

## ANEJO Nº8

# CÁLCULO SOLUCIÓN

**Autora: Laura Alcázar Giménez**

## ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN .....	1
2.ALTURA DE OLA DE CÁLCULO (Hcal).....	2
3.PARAMETRIZACIÓN DE LOS DIQUES EXENTOS .....	9
3.1. Orientación respecto a la orilla .....	9
3.2. Separación de la costa .....	9
3.3. Numero, longitud y separación entre diques.....	9
3.4. Cota de coronación.....	10
4.MATERIALES CONSTITUYENTES DE LOS DIQUES .....	11
5.ESTABILIDAD Y CÁLCULO DE LOS DIQUES .....	12
5.1. Introducción.....	12
5.2. Cálculo de pesos y espesores de capas .....	12
5.3. Ancho mínimo de coronación .....	15
5.4. Bermas de refuerzo .....	15
6.DISEÑO DE PLAYA SECA .....	17
6.1. Zonificación de la playa .....	17
6.2. Establecimiento del ancho de playa .....	18
7.DISEÑO DEL CORDÓN DUNAR .....	19
7.1. Introducción.....	19
7.2. Diseño del cordón dunar .....	19
7.3. Fijación del cordón dunar. Método de restauración.....	19
8.DISEÑO DE LA PLANTA Y EL PERFIL DE LA PLAYA .....	24
9.VOLUMEN DE ARENA DE APORTACIÓN .....	25
10.DISEÑO DE LOS ESPIGONES DE CONTROL.....	27

## **1.INTRODUCCIÓN**

En este anejo se realizan todos los cálculos correspondientes para la posible materialización de la solución de regeneración de costa, que como ya comentamos en el anejo anterior de estudio de soluciones, la solución adoptada consiste en una regeneración dunar y alimentación artificial que aumentarán la sección de playa seca dando lugar a un espacio adecuado para los usuarios y el ecosistema presente, la creación de dos diques exentos frente a la línea de costa que protegerán la playa del oleaje y facilitarán la sedimentación tras ellos contribuyendo a aumentar la sección de playa seca y dos diques de control transversales a la línea de costa que delimitarán la zona de actuación, cercándola y facilitando la protección de la costa y el depósito de arenas dentro del área de actuación.

## 2. ALTURA DE OLA DE CÁLCULO (Hcal)

Para el cálculo nos remitiremos a la ROM 0.3-91 En la que atenderemos a los cuadros D y E del área VII correspondiente Valencia I.

Para hallar la altura de ola de cálculo (Hcal) primero deberemos obtener la altura de ola significativa (Hso) atendiendo a la siguiente fórmula:

$$H_{SO} = \frac{K_{\alpha}}{K_R} * H_{S,R}$$

Siendo:

- $H_{SO}$  la altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un período de retorno, para una dirección determinada.

- $K_{\alpha}$  el coeficiente de reparto direccional para la dirección considerada.

- $K_R$  el coeficiente de refracción-shoaling en un punto de medida (la costa de Alboraya pertenece a Valencia I) para la dirección considerada y el período establecido asociado a dicha altura de ola.

- $H_{S,R}$  la altura de ola significativa asociada a un período de retorno obtenida del régimen extremal escalar instrumental.

Para la resolución de la fórmula deberemos obtener el período de retorno para esta obra, que obtendremos de la ROM 2.0-90 "Acciones de proyecto de obras marítimas y portuarias"

La obra a considerar es de carácter general y por tanto de nivel 1, siguiendo la tabla 2.2.1.1 se establece una vida útil mínima de  $L=25$  años.

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
<p><b>LEYENDA:</b></p> <p><b>INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL:</b> Obras de carácter general, no ligadas a la explotación de una Instalación Industrial o de un yacimiento concreto.</p> <p><b>DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO:</b> 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,...).</p> <p><b>NIVEL 1:</b> 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,...).</p> <p><b>NIVEL 2:</b> 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, ...).</p> <p><b>NIVEL 3:</b> 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, ...).</p>			

Con la siguiente fórmula podemos determinar el período de retorno:

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

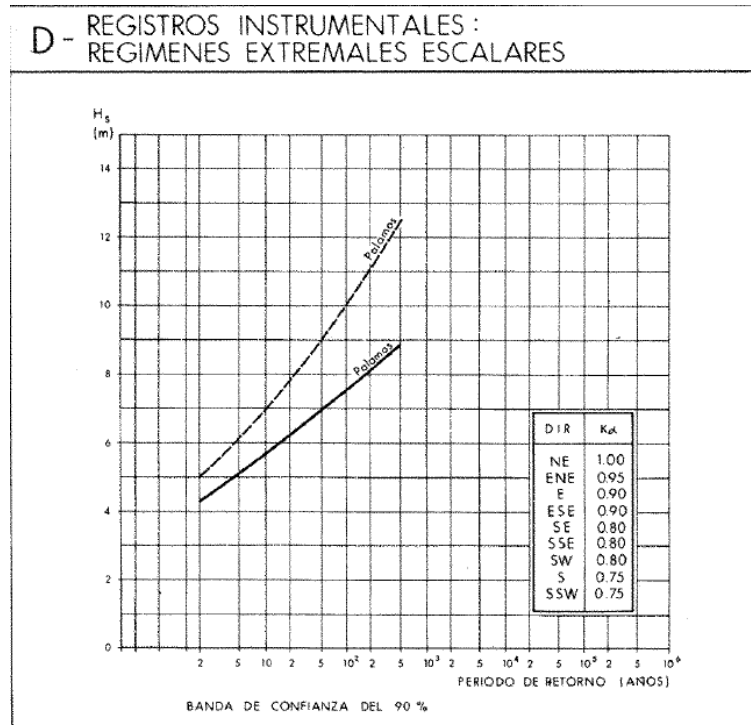
Donde  $E$  es el riesgo mínimo de averías que se determina a partir del riesgo de pérdidas humanas y perdidas económicas teniendo en cuenta la probabilidad de fallo de la estructura durante su vida útil, en el que consideramos un riesgo económico medio y un riesgo de pérdida de vidas humanas bajo que atendiendo a la tabla 3.2.3.1.2 de la ROM 0.2-90 nos da un valor de  $E=0.3$ .

**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**

<b>a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS</b>			
		<b>POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS</b>	
		<b>REDUCIDA</b>	<b>ESPERABLE</b>
<b>REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA.</b>  <b>Índice r:</b> $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	<b>BAJA</b>	0,50	0,30
	<b>MEDIA</b>	0,30	0,20
	<b>ALTA</b>	0,25	0,15
<b>b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL</b>			
		<b>POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS</b>	
		<b>REDUCIDA</b>	<b>ESPERABLE</b>
<b>REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA.</b>  <b>Índice r:</b> $\frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	<b>BAJA</b>	0,20	0,15
	<b>MEDIA</b>	0,15	0,10
	<b>ALTA</b>	0,10	0,05
<p>Se adoptará como riesgo máximo admisible el de iniciación de averías o el de destrucción total según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente.</p> <p>Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adoptará el riesgo de destrucción total.</p> <p>Para obras flexibles, semirígidas o de rotura en general reparable (daños menores que un nivel prefijado función del tipo estructural) se adoptará el riesgo de iniciación de averías.</p> <p>En este tipo de obras podrá adoptarse también el riesgo de destrucción total, definiendo para cada tipo estructural el nivel de daños aceptado como de destrucción total. La acción resultante se considerará como accidental.</p>			
<p><b>LEYENDA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Reducida: Cuando no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños.</li> <li>— Esperable: Cuando es previsible que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños.</li> </ul> </li> <li>■ <b>REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA</b> <p><b>Índice r=</b> <math>\frac{\text{Coste de pérdidas directas e indirectas}}{\text{Inversión}}</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— BAJA: r≤5</li> <li>— MEDIA: 5&lt;r≤20</li> <li>— ALTA: r&gt;20</li> </ul> </li> </ul>			

Por lo tanto se establece un período de retorno de 71 años.

Tras la obtención del período de retorno, obtenemos  $H_{S,R}$  a partir de la tabla D mencionada anteriormente, entrando en el eje de abscisas con un período de retorno de 71 años.



Dicha altura de ola la trasformamos en la altura de ola de cálculo en aguas profundas con los coeficientes proporcionados por la ROM ( $K_R$  y  $K_\alpha$ ).

$K_\alpha$  Aparece en el gráfico anterior y  $K_R$  lo podemos encontrar en la tabla 2.7.1 para el área VII:

<b>TABLA 2.7.1. COEFICIENTES DE REFRACCIÓN-SHOALING (<math>K_R</math>) CORRESPONDIENTES A PROPAGACIONES DE OLEAJES DESDE AGUAS PROFUNDAS HASTA EL EMPLAZAMIENTO DE LOS PUNTOS DE MEDIDA ANALIZADOS</b>									
ÁREA	PUNTO DE MEDIDA	DIR $T(s)$	7	9	11	13	15	17	19
VII	ALICANTE	ENE	1,00	0,98	0,94	0,92	0,92	—	—
		E	1,00	0,98	0,93	0,88	0,90	—	—
		ESE	1,00	0,98	0,94	0,91	0,90	—	—
		SE	1,00	0,98	0,93	0,84	0,79	—	—
		SSE	1,00	0,97	0,90	0,85	0,81	—	—
		S	1,00	0,97	0,90	0,80	0,80	—	—
	VALENCIA I	NE	0,94	0,88	0,87	0,83	0,87	—	—
		ENE	0,94	0,90	0,79	0,75	0,80	—	—
		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	—	—

Como podemos observar para calcular  $K_R$  debemos obtener el período asociado a la onda que extraeremos a partir de la fórmula de la tabla E:

<b>E - REGISTROS INSTRUMENTALES: CORRELACIONES ALTURA DE OLA / PERIODO EN TEMPORALES</b>					
BOYA	$P = H_s / L_T = \frac{2\pi H_s}{gT^2}$	$T_p / T$	RELACION FINAL $\frac{H_s (m)}{T_p (s)}$	VALORES DE DISEÑO	
				$H_s (m)$	$T_p (s)$
VALENCIA I	0.025 ~ 0.04	≈ 1.25	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11-14
				7	13-16.5
ALICANTE	0.025 ~ 0.04	≈ 1.25	$T_p = (5-6.3)\sqrt{H_s}$	3	8.5-11
				5	11-14
				7	13-16.5

Fórmula del período pico:  $T_{P=(5\sim6.3)\sqrt{H_S}}$

<b>T retorno (años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
<b>H<sub>S,R</sub> (m)</b>	3,1	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,1
<b>Tp min (s)</b>	8,8	9,4	9,7	10,1	10,6	11,0	11,3
<b>Tp max(s)</b>	11,1	11,8	12,3	12,8	13,4	13,8	14,2
<b>Tp medio(s)</b>	9,9	10,6	11,0	11,4	12,0	12,4	12,8
<b>Tp (s)</b>	9	11	11	11	11	13	13

De este modo, obtenemos la altura de ola significativa (H<sub>so</sub>) para las distintas direcciones:

	<b>T retorno (años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
	<b>H<sub>S,R</sub></b>	3,1	3,5	3,8	4,1	4,5	4,8	5,1
	<b>Tp</b>	9	11	11	11	11	13	13
<b>H<sub>so</sub> (m)</b>	<b>NE</b>	3,52	4,02	4,37	4,71	5,17	5,78	6,14
	<b>ENE</b>	3,44	4,43	4,81	5,19	5,70	6,40	6,80
	<b>E</b>	2,97	3,39	3,68	3,97	4,35	4,55	4,83
	<b>ESE</b>	2,73	3,01	3,27	3,53	3,87	4,04	4,29
	<b>SE</b>	2,44	2,75	2,99	3,22	3,54	3,78	4,01

Por lo tanto, para quedarnos del lado de la seguridad escogemos la H<sub>so</sub> máxima que se da para la dirección ENE, H<sub>so</sub>=6m.

La longitud y el período de ola de cálculo los podemos obtener recurriendo a la ROM 0.3-91, que para nuestra zona recomienda utilizar la siguiente fórmula:

$$4 \cdot \sqrt{H_0} < T < 5 \cdot \sqrt{H_0} \rightarrow 9,8_s < T < 12,2_s \rightarrow T = 11_s$$

Y con la siguiente fórmula hallamos la longitud de ola:

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} = \frac{9,8 \cdot 11^2}{2 \cdot \pi} = 189 \text{ m.}$$

Por último, obtendremos la altura de ola en condiciones de rotura (H<sub>b</sub>) ya que la altura determinate para la realización de nuestra obra será la máxima altura de ola que pueda abordar la obra sin romper antes, que esta estará condicionada por su peralte



$$\frac{H_b}{d_b} = 0.8 \rightarrow \frac{H_b}{(4.5 + 0.8)} = 0.8 \rightarrow H_b = 4.24$$

$H_b$ : altura de ola en rotura.

$d_b$ : profundidad de cálculo al pie de los diques exentos considerando la profundidad real más una sobre elevación de 0.8m.

El resultado lo redondearemos a la baja ( $H_b = 4m.$ ) ya que si observamos las rosas de oleaje de la base de datos de Puertos de Estado, encontraremos esta altura de ola muy superior a lo habitual en la zona de cálculo.

Por lo tanto, para la determinación de la altura de ola de calculo ( $H_{cal}$ ) deberemos tener en cuenta que la altura de ola significativa  $H_{so}$  es de 6 metros, por lo que  $H_{max}=2 \cdot H_{1/3}=12m.$  y la altura de ola por rotura  $H_b$  es de 4 metros, esto quiere

decir que  $H_b < H_{max}$  así pues, las obras a realizar se encontrarán en aguas someras en las que la rotura viene condicionada por el fondo.

Por lo tanto,  $H_{cal} = H_b = 4m.$  Ya que alturas de olas superiores a esta romperán antes de llegar a las estructuras.

### **3.PARAMETRIZACIÓN DE LOS DIQUES EXENTOS**

Como ya se ha descrito anteriormente, una de las soluciones establecidas es la de construcción de diques exentos frente a la costa, puesto que provocarán un aumento de la sección de playa dando lugar a la formación de hemitómbolos en este caso, además de proteger la costa frente al oleaje y la erosión.

Para el diseño de los diques exentos se estudiarán los siguientes parámetros:

- Orientación con respecto a la orilla.
- Distancia respecto a la orilla.
- Número, longitud y separación entre diques.
- Cota de coronación.

#### **3.1. Orientación respecto a la orilla**

En nuestro caso la orientación se realizará paralela a la línea de costa ya que al estar en aguas someras el oleaje tiende a ser perpendicular a la costa debido a los efectos de difracción.

#### **3.2. Separación de la costa**

La distancia con respecto a la paseo de los diques se realizará a 300 metros aproximadamente , quedando con respecto a la línea de costa a una distancia de 250 metros aproximadamente según el tramo de costa en el que nos encontremos, puesto que la sección de la playa no será recta sino en espiral por la formación de hemitómbolos.

Y la profundidad a la que se encontrarán será de 4,5 metros.

#### **3.3. Numero, longitud y separación entre diques**

La longitud de los diques determinará la formación de hemitómbolos, por lo tanto, si seguimos las recomendaciones para conseguir esta formación de hemitómbolos deberemos adoptar una longitud de los diques menor a la distancia a la que se disponen de la costa, que estará comprendida entre 150 y 200 metros.

En cuanto al número de diques se ha decidido la creación de dos diques puesto que el tramo de costa a regenerar no comprende una gran extensión y estos serían suficientes.

Estos dos diques provocarán la formación de dos hemitómbolos.

Por lo tanto la longitud de los diques será de 150 metros con una separación aproximada entre ellos de 128 metros ya que se van a colocar como sustitución de los diques longitudinales que comprenden una extensión de playa de 268 metros y disponen de un ancho medio aproximado de 7 metros.

### **3.4. Cota de coronación**

En cuanto a la cota de coronación ya se indicó que los diques serían sumergidos para lograr la ventaja estética que estos suponen, por lo tanto se adoptará como cota de coronación el NMR  $\pm 0.5$  metros teniendo en cuenta las mareas.

## **4.MATERIALES CONSTITUYENTES DE LOS DIQUES**

Los materiales constituyentes de los diques serán bloques de escollera para el manto principal y el manto secundario y todo uno en el núcleo.

En cuanto a la geometría de los diques será la misma para ambos:

- Ancho de coronación 4,5 metros.
- Los dos taludes 2H:1V.
- Berma de 2m de longitud y 0,5m de altura.
- Cota de coronación estable a lo largo del dique y al nivel medio del mar.
- Y el calado será de -4,5 metros.

## 5. ESTABILIDAD Y CÁLCULO DE LOS DIQUES

### 5.1. Introducción.

Como ya se ha comentado en el anejo nº 7 “Estudio de soluciones” una de las soluciones adoptadas en este proyecto es la de la realización de dos diques exentos sumergidos frente a la línea de costa para facilitar el cumulo de sedimentos y garantizar la sección deseada.

Por lo tanto, en este apartado se desarrollara el cálculo de las estructuras mencionadas hallando los pesos y espesores de capas además de la definición del ancho en coronación y la berma de refuerzo.

### 5.2. Cálculo de pesos y espesores de capas

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 específico de la escollera del manto

$H$ : Altura de ola de iniciación de averías

$K_D$ : Coeficiente de estabilidad

$S_r = \frac{\rho_r}{\rho_w}$ : Peso específico del material respecto del agua.  $S_r=2.62$

$\rho_r$ : Peso específico del al escollera, 2,7t/m<sup>3</sup>

-La pendiente será de 2 ( $m=2$ ) puesto que los taludes de los diques son 2H/1V y por lo tanto  $\cot \alpha = 2$ .

-para la obtención de  $K_D$  estableceremos que el material se colocara en dos capas ( $n=2$ ) y será de escollera rugosa por lo tanto atendiendo a la tabla que expongo posteriormente, obtenemos un  $K_D = 2$  para el cuerpo de los diques y un  $K_D = 1.6$  para los morros de los diques.

Tabla 1.2. Daños nulos y rebase menor.

Piezas del manto	n <sup>(3)</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 Redondeada lisa	2	Aleatoria	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5 to
Redondeada lisa	> 3	Aleatoria	1,6	3,2	1,4	2,3	<sup>(5)</sup>
Angulosa rugosa	1	Aleatoria	<sup>(4)</sup>	2,9	<sup>(4)</sup>	2,3	<sup>(5)</sup>
Angulosa rugosa	2	Aleatoria	2,0	4,0	1,9	3,2	1,5
					1,6	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
Angulosa rugosa	> 3	Aleatoria	2,2	4,5	2,1	4,2	<sup>(5)</sup>
Angulosa rugosa	2	Especial <sup>(6)</sup>	5,8	7	5,3	6,4	<sup>(5)</sup>
Paralelepípedo <sup>(7)</sup>	2	Especial <sup>(1)</sup>	7-20	8,5-24	—	—	—
Tetrápodo y Cuadrípodo	2	Aleatoria	7,0	8,0	5,0	6,0	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>	31,8 <sup>(8)</sup>	8,0	16,0	2,0 <sup>(9)</sup>
					7,0	14,0	3,0
Cubo modificado	2	Aleatoria	6,5	7,5	—	5,0	<sup>(5)</sup>
Hexápodo	2	Aleatoria	8,0	9,5	5,0	7,0	<sup>(5)</sup>
Toskane	2	Aleatoria	11,0	22,0	—	—	<sup>(5)</sup>
Tribar	1	Uniforme	12,0	15,0	7,5	9,5	<sup>(5)</sup>
Escollera angulosa graduada	—	Aleatoria	2,2	2,5	—	—	—

<sup>(1)</sup> CUIDADO: Los valores de K<sub>d</sub> en cursiva 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 sustanciada con ensayos específicos del caso.

-Además, asumiremos un porcentaje de fallo de un 15-20% puesto que los diques serán elementos de regeneración en este caso, de este modo obtendremos H 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

$$H = \frac{4}{1.27} = 3.14$$

***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:

$$W_{\text{cuerpo}} = \frac{2.7 \cdot 3.14^3}{(2.62-1)^3 \cdot 2 \cdot 2} = 4.91 \text{ T} \quad W_{\text{morro}} = \frac{2.7 \cdot 3.14^3}{(2.62-1)^3 \cdot 1.6 \cdot 2} = 6.14 \text{ T}$$

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

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

$n$ : Número de capas.

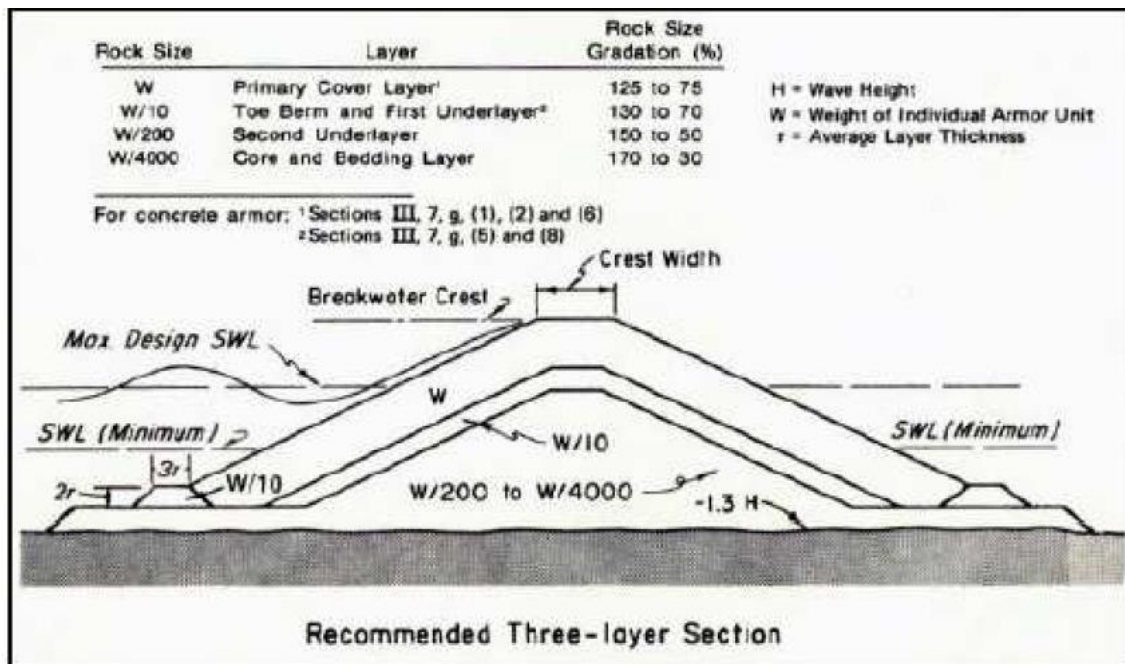
$k_{\Delta}$ : coef. De capa, cuyo valor es 1 para escollera angulosa rugosa de colocación aleatoria

$W$ : Peso calculado anteriormente

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

$$r_{\text{cuerpo}} = 2 \cdot 1.15 \cdot \left( \frac{4.91}{2.7} \right)^{1/3} = 2.8m. \quad r_{\text{morro}} = 2 \cdot 1.15 \cdot \left( \frac{6.14}{2.7} \right)^{1/3} = 3m.$$

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:



#### **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 el  $W_{cuerpo} = 0.491 T$  y el  $W_{morro} = 0.614 T$

Y los espesores:

$$e_{cuerpo} = \sqrt[3]{\frac{491}{2700}} = 0.56 \text{ m. y } e_{morro} = 0.61 \text{ m.}$$

#### **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 todouno dentro del rango especificado en el esquema  $[24 - 1] \text{ kg}$ .

### **5.3. Ancho mínimo de coronación**

El ancho mínimo de coronación viene determinado por el ancho de la maquinaria y su tránsito durante la construcción del dique, que se va a establecer de 4,5 metros.

### **5.4. Bermas de refuerzo**

Las bermas de refuerzo están diseñadas con la función de evitar que se produzca un posible fallo por socavación o asiento en la cimentación de la estructura debido a la erosión del fondo marino y el pie del dique.



Este tipo de fallo se ve más acentuado en fondos marinos no rocosos como en este caso en el que el fondo es de material arenoso, por lo tanto, se han de proyectar este tipo de estructuras a modo de filtro.

Por lo que se proyectará una berma de refuerzo de 2 metros de anchura por 0.5 metros de altura medidos a partir del fondo marino en el lado mar adentro de ambos diques, para evitar que se desplace este material arenoso y se produzca la socavación.

El material de las bermas será la escollera utilizada también para el manto secundario.

Cabe destacar que este tipo de elementos presentan una difícil construcción ya que se realizan bajo el agua pero son muy útiles y evitan problemas de reparación más costosa.

## 6.DISEÑO DE PLAYA SECA

### 6.1. Zonificación de la playa

Como cualquier otro recurso, la playa es un bien que satisface diversas necesidades humanas. Es, por tanto, apropiado establecer los cauces conducentes a la definición de los atributos que determinan su calidad, es decir, las características tanto en términos cuantitativos como cualitativos que permiten que la playa satisfaga las múltiples necesidades planteadas.

La Orden de 4 de marzo de 1994 de la Conselleria de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de las Islas Baleares (OIB-94) sobre los criterios generales de distribución de instalaciones de servicio de temporada en el litoral balear, complementa los definidos anteriormente por la Dirección General de Puertos y Costas (GRPP-70) para la zonificación de las playas. Siguiendo ambas normas, se podrían distinguir tres grandes zonas: activa, de reposo y de espacios libres, y otras complementarias a las primeras:

**1.Zona activa o de inmersión:** es la franja de arenas más próxima a la orilla que debe permanecer libre en casi toda su longitud, para favorecer la cómoda inmersión y tránsito de los bañistas. Se impedirá la colocación de hamacas y toldos de alquiler. Esta zona viene impuesta por la carrera de marea, sin embargo en las playas que no son sensibles a ellas, debe imponerse una anchura mínima es de 10 m, tomados a partir de la línea de orilla que defina el altamar viva equinoccial. No obstante ello, en las playas con una anchura superior a 40 m, se podrá ampliar el ancho de la zona activa hasta 10 m más; y en las playas menores de 20 m, se puede reducir la dimensión transversal de la zona activa hasta 6 m como mínimo, previa justificación en razón de su poca afección al uso público. Una buena regla práctica es dejar como zona activa un tercio del total del ancho de la playa, sin bajar nunca de los 6 m. también se puede obtener el valor de anchura de playa mediante la pendiente recomendada de 8% y el valor de Run-Up.

**2.Zona de reposo o inactiva:** es inmediata y paralela a la anterior, en la que se permite la colocación de sombrillas, hamacas, toldos y otros elementos portátiles que faciliten la permanencia a los usuarios. Se excluyen las superficies destinadas a zonas de pasos peatonales, de espacios libres, de lanzamiento y varada, y zonas de accesos de servicios y limpieza de playas. La anchura óptima en playas mediterráneas sería de 25 m, siendo variable en función de las características y superficie de cada playa. En cualquier caso, no se superará nunca los 100 m que sería el límite del desplazamiento para el baño. Este espacio es el que, debidamente acotado mediante papeleras, postes fijos u otros elementos específicos destinados a tal fin, se, emplea para la ocupación temporal mediante la correspondiente autorización. En ningún caso se permite la invasión de zonas dunares. Para facilitar el tránsito peatonal, y siempre que la anchura de la playa lo permita, se dejará, en esta zona y junto a su límite posterior, una franja de paso de 4 m de ancho (10 m según GRPP-70, pero contada fuera de la zona de reposo), que podrá suprimirse si se justifica suficientemente su innecesidad, en razón de su escasa afección al uso público, o bien porque así lo justifique la ordenación normativa o planos de distribución de las instalaciones.

**3. Zona de espacios libres:** La GRPP-70 la denomina como zona de servicios, y 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. Sólo por motivos justificados se autorizarán las actividades permitidas en la zona de reposo y las actividades y lúdicas, conforme a la normativa vigente.

**4. Zona de lanzamiento y varada de embarcaciones y elementos náuticos:** Se sitúan preferentemente en los extremos de la playa o en otras zonas donde sea mínima su interferencia con los otros usos. La distancia mínima entre zonas de lanzamiento será de 150 m, debiendo existir ante ellas un canal balizado. Se respetará un mínimo de 6 m como distancia desde cualquier punto del recinto teórico de esta zona al recinto de otras instalaciones, evitando estar frente a zonas de hamacas y sombrillas, y en conexión, a ser posible, con accesos rodados.

**5. Zona marítima de baño:** situada en el mar, con las condiciones que veremos en puntos posteriores.

**6. Zonas de pasos peatonales:** tratan de asegurar la conexión peatonal entre todas las zonas definidas, sin ninguna limitación. Deben estar debidamente señalizados, y es importante la existencia de pasos transversales de acceso a la playa (como mínimo cada 200 m según OIB-94, aunque veremos otras prescripciones que pueden prevalecer y son más restrictivas), excepto en aquellas áreas naturales de especial interés.

**7. Zona de acceso de servicios de limpieza de playa:** debe situarse, a ser posible, dentro de la zona de espacios libres. Su ubicación se determinará basado en una red global de accesos, no pudiendo utilizarse para otro fin y prohibiéndose el aparcamiento de cualquier vehículo destinado a otra actividad, salvo servicios de seguridad debidamente autorizados.

## **6.2. Establecimiento del ancho de playa**

Según la normativa de zonificación descrita en el anterior punto el ancho mínimo de la zona activa sería de 10 metros con una pendiente recomendada de 8%, tras estos 10 metros de zona activa se dispondrían 25 metros más 10 metros de resguardo para la zona de reposo, un total de 35 metros que se dispondrían a una pendiente de 1,5%.

Por lo tanto, la anchura total de la playa se obtiene sumando las dos zonas, quedando un ancho total mínimo de la playa de 45m con una cota de ascenso final de 1,325m donde se situará el pie de la duna.

## **7.DISEÑO DEL CORDÓN DUNAR**

### **7.1. Introducción**

Como ya se resolvió en el estudio de soluciones, una mejora en cuanto la regeneración de Saplaya es la de construcción de un cordón dunar.

Las dunas son la prolongación de las playas tierra adentro, es decir, constituyen la mayor parte de la zona emergida de las playas.

Éstas representan las reservas de arena de las playas, es decir, las zonas donde durante grandes temporales el mar toma la arena y los materiales que necesita para que el perfil transversal de la playa se adapte a las circunstancias generadas por la energía del oleaje incidente.

Por tanto, los cordones dunares se encargan de regular la hidrodinámica de los estuarios, marismas y lagunas litorales, y a los que éstos deben su existencia, su interés ambiental y su biodiversidad, de las más productivas de los ecosistemas existentes.

Las dunas también representan un papel importante si tenemos en cuenta los efectos producidos por el cambio climático que suponen una subida del nivel medio del mar y una mayor frecuencia de temporales cada vez más fuertes.

Para asegurar la existencia de esa zona seca de la playa, de la que hacen uso los bañistas, y es esencial para la industria del turismo, es necesario disponer de las reservas de arena que las dunas representan.

### **7.2. Diseño del cordón dunar**

El diseño del cordón dunar está basado en la cota de inundación de proyecto, que es de 2 metros y en la cota de la zona comercial de 3 metros aproximadamente, por lo que se ha situado la cresta de la duna aproximadamente a 4 metros desde el nivel del mar, dando dos metros de margen de seguridad puesto que esta es la altura de construcción, que con el tiempo se verá degradada por la acción eólica y el asentamiento de las arenas debido a la consolidación.

La cota donde termina la zona de reposo descrita anteriormente y comienza el pie de la duna asciende a 1.96 metros de altura, y presenta una base 12 metros a lo largo de todo el tramo a estudiar.

Esto se puede ver en el plano Nº 12 “Sección transversal playa regenerada”.

### **7.3. Fijación del cordón dunar. Método de restauración.**

La reconstrucción de la duna se realiza en zonas donde el cordón dunar ha sido eliminado total o parcialmente como sería nuestro caso, o bien está fragmentado longitudinalmente por incisiones, muy frecuentemente ocasionadas por la circulación de personas.

Esta restauración de los sistemas dunares que han sido alterados, se consigue mediante la eliminación de las causas que han conducido a su alteración como en este caso

vendría a ser la construcción de una zona comercial y un paseo muy próximos a la línea de costa, llevando consigo la eliminación del cordón dunar preexistente, además de utilizar otras técnicas como son la reconstrucción topográfica y repoblación con vegetación autóctona.

Una vez eliminados o reducidos los factores que han dado lugar a la eliminación de la duna, se procede a la instalación de sistemas de apoyo que permitan su reconstrucción mediante procesos naturales.

Es una acción relativamente lenta, cuyos resultados se obtienen a medio plazo. Son actuaciones muy poco costosas, con escasa inversión y buenos resultados. No obstante, puesto que se trata de obras en las que es la propia naturaleza la que realiza la mayor parte del esfuerzo (el viento transporta la arena, la vegetación se establece y extiende su cobertura, etc.), los resultados no se aprecian al terminar la actuación sino al cabo de cierto tiempo, dependiendo de varios factores como la climatología, la dinámica sedimentaria, la efectividad de la protección, etc.

Para la resolución de nuestro caso se optará por sistemas pasivos de captación de arena.

Los captadores de arena son empalizadas normalmente de ramas muertas de plantas (mimbre, cañas, matorrales, etc.), tablas de madera (tablestacados) u otros materiales (redes de plástico). Los dos primeros tipos son materiales biodegradables y, en el caso de las ramas muertas, aumentan el contenido en materia orgánica del suelo para la vegetación que posteriormente se instale. Su función es reducir la velocidad del viento por fricción y con ello, disminuir la carga de arena transportada, propiciando la acumulación de arena, aumentando la altura y anchura del depósito. Estos sistemas contrarrestan la erosión eólica y aportan una mayor estabilidad al depósito arenoso.

La eficiencia en la acumulación de arena y la morfología de las dunas así formadas depende de la porosidad del sistema de captación, la altura, inclinación, velocidad de viento, características de la arena, distancia entre filas de captadores, número de filas de captadores y características topográficas de la zona donde se colocan. En general, los captadores porosos son más efectivos que los sólidos, ya que estos últimos producen depósitos menos estables.

Estos sistemas son utilizados para:

1. ayudar a rellenar huecos o brechas en las dunas.
2. crear cordones completamente nuevos.
3. crear “cordones de sacrificio” para protección de zonas interiores de elevado valor cultural o natural para su conservación.

Los captadores de arena sustituyen así la función que, de forma natural, ejerce la vegetación pionera en la construcción de cordones dunares costeros.

La ubicación de los captadores sobre el terreno depende del objetivo perseguido y de la dinámica sedimentaria natural del sistema. Por tanto, en tramos costeros con una dinámica sedimentaria estable, se sitúan sobre lo que correspondería al cordón dunar

embrionario o en posición adelantada. Mientras que en tramos costeros regresivos, se sitúan detrás, donde se ubicaría el límite del sistema al cabo de los años.



Las bardisas son captadores de arena formados por spartina que como ya hemos descrito anteriormente se sitúan de manera estratégica para dar forma al cordón dunar.

En las costas mediterráneas, se suelen emplear captadores realizados con la planta Spartina (borrío), armada y tejida con cañas. Este material es fácilmente recolectable en zonas húmedas y se construyen de forma artesanal en segmentos de 1 a 2 m de longitud. Su altura es inferior a 60 cm y se entierran unos 20 cm. Su eficacia ha sido ampliamente reconocida en ambientes de escaso transporte de arena por el viento.

#### ***Descripción:***

Utilizados sobre todo en la costa Mediterránea, están contruidos con borró (Spartina versicolor) y armados con cañas, que se hincan verticalmente en el suelo, formando una densa empalizada. Suelen disponerse en una trama ortogonal, en la que se mantiene una separación longitudinal entre las empalizadas de 4 veces la altura de la misma.

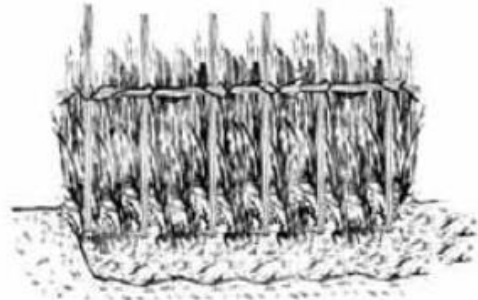
Permiten una permeabilidad al viento de un 40-50 % y tienen una altura variable entre 50 y 80 cm. Con el tiempo, las empalizadas se cubren de arena (2º-3º año), se pudren (4º-5º año) y desaparecen, alcanzando la duna un aspecto totalmente natural a partir del 6º-7º año. En la zona de sotavento, las empalizadas tardan más en degradarse y desaparecer por la menor movilidad de la arena en este sector.

#### ***Ventajas:***

- Al ser porosos, son más efectivos que los sólidos ya que estos últimos producen depósitos menos estables.
- Su instalación es sencilla.
- Su precio es menor que el de los captadores de madera.
- Son biodegradables, aumentando el contenido en materia orgánica del suelo para la vegetación que posteriormente se instale.

#### ***Inconvenientes:***

- Tienen un impacto paisajístico considerable.
- Son menos resistentes a fuertes inclemencias climáticas (lluvia y viento).
- El depósito de arena es muy irregular creándose un cordón dunar compuesto de montículos que tarda más en adquirir un perfil uniforme.
- Son más endebles y menos resistentes en el tiempo que los de madera.



En nuestro caso las bardisas serán de altura de 90 cm y vendrán suministradas en rollos.

En cuanto a su disposición se colocarán a lo largo de toda la línea de costa descrita en proyecto, colocándose 2 cordones paralelos en la parte delantera de la duna y 2 en la parte posterior de la sección de duna descrita anteriormente, y transversalmente se colocarán cada 5 metros.

Una vez estabilizado el cordón dunar, se procede a su fijación mediante plantaciones de especies dunares que, en estado natural, son las responsables de la formación y mantenimiento de las dunas. Esta actuación tiene por objeto devolver al sistema la cubierta vegetal que, por diversos motivos, ha desaparecido en ciertas zonas. Esta pérdida de cobertura vegetal en el cordón dunar es una de las causas de su desestabilización y de las movilizaciones de grandes volúmenes de arena hacia el interior. La colonización natural del cordón dunar reconstruido artificialmente es un proceso lento, además, las dunas restauradas se erosionan antes de que la vegetación se instale y ejerza la función de estabilización. Por lo tanto, la revegetación debe realizarse de forma artificial plantando especies dunares.

En las costas europeas y, en concreto, en las de la Península Ibérica, aparecen dos especies especialmente interesantes, la grama marina (*Elymus farctus*) y el barrón

(*Ammophila arenaria*). La primera se desarrolla especialmente en las dunas embrionarias y la segunda, sobre el primer cordón dunar. Ambas especies son gramíneas perennes, adaptadas a las condiciones ambientales del litoral, capaces de dispersarse a través del viento y del agua de mar y resistentes al enterramiento en la arena.

El barrón es la especie más utilizada en las regiones templadas para la estabilización de la arena y actualmente, se suelen utilizar como complemento en las restauraciones de las costas españolas especies como *Eryngium maritimum*, *Helichrysum stoechas*,

*Pancratium maritimum*, *Otanthus maritimus* y *Euphorbia paralias*, principalmente. En dunas mediterráneas y del Golfo de Cádiz, también se ha ensayado con éxito con *Cakile maritima*, *Calystegia soldanella*, *Crucianella maritima*, *Lotus creticus*, *Malcolmia littorea*, *Medicago marina*, etc.

Una vez realizada la función estabilizadora de estas especies estructurales, en un breve intervalo de tiempo se produce la colonización de otras especies dunares.

El proceso es el siguiente, una vez obtenidas las plantas en vivero, normalmente de 1 a 2 años de edad, se plantan manualmente, excavando un hoyo de unos 25 cm de profundidad, donde se aloja la planta, procediendo posteriormente a taparla. La planta deberá quedar enterrada unos 10 cm con respecto a su nivel original en el lugar de procedencia.

Las especies dunares se distribuyen en franjas paralelas a la costa constituyendo formaciones vegetales propias. Se clasifican en dunas primarias, secundarias, terciarias, dunas activas, inactivas, fijas, etc. En el diseño de la plantación habrá que tener en cuenta la distribución natural de estas especies. Las plantas deben plantarse en zonas donde existe aporte de arena por el viento o por lo menos suficiente transporte, aunque el aporte no sea perceptible. El sustrato debe ser siempre arena eólica limpia, sin materiales finos ni materia orgánica.

Además, la observación de cómo se distribuyen las especies en las zonas cercanas suele ser un elemento importante para determinar el emplazamiento exacto de la vegetación.

Respecto al patrón espacial de plantación, se debe evitar un patrón regular de plantación y se debe adecuar la densidad de ésta a las características climáticas de cada región costera.

El momento más adecuado para realizar las plantaciones depende de la situación geográfica en la que se realice. En general, las plantaciones se llevan a cabo durante el otoño y el invierno; se excluyen los períodos muy fríos en las costas cantábrica y gallega. En estas épocas, existe riesgo de perder parte de las plantas debido a las bajas temperaturas y a causa de posibles temporales que puedan ocurrir. Sin embargo, si se planta demasiado tarde, se corre el riesgo de que la nueva planta no desarrolle perfectamente su nuevo sistema radical y no pueda resistir las altas temperaturas del verano. En las costas andaluzas y mediterráneas, el período óptimo de plantación es desde la segunda quincena de noviembre hasta finales de febrero. Estas fechas dependen de la meteorología predominante y se deben ajustar a las condiciones de ese momento.

En cuanto a las condiciones meteorológicas en el momento de la plantación, se deben evitar momentos de máxima luminosidad solar (horas centrales del día) y situaciones de viento fuerte. Las mejores condiciones climáticas son las de cielo cubierto con humedad ambiental así como en el suelo, aspecto que por otra parte ayuda mucho en el proceso de apertura de hoyos de plantación al mantener la arena más compacta húmeda.



## 8.DISEÑO DE LA PLANTA Y EL PERFIL DE LA PLAYA

En este punto se describe el diseño en planta y perfil de la playa en su estado final tras las obras de regeneración.

En cuanto al perfil de la playa seca, cómo podemos ver en el plano Nº12 “Sección transversal playa regenerada”, y como se mencionó anteriormente, se ha establecido una zona activa de 10 metros de anchura con una pendiente de 8%, tras esta zona se sitúa el tramo en reposo de 35 metros de longitud y 1,5% de pendiente y la zona de servicios previa a la de la duna se establece de 10 metros de longitud a 1,5% de pendiente.

Tras las tres zonas de playa seca podemos ver la duna de 12 metros de base, con un primer tramo de 7,35 metros de longitud con un talud a 20 grados, y un segundo tramo de 4,63 metros con un talud de 30 grados, quedando la cresta de la duna a una cota de 4 metros, un metro por encima del paseo (a 3 metros de cota).

También se realizará un rebaje de la duna de un metro medido desde la cresta en los accesos del paseo a la playa para facilitar el paso a los usuarios.

Este perfil variará dependiendo del tramo de costa en el que nos situemos, aumentando en las zonas que abarcan los diques exentos. Esto se puede ver definido en el plano Nº2 “Planta general playa regenerada”, en el cual observamos la planta del tramo de costa de actuación y su variación según vamos recorriéndola.

## 9.VOLUMEN DE ARENA DE APORTACIÓN

En este capítulo se realiza el cálculo del volumen de arena de aportación necesario para la regeneración de la playa.

El procedimiento a seguir se basa en la realización de una serie comparativas de perfiles significativos tanto actuales como tras la regeneración a lo largo de la línea de costa, con lo que podemos evaluar la cantidad de arena necesaria a aportar.

Una vez extraída el área necesaria de aportación para cada perfil se le suma al área del siguiente perfil más próximo y se hace una media que multiplicaremos por la distancia, con lo que obtendremos el primer volumen de aportación y así sucesivamente tras hallar todos los volúmenes de aportación de los perfiles establecidos, que posteriormente sumaremos y podremos obtener el volumen total de aportación para realizar nuestra actuación.

Los perfiles son 7 y quedan definidos en el planos Nº3 “Planta de perfiles antes actuación” Y Nº4 “Planta de perfiles después actuación”. Prolongándose desde la bocana del puerto hasta el espigón de control situado al sur (EC1).

El perfil actual empleado comparado con los 7 perfiles mencionados anteriormente, lo podemos observar en el plano Nº5 “Perfiles trasversales”.

Procediendo con el cálculo extraemos las siguientes áreas y volúmenes:

ARENAS				
PERFILES	AREAS (m <sup>2</sup> )	DISTANCIA ENTRE PERFILES (m)		VOLUMENES (m <sup>3</sup> )
1	175	1 A 2	105	21210
2	229	2 A 3	165	57502,5
3	468	3 A 4	112	41944
4	281	4 A 5	162,5	56468,75
5	414	5 A 6	87,5	28000
6	226	6 A 7	205	38232,5
7	147		TOTAL	185855,25

Por último, habrá que añadirle a este volumen el volumen total de la duna, que queda establecido del siguiente modo:

Área de la sección trapezoidal de la duna\* extensión de la duna, menos el rebaje de duna de un metro en los accesos a la playa.

DUNA			
AREA (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	VOL REBAJE (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN(m <sup>3</sup> )
16	773	614,25	11753,75

PROYECTO DE ADECUACIÓN DE LA FACHADA MARÍTIMA DE SAPLAYA SUR.  
(T.M. ALBORAIA, VALENCIA). OBRAS DE REGENERACIÓN.

REBAJE		
ancho acceso (m)	numero accesos	AREA REBAJE (m <sup>2</sup> )
7	9	9,75
VOL REBAJE (m <sup>3</sup> )	614,25	

Vol. Total *1.2(m <sup>3</sup> )	237130,8
----------------------------------	----------

El volumen total lo multiplicamos por un factor de corrección de 1,2 debido a que no podemos saber la granulometría de la arena.

Por lo tanto, el volumen total de arena a aportar para la regeneración de la playa será de 240.000 m<sup>3</sup>.

## 10.DISEÑO DE LOS ESPIGONES DE CONTROL

En este apartado se van a calcular los dos espigones de control que ya se mencionaron como parte de la solución de regeneración.

El espigón de control a sotamar situado antes del barranco de Carraixet y el espigón de control situado en Port Saplanya.

Estos dos espigones servirán para proteger la playa frente a la erosión y favorecer la acumulación de sedimentos.

Para determinar la longitud del espigón se han seguido los criterios que aparecen en el SPM (1984), donde se recomienda que para playas arenosas la profundidad de este tipo de actuaciones debe estar comprendida entre los 1.2 – 3 metros, para conseguir retener el 75% del transporte litoral.

Es importante recordar que el ancho de playa proyectado es de 45m y que siguiendo las recomendaciones del SPM (1984) el espigón a ejecutar debe poseer una longitud superior al ancho mencionado.

Teniendo en cuenta estos aspectos, así como la batimetría actual de la playa, se llega a la conclusión de que el espigón debe alcanzar una profundidad de 2,8m. Esta profundidad condiciona la longitud del mismo, haciendo necesario alcanzar los 100m de longitud para el espigón.

Por lo que respecta a la orientación del espigón, se debe tener en cuenta que para no alterar la desembocadura del barranco lo ideal es que el espigón siga la línea del barranco. Asimismo, en lo que se refiere a un proyecto de regeneración costera, la orientación perpendicular a la línea costa es la actuación más comúnmente utilizada. Teniendo en cuenta ambos aspectos se decide construir el espigón con una orientación ortogonal con la línea de costa, es decir, formando 90º con respecto a la playa.

La metodología de cálculo es similar a la descrita anteriormente con los diques exentos, por lo tanto se comentarán los pasos con mayor brevedad.

Primero analizaremos el espigón próximo al barranco, que llamaremos Ec1.

### ***Espigón de control Nº1***

#### ***1. Altura de ola de cálculo***

Como se vio anteriormente, la altura de ola de cálculo viene condicionada por el fondo, por lo tanto la fórmula será la determinada por la de altura de ola por rotura ( $H_b$ ), y deberemos tener en cuenta la profundidad a la que se llevarán los espigones.

En el caso del espigón situado a sotamar (próximo al barranco) la máxima profundidad a la que se llevará será de -2.8 metros y teniendo en cuenta que el nivel del mar puede variar  $d_b = 3.6m$ .

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.8 \rightarrow \frac{H_b}{3.6} = 0.8 \rightarrow H_b = 2.88m.$$

## **2. Parámetros básicos del espigón**

Parámetros básicos:

- Orientación sobre la costa
- Longitud del espigón
- Cota de coronación

En cuanto a la orientación, el espigón será perpendicular a esta con un morro de inclinación de 13 grados hacia el norte.

La longitud del espigón vendrá a ser de doble del ancho de playa, es decir, unos 100 metros aproximadamente desde la línea de costa, quedando a una profundidad de -2.8 metros.

En cuanto a la cota de coronación se establecerá de 1,5 metros de altura.

## **3. Materiales de los espigones**

Los materiales serán los mismos que para los diques exentos, es decir, bloques de escollera para el manto principal y el manto secundario y todouno para el núcleo, de los que posteriormente se describirá su tamaño y en cuanto a la geometría y sección transversal será igual que la de los diques exentos.

La sección transversal vendrá definida por:

- Ancho en coronación de 4,5 metros para permitir el paso de maquinaria de construcción.
- Los taludes será 3H:2V tanto a barlomar como a sotamar.
- La cota de coronación será de 1,5 metros.
- Y el calado en el morro del espigón será de 3,5 metros.

## **4. Estabilidad y cálculo del espigón de control**

En cuanto al espigón de control, la función es similar a la de los diques exentos, por lo tanto el procedimiento de cálculo en el que no basaremos es el mismo, pero en este caso se prescindirá de manto secundario puesto que estos espigones no estarán tan expuestos al oleaje como los diques exentos anteriormente calculados, y por lo tanto, no será necesaria una capa que actúe como filtro para proteger el núcleo.

Utilizaremos la expresión de Iribarren:

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

Con respecto a los parámetros utilizados anteriormente, variarán la  $\cot \alpha = 1.5$  y  $H = 2.88$  y se dispondrá en dos capas por lo que  $K_D$  no variará, quedando  $K_D = 2$  para el cuerpo y  $K_D = 1.6$  para el morro

Además, asumiremos un porcentaje de fallo de un 20%-30%, de este modo obtendremos  $H$  atendiendo a los criterios de avería:

$$H = \frac{2.88}{1.37} = 2.1m.$$

Por lo tanto, las piezas de escollera que constituirán el manto principal, tendrán un peso de:

$$W_{cuerpo} = \frac{2.7 \cdot 2.1^3}{(2.62-1)^3 \cdot 2 \cdot 1.5} = 1.96 \text{ T} \quad W_{morro} = \frac{2.7 \cdot 2.1^3}{(2.62-1)^3 \cdot 1.6 \cdot 1.5} = 2.4 \text{ T}$$

Y el espesor tanto para el cuerpo como para el morro se calcula con la siguiente expresión:

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

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

$n$ : 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.  $2.7 \text{ T/m}^3$

$$r_{cuerpo} = 2 \cdot 1.15 \cdot \left( \frac{1.96}{2.7} \right)^{1/3} = 2.06m. \quad r_{morro} = 2 \cdot 1.15 \cdot \left( \frac{2.4}{2.7} \right)^{1/3} = 2.21m$$

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 el  $W_{cuerpo} = 0.196 \text{ T}$  y el  $W_{morro} = 0.240 \text{ T}$

Y los espesores:

$$e_{cuerpo} = \sqrt[3]{\frac{196}{2700}} = 0.41\text{m. y } e_{morro} = 0.44\text{m.}$$

Por último, para el cálculo del peso de las piezas que formarán el núcleo, se emplea la siguiente expresión:

$$W_n = \left( \frac{W}{125}, \frac{W}{7.5} \right) = (15.68; 320) Kg$$

Ahora pasaremos a analizar el espigón de control situado en el puerto, que llamaremos Ec2.

### **Espigón de control Nº2**

#### **1. Altura de ola de cálculo**

Como se vio anteriormente, la altura de ola de cálculo viene condicionada por el fondo, por lo tanto la fórmula será la determinada por la de altura de ola por rotura ( $H_b$ ), y deberemos tener en cuenta la profundidad a la que se llevarán los espigones.

En el caso del espigón, la máxima profundidad a la que se llevará sera de 1.8 metros y teniendo en cuenta que el nivel del mar puede variar  $d_b = 2.6m$ .

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.8 \rightarrow \frac{H_b}{2.6} = 0.8 \rightarrow H_b = 2.08m.$$

#### **2. Parámetros básicos del espigon**

Parámetros básicos:

- Orientación sobre la costa.
- Longitud del espigón.
- Cota de coronación.

En cuanto a la orientación, el espigón será perpendicular al espigón que conforma la bocana del puerto.

La longitud del espigón será de unos 15 metros aproximadamente.

En cuanto a la cota de coronación se establecerá de 1 metro de altura.

#### **3. Materiales de los espigones**

Los materiales serán los mismos que para los diques exentos, es decir, bloques de escollera y todouno para el núcleo, de los que posteriormente se describirá su tamaño y en cuanto a la geometría y sección transversal será igual que la de los diques exentos.

La sección transversal vendrá definida por:

- Ancho en coronación de 4,5 metros para permitir el paso de maquinaria de construcción.
- Los taludes será 3H: 2V tanto a barlomar como a sotamar.
- La cota de coronación será de 1m por encima del nivel del mar.



#### 4. Estabilidad y cálculo del espigón de control

En cuanto al espigón de control, la función es similar a la de los diques exentos, por lo tanto el procedimiento de cálculo en el que no basaremos es el mismo, pero en este caso se prescindirá de manto secundario puesto que estos espigones no estarán tan expuestos al oleaje como los diques exentos anteriormente calculados, y por lo tanto, no será necesaria una capa que actúe como filtro para proteger el núcleo.

Utilizaremos la expresión de Iribarren:

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

Con respecto a los parámetros utilizados anteriormente, variarán la  $\cot \alpha = 1.5$  y  $H = 1.44$  y se dispondrá en dos capas por lo que  $K_D$  no variará, quedando  $K_D = 2$  para el cuerpo y  $K_D = 1.6$  para el morro

Además, asumiremos un porcentaje de fallo de un 20%-30%, de este modo obtendremos  $H$  atendiendo a los criterios de avería:

$$H = \frac{2.08}{1.37} = 1.51m.$$

Por lo tanto, las piezas de escollera que constituirán el manto principal, tendrán un peso de:

$$W_{cuerpo} = \frac{2.7 \cdot 1.51^3}{(2.62 - 1)^3 \cdot 2 \cdot 1.5} = 0.728 \text{ T} \quad W_{morro} = \frac{2.7 \cdot 1.51^3}{(2.62 - 1)^3 \cdot 1.6 \cdot 1.5} = 0.911 \text{ T}$$

Finalmente dispondremos escollera de 1 tonelada.

Y el espesor tanto para el cuerpo como para el morro se calcula con la siguiente expresión:

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

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

$n$ : 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.  $2.7 \text{ T/m}^3$

$$r_{cuerpo} = 2 \cdot 1.15 \cdot \left( \frac{1}{2.7} \right)^{1/3} = 1.65m. = r_{morro}$$

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 el  $W_{cuerpo} = 0.1 T$  y el  $W_{morro} = 0.1 T$

Y los espesores:

$$e_{cuerpo} = \sqrt[3]{\frac{100}{2700}} = 0.33\text{m.} = e_{morro}$$

Por último, para el cálculo del peso de las piezas que formarán el núcleo, se emplea la siguiente expresión:

$$W_n = \left( \frac{W}{125}, \frac{W}{7.5} \right) = (8; 133) Kg$$