24$  metros.

### 3.4. ALTURA DE OLA DE CÁLCULO

Tras calcular la altura de ola significativa en aguas profundas ( $H_{S0}$ ) y en condiciones de rotura ( $H_b$ ), se tiene que comprobar si las olas que afectan a estas obras pueden presentarse en condición de rotura o no. Por esto, es importante conocer el régimen de oleaje que afectará a los diques una vez instalados.

Todas las olas mayores a la altura en rotura (4,24 metros) romperán antes de alcanzar las estructuras. El Shore Protection Manual (SPM, 1984) recomienda utilizar  $H_{1/10}$  para el cálculo de este tipo de diques:

$$H_{1/10} = 1,27 \cdot H_{S0} = 1,27 \cdot 6,24 = 7,92 \text{ m.}$$

La altura de ola de cálculo será la menor por lo que  $H_{1/10} > H_b$ , lo que implica que las olas que lleguen al dique en general llegarán en condiciones de rotura por lo que la ola de cálculo será  $H_b$ , es decir, 4,24 metros.

$$H_{cal} = H_b = 4,24 \text{ m}$$

#### 4. PARÁMETROS BÁSICOS DEL ESPIGÓN

A efectos de cálculo, se va a considerar la parte longitudinal paralela a la línea de costa del espigón en "T" como un dique exento. Así pues, se podrá hacer una aproximación de la respuesta de la playa según la dimensión del dique exento.

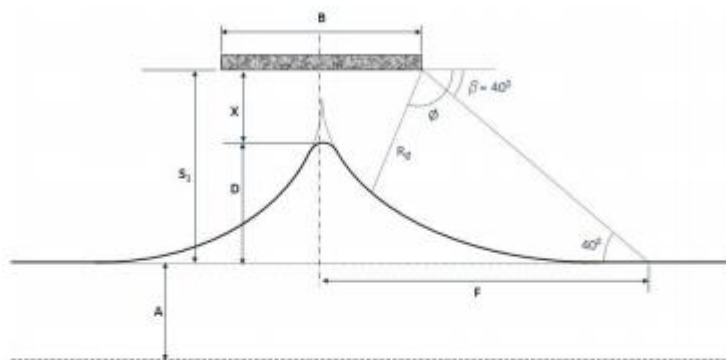
Como la zona de estudio se encuentra entre el actual dique exento y el espigón anteriormente mencionado, se sugiere modificar la proyección Sur del espigón en "T" que es el que protege ante la acción del oleaje a la futura playa.

La caracterización de los diques exentos viene determinada por la apariencia que se quiere dar a la playa. Por tanto, los parámetros que los definen son:

- La orientación respecto a la orilla, que en este caso será la misma que el actual espigón en "T".
- La separación de la costa, la separación del espigón respecto a la costa influye en la formación de la playa, así pues, la distancia con respecto al paseo del espigón en "T" será de unos 115 metros, quedando con respecto a la línea de costa a una distancia de 65 metros, formándose un tómbolo a priori por la poca separación del espigón y la línea de costa.
- La longitud total de los brazos del espigón será de unos 210 metros, ampliando el brazo Sur unos 50 metros respecto a los 90 metros de longitud que posee.
- La cota de coronación, es de 0,5 metros respecto al NMM ya que es la que tiene actualmente, con lo que en los periodos de oleaje la cota del dique no será observada.

Con este estudio de soluciones y observando la costa que rodea a esta zona de estudio, se considera un ancho de playa de 50 m.

Para simular la respuesta del espigón al alargamiento de unos 50 m, se supondrá que el brazo Norte y el brazo Sur miden lo mismo, unos 140 m. Con la excepción de que solo se van a calcular los parámetros siguientes en respuesta a la parte derecha del eje del espigón. A continuación, se muestran las siguientes fórmulas que dependen de distintas variables:



A = anchura mínima de la playa  
D = longitud del hemitóbolo  
F = semilongitud del hemitóbolo  
S = distancia del dique exento a la línea de costa original

$$\frac{X}{B} = 0,6784 \left( \frac{S}{B} \right)^{1,2148} \quad S_1 = X + D \quad \frac{S_1}{B} = 0,1112 + 1,082 \frac{S}{B}$$

$$F = \frac{B}{2} + \sqrt{R_0^2 - S_1^2} \quad \frac{R_0}{B} = 0,1737 + 1,6833 \frac{S}{B}$$

$$\frac{F}{B} = \frac{1}{2} + 1,1917 \frac{S_1}{B}$$

Ilustración 5. Variables para definir la respuesta de la orilla. Fuente: tutor.

- Anchura de playa (A): se adoptará una anchura de playa de 50 metros ya que como se ha explicado anteriormente es un ancho medio y con el que se cubre las necesidades de la población.
- Distancia del dique a la línea de costa ( $S_1$ ): se fija una distancia del dique a la línea de costa de 65 metros.
- Longitud de los diques (B): se ha elegido recrecer el tramo Sur del espigón con unos 50 metros, llegando a una longitud total de 280 metros para poder realizar esta simulación. En realidad, la longitud del espigón paralela a la línea de costa sería de unos 210 m.

Introduciendo estas variables en las fórmulas anteriores, se obtienen estos resultados:

VARIABLES		RESULTADOS	
A	50	S	31,3
S1	65	Ro	101,3
B	280	F	217,5

Los valores obtenidos  $R_0$  (Longitud de la línea de control dibujada entre los extremos de los salientes que limitan la playa) y  $F$  (Semilongitud del hemitóbolo/tóbolo) se utilizan más adelante para calcular la forma en planta de la playa.

#### Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Además, de dimensionar el espigón, también se puede definir como es el coeficiente de transmisión ( $K_t$ ), este mide la reducción de la energía del oleaje y se define como la ratio existente entre la altura de ola transmitida y la altura de ola incidente sobre el dique. Para su cálculo, se utilizará la formulación expuesta por Van der Meer donde intervienen los factores que controlan el proceso de rebase de un dique:

$$K_t = \begin{cases} 0,80 & -2 < \frac{R_c}{H_s} < -1,13 \\ 0,46 - 0,30 \frac{R_c}{H_s} & -1,13 < \frac{R_c}{H_s} < 1,2 \\ 0,10 & 1,2 < \frac{R_c}{H_s} < 2 \end{cases}$$

Donde:

- $R_c$ : Francobordo del dique. (0,5 m)
- $H_s$ : Altura de ola significativa a pie de dique. (4,24 m)

A partir de aquí se tiene para este caso que  $K_t$  es 0,42 siendo 1 el factor que menos energía reduce.

### 5. MATERIALES DEL ESPIGÓN

Los materiales que se van a utilizar para el alargamiento del dique exento serán, bloques de escollera para los mantos y material todouno de cantera para el núcleo. Más adelante se calculará en el anejo 11, si los bloques de escollera que se retiran de la protección longitudinal pueden servir para el espigón y así reducir el presupuesto de esta solución.

#### 5.1. SECCIÓN TRANSVERSAL

La geometría del dique será una geometría trapezoidal, como la que ya posee, la más común utilizada en estas construcciones, se pueden apreciar la sección en el plano 10. A continuación, se detalla la geometría que definirán la sección transversal:

- El ancho de coronación del núcleo del cuerpo será de 4,5 metros.
- Los taludes tendrán una pendiente de H2:V1
- La cota de coronación como se ha dicho antes estará a 0,5 metros por encima del nivel medio del mar y constante.
- La profundidad a la que se colocarán estos diques en general será de 4,3 m.

##### 5.1.1. CÁLCULO DE PESOS Y ESPESORES DE CAPAS

En este apartado se desarrollará el cálculo de las estructuras mencionadas hallando los pesos y espesores de capas además de la definición del ancho en coronación.

El cálculo de los pesos de las distintas capas se realizará con el empleo la fórmula de Iribarren:

$$W = \frac{\rho_r \cdot H^3}{(S_r - 1)^3 \cdot K_D \cdot \cot \alpha}$$

***W***: Peso de los elementos del manto en toneladas

***H***: Altura de ola de iniciación de averías

***K<sub>D</sub>***: Coeficiente de estabilidad

***S<sub>r</sub>***=***ρ<sub>r</sub>***/***ρ<sub>w</sub>***: Peso específico del material respecto del agua. ***S<sub>r</sub>***=2.62

***ρ<sub>r</sub>***: Peso específico de la escollera, 2,7t/m<sup>3</sup>

***cot α*** =2. La pendiente será de 2 (m=2) puesto que los taludes de los diques son 2H/1V

Para la asignación del ***K<sub>D</sub>***: diremos que el material se colocara en dos capas (n=2) y será de escollera rugosa por lo tanto según la siguiente tabla, obtenemos un ***K<sub>D</sub>***: =2 para el cuerpo y un ***K<sub>D</sub>***: =1.6 para el morro del espigón.

Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Tabla 1.2. Daños nulos y rebase menor.

Piezas del manto	n <sup>(1)</sup>	Colocación	Cuerpo del dique		Morro		Talud
			K <sub>d</sub> <sup>(2)</sup>		K <sub>d</sub>		
			Rotura en cascada delante del dique	Rotura sobre el dique	Rotura en cascada delante del dique	Rotura sobre el dique	
Escollera	2	Aleatoria	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5 to 3
Redondeada lisa	>3	Aleatoria	1,6	3,2	1,4	2,3	(5)
Redondeada lisa	1	Aleatoria	(6)	2,9	(6)	2,3	(5)
Angular rugosa	2	Aleatoria	2,0	4,0	1,9	3,2	1,5
					1,9	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
Angular rugosa	>3	Aleatoria	2,2	4,5	2,1	4,2	(5)
Angular rugosa	2	Especial <sup>(8)</sup>	5,8	7	5,3	6,4	(5)
Paralelepípedo <sup>(7)</sup>	2	Especial <sup>(7)</sup>	7-20	8,5-24	—	—	—
Tetraépodo y Cuadrípodo	2	Aleatoria	7,0	8,0	5,9	6,9	1,5
					4,5	5,5	2,0
					3,5	4,0	3,0
Tribar	2	Aleatoria	9,0	10,0	7,8	8,5	2,0
					6,0	6,5	3,0
Dolos	2	Aleatoria	15,8 <sup>(8)</sup>	34,8 <sup>(8)</sup>	8,9	16,9	2,0 <sup>(8)</sup>
					7,0	14,0	3,0
Cubo modificada	2	Aleatoria	6,5	7,5	—	5,9	(5)
Hexápodo	2	Aleatoria	8,0	9,5	5,9	7,9	(5)
Toskane	2	Aleatoria	11,0	22,0	—	—	(5)
Tribar	1	Uniforme	12,0	15,0	7,5	9,5	(5)
Escollera angular graduada	—	Aleatoria	2,2	2,5	—	—	—

<sup>(1)</sup> CUIDADO: Los valores de K<sub>d</sub> en cascada no corresponden a ensayos, se dan sólo para prediseños.

<sup>(2)</sup> Aplicable a taludes de 1:1,5 a 1:5.

<sup>(3)</sup> n es el número de capas.

<sup>(4)</sup> No se recomienda emplear mantos de una sola capa en diques sometidos a oleaje que rompe delante del dique en cascada, y sólo en condiciones especiales con oleaje que rompe sobre el dique. Si se hace esto último, la escollera debe colocarse cuidadosamente.

<sup>(5)</sup> Hasta que se obtenga más información sobre la variación de K<sub>d</sub> con el talud, el uso de los valores K<sub>d</sub> debe limitarse a taludes de 1:1,5 a 1:3,0. Algunos ensayos de morros con ciertas piezas indican una dependencia de K<sub>d</sub> respecto al talud.

<sup>(6)</sup> Escollera colocada con su eje mayor perpendicular al paramento.

<sup>(7)</sup> Cantos paralelepípedicos: su dimensión mayor es unas tres veces su dimensión menor.

<sup>(8)</sup> Se refiere a daños nulos (< 5% desplazamientos, giros, etc.). Si se desea que no haya giros (< 2%), reducir en un 50% el valor de K<sub>d</sub>.

<sup>(9)</sup> La estabilidad de los dolos en taludes más empinados que 1:2 debe ser sustentada con ensayos específicos del caso.

Tabla 5. K<sub>d</sub> en función del tipo de escollera y número de capas. Fuente: SPM

Aunque H<sub>s</sub> sea la altura de cálculo se asumirá un porcentaje de fallo de un 15-20% según la SPM puesto que el espigón será un elemento de protección, de este modo obtendremos H<sub>s</sub> atendiendo a los criterios de avería:

Averías (%)	H/H No averías	K <sub>d</sub>
0 - 5	1,00	4,0
5 - 10	1,08	4,9
10 - 15	1,19	6,6
15 - 20	1,27	8,0
20 - 30	1,37	10,0
30 - 40	1,47	12,4
40 - 50	1,56	15,0

Tabla 6. H ola de iniciación de averías. Fuente: SPM

$$H = \frac{4,24}{1,27} = 3,33$$

### Peso específico del manto principal y espesores:

Una vez obtenidos los datos se puede proceder al cálculo del peso del manto principal con la fórmula antes expuesta de Iribarren, diferenciando cuerpo y morro:

$$W_{\text{cuerpo}} = \frac{2,7 \cdot 3,33^3}{(2,62 - 1)^3 \cdot 2} = 5,86 \text{ T}$$

$$W_{\text{morro}} = \frac{2,7 \cdot 3,33^3}{(2,62 - 1)^3 \cdot 1,6 \cdot 2} = 7,33 \text{ T}$$

Para obtener el espesor del manto principal se ha de obtener el tamaño del cubo equivalente a una pieza de escollera:

$$r = n \cdot k_{\Delta} \left( \frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3}$$

**n:** Número de capas.

**k $\Delta$ :** Coef. De capa, cuyo valor es 1 para escollera angulosa rugosa de colocación aleatoria

**W:** Peso calculado anteriormente

**$\gamma_r$ :** Peso específico del material. 2,7 T/m<sup>3</sup>

$$r_{\text{cuerpo}} = 2 \cdot 1 \cdot \left( \frac{5,86}{2,7} \right)^{1/3} = 2,58 \text{ m}$$

$$r_{\text{morro}} = 2 \cdot 1 \cdot \left( \frac{7,33}{2,7} \right)^{1/3} = 2,79 \text{ m}$$

Por tanto, el Dn50 (m) o lado de la escollera perteneciente al cuerpo y al morro son 1,3 y 1,4 m respectivamente.

Más tarde se calculará si las escolleras de la protección longitudinal sirven para las capas de manto de la remodelación del espigón.

A partir del manto principal se pueden calcular el resto de capas basándonos en las recomendaciones del SPM mediante una sección tipo en condiciones de rotura que distingue manto principal, manto secundario y núcleo:

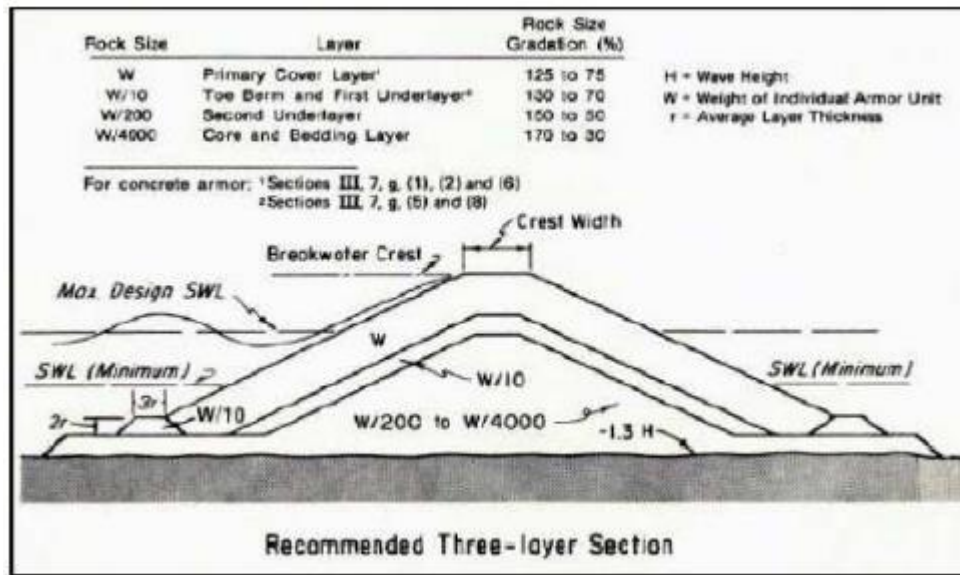


Ilustración 6. Esquema de las capas de un dique. Fuente: SPM

#### Peso específico del manto secundario y espesores:

El peso del manto secundario será de un 10% del peso del manto principal y se colocará en una sola capa. Este manto actúa como filtro para proteger al núcleo frente a la acción del oleaje.

Por lo tanto:

$$W_{\text{cuerpo}} = 0.57 T$$

$$W_{\text{cuerpo}} = 0.73 T$$

Y los espesores:

$$e_{\text{cuerpo}} = \sqrt[3]{\frac{570}{2700}} = 0.59 \text{ m. y } e_{\text{morro}} = 0.64 \text{ m.}$$

#### Peso específico del núcleo principal y espesores:

La misión del núcleo será la de amortiguar y impedir la propagación de la energía del oleaje a través del dique. Estará formado por material de cantera todo uno dentro del rango desde W/200 a W/4000 con lo que oscilará entre [29-1,5] kg.

#### 5.1.2. ANCHO MÍNIMO EN CORONACIÓN

Siguiendo las recomendaciones del SPM (1984):

$$B = n \cdot k_d \cdot \left( \frac{W}{w_y} \right)^{1/3}$$

- B (cuerpo)  $\geq 2.58$  m, que redondeando 2.6
- B (morro)  $\geq 2.79$  m, que redondeando 2.8 m

El ancho mínimo de coronación viene determinado por el ancho de la maquinaria y su tránsito durante la construcción del espigón, y por lo tanto se ha de escoger un ancho que sea seguro



para estos procedimientos. Estableciéndose unos 4,5 metros de ancho según la restricción de la SPM.

## 6. ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL

En este apartado procederemos a la definición de los diferentes aspectos que conforman la alimentación artificial tales como ancho de playa, perfil teórico, forma en planta y el volumen total de material de aporte.

Para ello primero se observarán las partes de una playa que consisten en una división de cuatro partes: playa sumergida, estrán, playa seca y escarpe:

### 6.1. PERFIL DE LA PLAYA

El perfil de la playa se divide en cuatro zonas: playa sumergida, estrán, playa seca y escarpe. Estas zonas se pueden ver en la figura siguiente y deben presentar las pendientes asociadas a cada zona.

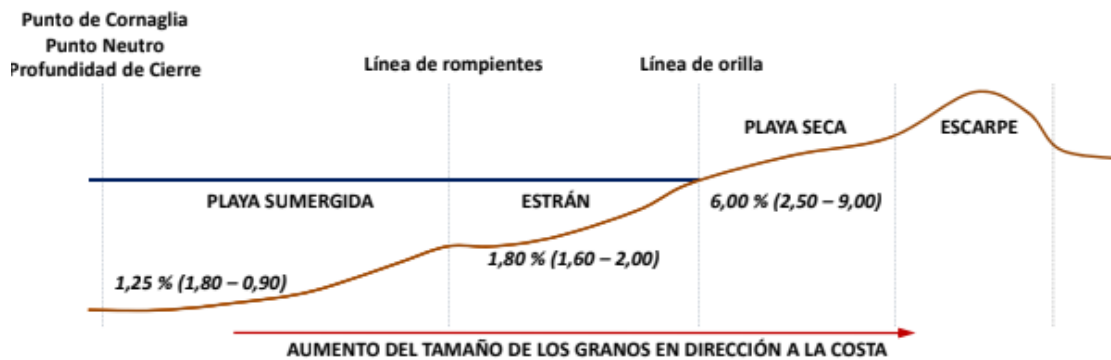


Ilustración 7. Zonas en las que se divide el perfil genérico de la playa. Fuente: Apuntes de OM

### 6.2. ZONIFICACIÓN DE LA PLAYA SECA

Dentro del perfil de la playa se pueden diferenciar varias zonas:

Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

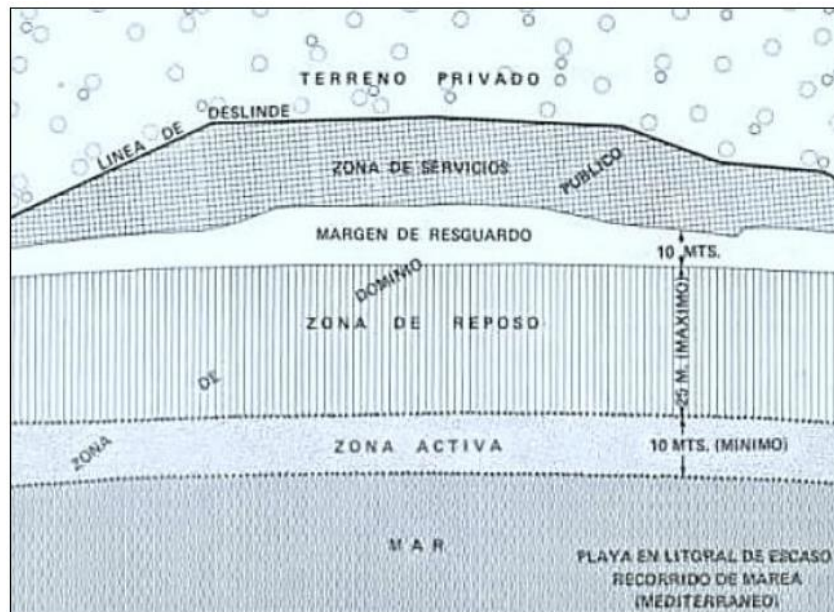


Ilustración 8. Zonificación playa seca para playas en el Mediterráneo.

**a) Zona activa o de inmersión.** Es la franja de sedimentos más próxima a la costa que debe permanecer libre, casi en la totalidad de su longitud, para favorecer la cómoda inmersión y tránsito a las personas que acuden a bañarse. Se estima que la anchura mínima de la zona activa debe ser de 10 metros, aunque el valor definitivo de esta se obtendrá según la pendiente de la playa en esta franja (8%) y el valor del Run-Up. No obstante, en las playas con una anchura superior a 40 m, se podrá ampliar el ancho de la zona activa hasta 10 m más.

**b) Zona de reposo o inactiva.** Es la franja inmediata y paralela al anterior, en la que es posible colocar sombrillas, hamacas, toldos y otros elementos portátiles, particulares o de uso público, para hacer cómoda la permanencia en la playa, facilitando el descanso a los usuarios. En las playas del Mediterráneo se hacen inoperantes anchuras superiores a los 25-30 metros, ya que se hacen desagradables recorrer mayores distancias para acceder al baño a causa del excesivo calentamiento de las arenas en verano.

**c) Margen de resguardo:** Es un margen que permite prever la oscilación natural estacional de la playa, sobre todo en época de temporales, siendo habitual considerar una anchura de al menos 10 m.

**d) Zona de servicios:** Es la zona más interior de la playa. Está constituida por el conjunto de terrenos inmediatos a la zona de reposo por el lado de tierra, y limitada por la línea de hitos de la zona marítimo-terrestre, o final de la playa. En esta zona está ubicado el paseo marítimo de todo el litoral alteaño.

El ancho de playa seca estará formado por la suma de las dos zonas mencionadas anteriormente, la zona activa y la zona de reposo. Como se ha dicho anteriormente, la nueva playa a generar será de 50 de ancho cumpliendo así con las normativas de trasdós rígido.

### 6.3. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DEL PERFIL DE PLAYA

#### 6.3.1. COTA DE INUNDACIÓN

Primero se deberá calcular el run-up que es la cota de la playa seca hasta la que asciende una ola de altura en condiciones de ruptura.

#### COTA DE INUNDACIÓN

Nivel máximo de la superficie del mar

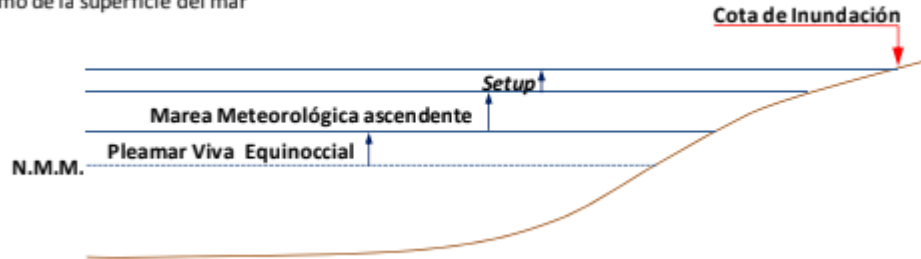


Ilustración 9. Niveles del mar en la playa. Fuente: Tutor.

Para su cálculo se utilizará la formulación de Longuet- Higgins y Stewart, que establece:

$$S = 0,19 * (1 - 2,82 * (\frac{H_c}{g * T^2})^{0,5}) * H_c$$

- **H<sub>c</sub>**: es la altura de ola en condiciones de rotura (H<sub>b</sub>).
- **T**: es el periodo de la ola de altura.
- **g**: es el valor de la gravedad.
- **S**: Run-up.

Así es que siendo H<sub>c</sub> el valor de la altura de ola en condiciones de rotura (H<sub>c</sub>= 3,8 metros), considerando un periodo de 11 segundos y siendo el valor de la gravedad 9,8 m<sup>2</sup>/s.

Run-up	
H <sub>c</sub>	4,24
g	9,8
T	11
Run-up	0,67

Con lo que sumándole al Run-up una sobreelevación media de 0,4 metros, considerada aceptable para las playas del Mediterráneo, se obtiene una cota de inundación total 1 metro aproximadamente.

#### 6.3.2. PLAYA SECA

Una vez calculada la cota de inundación o run up, se define el ancho mínimo de la zona activa, adoptando la pendiente recomendada para esta franja de la playa, 8%, obteniéndose un ancho de 12,5 metros para poder absorber el run up de 1 metro. Finalmente se adopta un ancho de 15 metros de playa activa, cumpliéndose con el ancho mínimo, 10 metros.

Para la zona de reposo, se decide adoptar una anchura de 25 metros y una pendiente del 6% teniendo en cuenta las condiciones especiales de las playas Mediterráneas que limitan el ancho debido a las condiciones climáticas en verano que hacen desagradables mayores desplazamientos para los bañistas dentro de la playa.

Además, se dejará una zona de margen de resguardo de unos 10 metros con una pendiente del 6%.

En total el ancho de la playa nueva que se generará, será de 50 metros, con lo que cumple con lo anteriormente citado.

### 6.3.3. PLAYA SUMERGIDA Y ESTRÁN

Para definir estas zonas de la playa se tendrán en cuenta los valores representados en el perfil de playa teórico anteriormente mencionado, dónde se indican unos porcentajes de 1,25% para la playa sumergida y para el estrán, recomendables valores de entre 1,60-2%, por esto se adopta un 1,8% de pendiente.

### 6.3.4. PROFUNDIDAD DE CIERRE

Es aquella hasta donde existe transporte de sedimentos en sentido longitudinal o transversal, siendo hasta esta profundidad donde se transportan los sedimentos.

Así pues, para calcular la profundidad de cierre se deberá tener en cuenta la formulación de Hallermeier donde:

$$d_1 = 2,28 * H_{12} - 68,90 * \left( \frac{H_{12}^2}{g * T^2} \right)$$

$d_1$	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 <sup>2</sup>
$T$	Período del oleaje en s

Luego, se le dará valor a la aceleración de la gravedad de 9,8 m/s<sup>2</sup>; a la  $H_{12}$  que observando el régimen medio del punto SIMAR será 3,07; el periodo del oleaje (T) que será 5,5 m. Luego la profundidad de cierre será de 4,78 metros.

## 7. VOLUMEN DE APORTACIÓN

En este apartado se procederá al cálculo del volumen de arena gruesa o grava muy fina que hay que aportar para generar una nueva playa en el tramo de actuación. Se han de tener en cuenta distintos factores. Primero se ha de concretar el D50, ya que, dependiendo de la granulometría de aporte, la playa se comportará de una forma u otra. También se estudiarán el perfil de la propia playa y se comparará con el perfil de Dean para calcular el volumen que se ha de aportar.

### 7.1. D50

Según la ficha de la playa aportada por el ministerio de fomento con el estudio ecocartográfico de la provincia de Alicante, el D50 de la playa de La Roda; playa que está situada al Sur del tramo, siendo la más cercana; es de 3,11 milímetros formado por gravas muy finas. El D50 del material de aportación, será muy parecido al natural, escogiéndose unas gravas de D50 = 4 mm.

La ventaja de realizar la alimentación artificial con grava fina es que, al ser un material más grueso, abarca volúmenes de aportación menores que una arena. Además, al hacer la alimentación con D50= 4mm, los sedimentos serán empujados hacia la costa permitiendo que un gran porcentaje del material aportado se quede en la playa seca a diferencia de la erosión que pudiera tener una aportación con arenas.

## 7.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN

Para el cálculo del volumen de aportación, el primer paso será dividir la zona de estudio en distintos perfiles representativos de la forma en planta que adoptará la playa tras la ejecución del alargamiento del espigón. Se superpondrán cada uno a su perfil de la playa existente, pudiéndose calcular el área de aporte en cada perfil. Se pueden observar con detalle en los planos 7, 8 y 9, los perfiles transversales que se van a emplear para el cálculo del volumen.

## 7.2. FORMA EN PLANTA

Para prever la forma en planta de la playa que se va a formar debido al alargamiento del brazo sur del espigón, se utilizará la formulación de las parábolas de Hsu con la que sirve de base para conocer con precisión, la forma en planta de la línea de costa de la playa apoyada en el espigón, tras la siguiente fórmula:

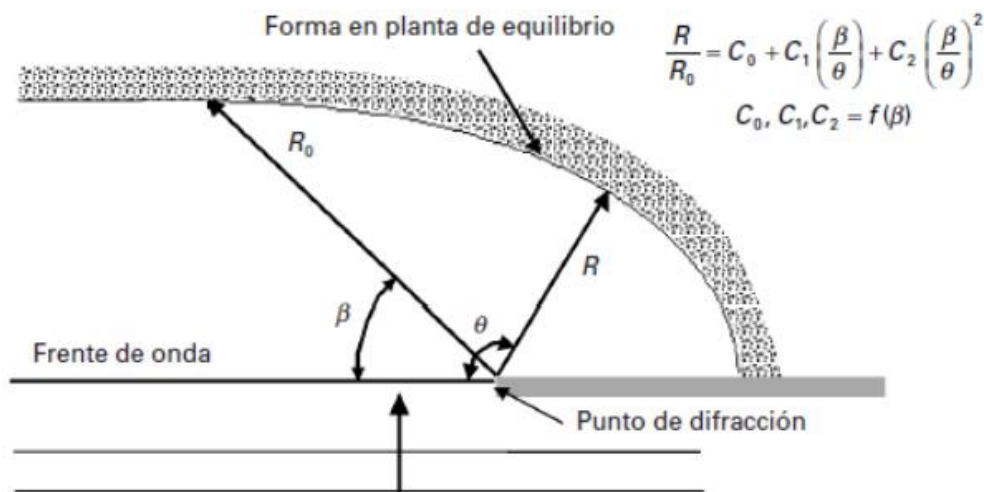


Ilustración 10. Forma en planta de parábola de Hsu-Evans (1989)

Donde:

- **R0**= 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  $\theta$ .
- **$\theta$** = Ángulo medido a partir de la cresta del frente de oleaje dominante y la distancia R.
- **$\beta$** = Ángulo entre la dirección del oleaje dominante y la línea de control R0.
- Los coeficientes C0, C1 y C2 se calculan a partir del gráfico que se observa a continuación.

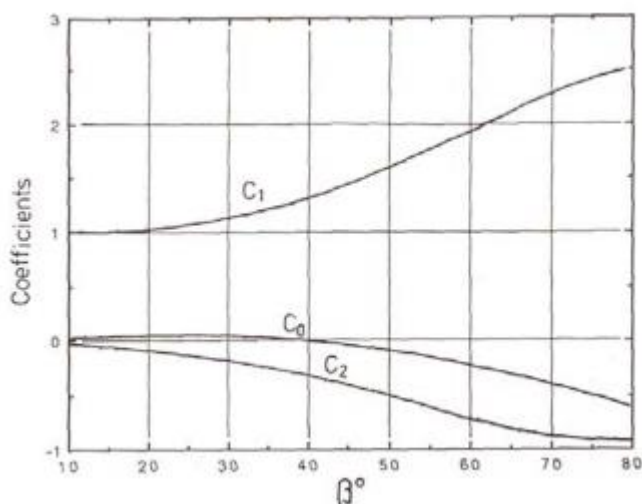


Ilustración 11. Hsu-Evans (1989). Correlación entre coeficientes y ángulo de incidencia del oleaje.

Hsu-Silvester (1993)			
$\beta$	$C_0$	$C_1$	$C_2$
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

Tabla 7, Coeficientes propuestos en el ajuste parabólico de Hsu-Evans (1989)

### 7.3. PERIL TEÓRICO

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

Es de la forma  $y=A \cdot X^{\frac{2}{3}}$ , donde:

**A** = parámetro que depende del tamaño del sedimento

Anejo N.º 10: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

$y$  = profundidad del perfil

$x$  = distancia a la línea de costa

Para la determinación del parámetro A se utiliza la siguiente gráfica:

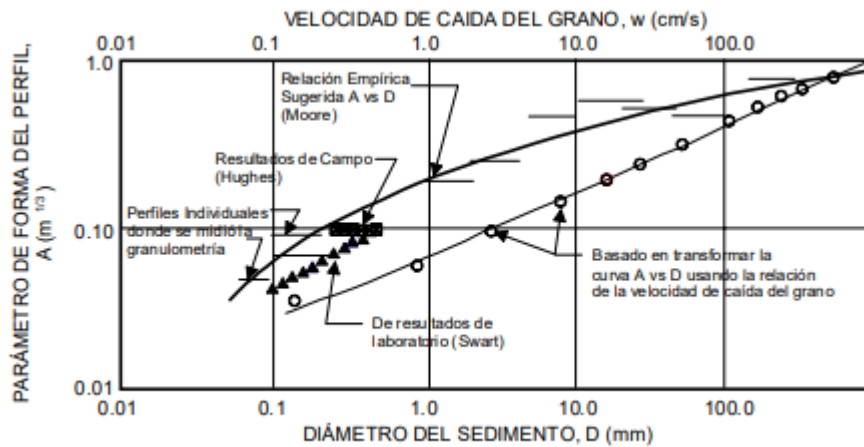


Ilustración 12. Relación entre el tamaño de grano  $D_{50}$  y el parámetro de forma. Fuente: Moore (1982)

Para un  $D_{50}=4$  mm, obtenido en base a la ficha de playa del estudio ecocartográfico, y aproximando a un número entero, se tiene un parámetro  $A=0,18$ .

La gráfica siguiente muestra la forma del perfil teórico de Dean.

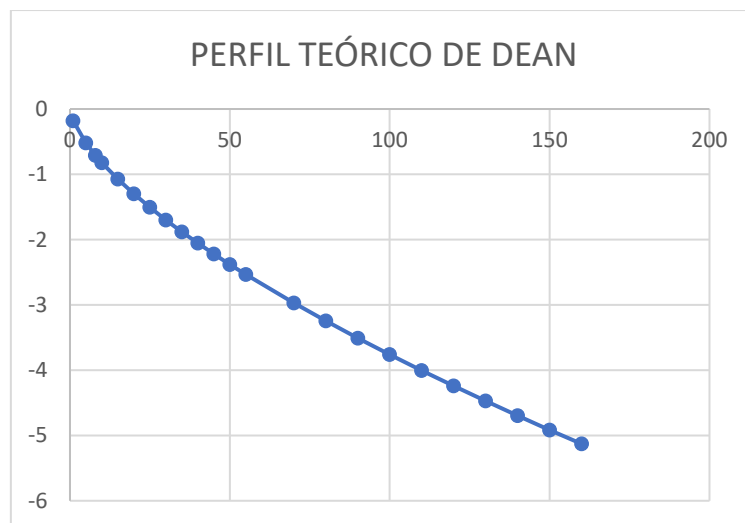


Tabla 8. Perfil teórico de Dean para  $A=0,18$ . Fuente: Propia

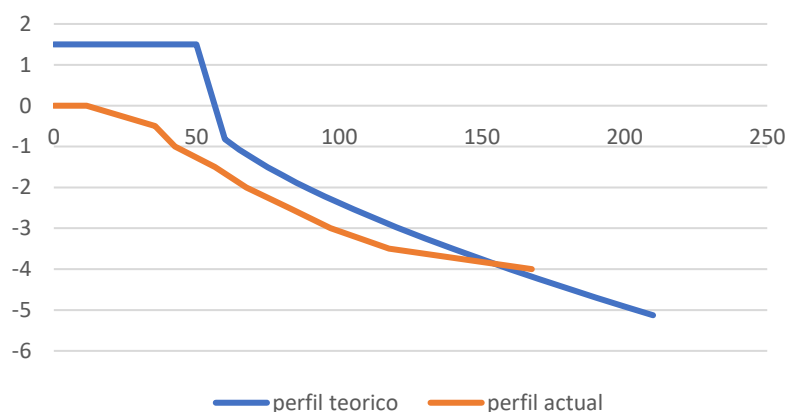
#### 7.4. VOLUMEN DE APORTACIÓN

Una vez se ha calculado la forma en planta que adquirirá la línea de costa en el frente litoral de la zona de estudio, la cual se puede observar en el plano 6, se va a proceder a calcular el área de aporte para cada uno de estos perfiles. Estos últimos se pueden observar con detalle en los planos 7, 8 y 9.

El perfil del fondo se tiene, ya que se puede medir las batimétricas y las distancias entre ellas. Así es que se pueden superponer ambos perfiles con lo que un perfil medio de la nueva playa a generar será el siguiente con unos 50 metros de playa seca:



## PERFILES



El volumen total a introducir para el primer aporte y conseguir el perfil teórico deseado se puede observar en los planos 12, 14 y 14, y se obtendrá por la superposición de perfiles aplicando la siguiente fórmula:

$$V = \left( \frac{A_n + A_{n+1}}{2} \right) * d$$

Siendo:

- **An y An-1:** las áreas de dos perfiles consecutivos
- **d:** la separación entre perfiles

A partir de la superposición de las áreas se obtienen los siguientes resultados:

V1-V2 (m³)	8289,61
V2-V3 (m³)	7840,24
V3-V4 (m³)	10243,84
V4-V5 (m³)	7415,89
V5-V6 (m³)	5837,23
V6-V7 (m³)	5498,72
V7-V8 (m³)	5697
V8-V9 (m³)	5355,18
V9-V10 (m³)	5620,5
V10-V11 (m³)	6985,44

Aplicando el sumatorio de los volúmenes calculados entre cada grupo de perfiles sucesivos, se tiene un volumen total de 68.784 m³.

Para evaluar el volumen necesario de préstamo para la alimentación artificial debe ser aumentado para tener en cuenta las pérdidas por lavado de las arenas y en especial de la fracción más fina. El criterio que se aplica es el de sobrellenado de James (1975), que permite cuantificar el sobrellenado, RA, donde RA indica la cantidad de metros cúbicos de relleno estimados para lograr un metro cúbico de material de playa en el momento de que alcanza la situación de compatibilidad con el material original.

Este factor de sobrellenado se calcula según el Shore Protection Manual (1984) y mediante el siguiente ábaco:



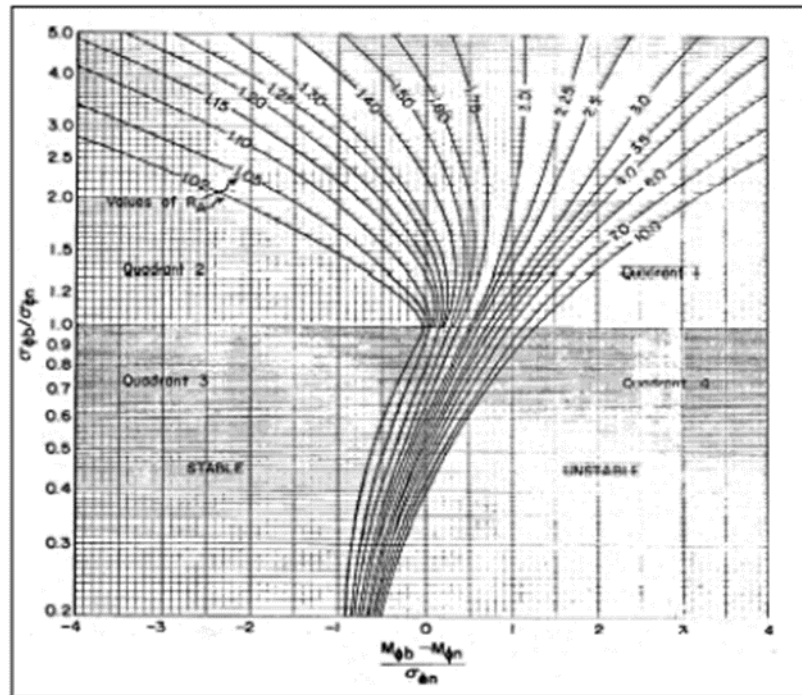


Ilustración 13. Ábaco para el cálculo del factor de sobrelleno  $R_a$ . Fuente: James 1975

Pero como no se dispone de estos parámetros de arenas nativas, se va a adoptar un  $RA = 1.25$ , que corresponde a una situación estable para un  $D50=4$  mm.

De todo esto obtengo que el volumen anteriormente calculado por 1,25 dará un total de aportación a la playa nueva de unos  $85.980 \text{ m}^3$ .