

Capítulo 3

Protección de costas

3.1. Estructuras de protección y estabilización costera

Dentro de las actuaciones que se pueden acometer en el dominio litoral, las principales, desde el punto de vista del usuario, son aquellas cuyo objeto es **DEFENDER**, **PROTEGER** o **REGENERAR** playas sometidas a un proceso erosivo.

- ♣ La protección de la costa supone fijar la **línea de costa** y detener su recesión
- ♣ La regeneración supone recuperar las condiciones en que se encontraba la playa antes de iniciarse la erosión e incluso mejorarlas.

Según se afecte más o menos a la costa, las actuaciones se clasifican en:

Duras (obra dura)

(obras duras) consisten en la **rigidización** de un tramo de costa mediante la construcción de espigones o cualquier otra estructura que detenga arena.

Blandas (obra blanda)

(obras blandas) son aquellas en las cuales no se emplean estructuras ni elementos resistentes. Se incluyen la **alimentación artificial** y la **regeneración** o **creación** de dunas.

Mixtas (obra dura + obra blanda)

combinación de ambas actuaciones.

3.2. Obra blanda

3.2.1. Alimentación artificial (de playas)

Hasta hace algunos años la regeneración de las playas no se concebía sin la construcción de espigones, pero actualmente se ha comprobado que en muchos casos, sobre todo en playas abiertas, se debe combinar la obra dura (rigidización de un tramo de costa) y la obra blanda (alimentación artificial o bypass).

En el caso de playas encajadas la mejor solución es la alimentación artificial tanto por motivos ecológicos como económicos.

3.2.2. Alimentación inicial

Sea cual sea el tipo de playa en la que se actúe, es necesario hacer una alimentación inicial que devuelva la situación anterior teóricamente estable. Este proceso requiere aportación de arena en grandes cantidades, del orden de cientos de m^3 por metro de playa (del orden de $500.000 m^3$ en la mayoría de regeneraciones). En el caso de playas abiertas es necesario además, un aporte periódico.

En general se puede afirmar que no se encuentra con mucha facilidad, de hecho casi nunca, la arena ideal redondeada de tamaño suficientemente grueso (2 o 3 mm) que nos permita prescindir de cálculos de estabilidad.

⇒ PROSPECCIÓN Y BÚSQUEDA DE ARENA:

$$\text{especificar: } \begin{cases} \text{mínimo } D_{n50} \\ \text{máximo } D_{n50} \end{cases}$$

Arenas artificiales

la más habitual es la procedente de machaqueo, mejorando su calidad con el tiempo si es de origen calizo

♣ Ventajas:

- ♠ Mas estables porque son mas gruesas que las naturales
- ♠ Se adhieren menos al cuerpo

♣ Inconvenientes:

- ♠ Precio elevado



Arenas naturales

son las más buscadas

- ♣ Fuente terrestre: ramblas, ríos y rieras. Son las más baratas pero también las más escasas porque se necesita mucho volumen de arena
- ♣ Fuente marina: depósitos a profundidades de 15 m a 40 m. Transporte litoral de sedimentos normalmente hasta la -15 m. A más de 40 m de profundidad es muy difícil encontrar maquinaria de extracción

Arenas seminaturales

son arenas procedentes de la descomposición de granito

- ♣ Ventajas: excelente granulometría.
- ♣ Inconvenientes: presencia de arcilla.

Se deben evaluar las características, el volumen disponible, el volumen explotable, el impacto medioambiental de las arenas y yacimientos preseleccionadas, así como realizar un estudio comparativo de las diferentes alternativas para poder seleccionar la mejor elección posible.

3.3. Técnicas de emplazamiento del material seleccionado

Una vez seleccionada la arena, o en su defecto el sedimento, existen diferentes técnicas o formas de verterlo en el perfil de la playa. Para lo cual, primeramente se debe llevar el sedimento hasta el lugar del emplazamiento:

- ♣ por medio de transporte terrestre de material procedente de cantera
- ♣ por medio de bombeo directo a través de tubería desde una fuente marina usando una draga
- ♣ por medio de conducciones mecánicas o hidráulicas desde aguas arriba de un obstáculo al transporte litoral a aguas abajo del mismo (técnica conocida como **bypass**)

La aportación de material a lo largo del perfil se debe realizar en función de las necesidades de protección del mismo y de los métodos constructivos:

En las dunas

genera refuerzo de una duna existente o creación de una nueva. Proporciona una reserva de material, ya que las dunas constituyen la despensa de las playas frente a las erosiones extremas y dificultan el acceso del oleaje al terreno más interior.

En la duna y en la berma (incluye la playa alta)

genera refuerzo de la duna y ampliación del ancho de playa seca. Protege de la erosión del oleaje en temporales y evita el rebase.

En la berma (incluye la playa alta)

ampliación de volumen y anchura de la playa seca trasladando la zona de rotura del oleaje hacia mar adentro.

Refuerzo de todo el perfil

se incrementa el volumen de material a lo largo de todo el perfil de la playa

En la berma nearshore

creación de una barra litoral artificial de modo que el oleaje se encargue de distribuir el material aportado a lo largo de todo el perfil. Se debe estudiar la época en la que se va a realizar, así como la profundidad de cierre del perfil.

3.4. Estabilidad de la arena

La estabilidad de la arena que forma normalmente las playas, no está garantizada si no tomamos precauciones y regeneramos con la primera arena que encontremos. Uno de los aspectos fundamentales es la **evaluación de la compatibilidad de la arena de aportación** (subíndice b , borrow) **y de la inicial o nativa** (subíndice n , nativa) de la playa. Se trata de determinar la cantidad de material de aportación necesaria para obtener una unidad de material estable en la playa. En este sentido, son varios los autores que han propuesto diferentes alternativas: *Krumbein y James (1965)*; *Dean (1974)*; *James (1975)*. La hipótesis básica que se asume es que el material de aportación alcanza, tras ser sometido al oleaje, una función de distribución de los granos log-normal, es decir, que la función de densidad corresponde a una distribución de Gauss o normal \Rightarrow los parámetros que la definen son la media D_{50} y la **desviación estándar σ**

Se define el **Factor de sobrellenado** $\rightarrow R_A$ como:

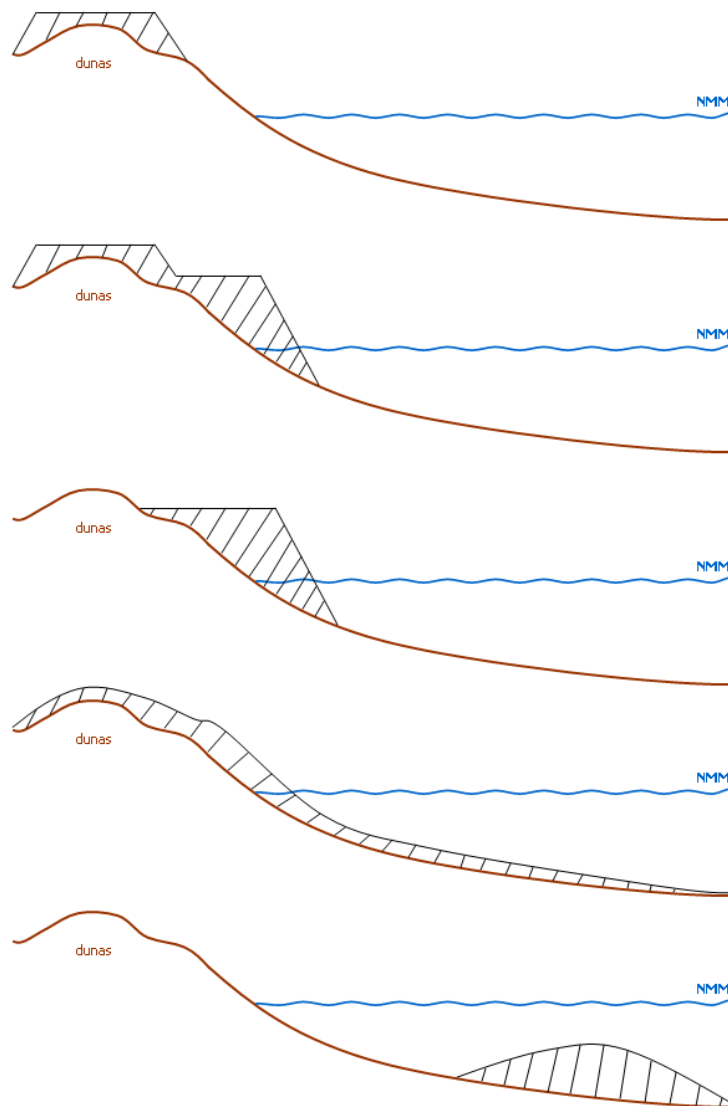


Figura 3.1: Técnicas de emplazamiento del sedimento

$$R_A = \frac{\text{Volumen de arena vertida}}{\text{Volumen de arena estable tras la acción del oleaje}}$$

Volumen de arena estable tras la acción del oleaje \equiv Volumen de arena que debiéramos aportar si la arena disponible no tuviese una parte inestable

Del mismo modo se define el **Factor de realimentación** $\rightarrow R_J$ como:

Representa la periodicidad con que debe realimentarse la playa alimentada con las características de la arena de préstamo cuando ésta difieren de la arena natural de la playa.



Todos los métodos se basan en suponer estable la arena nativa y en comparar con ella el material que utilizaremos en su alimentación.

3.5. Método de James

♣ **Básicamente** → El material grueso me vale y el material fino me vale lo que es igual y desecho lo que no es igual.

♣ **Recomendación** → Podemos comparar los dos factores de sobre llenado (el de Dean y el de James) y quedarnos con el mayor para estar del lado de la seguridad.

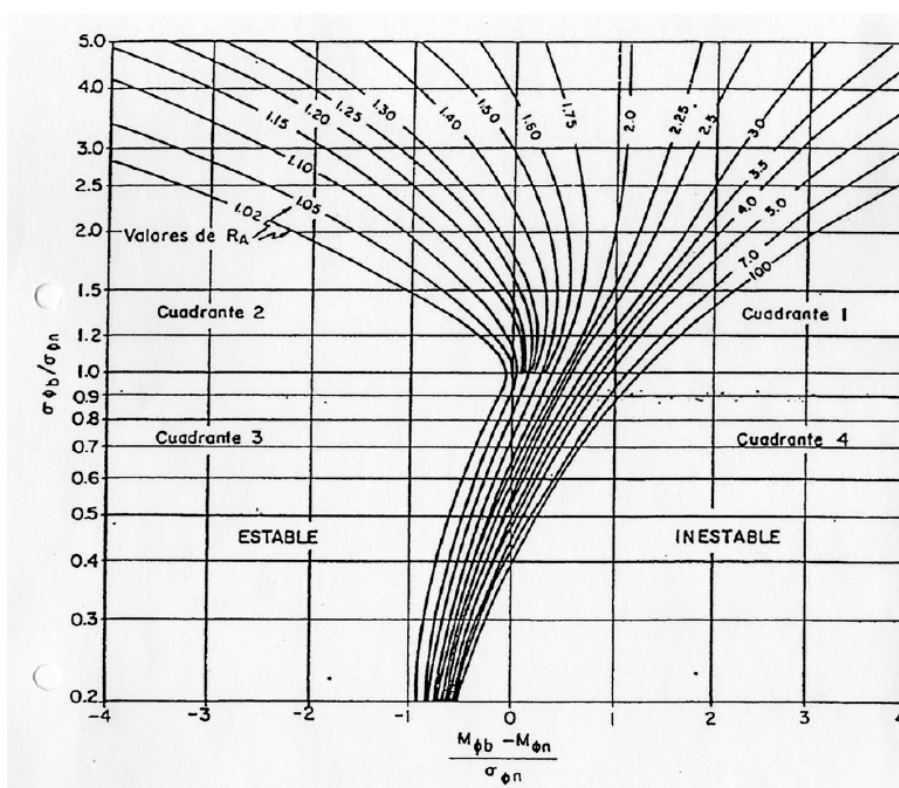


Figura 3.2: Esquema general de un perfil de regeneración *Fuente: Shore Protection Manual*)

Coincide con el de Dean en eliminar como material estable los tamaños finos aceptando el exceso de gruesos, pero difiere en considerar que la distribución aceptable tiene la misma distribución que le material nativo; es decir, **todo el material grueso es aceptable pero sólo**

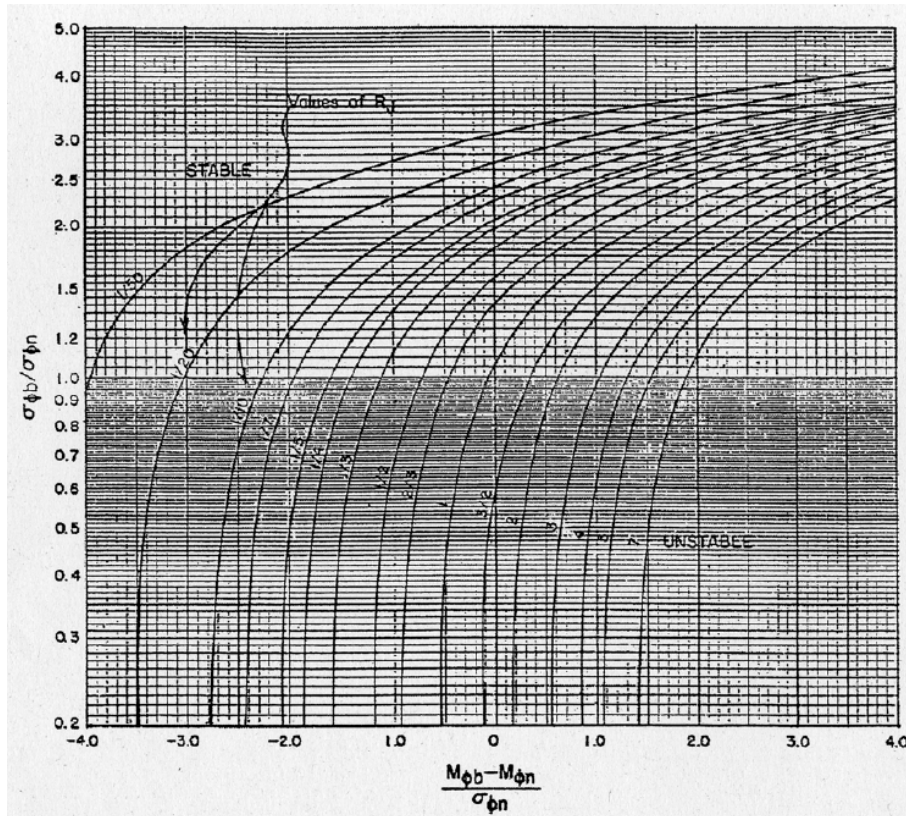


Figura 3.3: Esquema general de un perfil de regeneración *Fuente: Shore Protection Manual*

una parte de los finos es aceptable, aquellos cuya distribución granulométrica coincida con la del material nativo. El problema consiste en definir el punto de separación entre **elementos finos** y **elementos gruesos**; es decir, entre los parcialmente estables y los totalmente estables.

Para aplicar el método de James se necesitan conocer las características estadísticas de los tamaños de las arenas de aportación y natural. La relación entre el tamaño del sedimento (mm) y las unidades ϕ son:

$$\phi = -\log_2 d \Rightarrow d = 2^{-\phi}$$

$$\sigma_\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$$

$$M_\phi = \frac{\phi_{84} + \phi_{16}}{2}$$

3.6. Morfología de la playa regenerada

El planteamiento de trabajos de regeneración artificial de playas generalmente vienen determinados por la existencia de fenómenos erosivos importantes en esa área, los cuales determinan la pérdida de anchura y volumen de sedimento en la playa. También pueden plantearse como respuesta ante deseos de ampliar la zona recreativa que constituye la costa, de modo que aumentando la playa seca, se permite el disfrute de este entorno por un mayor número de usuarios.

Estas medidas tienen la ventaja de ser un método efectivo de regeneración, el cual es ampliamente utilizado en todo el mundo. Sin embargo, estos trabajos plantean el problema de no ser una solución definitiva, sino que con el paso del tiempo se va produciendo un retroceso gradual de la orilla de la playa, y por lo tanto una disminución en el volumen de material que constituye la playa propiamente dicha.

3.7. Volumen de regeneración

Esquema general de un perfil de regeneración:

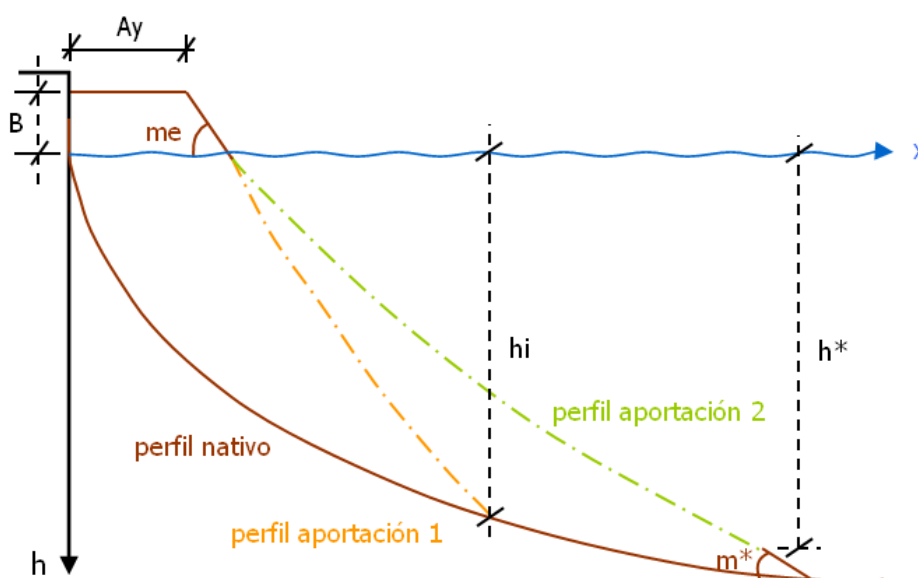


Figura 3.4: Esquema general de un perfil de regeneración

Dónde:

B	Cota de la berma	(m)
Δy	Incremento de playa seca	(m)
h_*	Profundidad de cierre del perfil nativo	(m)
h_I	Profundidad de cierre del perfil de aportación	(m)

Cota parte emergida

- ♣ similar a sistemas dunares cercanos
- ♣ si \exists espigón: 0,5 – 1 m por debajo
- ♣ si no \exists obras: 1 – 1,5 m sobre la PMVE

Anchura parte emergida

- ♣ < 15 m y > 50 m mala; 25–35 m excelente

Pendiente del estrán

- ♣ Ver sistemas dunares cercanos

Parte sumergida

- ♣ Profundidad $\left\{ \begin{array}{l} \text{Perfiles secantes} \\ \text{Perfiles NO secantes} \end{array} \right.$

Pendiente de derrame

- ♣ $m^* = 1 : 12,0$ (Vellinga)
- ♣ $m^* = 1 : 12,5$ (G.Gómez Pina)

A) **Perfiles secantes** ($h_I < h_*$; $D_n < D_b$)

(El perfil de regeneración corta con el nativo antes de la profundidad de cierre)



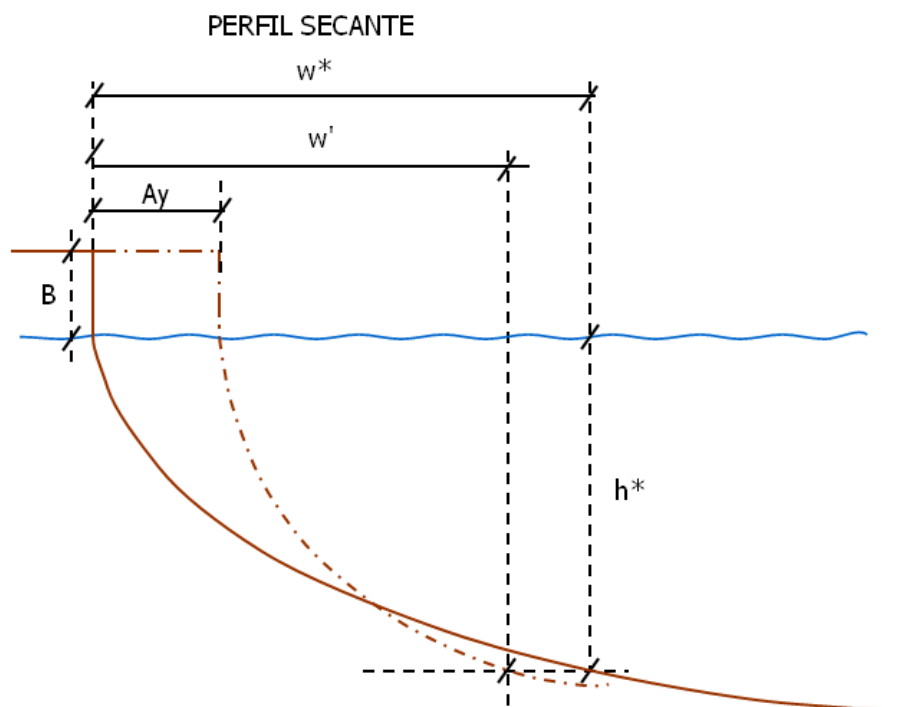


Figura 3.5: Esquema general perfil secante

Volumen de aportación:

$$w^* = \left(\frac{h_*}{A_n} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$w' = \Delta y + \left(\frac{h_*}{A_b} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$V(m^3) = S(m^2/m) \cdot L_{playa}$$

$$V = \left(B \cdot \Delta y + \frac{\frac{3}{5} A_n \cdot \Delta y^{\frac{5}{3}}}{\left[1 - \left(\frac{A_n}{A_b} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{\frac{2}{3}}} \right) \cdot L_{playa}$$

B) **Perfiles No secantes** ($h_I > h_*$; $D_n \geq D_b$)

(El perfil de regeneración NO corta o corta más allá de la profundidad de cierre con el nativo)

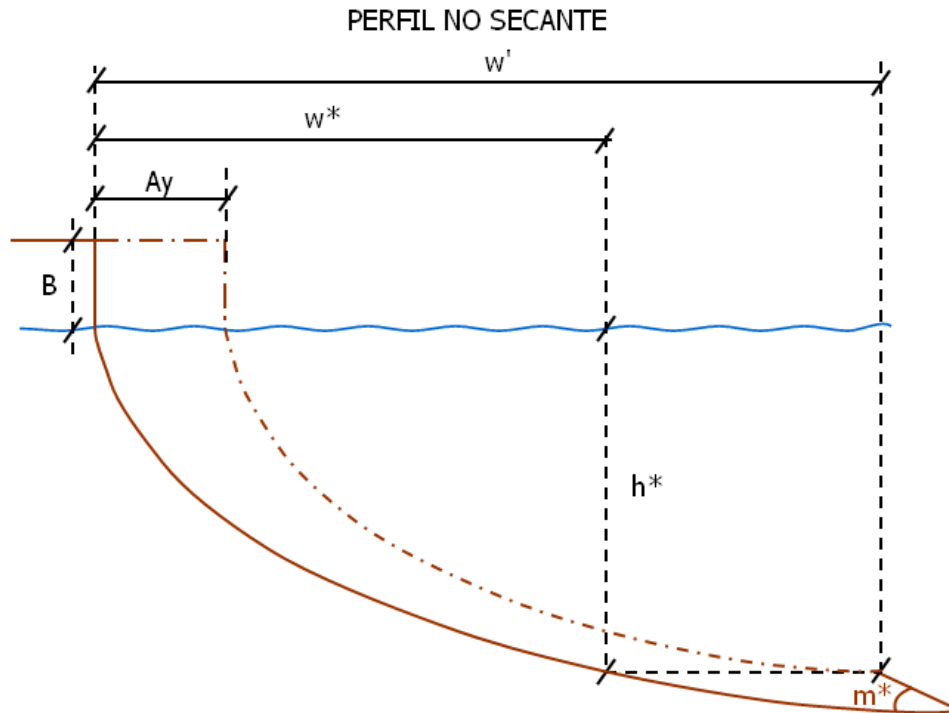


Figura 3.6: Esquema general perfil No secante

Volumen de aportación:

$$V = \left(B \cdot \Delta y + \frac{3}{5} A_n \cdot w'^{\frac{5}{3}} - \frac{3}{5} A_b \cdot (w' - \Delta y)^{\frac{5}{3}} \right) \cdot L_{playa}$$

Orden de magnitud de volumen de arena de regeneración por metro de playa:

- ♣ Ligera ($150 \text{ m}^3/\text{m}$)
- ♣ Normal ($250 \text{ m}^3/\text{m}$)
- ♣ Considerable ($350 \text{ m}^3/\text{m}$)

3.8. Obras duras

Rigidización de un tramo de costa mediante la construcción de espigones, diques exentos, muros de contención, ...

3.8.1. Espigones

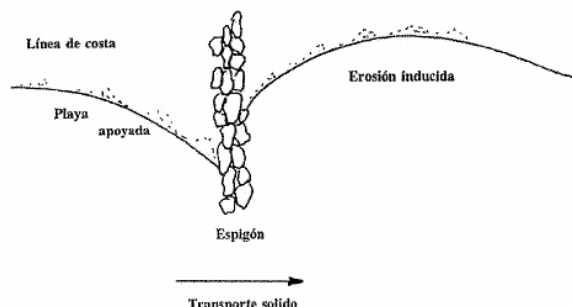


Figura 3.7: Espigón

Son estructuras lineales, habitualmente diques en talud, de baja cota de coronación contruidos perpendicularmente a la costa desde la playa hasta aguas someras. Su propósito principal es atrapar y retener la arena en sentido paralelo a la costa (Transporte longitudinal). Normalmente se construyen en grupo formando campos de espigones.

Parámetros de diseño:

1. Longitud

la suficiente como para impedir la pérdida de material necesario para formar la playa

2. Altura de coronación

entre 0,5 y 1,5 m sobre el nivel medio del mar, para que el impacto visual sea el mínimo. La cota de coronación puede ser constante o ajustable a la pendiente del fondo.

3. Dirección

Perpendicular a la costa si el oleaje reinante es variable, ya que así será mas económico y funcional. Si siempre se presenta la misma dirección \implies orientar el espigón a esa dirección pero sin pasar de 30° sobre la normal.

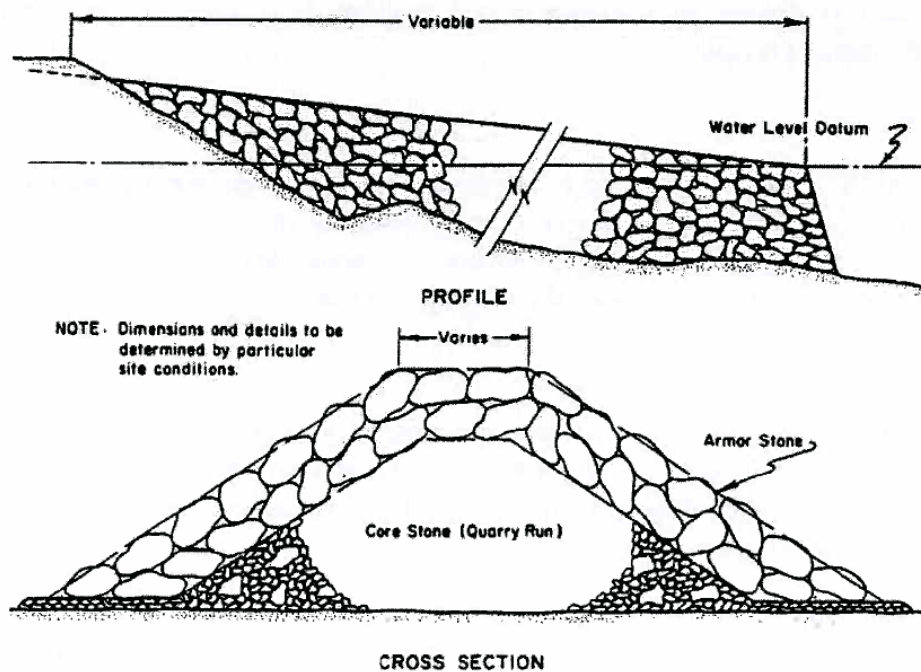


Figura 3.8: Perfil y sección de un espigón tipo

3.8.2. Campo de espigones

La existencia de un espigón origina la formación de un depósito apoyado a su lado de barlovento y una erosión en la zona próxima de sotamar. Para evitar la erosión que se produce a sotamar de un espigón se construye otro que impida la pérdida de arena, produciendo el mismo proceso que el primero pero desplazado. En el caso de una playa ilimitada se construye un campo de espigones para evitar la pérdida de material a sotamar de los espigones.

Kressner (1928) a partir de ensayos en modelo, propone para evitar la erosión que se suele producir a sotamar del campo de espigones acortar la longitud de los tres últimos de modo que la línea virtual que une sus morros forme 6° respecto a la paralela a la línea de costa.

El orden de ejecución de los espigones debería ser el contrario al de avance del transporte sólido. Además el plazo de ejecución entre espigones consecutivos será el suficiente para que se forme depósito a barlovento del anterior.

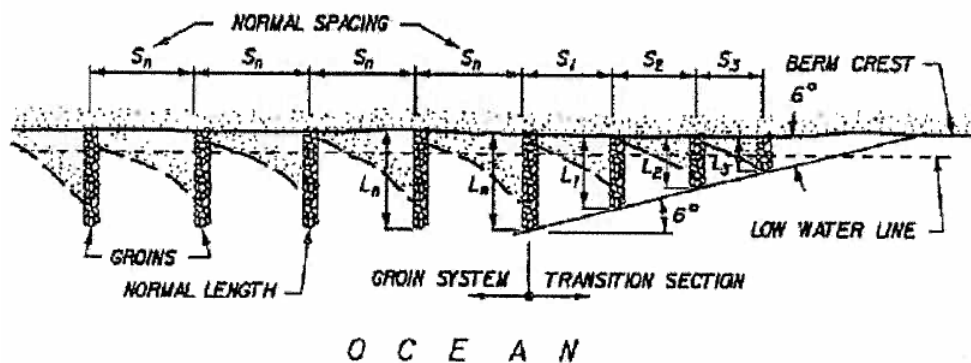


Figura 3.9: Campo de espigones y terminación en disminución según Kressner (1928)

3.8.3. Diques exentos

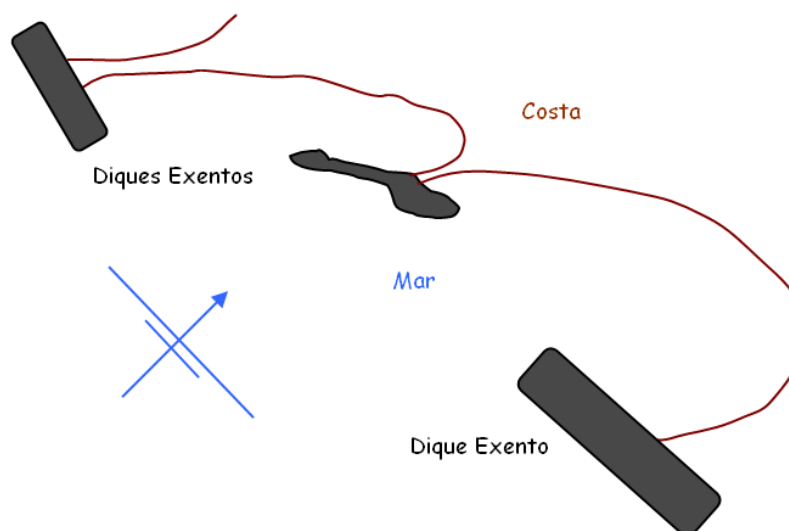


Figura 3.10: Dique Exento

Los diques exentos son obras marítimas exteriores, aisladas y sensiblemente paralelas a la línea de costa, que se construyen a una cierta distancia de la orilla, y que protegen de la acción del oleaje una determinada zona del litoral, reduciendo la cantidad de energía que penetra en ella, de este modo mantienen los procesos litorales (transporte longitudinal) y no crean una barrera litoral total a menos que se llegue a formar el tómbolo.

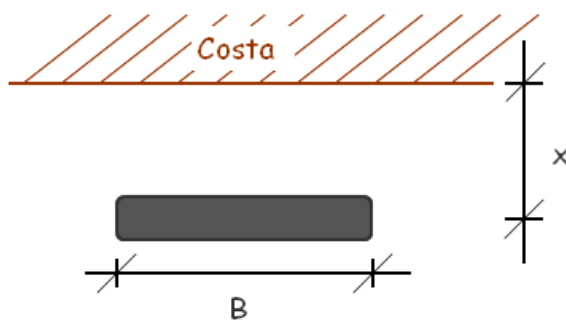


Figura 3.11: Parámetros de diseño de un Dique Exento

Parámetros de diseño:

1. Longitud
2. Altura de coronación
3. Distancia a la costa
4. Profundidad
5. Separación o abertura entre diques
6. Tipo y forma de la estructura
7. Características del oleaje
8. Transporte sólido litoral

Según Laura Bricio (2007), en la costa catalana se cumple:

- ♣ para $\frac{B}{X} \geq 1,3 \Rightarrow$ Tómbolo
- ♣ para $1,3 > \frac{B}{X} > 0,5 \Rightarrow$ Hemitómbolo
- ♣ para $\frac{B}{X} \leq 0,5 \Rightarrow$ respuesta limitada o nula



Bibliografía

- [1] José Manuel de la Peña Olivas. *Guía técnica de estudios litorales, Manual de Costas*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 2007.
- [2] Coastal Engineering Reserch Center. *Coastal Engineering Manual*, volume 1. Department of the Army. US Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314, 2002.
- [3] Kinsman, B. *Wind waves, Their Generation and Propagation on The Ocean Surfaces*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1965.
- [4] Shore Protection Manual. *Shore Protection Manual*, volume 2. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S., Washington, DC, 4th ed. edition, 1984.