



## Anejo 10. Diseño

## Índice

1. OBJETO .....	1
2. Cálculo de dos diques exentos.....	1
2.1. Diseño en planta de los diques exentos .....	1
2.1.1. Orientación respecto a la costa .....	1
2.1.2. Distancia respecto a la costa .....	2
2.1.3. Longitud del dique y calado .....	2
2.1.4. Cota de coronación.....	2
2.1.5. Altura de ola de cálculo (Hcal).....	2
2.2. Sección transversal .....	2
2.3. Análisis de estabilidad.....	2
2.4. Criterios de avería.....	3
2.5. Cálculos de los mantos y núcleo de los diques exentos .....	4
2.5.1. Manto principal .....	6
2.5.2. Manto secundario.....	8
2.5.3. Núcleo .....	8
2.5.4. Resultados obtenidos.....	8
2.5.5. Ancho mínimo de coronación .....	9
2.5.6. Bermas de refuerzo .....	10
3. DISEÑO DE LA PLAYA SECA .....	10
3.1. Determinación del Run-Up.....	11
3.2. Determinación del ancho mínimo de la playa seca .....	11
3.2.1. Zona activa y zona de reposo .....	11
4. FORMA EN PLANTA DE LA PLAYA .....	13
5. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA .....	14
5.1. D50 de la arena nativa .....	14
6. PERFIL DE LA PLAYA .....	16
6.1. Variaciones estacionales del perfil .....	17
6.2. Diseño del perfil de equilibrio de la playa sumergida .....	18
7. Perfil de la playa seca .....	19
8. APORTE DE ARENAS.....	19
8.1. Cálculo del volumen de arenas de aportación .....	19
9. CONCLUSIONES .....	24

## 1. OBJETO

El objeto del presente anejo es el desarrollo de los cálculos que determinan las secciones de los diques, así como el volumen de aportación de arenas necesario para la regeneración de la playa de Almenara, según las alternativas adoptadas en el anejo 'Estudio de Soluciones'.

Las alternativas con mejor valoración y que se desarrollan en el presente anejo de diseño son:

- Dos diques exentos y alimentación artificial
- Dique exento, espigón y alimentación artificial

El desarrollo de los cálculos, así como el diseño de cada solución, se adoptada a partir de los cálculos y estudios realizados previamente en los anejos:

- *Clima marítimo*
- *Propagación del oleaje*
- *Dinámica litoral*
- *Estudio de soluciones*

Concretamente, en el presente anejo se desarrollan los cálculos y el diseño de la “**Alternativa: Dos diques exentos y alimentación artificial**”.

## 2. Cálculo de dos diques exentos

### 2.1. Diseño en planta de los diques exentos

La caracterización del dique exento viene determinada por la morfología que se pretende que adopte la playa.

Según los parámetros constituyentes, el dique puede generar tómbolos o hemitómbolos, en esta alternativa, contrariamente a la otra alternativa, no llega a crearse tómbolos debido a que los dos diques exentos diseñados en esta alternativa tienen menor longitud.

Los parámetros que definen el cálculo de los diques exentos son:

- Orientación respecto a la costa
- Distancia respecto a la costa
- Longitud del dique y cala
- Cota de coronación

#### 2.1.1. Orientación respecto a la costa

Los diques exentos deben estar orientados respecto a la costa de manera que se reduzca el máximo posible la energía del oleaje que alcanza la costa.

Tal y como se ha estudiado en los anejos previos, en la costa de Almenara predominan los temporales con oleajes procedentes del NE y ENE.

Aunque los oleajes proceden del NE y ENE, ya que la refracción implica la reducción de la oblicuidad del oleaje respecto a la línea de costa, en el presente anejo se toma la orientación de los diques exentos paralela a la costa por ser más sencillo su diseño.

### 2.1.2. Distancia respecto a la costa

Se determina que la distancia de los diques exentos respecto a la costa es de 170 metros.

### 2.1.3. Longitud del dique y calado

La longitud del dique influye en la creación de tómbolos o hemitómbolos. Según el Shore Protection Manual, para conseguir la creación de hemitómbolos o tómbolos, se aconseja que la relación entre la longitud del dique y la distancia a la costa sea menor que 1.

Para esta solución se ha definido que la longitud de los diques exentos es de 150 metros. Por tanto:

$$\frac{L_{dique}}{d_{costa}} = \frac{150}{170} = 0,88$$

Siendo la longitud de los diques de 150 metros, a partir de la batimetría obtenida, se establece que la profundidad de los diques es de aproximadamente 3 metros.

### 2.1.4. Cota de coronación

Se toma como cota de coronación 0,5 metros respecto del NMM, este valor se extrae tomando como referencia las dimensiones de los diques exentos que se encuentran en la playa de Chilches, situada al norte de la playa de Almenara.

### 2.1.5. Altura de ola de cálculo (H<sub>cal</sub>)

En el Anejo 'Clima marítimo' las alturas de ola en rotura en aguas someras se calculan para 5 metros, en este caso, se ha determinado que, si los diques exentos y morros de los espigones se encuentran a una profundidad de 3 metros, por tanto la altura de ola máxima limitada por fondo será de:

$$H_{cal} = H_b = 0,8 \times 3 = 2,4 \text{ metros}$$

## 2.2. Sección transversal

A continuación, se determinan los parámetros necesarios para definir geométricamente la sección transversal:

**Parámetros diques exentos**

<i>Talud</i>	H2:V1 (barlomar y sotamar)
<i>Ancho coronación</i>	5 m
<i>Calado del morro</i>	-3m
<i>Cota de coronación</i>	0,5m NMM

*Tabla 1. Parámetros sección transversal*

## 2.3. Análisis de estabilidad

La función de los diques y espigones es disipar la energía del oleaje mediante los procesos de rotura, fricción y transmisión del oleaje.

Este tipo de estructuras disponen de las siguientes capas:

- Núcleo: es la capa interna e impermeable de los diques, generalmente se compone de material todo-uno de cantera. Su misión es servir de soporte al resto de capas constituyentes y evitar transmisiones de oleaje debido a su impermeabilidad.

- Capas intermedias: Las capas intermedias deben cumplir la doble misión de servir de apoyo al manto principal, así como impedir que los materiales del núcleo se desprendan debido a la acción del oleaje.
- Manto principal: es el encargado de desempeñar la función resistente. La estabilidad de los bloques del manto principal depende del peso propio de los bloques y del engarce y trabazón con los elementos adyacentes, así como del conjunto.

Para asegurar la estabilidad y la forma del talud es necesario construir una berma de pie que proteja adecuadamente el terreno, la cimentación y de apoyo al manto principal.

El estudio de la estabilidad de los diques requiere un análisis de la estabilidad de todo el conjunto y de la estabilidad bloque a bloque.

Bruun realizó una síntesis de las causas de fallo de un dique, agrupándolas en once causas principales, que comprenden la estabilidad hidrodinámica de las piezas, la estabilidad mecánica de las mismas, la estabilidad geotécnica de todo el conjunto granular y errores constructivos.

En lo sucesivo, se analiza la estabilidad del dique ateniéndose a las causas de avería debidas a falta de estabilidad hidrodinámica, es decir:

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

Los movimientos de una pieza integrada en el manto de un dique pueden ser de dos tipos:

- Cabeceos sobre los apoyos del manto
- Desplazamientos de posición en el manto

Cuando al dique llega oleaje regular de pequeña altura, este permanece inalterado, a excepción de la extracción de algunas piezas no integradas en el conjunto. Si la altura de ola que llega al dique aumenta suficientemente, comienza la extracción de piezas, que acaba cesando a partir de un número de olas determinado. Durante estos estados, que podríamos calificar de 'estabilidad parcial', el dique alcanza una situación de estabilidad tras un número determinado de olas.

Finalmente, cuando las acciones debidas al flujo superan un determinado valor, las piezas del manto secundario se ven afectadas antes de que el manto principal pudiera alcanzar la situación de estabilidad. Cuando el manto secundario empieza a verse afectado, la progresión del daño aumenta, alcanzándose rápidamente niveles de deformación incompatibles con la función de la estructura. Cuando el espesor del manto principal es muy elevado la deformación admisible es muy superior, por lo que la limitación a la deformación vendrá impuesta, o por el inicio de la erosión del manto secundario o por los efectos que la deformación produce en la funcionalidad del dique.

#### 2.4. Criterios de avería

Se entiende por inicio de averías a aquella altura de ola que provoca el inicio de la extracción de algunos elementos del manto principal. Después de esta situación, el dique alcanza una nueva situación de estabilidad, denominándose 'estabilidad parcial'.

Para relacionar el estado de avería de un dique con los valores de los parámetros de daño, es necesario definir algunos criterios globales de avería, asociados a variaciones geométricas apreciables en el manto, proporcionando así información cualitativa del estado del dique.

A lo largo del tiempo se han ido cambiando los distintos criterios de avería, tanto cuantitativos como cualitativos. Es por ello que, según atendamos a unos criterios u otros, pueden modificarse las valoraciones en cuanto a qué entendemos nosotros por la avería de nuestra construcción.

Recientemente se han definido 4 niveles de daño diferentes reconocibles mediante la inspección visual del dique: Iniciación de Avería (IA), Avería de Iribarren (AI), Inicio de Destrucción (ID) y Destrucción (D).

No obstante, en los cálculos de este proyecto se va a seguir el criterio del Shore Protection Manual (Coastal Engineering Research Center, 1984) que proporciona una tabla para relacionar la altura de ola de iniciación de averías o daño cero, con la altura de ola de cálculo que realmente ataca el dique.

En esta tabla, se define "daño" como el porcentaje de escollera que se mueve en una banda activa. En este criterio, la destrucción del dique se da para un daño del 50%.

## 2.5. Cálculos de los mantos y núcleo de los diques exentos

Las características de las piezas que se han de colocar para la creación de los diques, viene determinada por el peso de cada pieza.

El peso de cada pieza viene definido por la capacidad de estas de resistir la energía de rotura del oleaje.

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

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

Siendo:

- $w$ : peso de la escollera del manto
- $\rho_s$ : peso específico de la escollera, 2,7 T/m<sup>3</sup>
- $\rho_s/\rho_w$ : peso específico relativo material respecto agua marina, 2,634 T/m<sup>3</sup>
- $H$ : altura de ola a considerar
- $\cot \alpha$ : inclinación de los taludes. H2:V1
- $Kd$ : coeficiente de estabilidad

La altura de ola (H) de la ecuación de Iribarren viene definida en función del nivel de daño (D) aceptado para la estructura. El Shore Protection Manual define este nivel como el porcentaje de escollera que se mueve dentro de una banda activa, y para cada valor de daño, proporciona una relación entre la altura de ola (H) introducida en la ecuación de Hudson, y la altura de ola de cálculo (Hcal).

Unit		Damage (D) in Percent						
		0 to 5	5 to 10	10 to 15	15 to 20	20 to 30	30 to 40	40 to 50
Quarrrystone (smooth)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.14	1.20	1.29	1.41	1.54
Quarrrystone (rough)	$H/H_{D=0}$	1.00	1.08	1.19	1.27	1.37	1.47	1.56 <sup>2</sup>
Tetrapods & Quadripods	$H/H_{D=0}$	1.00	1.09	1.17 <sup>3</sup>	1.24 <sup>3</sup>	1.32 <sup>3</sup>	1.41 <sup>3</sup>	1.50 <sup>3</sup>
Tribar	$H/H_{D=0}$	1.00	1.11	1.25 <sup>3</sup>	1.36 <sup>3</sup>	1.50 <sup>3</sup>	1.59 <sup>3</sup>	1.64 <sup>3</sup>
Dolos	$H/H_{D=0}$	1.00	1.10	1.14 <sup>3</sup>	1.17 <sup>3</sup>	1.20 <sup>3</sup>	1.24 <sup>3</sup>	1.27 <sup>3</sup>

Figura 1. Hcal a partir del nivel de daños

Eliendo el uso de escollera rugosa y aceptando un nivel de daños del 0 al 5%, se obtiene que:

$$H_{cal} = \frac{2,4}{1,00} = 2,4 \text{ metros}$$

Por otro lado,  $K_d$  es el coeficiente de estabilidad que varía principalmente con la forma de las piezas, la rugosidad en la superficie, la angulosidad de las aristas y el grado de entrelazado obtenido en la colocación. También depende del número de capas dispuestas, modo de colocación de las piezas, condiciones de oleaje en rotura o no rotura, así como si se trata de la sección del cuerpo o del morro.

Para el dique exento de este proyecto, se tienen en cuenta dos capas, por lo que  $n=2$ . Además, se considera que la escollera utilizada es rugosa y de colocación aleatoria.

No-Damage Criteria and Minor Overtopping												
Armor Units	n <sup>3</sup>	Placement	Structure Trunk		Structure Head							
			K <sub>D</sub> <sup>2</sup>		K <sub>D</sub>		Slope					
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave						
Quarystone												
Smooth rounded	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0 <sup>5</sup>					
Smooth rounded	>3	Random	1.6 <sub>4</sub>	3.2	1.4 <sub>4</sub>	2.3						
Rough angular	1	Random <sup>4</sup>		2.9		2.3						
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5					
					1.6	2.8	2.0					
					1.3	2.3	3.0					
Rough angular	>3	Random <sup>6</sup>	2.2	4.5	2.1	4.2	5 <sup>5</sup>					
								Special <sup>1</sup>	5.8	7.0	5.3	6.4
									7.0 - 20.0		8.5 - 24.0	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5					
					4.5	5.5	2.0					
					3.5	4.0	3.0					
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5					
					7.8	8.5	2.0					
					6.0	6.5	3.0					
Dolos	2	Random	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					
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	-----	5.0	5					
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5					
Toskane	2	Random	11.0	22.0	---	---	5					
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	5					
Quarystone (K <sub>RR</sub> )												
Graded angular	-	Random	2.2	2.5	---	---						

Figura 2. Coeficiente de estabilidad a partir del nivel de daño

Por tanto, los valores de K<sub>d</sub> que se obtienen para el cálculo de los pesos del son:

	K <sub>d</sub>
Cuerpo	2
Morro	1,6

Tabla 2. Coeficientes de estabilidad

### 2.5.1. Manto principal

A continuación, se calculan el peso de la escollera y el espesor de las capas, a partir de la fórmula de Hudson y los parámetros necesarios. Este valor variará para el morro y el cuerpo.

Cuerpo:

$$w = \frac{2,4^3 \cdot 2,7}{[2 * 2 * (\frac{2,7}{1,025} - 1)^3]} = 2,14 T$$

Morro:



$$w = \frac{2,4^3 \cdot 2,7}{[1,6 * 2 * (\frac{2,7}{1,025} - 1)^3]} = 2,67 \text{ T}$$

Para conocer el espesor del manto principal, se obtiene el tamaño del cubo equivalente de una pieza de escollera:

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

Donde:

- $N$ : número de capas
- $K_{\Delta}$ : coeficiente de capa, valor de 1 para roca angulosa y colocación aleatoria
- $W$ : peso
- $\gamma_r$ : peso específico de las piezas

Dado que el peso específico de las piezas es  $2,7 \text{ T/m}^3$  y una vez establecida la disposición de dos capas, los espesores obtenidos son:

	n	K <sub>Δ</sub>	W(T)	γ <sub>r</sub>	r (m)
Cuerpo	2	1	2,14	2,7	1,85
Morro	2	1	2,67	2,7	2,00

Tabla 3. Espesores de las capas

A continuación, siguiendo las recomendaciones del Shore Protection Manual se calculan los pesos y espesores del manto secundario y el núcleo.

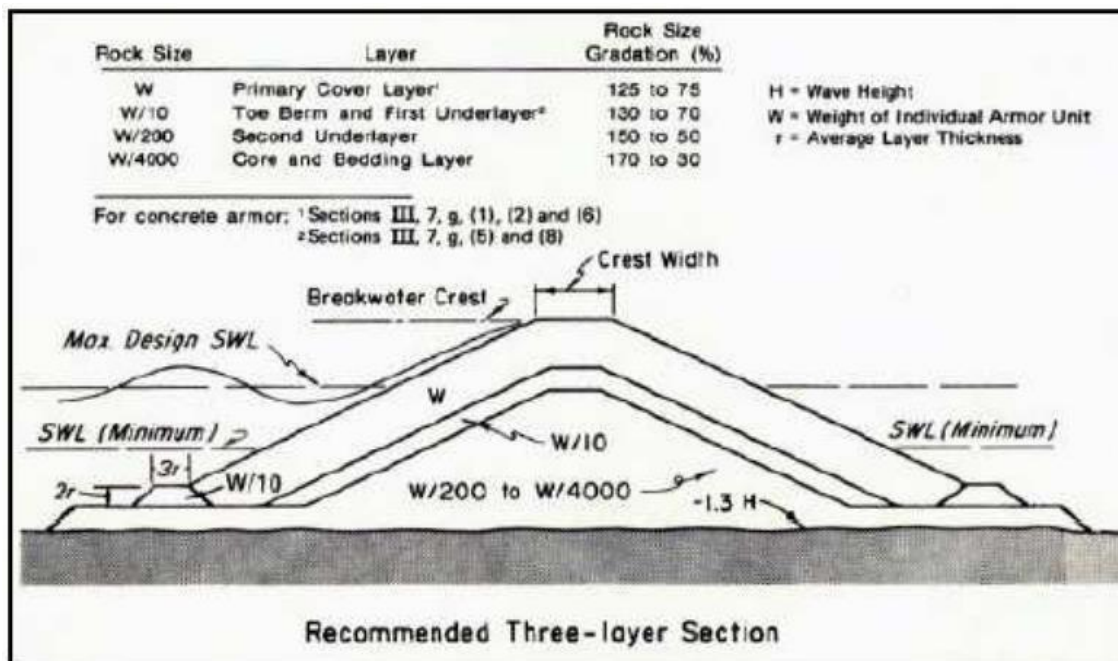


Figura 3. Sección tipo diques de escollera en condiciones de rotura de ola. Fuente Shore Protection Manual

### 2.5.2. Manto secundario

Tal y como se puede extraer de la figura anterior, el peso de las piezas para esta capa es el 10% del peso del manto principal. Además, únicamente se coloca una capa (n=1).

Por tanto:

	W (T)	r (m)
Cuerpo	0,214	0,430
Morro	0,267	0,462

Tabla 4. Peso y espesores del manto secundario

### 2.5.3. Núcleo

El núcleo está compuesto por escollera todo-uno de cantera con pesos variables dentro del rango estipulado por el SPM, que viene definido por:

$$\frac{W}{200}; \frac{W}{4000}$$

Donde:

- W: peso de las piezas del manto principal

Para los valores obtenidos anteriormente se obtiene que el peso del núcleo está comprendido entre 2 y 20 Kg

### 2.5.4. Resultados obtenidos

Por último, se muestran los resultados obtenidos anteriormente, indicando las variaciones de peso permitidas por el SPM:

	Manto principal		Manto secundario		Núcleo
	Cuerpo	Morro	Cuerpo	Morro	
Peso Pieza (Kg)	2.140	2.670	214	267	2-20
Espesor (m)	1,85	2,00	0,267	0,462	-

Tabla 5. Pesos y espesores de cada capa

	Manto principal		Manto secundario		Núcleo
	Cuerpo	Morro	Cuerpo	Morro	
Variación (%)	75-125	75-125	70-130	70-130	30-170
Peso mín. (Kg)	1.605	2.003	150	200	1
Peso máx. (Kg)	2.675	3.338	278	347	34

Tabla 6. Variación de pesos de cada capa

## SECCIÓN TIPO

### Dique exento +0.5

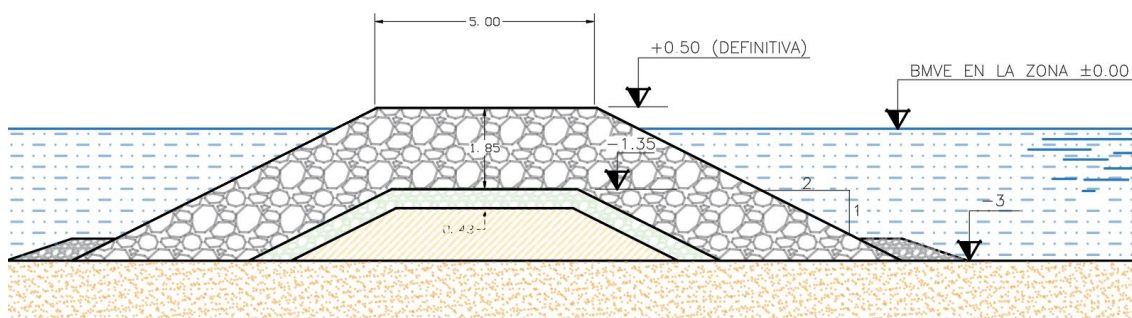


Figura 4. Sección tipo dique exento. Fuente propia

#### 2.5.5. Ancho mínimo de coronación

Según el Shore Protection Manual (SPM), la anchura de coronación debe ser suficiente para acomodar cualquier operación de construcción o mantenimiento que se deba realizar desde la propia estructura.

La elección de una anchura de coronación superior a la mínima se define para facilitar la construcción de este tipo de obras. El procedimiento de ejecución de las obras previsto es por vía terrestre. Con este procedimiento es necesario el empleo de maquinaria pesada que debe desplazarse sobre los caminos de acceso y el propio dique.

Debido a este proceso constructivo, el dique se ha de ejecutar con una anchura tal que, en fase de construcción, pueda permitir la circulación de camiones, grúas, palas, y otra maquinaria.

A continuación, se calcula el ancho mínimo recomendado por el SPM, para comprobar si el ancho definido inicialmente (5 metros) cumple con lo establecido.

La formulación empleada es la siguiente:

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

Figura 5. Coeficiente de capa. Fuente SPM

$$B = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left( \frac{W}{w_{\gamma}} \right)^{1/3}$$

Donde:

- *n*: número de canto, para escolleras el valor es 3
- *K<sub>Δ</sub>*: coeficiente de capa, en este caso 1
- *w*: peso de las piezas del manto principal
- *w<sub>γ</sub>*: densidad de las piezas, considerado de valor 2,7 T/m<sup>3</sup>

De este modo, se obtiene que el mínimo es:

*Cuerpo: B ≥ 2,77 metros*

*Morro: B ≥ 2,99 metros*

Por tanto, la anchura de coronación definida B = 5 metros, se considera suficiente para permitir la circulación de maquinaria en la coronación en fase de construcción.

#### 2.5.6. Bermas de refuerzo

El oleaje actuante puede llegar a provocar erosiones en el fondo y en la propia cimentación de las estructuras, por lo que debe protegerse a fin de evitar fallos en el pie o asientos excesivos.

En el caso de la playa de Almenara, como el fondo no es rocoso esta protección está aún más justificada. De este modo se evita que los granos de arena se puedan desplazar a través de los huecos, provocando erosiones y movimientos de los bloques de escollera que forman el cuerpo.

Por todo ello, se hace necesaria la colocación de unos refuerzos a modo de bermas, a ambos lados del dique para evitar los problemas que puedan aparecer, sobre todo los producidos por la socavación.

Estos elementos tienen una anchura de 1,5 metros, y se colocan en todo el dique, incluyendo los morros. Su altura es de 50 centímetros, medidos a partir del fondo marino. Las bermas se construyen con las mismas piezas de escollera que las del manto secundario.

Las bermas son elementos de difícil construcción bajo el agua. No obstante, su presencia es recomendable para evitar problemas cuya solución resultaría más costosa.

### 3. DISEÑO DE LA PLAYA SECA

En este apartado se estudia la solución correspondiente a la alimentación artificial de la playa.

Para poder diseñar la playa seca, en primer lugar, se debe distinguir las partes en las que se divide.

A partir de las recomendaciones del Estudio sobre la ordenación de playas (Dirección General de Puertos y Costas, 1985), se pueden distinguir tres zonas paralelas a la línea de costa:

- **Zona activa o de inmersión:** Es la franja de arena más próxima a la orilla, que debe permanecer libre para favorecer la cómoda inmersión y tránsito de las personas que

acuden a bañarse”. Esta zona viene impuesta por la carrera de marea, aunque en playas no sensibles a mareas se ha de imponer un mínimo de 10 m. Una buena regla práctica es dejar como zona activa un tercio total del ancho de playa, sin bajar nunca de 6 m. También se puede obtener esta anchura a partir de la pendiente de playa (recomendada de 8%) y el valor del Run-up.

- **Zona de reposo o inactiva:** Es la franja inmediata y paralela a la anterior en la que es posible el uso de sombrillas, hamacas, toldos y otros elementos portátiles, particulares o de uso público, con destino a hacer cómoda la permanencia en la playa, facilitando el descanso a sus usuarios.
- **Zona de servicios:** Está constituida por el conjunto de terrenos inmediatos a la zona de reposo o inactiva por el lado de tierra. Esta zona debe servir como elemento de separación entre la zona de reposo de la playa y las zonas urbanas colindantes.

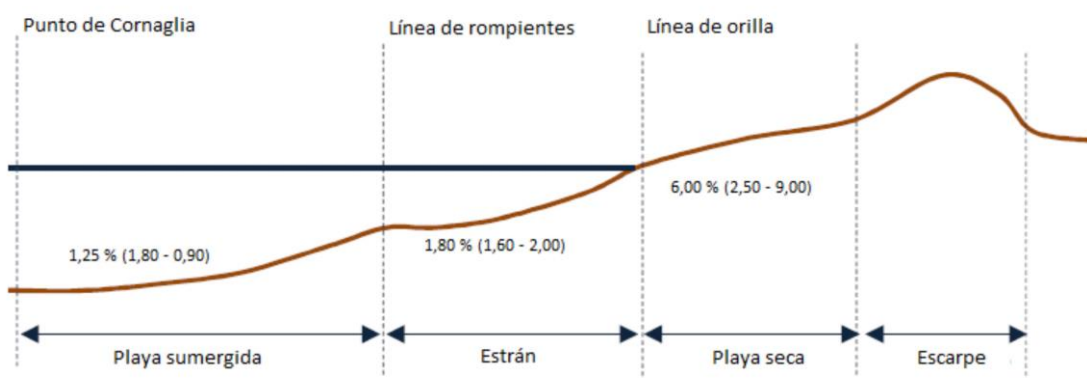


Figura 6. Zonas líneas de costa. Fuente Google Imágenes

### 3.1. Determinación del ancho mínimo de la playa seca

#### 3.1.1. Zona activa y zona de reposo

Para el cálculo de la alimentación artificial, se debe determinar el ancho mínimo de playa seca, que se obtiene de la suma de las zonas activas y de reposo. Una variable fundamental es el ancho con el que se quiere dotar a la playa seca. La experiencia recomienda valores entre 15 y 50 metros de ancho.

Valores de ancho por debajo de 15 metros dan lugar a que la playa deje de ser funcional para los bañistas. Mientras que valores excesivos, mayores a 50 metros, no quedan justificados económica ni medioambientalmente ya que las arenas a verter son un recurso caro y escaso.

Se opta por considerar que el ancho sea de 35 metros, por lo que será necesario ampliar el ancho en aquellos tramos de costa donde sea necesario.

Teniendo en cuenta que la longitud total del tramo a regenerar es de aproximadamente 800 metros, obteniendo así una superficie aproximada de 24.000 m<sup>2</sup>.

### 3.2. Determinación del Run-Up

El run-up es la cota de la playa seca hasta la que asciende una ola de altura en condiciones de rotura, este fenómeno dado en la pendiente del estrán, da lugar a una sobreelevación del nivel del mar que depende del tiempo.

Esta sobreelevación puede dividirse en tres tipos:

- **Set-up:** Aquella que es permanente mientras dura el oleaje, es la sobreelevación media.
- **Run-up:** Sobreelevación absoluta, medida desde el nivel medio del mar en reposo hasta el punto máximo que alcanza el mar ola tras ola.
- **Swash:** Es la diferencia de alturas entre el punto más alto y el más bajo que alcanza el oleaje.

Para el cálculo del Run-Up, se emplea la fórmula de Longuet-Higgins y Stewart (1991):

$$s = 0,19 \cdot (1 - 2,82 \cdot \sqrt{\frac{H_b}{g \cdot T^2}}) \cdot H_b$$

Donde:

- *S: valor del Run-Up*
- *H<sub>b</sub>: altura de ola en condiciones de rotura*
- *T: periodo de la ola de altura H<sub>b</sub>*
- *g: aceleración de la gravedad*

Un aspecto a tener en cuenta es que la altura de ola H<sub>b</sub> no tiene por qué corresponder con la altura de ola para el cálculo del dique exento, H<sub>b</sub>, obtenida en la primera parte de este anejo por condiciones de rotura de fondo. Así, en los cálculos del perfil de la playa habrá que utilizar la altura de ola al romper en la línea de costa.

Existen varios criterios para calcular. Estos criterios se pueden clasificar en dos tipos:

- Tipo I: Criterios que expresan las condiciones de rotura en función de parámetros locales de la ola y características batimétricas (o pendiente del fondo).
- Tipo II: Criterios que especifican la altura de ola en rotura en función de características batimétricas (pendiente de la playa) y peralte de la onda en la zona offshore (H<sub>s0</sub>/L<sub>0</sub>).

Los criterios utilizados en el presente proyecto son los de tipo II. Para el cálculo de la altura de ola en condiciones de rotura se utiliza la fórmula de Sunamura y Horikawa (1974):

$$H_b = m^{0,2} \cdot H_{s0} \cdot \left(\frac{H_{s0}}{L_0}\right)^{-1/4}$$

Donde:

- *H<sub>b</sub>: altura de ola en condiciones de rotura*
- *H<sub>s0</sub>: altura de ola significativa régimen extremal*
- *m: pendiente de la zona de rompientes, cuyo valor es de 2%*
- *T: período de la ola de altura H<sub>b</sub>*
- *L<sub>0</sub>: longitud de onda*



La altura de ola significativa en régimen extremal es de 7,3 metros, obtenida a partir de los datos proporcionados y extraídos de Puertos del Estado para Régimen Extremal.

Para un periodo de  $T = 11,12$  segundos (calculado en el Anejo de 'Clima marítimo', y empleando la fórmula de Longuet-Higgins y Stewart, se obtiene un valor de run-up (s) igual a 1,16 metros.

	m	$L_0$	$H_{s0}$	$T$	$H_b$	S (m)
Run-Up	2	230	7,290	11,12	7,91	1,16

Tabla 7. Run-Up (S)

Cabe destacar, que, aunque hay zonas en la línea de costa cuya altura de ola de rotura es menor por estar protegidas por el dique, a efectos de cálculo se considera el mismo run-up para toda la costa, para así estar del lado de la seguridad.

Asimismo, si se considera una sobreelevación media del nivel del mar de 0,5 metros, se obtiene un run-up total de:

$$\text{Run-Up} = 1,66 \text{ metros}$$

#### 4. FORMA EN PLANTA DE LA PLAYA

Se realiza la predicción de la forma en planta de la playa, buscando la forma final de equilibrio a la que se llegará con la construcción de los diques.

Como se puede ver en la siguiente figura, si las olas inciden perpendicularmente a la alineación del dique, se forma un hemitómbolo en la zona central, a esta zona se le conoce con el nombre de zona de sombra.

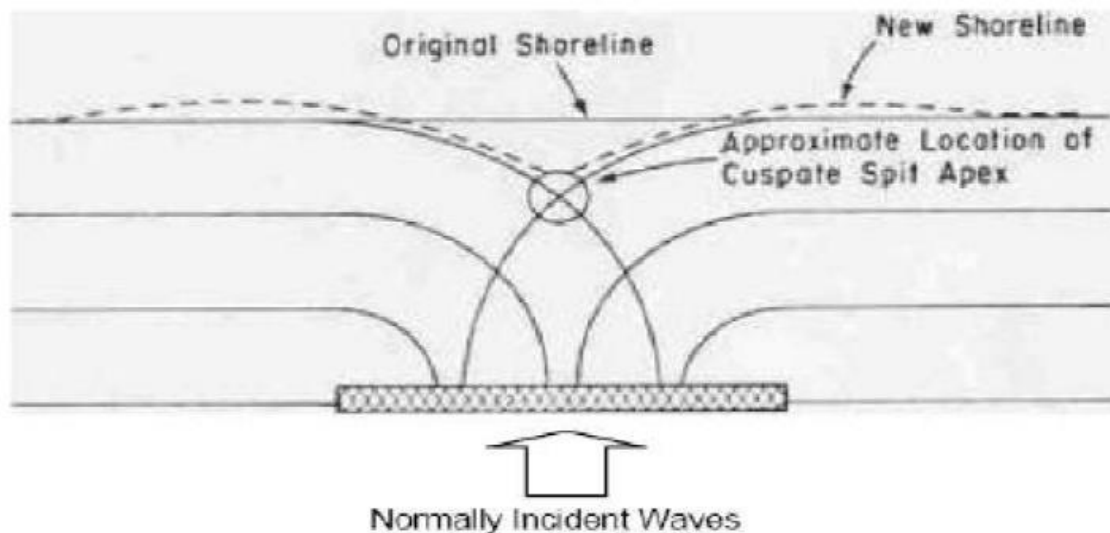


Figura 7. Predicción de planta de la playa. Fuente Google Imágenes

En las zonas de sombra se manifestarán los efectos de la difracción del oleaje. Además, aparece la componente del transporte longitudinal. Debido a estos dos efectos la playa adquiere una forma curva en planta, que se ha intentado definir en planta a partir del denominado 'Compás de Playa'

El cálculo de esta formulación se lleva a cabo mediante el empleo de la propia plantilla del compás. Basta trazar el tramo recto y la solución gráfica se obtiene colocando el centro del compás en el extremo del dique y haciéndolo girar hasta obtener la tangente a la recta.

## 5. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA

### 5.1. D50 de la arena nativa

Resulta necesario para la regeneración de la playa, definir correctamente la granulometría, ya que el tamaño del sedimento de préstamo en relación a la arena nativa determina la forma del perfil de la playa a largo plazo.

Se debe tener en cuenta que el tamaño no ha de ser menor que el de la arena nativa, ya que se generaría erosión por transporte litoral.

Se puede deducir que la utilización de un material más grueso que la arena nativa conlleva que la pendiente de la playa regenerada sea mayor que la original. Esto es debido a que se necesita una menor longitud horizontal para lograr una diferencia de cota dada.

En cambio, si se utiliza un material más fino, la pendiente de equilibrio disminuye, se necesitaría una mayor distancia horizontal para conseguir la misma diferencia de cota.

A partir de una serie de ensayos, el profesor Pier Vellinga obtuvo en 1982 una relación de escala con la que se puede predecir el efecto de un cambio en la granulometría del sedimento en la forma del perfil de la playa.

Esta relación viene dada por:

$$\frac{l_n}{l_p} = \left(\frac{w_n}{w_p}\right)^{-0,56}$$

Siendo:

- $L$ : distancia horizontal entre dos cotas dadas
- $W$ : velocidad de caída del sedimento
- $N$ : indica características de la playa antes de la regeneración
- $P$ : indica características de la playa alimentada

A continuación, se muestran las muestras de sedimentos obtenidas previamente:





Figura 8. Muestra de sedimentos 1. Fuente propia

MUESTRA	COORDENADAS			D50 (mm)	D16 (mm)	D84 (mm)
	X	Y	Z			
PLS102P60-607	742137	4403295	0	ROCA	ROCA	ROCA
PLS102P60-608	742145	4403289	0	ROCA	ROCA	ROCA
PLS102P60-609	742153	4403282	0	ROCA	ROCA	ROCA
PLH102P60-610	742186	4403258	-2,2	0,140	0,180	0,081
PLH102P60-611	742223	4403229	-3	0,100	0,152	0,071
PLH102P60-612	742267	4403196	-3	0,090	0,117	0,069

Tabla 8. Muestra de sedimentos. Fuente propia



Figura 9. Muestra de sedimentos. Fuente propia

MUESTRA	COORDENADAS			D50 (mm)	D16 (mm)	D84 (mm)
	X	Y	Z			
PLS102P60-613	741782	4402623	0	0,970	5,059	0,163
PLS103P60-614	741801	4402614	0	1,490	5,305	0,250
PLS103P60-615	741817	4402606	0	0,950	5,414	0,168
PLH103P60-616	741878	4402577	-2,2	0,460	1,514	0,147
PLH103P60-617	741945	4402545	-2,8	0,430	1,434	0,137
PLH103P60-618	742006	4402517	-3,3	0,420	1,554	0,143

Tabla 9. Muestra de sedimentos. Fuente propia

De este Anejo se extrajeron las siguientes conclusiones:

“Los valores de  $D_{50}$  varían entre los 1.50mm hasta los 0.10mm en estas zonas poco profundas. En cambio, los valores de  $D_{50}$  en el tramo norte, donde se encuentra el Barri del Mar con el espigón longitudinal, tienen un valor cercano a 0.15mm en todas sus muestras.”

Finalmente, sabiendo que la arena de la zona norte de la playa de Almenara tiene un  $D_{50} = 0,10$  milímetros y siendo considerada como arena muy fina, se ha decidido emplear una arena de aportación con un diámetro medio  $D_{50} = 1$  milímetro.

## 6. PERFIL DE LA PLAYA

A continuación, se estima el perfil que alcanza la playa tras las obras de defensa y regeneración propuestas. El perfil depende principalmente de las características del oleaje, así como el tamaño de sedimentos que forman la playa.

### 6.1. Variaciones estacionales del perfil

Los cambios en el perfil de la playa se producen en la dirección normal a la costa, debidos generalmente al transporte transversal de sedimentos. Estos se consideran cíclicos, ya que fundamentalmente dependen de la energía del oleaje, la cual suele tener un marcado carácter estacional. Se pueden definir dos tipos de perfiles: el perfil de temporales y el perfil de calmas.

El perfil de temporales se produce durante la acción de tormentas, en las que el oleaje que actúa sobre la playa es de gran contenido energético, por lo que la arena de la superficie de la playa se satura aumentándose así las velocidades de retorno. El agua de retroceso cargada de sedimentos en suspensión, cuando a cierta profundidad pierde velocidad, origina un depósito, por lo que surge una barra de arena a cierta distancia de la línea de costa. Esta barra tiene un efecto de defensa ya que disipa energía y evita la erosión completa de la playa.

El perfil de calmas se produce durante la acción de un oleaje de baja energía. Bajo estas condiciones, el sedimento erosionado y depositado como barra, comienza a ser transportado hacia la orilla, produciendo un avance de la misma.

Asimismo, se debe tener en cuenta que las escalas de tiempo a las que se producen ambos perfiles son muy diferentes. Mientras que el perfil de temporales puede tardar del orden de horas en formarse, el perfil de calmas puede durar incluso meses en llegar a su completo desarrollo.

El perfil depende principalmente de las características del oleaje y del tamaño de los sedimentos que formen la playa. Se estima el perfil de la playa que adoptara tras las obras de regeneración. Las variables fundamentales que afectan a la forma del perfil son el tamaño de los sedimentos y las características del oleaje incidente.

Los cambios en el perfil de la playa son aquellas modificaciones que se producen en dirección normal a la costa, producto del transporte transversal de sedimentos. Se consideran como estacionales ya que dependen fundamentalmente del contenido energético del oleaje, el cual suele tener un marcado carácter temporal. Principalmente existen dos tipos de cambios o dos tipos de perfiles: perfil de temporales de barra o de invierno y el perfil de calmas de berma o de verano.

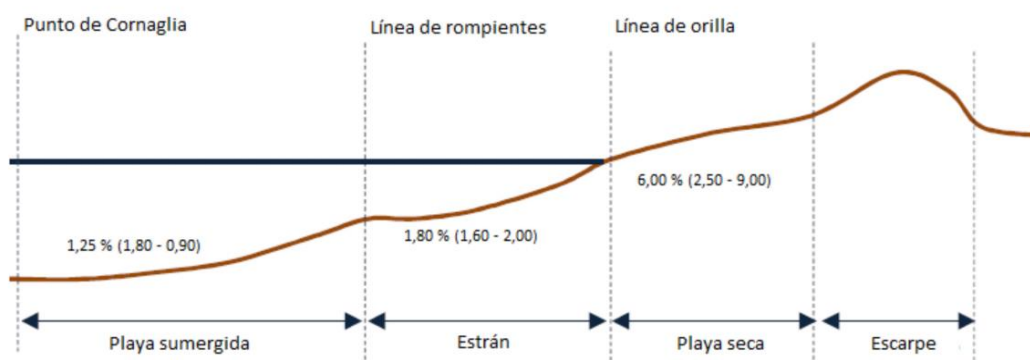


Figura 10. Zonas de playa. Fuente Google Imágenes

El perfil de temporales, de barra o de invierno se produce bajo la acción de temporales en los que el oleaje que llega a la playa tiene mucha energía. Se produce una erosión en la parte interna del perfil, retrocediendo la línea de orilla y transportando el material mar adentro, siendo

depositado en forma de barras sumergidas. El resultado es la disminución de la pendiente del perfil.

El perfil de calmas, berma o de verano se crea bajo la acción del “oleaje reconstructor” de bajo contenido energético. En estas condiciones el material almacenado en las barras es transportado hacia la costa, construyendo la berma y haciendo avanzar la orilla. El resultado es un aumento en la pendiente del perfil.

### 6.2. Diseño del perfil de equilibrio de la playa sumergida

A lo largo de la historia de la ingeniería de costas han sido varios los modelos que han intentado representar teóricamente el perfil de equilibrio de una playa. En su mayoría basándose en la experiencia de perfiles naturales. Los primeros estudios y análisis de perfiles en la naturaleza con el fin de adoptar un modelo teórico de la forma del perfil de una playa provienen de Bruun(1954):

$$Y = 0,135 \cdot x^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

- $Y$ : profundidad
- $X$ : distancia a la costa

Posteriormente Hugues y Chiu (1978):

$$Y = 0,10 \cdot x^{\frac{2}{3}}$$

Teniendo las variables el mismo significado que la anterior, Dean(1978) estudió teóricamente el perfil de equilibrio llegando a una curva similar a la de Bruun o Hughes-Chiu:

$$Y = A \cdot x^{\frac{2}{3}}$$

Donde el parámetro A toma el valor:

$$A = \left[ \frac{24}{5} \cdot \frac{D_*}{\rho g k^2 \sqrt{g}} \right]$$

Donde:

- $D_*$ : energía de disipación de la ola por unidad de volumen de agua
- $K$ : índice de rotura  $H_b/db$
- $\rho$ : densidad del sedimento

El parámetro A se puede obtener a partir de la tabla del CEM, (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 1998), o de la ficha de playa del.

En el caso de la playa de Almenara el parámetro:

$$A=0,102.$$

- Por lo tanto, el perfil Dean teórico es:

$$Y = 0,102 \cdot x^{\frac{2}{3}}$$

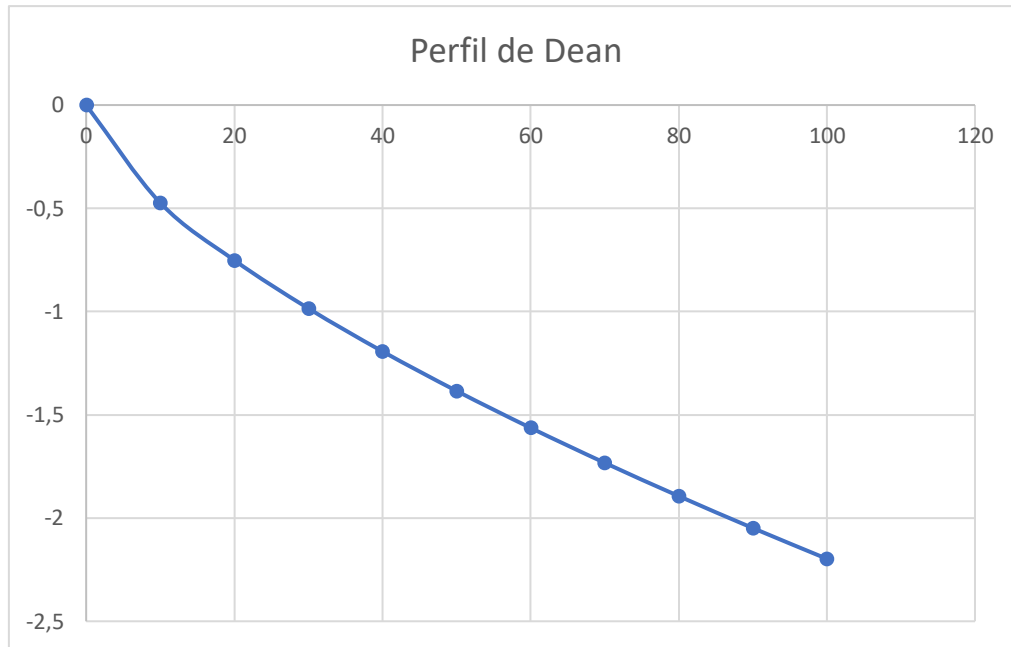


Figura 11. Perfil de Dean. Fuente propia

## 7. Perfil de la playa seca

Teniendo en cuenta que el Run-Up obtenido es de 1,66 m y que la pendiente recomendada es del 8% para la zona próxima a la orilla, la longitud de la zona activa es de aproximadamente 20 metros.

Para la zona de reposo se toma una anchura de 15 metros con una pendiente del 1%.

De esta forma se obtiene una playa con una anchura total de 35 metros

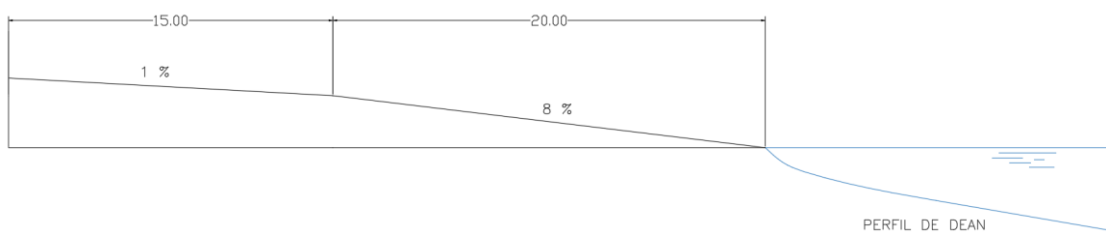


Figura 12. Perfil de playa sumergido y playa seca

## 8. APOORTE DE ARENAS

### 8.1. Cálculo del volumen de arenas de aportación

A continuación, se procede al cálculo de volúmenes de arenas necesarios a aportar para la regeneración de la playa de Almenara diseñada en esta alternativa.

En primer lugar, se realiza una estimación en planta de la playa regenerada tras la construcción de los dos diques exentos diseñados en el presente Anejo, a partir de la espiral logarítmica denominada ‘Compás de Playa’

Tras el diseño en planta de la regeneración de la playa, se han trazado 9 perfiles transversales hasta cubrir los 770 metros de playa a regenerar, estos perfiles transversales se hallan separados entre sí a una distancia determinada, para facilitar el cálculo del volumen de arenas.

<b>Perfiles de playa</b>	<b>Distancia (m)</b>
P1-P2	106
P2-P3	119
P3-P4	106
P4-P5	119
P5-P6	106
P6-P7	91
P7-P8	135
P8-P9	119

Tabla 10. Distancia entre perfiles de playa. Fuente propia

Se dibuja cada perfil transversal a partir de la información batimétrica disponible y la estimación de la planta de la playa regenerada. El perfil de equilibrio de la playa regenerada intersectado con el perfil actual de la playa en cada uno de los 9 perfiles transversales define un área encerrada. El área encerrada entre los dos perfiles es la superficie de relleno del perfil transversal.

En la siguiente figura se muestra la estimación de la playa generada, para la obtención del volumen de arenas aportadas:

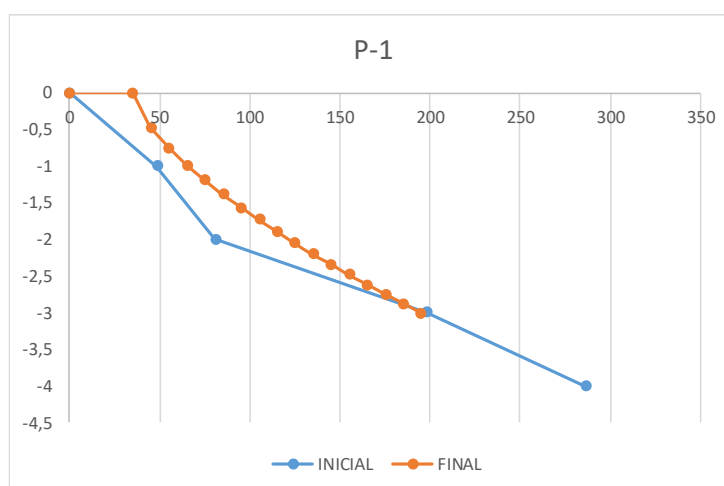


Figura 13. Perfil de playa P1. Fuente propia

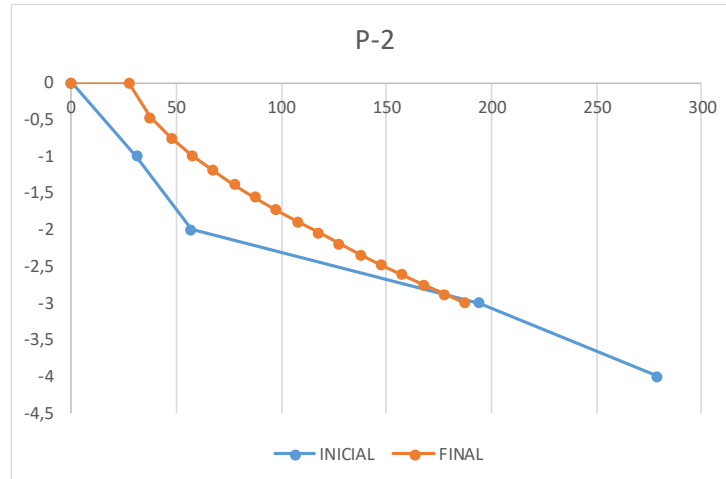


Figura 14. Perfil de playa P2. Fuente propia

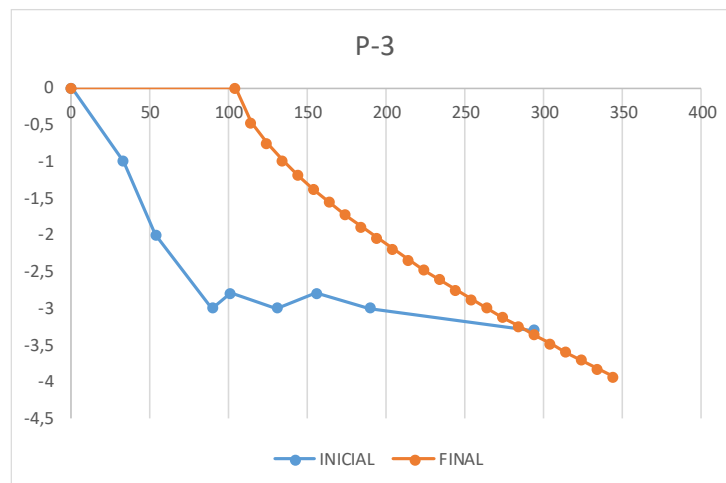


Figura 15. Perfil de playa P3. Fuente propia

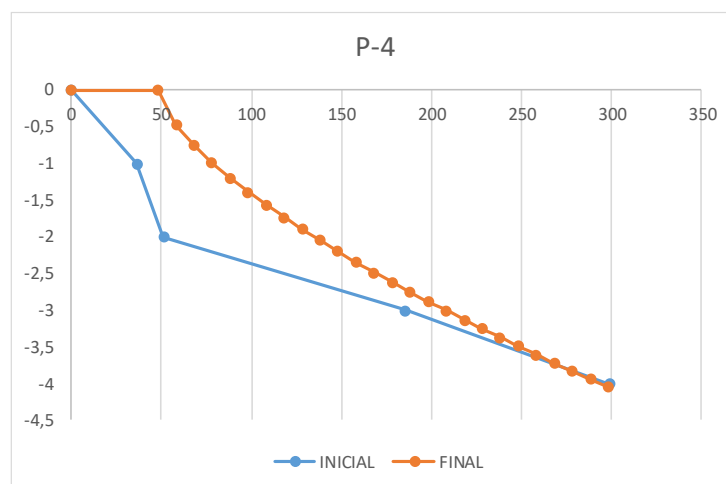


Figura 16. Perfil de playa P4. Fuente propia

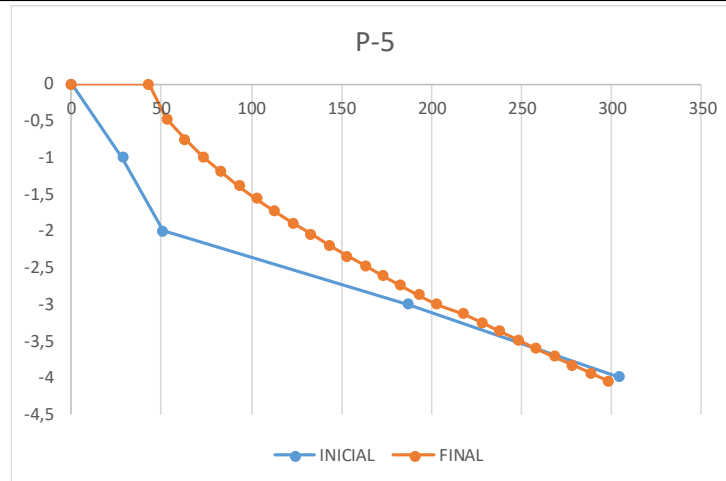


Figura 17. Perfil de playa P5. Fuente propia

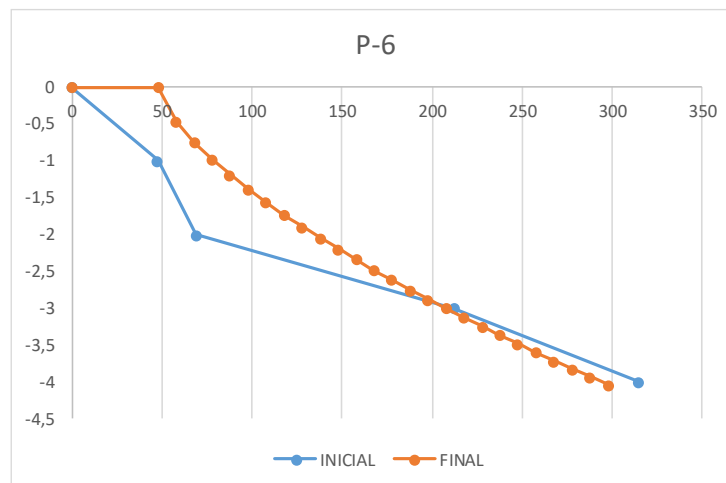


Figura 18. Perfil de playa P6. Fuente propia

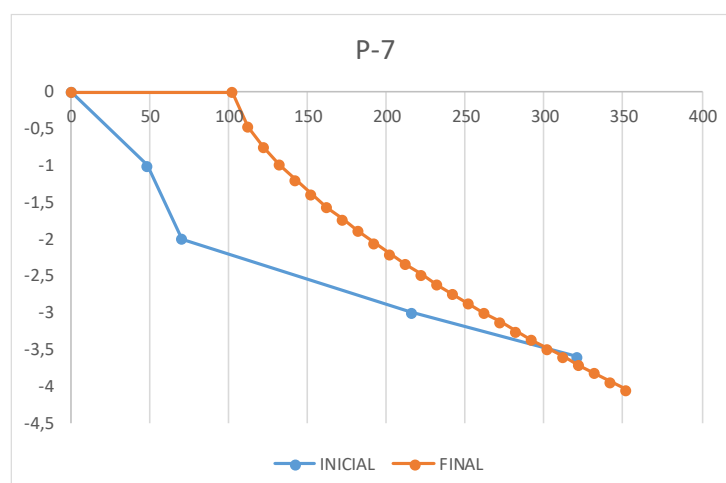


Figura 19. Perfil de playa P7. Fuente propia



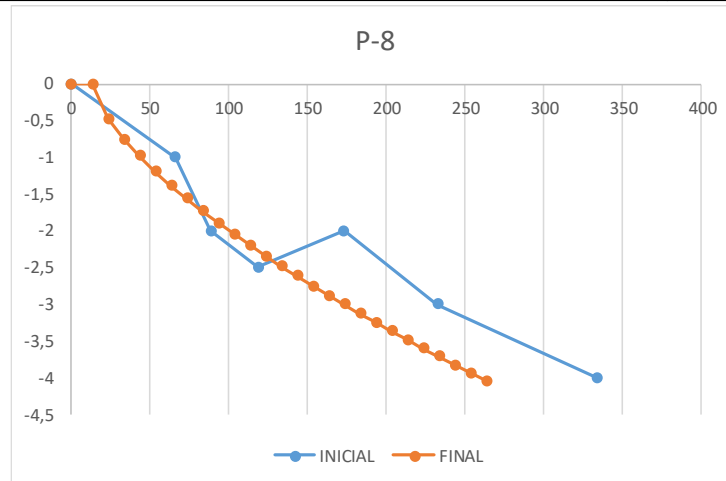


Figura 20. Perfil de playa P8. Fuente propia

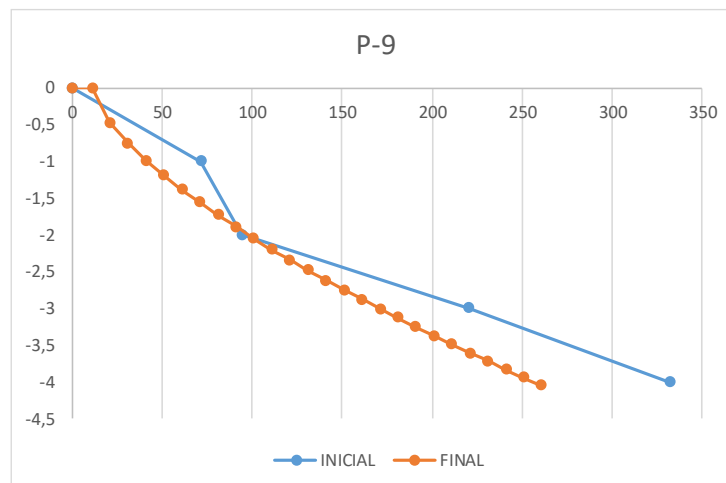


Figura 21. Perfil de playa P9. Fuente propia

En la siguiente tabla se muestra la superficie obtenida para cada perfil. A partir de la superficie y la distancia entre perfiles, se obtiene el volumen de aportación:

Tramo	Perfil	Superficie (m <sup>2</sup> )	Distancia perfiles (m)	Volumen aportación (m <sup>3</sup> )
TRAMO 1	P-1	78,39	106	9.932,25
	P-2	109,00		
TRAMO 2	P-2	109,00	119	29.317,80
	P-3	383,72		
TRAMO 3	P-3	383,72	106	31.920,49
	P-4	218,54		
TRAMO 4	P-4	218,54	119	23.587,81
	P-5	177,88		
TRAMO 5	P-5	177,88	106	14.481,25
	P-6	95,34		
TRAMO 6	P-6	95,34	91	17.888,08

TRAMO 7	P-7	297,80		
	P-7	297,80	135	14.353,82
TRAMO 8	P-8	-85,15		
	P-8	-85,15	119	-6.278,50
	P-9	-20,36		
<b>Total (m3)</b>				<b>135.203,03</b>
<b>Factor de relleno 1,2</b>				<b>162.243,64</b>

Tabla 11. Volumen de arenas de aportación. Fuente propia

Por tanto, para la solución de la **ALTERNATIVA: Dos diques exentos y alimentación artificial**, se obtiene, un volumen total de aportación de arenas de **135.203,03 m3**. Teniendo en cuenta un factor de relleno de 1,2, el volumen de aportación total es **162.243,64 m3**.

## 9. CONCLUSIONES

Para el cálculo y justificación de la solución de la Alternativa de Dos diques exentos y alimentación artificial, se procede a distinguir el diseño de esta solución en dos:

- Diseño diques exentos
- Diseño playa seca y aporte de arenas

### DISEÑO DIQUES EXENTOS

El diseño de los diques exentos se divide a su vez en dos, el diseño en planta y el diseño de la sección transversal de los diques.

#### Diseño en planta

<i>Orientación respecto a la costa</i>	Paralela
<i>Distancia respecto a la costa</i>	170 m
<i>Longitud del dique</i>	150 m
<i>Calado</i>	-3 m
<i>Cota de coronación</i>	0,5 NMM

Tabla 12. Parámetros diseño en planta diques exentos

#### Sección transversal

<i>Talud</i>	H2:V1
<i>Ancho de coronación</i>	5 m
<i>Calado</i>	-3 m
<i>Cota de coronación</i>	0,5 NMM

Tabla 13. Parámetros sección transversal diques exentos

El dique exento está formado por tres capas, que permiten disipar la energía del oleaje mediante procesos de rotura, fricción y transmisión del oleaje:

Este tipo de estructuras disponen de las siguientes capas:

- **Núcleo:** esta capa es impermeable, se compone de material todo uno y permite dar soporte al resto de capas, así como evitar la transmisión del oleaje.
- **Capas intermedias:** se trata de una capa de filtro cuya misión es servir de apoyo al manto principal e impedir que los materiales del núcleo se desprendan.

- **Manto principal:** encargado de desempeñar la función resistente. La estabilidad de los bloques del manto principal depende del peso propio de los bloques y del engarce y trabazón con los elementos adyacentes y del conjunto.
- **Bermas de refuerzo:** aunque no se trata de una capa como tal, permiten dar estabilidad y evitar deslizamiento de materiales a la estructura. Están compuestas del mismo material que el manto secundario, tienen dimensiones de 1,5 metros de ancho y 0,5 metros de altura.

A partir de la fórmula de Irribarren, modificada por Hudson y las recomendaciones del Shore Protection Manual, se han obtenido los siguientes resultados para los pesos y espesores que conforman cada capa:

	Manto principal		Manto secundario		Núcleo
	Cuerpo	Morro	Cuerpo	Morro	
Peso Pieza (Kg)	3.850	4.810	385	481	2-20
Espesor (m)	2,25	2,42	0,520	0,560	-

Tabla 14. Pesos y espesores de cada capa

A partir de estos cálculos se obtiene la sección transversal de ambos diques:

### SECCIÓN TIPO Dique exento +0.5

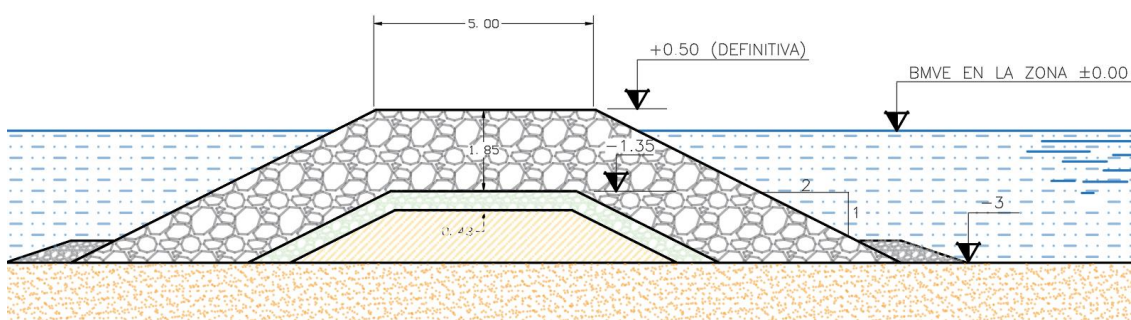


Figura 22. Sección tipo diques exentos

### DISEÑO PLAYA SECA Y APOORTE DE ARENAS

A partir de las recomendaciones del Estudio sobre la ordenación de playas (Dirección General de Puertos y Costas, 1985), se pueden distinguir tres zonas paralelas a la línea de costa:

- **Zona activa o de inmersión**
- **Zona de reposo o inactiva**
- **Zona de servicios**

En primer lugar, se ha determinado el ancho de playa a regenerar que se pretende alcanzar, en este caso se ha establecido un ancho de **35 metros**. A continuación, se determina el Run-Up a partir de la fórmula de de Longuet-Higgins y Stewart (1991).

El Run-Up se trata de la cota de playa seca hasta la que asciende una ola en condiciones de rotura, este fenómeno dado en la pendiente del estrán, da lugar a una sobreelevación del nivel del mar que depende del tiempo. Se obtiene:

$$\text{Run-Up} = 1,66 \text{ metros}$$

Teniendo en cuenta que el Run-Up obtenido es de 1,66 m y que la pendiente recomendada es del 8% para la zona próxima a la orilla, la longitud de zona activa obtenida es de aproximadamente **20 metros**.

Mientras que para la zona de reposo se toma una anchura de **15 metros** con una pendiente del 1%.

De esta forma se obtiene una playa con una anchura total de **35 metros**

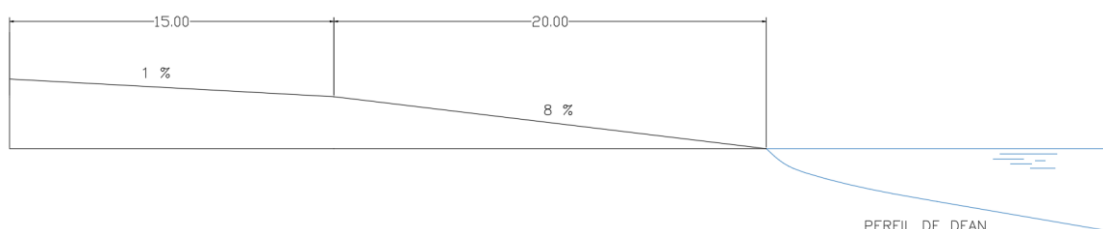


Figura 23. Perfil de playa de sumergida y seca

A partir de la ficha de playa así como las muestras de sedimentos obtenidas en Anejos previos, se determina que la arena de la zona norte de la playa de Almenara tiene un  $D_{50} = 0,10$  milímetros y siendo considerada como arena muy fina, se ha decidido emplear una arena de aportación con un diámetro medio  $D_{50} = 1$  milímetro.

Tras haber determinado el ancho de playa y el tamaño del árido de la playa, se han fijado 9 perfiles transversales que permiten obtener el volumen de arenas de aportación para la regeneración de esta alternativa.

Se ha obtenido un volumen de arenas de **135.203,03 m<sup>3</sup>**. Teniendo en cuenta un factor de relleno de 1,2, el volumen de aportación total es **162.243,64 m<sup>3</sup>**.