

# Capítulo 2. Estructuras de protección de la playa

---

## 2.1 Playas de arena

La costa se define como la zona terrestre que colinda con el mar, siendo la línea de costa la línea que divide al medio marino del medio terrestre. Sin embargo, es complicado establecer límites bien definidos a la zona costera, pues su extensión comprenderá el área de plataforma continental y costa en la que los procesos morfodinámicos estén determinados por la dinámica del mar.

En muchas costas existen zonas cubiertas de material suelto no consolidado (como gravas, arenas o limos) y sujetas a acumulación de sedimentos; a estas zonas se les conoce como playas. El sedimento se mueve a lo largo de la costa por efectos del oleaje, corrientes marinas y corrientes de aire (Dean y Dalrymple, 2002). El objeto central de este trabajo son las playas de arena.

Se considera como playa la zona que abarca desde la línea de máximo alcance del oleaje hasta la profundidad correspondiente a la zona donde deja de producirse movimiento del sedimento por acción del oleaje.

A pesar de los diferentes climas que existen en todo el mundo y las diferentes composiciones que pueden tener las playas, su naturaleza, forma y comportamiento siempre son muy similares.

### 2.1.1 Morfología de las playas

La palabra morfología (del griego *morfos*, forma y *logos*, estudio) define la disciplina que se encarga del estudio de la forma y estructura de un sistema.

La morfología de una playa se puede definir por su forma en perfil y su forma en planta. Existen costas en las que se tiene un perfil uniforme en toda la playa, por lo que su morfología estará gobernada por el mismo. Caso contrario el de las playas con variación en su perfil, donde su morfología estará dada, además, por su forma en planta.

#### 2.1.1.1 Forma en perfil de las playas

El perfil de una playa se define haciendo un corte transversal, perpendicular al borde de la playa y es la variación de la profundidad del agua ( $h$ ), con la distancia de la línea de costa ( $x$ ) en dirección normal a la misma. Se puede dividir de acuerdo a los fenómenos físicos que en ella se presentan. Si se toma como parámetro la hidrodinámica de una playa, se tienen tres zonas principales:

- Zona de rompientes: Es la zona litoral donde las olas que provienen de aguas más profundas se vuelven inestables y rompen.
- Zona de transición: Es la zona intermedia que se extiende desde la zona de rompientes hasta la zona de lavado. En esta zona predomina la turbulencia después de que las olas rompen. Pueden existir corrientes longitudinales y transporte de sedimentos.

- Zona de lavado: Es la zona donde el frente de la playa es alternadamente cubierta y descubierta por el flujo de ascenso máximo del oleaje.

El resto de las zonas del perfil de la playa son las siguientes (aunque pueden variar según la referencia):

- Costa afuera: Comprende desde la zona de rompientes hacia mar adentro, hasta llegar a los límites de la plataforma continental.
- Playa activa: Cubre desde la zona de lavado hasta la zona de rompientes.
- Zona intermareal: Es la zona que se encuentra entre los límites de pleamar y bajamar. Incluye la zona de surf y de lavado. Esta zona se moja y seca con la marea.
- Playa seca: Es la zona que va desde el límite de marea alta hacia tierra adentro, hasta llegar a la zona vegetal, siendo afectada únicamente por el oleaje de tormenta.
- Escarpe de playa: Es un escalón vertical en la playa seca formado por la erosión de la berma producida por un temporal.
- Berma: Es una zona casi horizontal de la playa seca formada por la deposición de sedimento debida al oleaje. Su límite por el lado del mar es el brusco cambio de pendiente que se produce hacia el frente de playa, denominada cresta de berma.
- Frente de costa (o frente de playa): Es la zona de la playa que queda expuesta a la acción del flujo ascendente y descendiente del oleaje.

En la figura 2.1 se presenta el perfil típico de una playa.

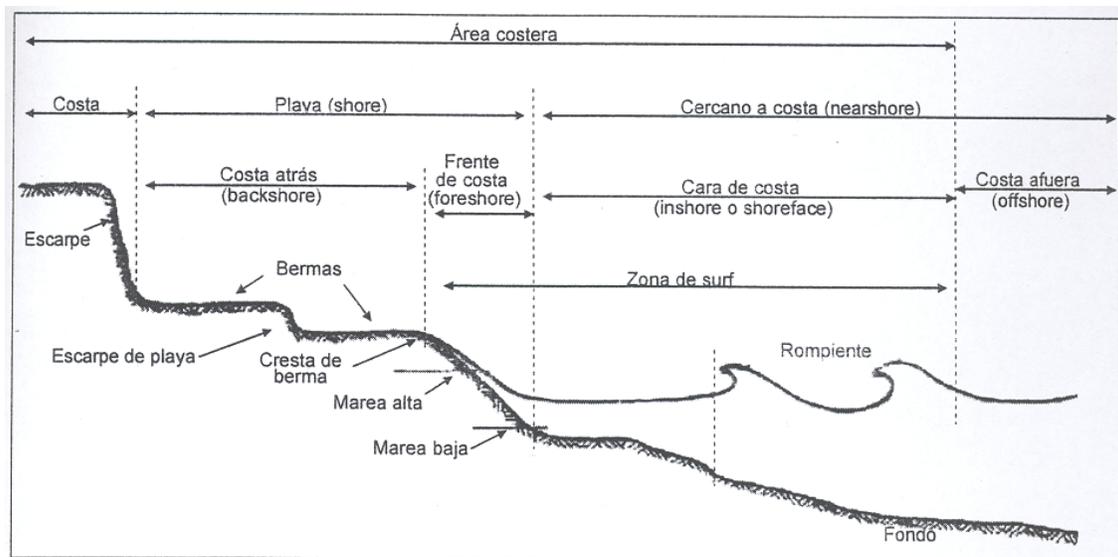


Figura 2. 1 Zonificación y partes del perfil de playa. Modificado de USACE (1984)

### ***Variaciones del perfil: Playas disipativas y reflejantes***

El perfil de las playas cambia constantemente como respuesta a los cambios del transporte transversal de sedimentos que produce la acción del mar, especialmente el oleaje. Los cambios más notorios son los asociados a los desplazamientos de las barras de arena y el avance o

retroceso de la berma. De entre las múltiples formas de perfil, existen dos extremas que presentan una geometría en planta aproximadamente bidimensional, es decir, en las que el perfil representa la morfología de la playa. Estas dos formas extremas de perfil se denominan perfil disipativo y reflejante.

El perfil disipativo es característico de las playas de arena fina y niveles de energía elevados. En general, el frente de playa no puede ser distinguido de la berma y la zona intermareal presenta concavidades con pendientes muy bajas. La playa sumergida suele presentar una o varias barras longitudinales, con crestas poco marcadas.

El perfil reflejante se presenta en playas de arenas medias a gruesas con niveles de energía bajos. En este caso la cresta de la berma marca claramente el inicio del frente de playa. En la playa seca hay restos de bermas y escarpes correspondientes a perfiles más retrasados formados con condiciones de oleaje más fuertes.

### ***Perfil dinámico de las playas***

La interacción entre el medio marino y el medio terrestre tiene una influencia directa en el perfil de la playa, cuya forma está dada por las fuerzas que actúan sobre la arena que conforma la playa. Si no existiera el oleaje, la playa tendría un perfil lineal con una pendiente correspondiente al ángulo de reposo de la arena. Sin embargo, en la realidad y bajo la acción del oleaje, el perfil de la playa generalmente presenta una concavidad hacia arriba con pendientes menores a las correspondientes al ángulo de reposo de la arena.

Durante una tormenta se establece un estado de mar confuso dentro de la zona de rompientes y las olas llegan a la playa desde diferentes direcciones. En este proceso una gran cantidad de arena es removida de la superficie de la playa y transportada hacia costa afuera, formando barras de arena en aguas relativamente profundas. A medida que estas barras crecen, la zona de rompientes se traslada hacia la zona costa afuera. De esta forma las olas rompen cada vez más lejos de la costa y disipan una cantidad considerable de energía antes de llegar a la playa. La erosión de la playa disminuye hasta que finalmente cesa. Después de que ha pasado la tormenta, los depósitos de arena que han sido arrastrados mar adentro, regresan a la playa por la acción de olas moderadas o swells. La playa así queda lista para la siguiente tormenta.

Cuando la zona de playa seca queda temporalmente lejos del oleaje, la arena se seca por la acción del sol y una parte se mueve tierra adentro formando dunas, o se mueve de regreso a la costa, por acción del viento.

Todo este proceso forma parte de un estado de equilibrio en el que intervienen fuerzas destructivas y constructivas que actúan sobre la arena y están en balance manteniendo un perfil de playa correspondiente al estado de equilibrio.

Este estado de equilibrio puede verse afectado si se alteran las condiciones de oleaje o marea, tal como un incremento en el nivel del agua o cambios en la altura o periodo de ola, hasta alcanzarse un nuevo perfil en equilibrio.

En la figura 2.2 se observan los perfiles de una playa durante una tormenta y durante un periodo de mar en calma.

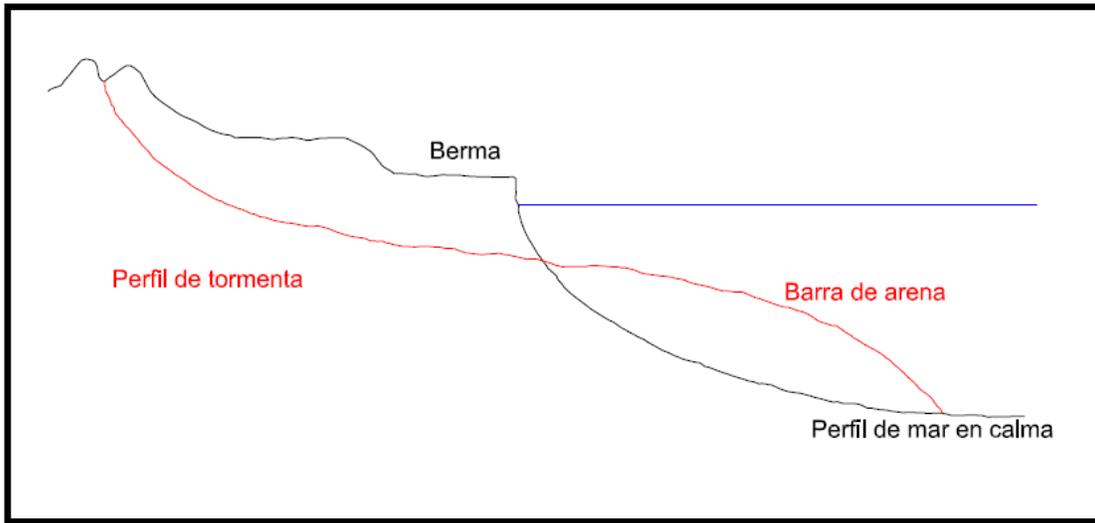


Figura 2. 2 Perfil dinámico de la playa

#### 2.1.1.2 Forma en planta de las playas

Para describir mejor la forma de una playa, es necesario conocer también su forma en planta. La descripción de la forma en planta puede realizarse con base en tres escalas:

- Formas de pequeña escala: Estas formas serán el resultado de la dinámica en escalas de tiempo del orden de segundos o minutos y escalas de longitud en el orden de decímetros a metros.
- Formas de media escala: Son formas de media escala aquellas que tienen una longitud característica del orden de la decena o centena de metros y un tiempo de evolución que oscila entre horas y años.

Como se mencionó anteriormente las playas de perfil disipativo y las reflejantes, muestran características longitudinales relativamente uniformes a gran escala y quedan morfológicamente bien definidas por su perfil. Las formas en planta de media escala son las que aparecen en los estados de playa intermedios entre el disipativo y el reflejante.

- Formas de gran escala: Son formas en planta de playa con escalas del orden de cientos a miles de metros, y escalas de tiempo de variación en el orden de estaciones o años; resultado de la interacción del oleaje con las condiciones del entorno.

#### 2.1.1.3 Morfología a largo plazo de las playas: Playas en equilibrio

El término playa en equilibrio corresponde al estado morfodinámico que alcanza una playa en planta y perfil bajo la acción de un oleaje constante en el tiempo que actúa sobre una geometría de playa inicial. Una playa consigue su estado de equilibrio a partir del momento en que no presenta cambios en su forma de perfil ni en planta.

Al ser el oleaje y el nivel del mar agentes dinámicos, el perfil de la playa también será dinámico y su forma presentará variaciones. Es por esto que se puede admitir la existencia de una playa en equilibrio aún cuando su forma presente variaciones en función del clima marítimo existente.

La forma de planta y de perfil en equilibrio de una playa se denominará formalmente planta de equilibrio y perfil de equilibrio.

### ***Perfil de equilibrio***

Como se estableció anteriormente, un perfil de playa en equilibrio es el resultado de las diferentes interacciones que existen en la línea de costa. Si en un laboratorio, se monta una playa de arena y se le aplica un oleaje constante durante un largo tiempo, al final de la prueba se tendrá un nuevo perfil que cambiará muy poco con el tiempo. Este será el perfil de playa en equilibrio para la playa artificial construida.

En la naturaleza el perfil en equilibrio se considera un concepto dinámico, pues las condiciones del oleaje y marea se encuentran en constante cambio; por lo tanto el perfil equilibrado también cambiará constantemente. Si obtenemos un promedio de estos perfiles en un lapso grande podemos definir un equilibrio.

Aunque el estudio del perfil en equilibrio no incluye todos los procesos que ocurren a lo largo de la costa, este conocimiento es importante para interpretar los procesos naturales de la playa y poder utilizarlos en diversas aplicaciones de ingeniería marítima.

Algunas de las relaciones conocidas entre la forma del perfil en equilibrio, oleaje y marea son las siguientes:

- Tamaño de los sedimentos: Los sedimentos gruesos pueden soportar más fácilmente las fuerzas destructivas que los sedimentos más finos.
- Altura de ola: Si la altura de ola aumenta, la playa tendrá una pendiente más suave ya que este incremento representa una fuerza destructiva mayor y sólo con una pendiente suave se puede llegar a un estado de equilibrio. Además, mayores alturas de ola representan zonas de surf más amplias, propagando las fuerzas destructivas sobre una región más amplia y hacia aguas más profundas.
- Periodo de ola: A mayores periodos de ola, el sedimento tiende a ser transportado hacia la costa por lo que la línea de costa avanza hacia el mar de tal forma que la pendiente de la playa es más pronunciada que para periodos más cortos.
- Nivel de marea: Un incremento en el nivel del mar provoca que el sedimento sea transportado mar adentro. Este incremento requiere un nuevo perfil en equilibrio tendiendo a ser más vertical y movido tierra adentro.

### ***Planta de equilibrio***

Debido a que la forma en planta se define a través del transporte longitudinal de sedimento, es necesario establecer dos tipos de equilibrio: equilibrio estático y equilibrio dinámico.

### ***Equilibrio estático***

Se define la playa en equilibrio estático cuando la forma permanece constante en el tiempo, y el transporte litoral es nulo. Para que esto ocurra es necesario que las corrientes longitudinales se anulen.

Este tipo de playas se encuentran frecuentemente en zonas donde la energía incidente del oleaje tiene una dirección bien definida. Dichas playas muestran una orientación perpendicular a la dirección de incidencia produciéndose la rotura simultánea del oleaje a lo largo de la playa, lo que no implica la formación de una única línea de rotura.

### ***Equilibrio dinámico***

Se define la playa en equilibrio dinámico cuando la forma de la playa se mantiene invariable, bajo la presencia de transporte longitudinal de arena pero sin cambio en el volumen global de arena.

## **2.1.2 Transporte de sedimentos**

Al principio de este capítulo se definió una playa como una zona de la costa cubierta por material suelto, en este caso por arena. La base teórica del transporte de sedimento no ha sido completamente desarrollada. Esto en gran parte se debe a que aún no se ha entendido por completo este fenómeno aún bajo condiciones simples, por ejemplo, en el caso del transporte unidireccional de sedimentos que hay en ríos y canales, las estimaciones de las descargas pueden diferir demasiado al emplear diferentes teorías.

La arena llega a la playa desde diversas fuentes que incluyen ríos, arroyos, deslizamiento y desintegración de rocas, erosión eólica, erosión en los arrecifes de coral o material que es transportado desde mar adentro por efectos del oleaje. Una vez que ha sido transportada, la arena se distribuye por toda la playa gracias a las corrientes litorales.

Las olas, con sus velocidades orbitales, las corrientes cercanas a la costa y los vientos en la playa transportan materiales sobre la costa y hacia el mar. Este transporte de sedimento será referido como transporte litoral.

Existen dos clases de transporte litoral: transporte longitudinal, y transporte transversal de sedimentos.

### **2.1.2.1 Transporte longitudinal de sedimentos**

El sedimento se mueve a lo largo de la línea de costa bajo la acción del oleaje y las corrientes litorales. Este movimiento se puede dar de varias formas: transporte por fondo, que puede darse en flujo uniforme y se caracteriza porque las partículas mantienen siempre un contacto con el lecho a través de los sucesivos contactos entre ellas; transporte en suspensión donde el sedimento queda suspendido y es movido por las corrientes litorales; carga sedimentaria, donde el sedimento se mueve a lo largo del frente de playa por el lavado del material. No existe certeza de cuál de estos movimientos predomina para ciertas condiciones de oleaje o tipo de sedimentos, pero es importante distinguir los diferentes mecanismos.

El transporte longitudinal puede darse en dos direcciones, dependiendo de la dirección del oleaje. Por convención, un observador viendo hacia el mar, considerará como transporte positivo cuando el sedimento se mueve hacia la derecha y como transporte negativo cuando el sedimento se mueve hacia la izquierda. Normalmente el transporte positivo corresponde a una o más estaciones del año, mientras que el transporte negativo se dará en el resto del año. El transporte neto será la suma de los componentes positivo y negativo.

Desafortunadamente, no existe instrumento alguno para medir el transporte de sedimento a lo largo de la costa. El transporte total usualmente es estimado midiendo la cantidad de arena que ha quedado junto a embarcaderos, espigones o la cantidad de sedimentos depositada en un puerto. Esta forma indirecta de medir puede ser más o menos correcta, dependiendo de la capacidad de la estructura para retener el material. Además, la variación en el transporte de sedimentos durante el año puede ser muy grande, por lo que las predicciones pueden resultar engañosas debido a que la dirección y magnitud del transporte puede cambiar significativamente año tras año.

#### **2.1.2.2 Transporte transversal de sedimentos**

El sedimento que se mueve hacia el mar es desprendido de la zona de playa seca a causa de olas de gran altura típicas de tormenta. La arena, que es transportada en grandes volúmenes se deposita formando barras de arena fuera de la zona litoral, generando así cambios en la línea de costa durante la tormenta.

#### **2.1.3 Problema de erosión en las playas**

Gracias a los constantes embates del mar, aunados a otros factores como el viento y la acción del Sol, la playa nunca estará exenta a presentar problemas de erosión. Y a pesar de que es capaz de regenerarse por sí misma, existen factores externos que pueden alterar el equilibrio y maximizar el daño.

Para saber qué medidas se pueden tomar para mitigar, eliminar, o en su defecto regenerar la erosión de una playa, debe entenderse cuál es el origen del problema, y saber si tal causa es ocasionada de forma natural o por el hombre.

Algunas de las posibles causas de la erosión incluyen:

- Procesos naturales:
  - Desgaste, aumento del nivel del mar
  - Oleaje, mareas, corrientes y otros factores hidrodinámicos
- Intervención del hombre:
  - Alteraciones al transporte de sedimentos
  - Extracción de arena
  - Contaminación del agua, que extermina posibles fuentes de sedimento orgánico

## **2.2 Alternativas para la protección de la playa**

La protección de las playas contra la erosión siempre ha sido una prioridad para los trabajos de ingeniería civil. Históricamente los aspectos relacionados con la playa que interesaban al hombre eran la exploración, el comercio e incluso la guerra. Actualmente el uso de las playas con fines turísticos, recreativos y deportivos representa una de las principales actividades económicas dentro de la zona costera. Es por esto que autoridades, dueños de hoteles y otra gran variedad de personas han invertido en la estabilidad y el desarrollo sustentable de las costas, en especial el de las playas por ser zonas más vulnerables a la erosión.

Una playa representa en sí misma una forma de protección para la costa. El mantener un frente de playa bien conservado garantiza que las propiedades construidas cerca de la costa estén bien protegidas. Sin embargo, para que tal protección sea posible es necesario que las propiedades no estén construidas en la zona móvil de la playa.

La construcción de obras civiles dentro de la costa produce cambios que alteran las tasas de suministro o pérdida del transporte litoral y si no se toman medidas para prevenir estos fenómenos, la erosión de la playa continúa hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio para la nueva condición. Sin embargo, debido a que estos fenómenos ocurren a largo plazo, los cambios son evidentes cuando el daño irreparable ya está hecho.

Para evitar que una playa se siga erosionando, o impedir el movimiento de arena a lo largo de la playa se han ideado diferentes obras de ingeniería, construidas dentro de la costa, y costa afuera.

### **2.2.1 Tipos y funciones de las obras para la protección de la playa**

#### **2.2.1.1 Relleno de playas**

La técnica consiste en la colocación de arena en una playa. La arena se obtiene usualmente de bancos de material ubicados en la zona costa afuera o en la zona intermareal.

El aumento de la playa debido al relleno puede servir para:

- Aumentar el área de recreación de una playa,
- Para ofrecer protección contra tormentas (reduciendo la cantidad de energía incidente y creando una playa de sacrificio que se erosione durante la tormenta),
- Para proveer en algunos casos un hábitat para especies en peligro de extinción.

El uso del relleno de playas como protección contra las tormentas suele ser subvalorado. Cuando se rellena una playa, el material que se pierde durante una tormenta corresponderá al relleno, protegiendo el material original de la playa. Además, hay que recordar que ese material no se pierde, sino que es transportado hacia costa afuera para formar barras de arena, que después regresa por la acción de olas más moderadas y redistribuido a lo largo de la playa.

Este método responde a un déficit de arena que provoca la erosión de la línea de costa, por lo tanto la solución más efectiva es aquella en la que se reponga la pérdida de arena.

Un problema significativo asociado con el diseño de relleno de playas es plantear un proyecto a largo plazo. Durante la planeación y la ejecución del relleno la playa continúa erosionándose y, lo más probable, es que el relleno sólo sea una forma de volver a un estado anterior de la playa, por lo que tenderá a alcanzar su estado actual, y la erosión continuará; lo que hace necesario saber cuánto tiempo llevará este proceso.

En el relleno de playas, la arena normalmente se coloca con una pendiente mayor a la de su perfil en equilibrio, para que una vez que ha sido colocada, las olas comiencen a equilibrar la playa en perfil y planta, cambiando también la forma de la línea de costa.

Para que la playa alcance el equilibrio normalmente toma un tiempo del orden de años, mientras que para algunos proyectos la pérdida de material puede ocurrir en tiempos del orden de décadas.

### ***Construcción***

La colocación de arena en la playa puede hacerse de forma mecánica o hidráulica. La transportación mecánica desde un banco de material hasta el área a rellenar implica que el material sea transportado en camiones de carga. En el banco de material, la arena es colocada en el camión con equipos tradicionales de movimiento de tierras como son palas mecánicas o retroexcavadoras. En general, este método es utilizado para rellenos en playas pequeñas debido al costo del transporte y del impacto en las superficies a causa de las cargas elevadas.

Para los bancos de material que se encuentran costa afuera, la arena es llevada desde el fondo mediante una draga y bombeada a través de tuberías hasta el sitio de relleno para descargarla finalmente sobre la playa.



**Figura 2. 3 Relleno de playa por bombeo de arena**

Para lograr la redistribución de la arena a lo largo de la playa, el material puede ser depositado hacia la zona costa afuera y así esperar una distribución natural por la acción de olas moderadas. Este método puede resultar en beneficios económicos, sin embargo, existe la probabilidad de que el transporte no se realice de forma natural (por los constantes cambios del clima marítimo) lo que haría inviable este método.

Otra forma para distribuir la arena es depositar el material en la zona de playa seca o distribuirla directamente a lo largo del perfil.

### 2.2.1.2 Espigones

Los espigones son estructuras que generan cambios considerables en los patrones de circulación del oleaje y su función principal ha sido la de prevenir la erosión de la línea de costa en zonas en las que hay una cantidad considerable de transporte longitudinal de sedimentos.

Un espigón se construye como una barrera vertical que se extiende desde la playa hacia la zona costa afuera, perpendicular o formando ángulo con la línea de costa. Una franja de arena queda atrapada aguas arriba de la estructura (tomando en cuenta el sentido del flujo longitudinal del material), y provocando un déficit de material aguas abajo de la estructura (figura 2.4). La tasa de acumulación del material en el espigón podría ser igual a la tasa de erosión aguas abajo, por lo que estas estructuras deben de utilizarse con mucho cuidado. Los espigones no deben de exceder cierto tamaño en altura y longitud para que no representen una barrera para las corrientes, lo que destruiría por completo los procesos en la zona costera.

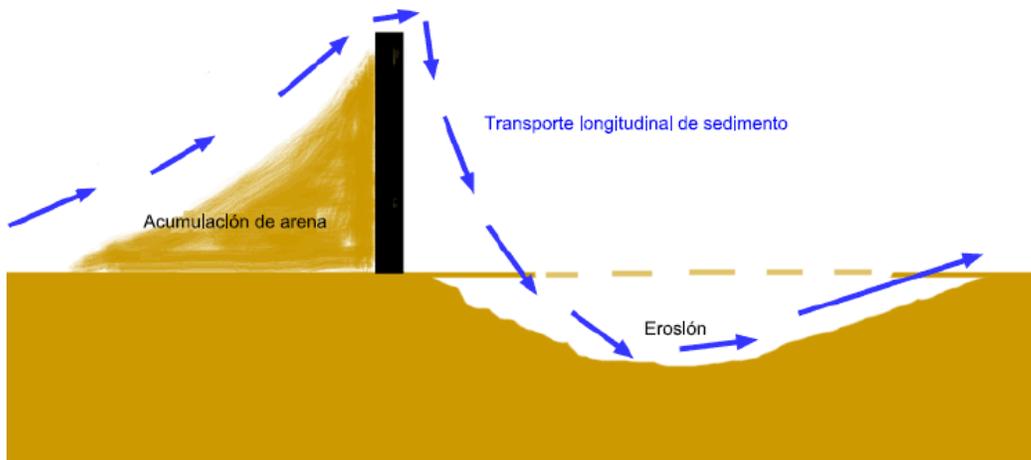
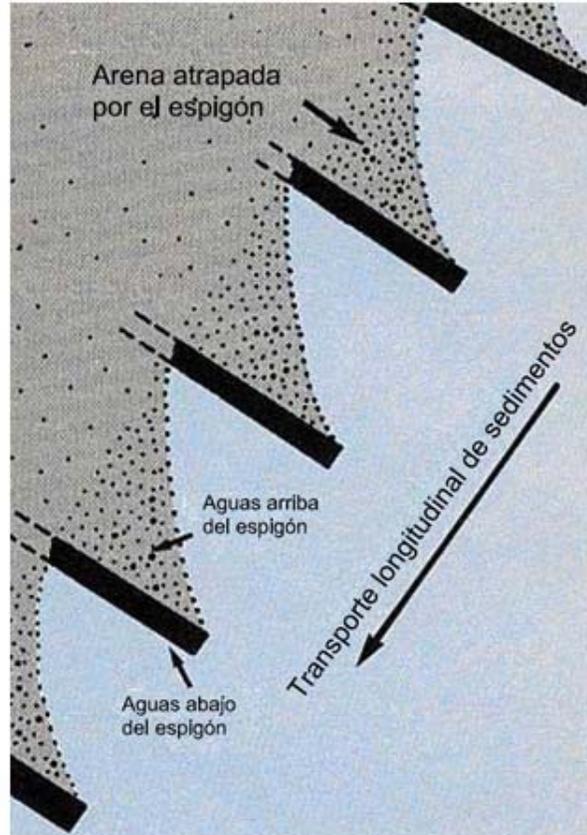


Figura 2. 4 Función de un espigón, visto en planta

Para aminorar la erosión asociada a un solo espigón, a menudo se construye una serie de espigones a lo largo de la playa. Su separación está dada de tal forma que parte de la arena acumulada aguas arriba del espigón pueda extenderse y depositarse aguas arriba del siguiente espigón. La correcta utilización y separación de múltiples espigones obliga que la erosión sea desplazada hasta el último espigón.



**Figura 2. 5 Espigones en Sitges, España (izq.) y comportamiento típico de un grupo de espigones (der.)**

El tamaño del espigón puede variar. Existen espigones contruidos “localmente” por las comunidades que habitan la zona costera y que consisten únicamente en la colocación de madera o bambú, éstos no serán estudiados ya que no implican un proceso de ingeniería; también existen espigones cuyas crestas pueden alcanzar hasta los 3 metros de ancho. El diseño de espigones, incluyendo dimensiones y cantidad, se apoyará en registros referentes al transporte de sedimentos, así como en la función que se espera que tenga la estructura.



**Figura 2. 6 Espigón de material rocoso (izq.), espigón de madera (der.)**

Independientemente de si se construye uno, o un grupo de espigones, éstos trabajarán de manera eficiente en lugares donde existan altos índices de transporte longitudinal de sedimentos. Cuando el transporte de sedimentos no sea significativo o el material tienda a desplazarse en sentido contrario, su funcionamiento no será del todo correcto.

### ***Construcción***

Generalmente los espigones son construidos en playas de arena, aunque también pueden construirse en costas rocosas con el objeto de crear playas artificiales. Su construcción consiste en el apilamiento vertical de material rocoso mediante el uso de maquinaria como son grúas, retroexcavadoras o bulldozers.

Para evitar la erosión de las superficies en las que se construirá el espigón, puede colocarse una o varias capas de rocas o geotextil que sirvan como base de la estructura.

#### **2.2.1.3 Rompeolas**

Las estructuras rompeolas, también conocidos como diques rompeolas tienen como propósito principal disminuir la energía incidente del oleaje sobre una playa, estableciendo así una zona de mar en calma incluso durante periodos de tormenta; esto con el objeto de reducir la erosión de la línea de costa o proveer seguridad a las embarcaciones que se encuentran ancladas a la playa, entre otras ventajas. Son construidas dentro de la zona de rompientes, y paralelas a la línea de costa.



**Figura 2. 7 Estructuras rompeolas**

Aunque, de ser necesario, los rompeolas pueden construirse como una sola estructura que se extienda paralelo a lo largo de la línea de costa, resulta más conveniente la construcción de múltiples estructuras por economía, y para evitar el estancamiento de agua cerca de la playa.

Los rompeolas pueden ser emergidos o sumergidos. Los primeros tienen su cresta por encima del nivel medio del mar, mientras que los sumergidos la tienen por debajo del mismo.

Tanto las dimensiones, la cantidad y el tipo de las estructuras rompeolas estarán en función de su objetivo, de registros de oleaje y marea; y podrá ser apoyada mediante el uso de modelos de simulación para verificar su correcto funcionamiento.

### ***Rompeolas emergidos***

Aún cuando no exista transporte longitudinal en una playa, el rompeolas emergido creará patrones de transporte longitudinal y transversal de sedimento en diferentes zonas de la playa a causa de la difracción de olas detrás de la estructura. Algunas de las zonas de la playa pueden crecer hacia mar adentro; si el material desplazado alcanza el rompeolas creando una especie de conexión entre la playa y la estructura, se conoce este fenómeno *tómbolo* (figura 2.8). Si el material no toca con el rompeolas se conoce como *saliente*.



**Figura 2. 8 Formación de tómbolos en rompeolas**

La reducción de olas de gran altura detrás de la estructura implica que se perderá transporte hacia costa afuera, por lo que la arena tenderá a depositarse detrás de la estructura, y provocando un déficit de sedimento mar adentro de la estructura.

### ***Rompeolas sumergidos***

Los rompeolas sumergidos están diseñados bajo la idea de que inducirán reflexión y rompimiento del oleaje además de una disipación de energía sobre la estructura, provocando una reducción en la altura de ola del lado de la costa.

Una de las ventajas principales de estos rompeolas es que al estar sumergidos no causarán un impacto visual negativo. Sin embargo, esto puede representar un peligro para las embarcaciones si no se hace una señalización correcta de la ubicación de los rompeolas.

### ***Construcción***

Al igual que los espigones, las estructuras rompeolas consisten básicamente en la disposición vertical de material rocoso y en algunas ocasiones de bloques de concreto. La colocación del material se puede llevar a cabo mediante el uso de grúas si el rompeolas se localiza relativamente cerca de la costa, o utilizando embarcaciones especiales conocidas como “draga-gánguil” o

simplemente “gánguil”. La construcción de los rompeolas deberá realizarse durante los periodos de mar en calma.

En el caso de las embarcaciones, con ayuda de los camiones de volteo se carga el material en el gánguil. Los gánguiles son posicionados satelitalmente en el sitio donde se encontrará la estructura, depositan el material y regresan al puerto para reabastecerse de material.



Figura 2. 9 Gánguil

Haciendo un corte transversal, se observa que la estructura rompeolas consta de 3 partes:

- Núcleo, construido a base de gravas,
- Capa interior construida a base de piedra caliza con un tamaño de no más de 90 centímetros en su lado largo;
- Capa exterior, también conocida como capa principal de protección, construida a base de piedra caliza con tamaños que van desde los 90 hasta los 130 centímetros en su lado más largo. Esta capa también puede estar constituida por bloques de concreto.

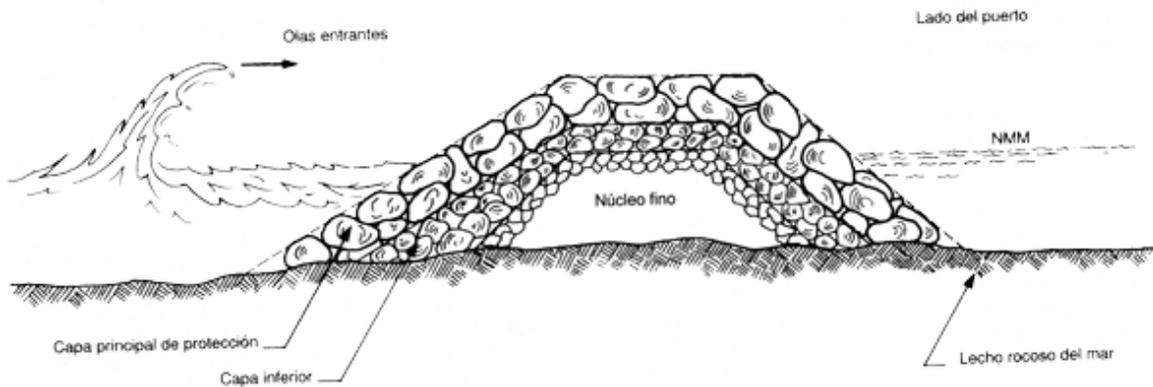


Figura 2. 10 Corte transversal de rompeolas

Existen casos en los que las estructuras rompeolas únicamente son conformadas por bloques prefabricados de concreto, siguiendo el mismo proceso constructivo.

#### **2.2.1.4 Seawalls**

Los seawalls no tienen una traducción exacta al español, se les pueden llamar “muros marinos” o “diques marinos”; y son estructuras verticales cuyo objetivo es proteger el área tierra adentro de la playa cuando la erosión de la línea de costa ya es muy grande.

Sin embargo, el uso de estas estructuras ha causado gran controversia ya que favorece la erosión de la playa en lugar de prevenirla. Incluso una mala ubicación de la estructura (construyéndola muy cerca del mar) podría desaparecer la playa de arena.



**Figura 2. 11 Seawall, Japón**

#### ***Construcción***

Para la construcción de estas estructuras pueden usarse materiales como madera, concreto o láminas de acero, posicionadas verticalmente delante de la zona que se quiere proteger.

#### **2.2.1.5 Revestimientos**

Los revestimientos son construidos en zonas donde se tiene un interés específico de mantener una línea de costa, evitando así su erosión debida al oleaje.

A diferencia de los seawalls, lo que se busca con los revestimientos es limitar al máximo la reflexión del oleaje que hay en la costa, evitando así dañar playas cercanas.

#### ***Construcción***

Su construcción consiste en la disposición de varias capas de material rocoso al pie de las dunas o a lo largo del frente de playa, y formando una pendiente idéntica a la que tiene la playa. Se pueden utilizar rocas o bloques prefabricados de concreto.



**Figura 2. 12 Revestimiento de playa, utilizando material rocoso**

En algunos casos la playa puede ser cubierta por geotextil, que servirá como base para el revestimiento.

#### **2.2.1.6 Drenado de playas**

El drenado de playas consiste en la construcción de un sistema de tuberías que permitan disminuir la cantidad de agua atrapada en la arena. Las tuberías destinadas a captar el agua cuentan con perforaciones, permitiendo el libre flujo de agua la cual es conducida por la acción de la fuerza de gravedad hacia el mar.

Es un método muy similar al que se utiliza para el drenaje en taludes.