

LIBRO: PRY. PROYECTO
TEMA: PUE. Puertos
PARTE: 1. ESTUDIOS
TÍTULO: 07. Estudios de Transporte Litoral
CAPÍTULO: 002. Reconocimiento de Zonas Costeras

A. CONTENIDO

Este Manual describe los procedimientos para realizar el reconocimiento de zonas costeras que se indica en la Fracción E.1. de la Norma N·PRY·CAR·1·07·001, *Ejecución de Estudios de Transporte Litoral*, necesario para la elaboración del estudio de transporte litoral para puertos, que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios.

B. OBJETIVO DEL RECONOCIMIENTO

Este reconocimiento permite caracterizar visualmente las zonas costeras, identificando fuentes de aportación de sedimentos y reconociendo los cambios morfológicos ocasionados de forma natural o artificial.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las Normas N·LEG·2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías* y N·PRY·PUE·1·07·001, *Ejecución de Estudios de Transporte Litoral*.

D. REQUISITOS

Antes de efectuar la visita a la zona de estudio, se requiere contar con la siguiente información:

- D.1.** Tablas de mareas que contengan las predicciones diarias de pleamares y bajamares locales. En caso de existir, podrá usarse la información aportada por estudios de mareas efectuados previamente.
- D.2.** Cartas náuticas elaboradas con escalas que permitan que una de ellas cubra varios cientos de kilómetros y cuyos datos mínimos sean: características generales de la línea de costa, condiciones generales de la batimetría, orientación de la línea de costa y corrientes dominantes. Dichas escalas podrán ser 1:50 000 o las que se encuentren disponibles. Además, en caso de existir, podrá usarse la información aportada por estudios de corrientes efectuados previamente.
- D.3.** El tipo y tamaño del material del fondo marino e información sobre los niveles de mareas.
- D.4.** Portulanos, integrados por planos detallados del puerto o de la zona donde se pretenda proyectar un puerto, que contengan el trazo en planta de los canales de navegación y acceso al puerto; profundidades; señalamiento marítimo y ayudas para la navegación; descripción del material del fondo marino; número y ubicación de las posiciones de atraque. Estarán dibujados a escalas 1:10 000 o las que estén disponibles y sólo cubrirán algunas decenas de kilómetros.
- D.5.** Cartas topográficas y geológicas, con escalas de 1:50 000 o las que estén disponibles, publicadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información, de las cuales se obtienen la localización de las vías de comunicación y las características generales de la zona. Además, en caso de existir, podrá usarse la información aportada por estudios topográficos, batimétricos y geológicos efectuados previamente.

- D.6. Fotografías aéreas e imágenes de satélite que permitan observar la zona en diferentes épocas y así detectar cambios morfológicos.
- D.7. Datos meteorológicos e hidrológicos, tales como temperatura, precipitación y vientos, que permitan detectar la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extraordinarios y sus efectos en la zona de interés. En caso de existir, podrá usarse la información aportada por estudios efectuados previamente. Estos datos serán representativos de las cuatro estaciones del año.
- D.8. Documentos históricos y periódicos que muestren la ocurrencia de fenómenos oceanográficos y meteorológicos extraordinarios con periodos de retorno muy largo.

E. CONSIDERACIONES PREVIAS

E.1. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se revisará y analizará toda la información a que se refiere la Cláusula D., resumiéndola en un formato como el mostrado en la Tabla 1 de este Manual.

Además, se estimarán las características del oleaje tales como la altura, periodo y dirección de las olas, a partir de la información disponible, proveniente del registro directo con instrumentos como boyas, sensores de presión o ecosondas, o a través de estudios de propagación de oleaje desde aguas profundas.

E.2. DETERMINACIÓN DE LA ZONA POR ESTUDIAR

Antes de llevar a cabo el reconocimiento, es necesario determinar la zona por estudiar, considerando que:

- E.2.1. Es conveniente que la zona por estudiar abarque la región, natural o artificialmente limitada por sus propias fuentes de entrada y salida de sedimento, es decir, la *celda litoral* donde se ubique la obra, con el fin de evaluar el posible impacto regional que se ocasionará con su construcción, pues el conocimiento del movimiento del sedimento dentro de la celda litoral, sus fronteras, entradas y salidas, ayudará a determinar las medidas de mitigación a dicho impacto, tanto en la zona de estudio como en las áreas vecinas.
- E.2.2. Se buscará abarcar, además del área física del proyecto, toda la región costera que se estime será afectada por la obra.

F. EJECUCIÓN DEL RECONOCIMIENTO

De acuerdo con el Inciso C.1.6. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*, y previo a la ejecución del reconocimiento, se contará con los permisos necesarios para realizar el trabajo de campo.

F.1. INSPECCIÓN AÉREA

De ser posible se realizará una inspección aérea de la zona en estudio, para reconocer las características topográficas, la transformación del oleaje y la dirección del sedimento. El vuelo abarcará como mínimo toda la celda litoral a que se refiere el Inciso E.2.2.

F.2. RECONOCIMIENTO DE CAMPO

El reconocimiento de campo de la zona en estudio, será realizado por un equipo de trabajo que encabezará un especialista en ingeniería costera, con conocimientos de transporte litoral, mediante recorridos que permitan corroborar la información que se indica en la Cláusula D. y en las Fracciones E.1. y F.1. de este Manual; recabar los datos que sean útiles para estimar la altura de ola y el alcance de la marea, así como la dirección y origen del sedimento; obtener muestras del material de playa e identificar las vías de acceso. Para ello se recorrerán las playas cercanas y se buscarán lugares altos para observar la línea de costa. La información que se recabe se concentrará en un formato de inspección como el mostrado en la Tabla 2, y en el croquis a que se refiere el Inciso F.2.6. de este Manual.

TABLA 1.- Formato de análisis previo a una visita de campo

Concepto	Fuente	Información (Señalar los cuadros)
Características del terreno	Mapas	<input type="checkbox"/> Inicia una planicie a partir de la playa <input type="checkbox"/> Existen marismas, lagunas o lagos <input type="checkbox"/> Se levanta un acantilado a partir de la costa <input type="checkbox"/> Cerca de la costa se levantan montañas o colinas <input type="checkbox"/> Otros (describir)
Características de la costa	Mapas y cartas	<input type="checkbox"/> La línea de costa es recta o ligeramente curva <input type="checkbox"/> La línea de costa es curva o erosionada <input type="checkbox"/> La línea de costa está formada por varias playas separadas <input type="checkbox"/> El sitio se ubica en o cerca de la boca de un río o una laguna <input type="checkbox"/> Otros (Describir)
Topografía submarina	Cartas y fotografías	Pendiente aproximada _____ (0 a 10 m) _____ (10 a 100 m) Líneas batimétricas <input type="checkbox"/> Rectas <input type="checkbox"/> Muy curvas <input type="checkbox"/> Irregulares Barras a lo largo de la costa <input type="checkbox"/> Una sola <input type="checkbox"/> Varias <input type="checkbox"/> Indefinido
Marea	Tablas de predicciones	Pleamar máxima _____ m Rango de marea viva _____ m Pleamar media _____ m Nivel medio del mar _____ m Bajamar media _____ m Bajamar mínima _____ m Velocidad de las corrientes _____ m/s
Oleaje	Mediciones	Oleaje dominante <input type="checkbox"/> Local <input type="checkbox"/> Por nortes <input type="checkbox"/> Por ciclones <input type="checkbox"/> No se puede clasificar
Ríos	Cartas y datos hidrológicos	Nombre de los ríos que aportan sedimento _____ _____ <input type="checkbox"/> Ninguno Configuración de la boca del río <input type="checkbox"/> Una boca <input type="checkbox"/> Bocas múltiples Área de la cuenca _____ km ² Pendiente del fondo _____ Gastos: máximo _____ medio _____ m ³ /s Volumen de sedimento _____ m ³ /año

F.2.1. Estimación de la altura de ola y alcance de la marea

El equipo de trabajo localizará el sitio donde comienza la vegetación, las huellas que haya dejado el agua y las características generales de la zona, como su forma en planta, pendiente, aportes de ríos y existencia de dunas o bermas, para así estimar el alcance de la marea. Por lo que respecta al oleaje, realizará una estimación visual de la dirección de incidencia, el tipo de rompiente, la altura y el periodo.

F.2.2. Dirección y origen del sedimento

El origen del sedimento y la dirección dominante en la que éste se mueve, son factores que contribuirán en gran medida al cambio en la línea de costa que se generará por la presencia de estructuras de protección litoral. Para conocer estos factores, se realizarán observaciones en diferentes estaciones del año o como lo permita el tiempo de ejecución del estudio, pues la dirección del sedimento puede variar considerablemente; se determinarán, documentarán y ubicarán las fuentes más comunes de sedimento, tales como ríos o acantilados y otros sectores de la costa que están siendo erosionados, fácilmente identificables en playas que no se encuentran en equilibrio.

F.2.3. Obtención de muestras del material de la playa

Se tomarán muestras del material de playa y de las fuentes más comunes de sedimento, para determinar la granulometría, la composición mineralógica y la resistencia de los materiales que puedan ser sujetos de transporte litoral.

F.2.3.1. Equipo

El equipo para la obtención de muestras estará en condiciones de operación, limpio y completo en todas sus partes.

a) Pala o cucharón

Con capacidad suficiente y de material resistente a la corrosión.

b) Bolsas de plástico grueso

De sellado hermético, de tamaño suficiente para contener las muestras y fabricadas de material no absorbente que no reaccione con el material de la playa.

F.2.3.2. Obtención

Las muestras se tomarán en la zona de dunas y en el *estrán* (zona que está permanentemente mojándose y secándose por efecto de las olas que rompen sobre la playa), a una profundidad de 1,0 m. Las muestras serán de 1,0 kg como mínimo y se colocarán en las bolsas de plástico, marcándolas con una etiqueta donde se anote la fecha, hora, ubicación y número de muestra; asentando además dichos datos en una libreta de campo, junto con un croquis de localización indicando las líneas base o poligonales de apoyo que existan en la zona de estudio y todas las observaciones que se consideren necesarias.

F.2.3.3. Transporte y almacenamiento

Para transportar las muestras correctamente envasadas, del sitio de su obtención al laboratorio, se acomodarán en el vehículo de transporte de tal modo que no se golpeen o dañen y una vez recibidas en el laboratorio, se registrarán asignándoles un número de identificación para su estudio.

Las muestras se almacenarán dentro de un lugar techado, cerrado, limpio y seco, con buena ventilación y evitando en lo posible que queden sobre el piso, acomodando las bolsas de tal forma que no puedan sufrir caídas.

F.2.4. Identificación de vías de acceso

Durante el reconocimiento de campo también se identificarán las vías de comunicación para acceder a la zona bajo estudio.

F.2.5. Entrevistas con los lugareños

En virtud de que los lugareños (habitantes, pescadores y capitanes, entre otros) suelen aportar información de las condiciones de viento, oleaje, mareas y eventos extraordinarios, durante el reconocimiento de campo, se les harán entrevistas aplicando un cuestionario como el mostrado en la Tabla 3 de este Manual.

TABLA 3.- Cuestionario para entrevistas a habitantes de la zona ^[1]

Concepto	Preguntas
Viento	¿Cuál es la dirección del viento la mayor parte del año? _____ ¿En qué meses se presentan los vientos más fuertes? _____ ¿Cuál es su dirección y velocidad? _____
Oleaje	¿En qué estación del año el mar está en calma? _____ ¿En qué estación del año el mar está encrespado? _____ ¿Qué tan alto puede ser el oleaje en esta zona? _____ ¿Con qué frecuencia se presentan tormentas? _____ ¿Cuál es la altura aproximada del oleaje en tormentas? _____
Playa	¿La línea de costa avanza o retrocede en alguna estación? _____ ¿En alguna estación se observan cambios en la barra ubicada en la boca del río? _____ ¿La línea de costa cambia notablemente a los lados de la estructura en alguna estación? _____ ¿Se han observado cambios importantes en la línea de costa en los últimos diez años? _____
Marea	¿Cuál es el nivel normal de marea alta en la zona? _____ ¿Cuál es el nivel normal de marea baja en la zona? _____
Eventos extraordinarios	¿Cuál ha sido y cuándo ocurrió la peor catástrofe costera que se recuerde? _____ ¿Cuáles fueron los daños en la localidad? _____ ¿Quedó alguna marca del nivel máximo que alcanzó el agua durante la catástrofe? _____

[1] Todos los niveles que reporten los lugareños se referenciarán a marcas permanentes como árboles grandes o construcciones, mismas que se indicarán en el croquis a que se refiere el Inciso F.2.6. de este Manual.

F.2.6. Trazo del croquis

Se trazará un croquis de la zona bajo estudio, al cual se incorporará la información relevante que se obtenga durante el reconocimiento de campo, tal como la localización de los lugares donde se efectuaron las observaciones y los sitios donde se obtuvieron las muestras de material de playa, señalando además las vías de acceso encontradas durante el recorrido, las poblaciones cercanas, las construcciones o estructuras existentes, los puntos de referencia y toda aquella información que pueda resultar útil. Dicha información también podrá anotarse sobre un plano de la zona, el cual podrá sustituir o complementar al croquis antes señalado.

F.3. COMPARACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Una vez concluidos la inspección aérea y el reconocimiento de campo, se hará una comparación entre la información obtenida en éstos y la aportada por los documentos, planos, fotografías e imágenes señaladas en la Cláusula D. a fin de validarla o en su caso indicar las diferencias, señalando las posibles causas o factores de variación, así como aquellas observaciones y comentarios que puedan aportar más datos al respecto.

F.4. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA

Con base en toda la información obtenida o recolectada durante el reconocimiento de la zona costera y tomando en cuenta las clasificaciones que se describen a continuación, se caracterizará la zona bajo estudio, seleccionando aquella o aquellas clasificaciones que más y mejor se apeguen a las condiciones reales de la zona, lo que contribuirá a contar con un panorama completo de ella y así aprovechar trabajos realizados en regiones similares o ir creando un acervo para futuros estudios.

Las clasificaciones principales que permiten efectuar la caracterización de la zona bajo estudio son:

F.4.1. Clasificación descriptiva de las costas

F.4.1.1. De acuerdo con la composición del material de la playa:

- Costas de lodo
- Costas de arena
- Costas de grava
- Costas de roca o risco

F.4.1.2. Según las características típicas de cada playa:

- Costas con barra
- Costas en delta
- Costas duna
- Costas risco
- Costas con barrera coralina
- Manglar
- Pantanos

F.4.1.3. Con base en la energía hidrodinámica, según la altura de ola media, la influencia de la marea y las descargas de sedimento aluvial:

- Costas con dominio fluvial; cuando la morfología de la playa es determinada por los comportamientos hidrodinámico y sedimentario de uno o varios ríos.
- Costas dominadas por el oleaje; cuando el oleaje es el principal motor del movimiento de material en la playa; se presentan en zonas con una variación de marea menor de 2 m. Sus principales características son la presencia de barras largas y estrechas, deltas bien desarrollados y gran cantidad de sedimentos finos.
- Costas dominadas por la marea; cuando la forma de la playa es dominada por el transporte de sedimento que generan las corrientes de marea; la variación de marea local es mayor de 4 m. Su principal característica es la formación de bahías y la inexistencia de barras.

- Costas de energía mixta; cuando el movimiento de material se debe tanto al oleaje como a las corrientes de marea. Sus principales características son la presencia de barras cortas pero muy anchas, pequeñas bahías y deltas que se descubren sólo en bajamar.

La Figura 1 muestra la clasificación de las costas en función de la energía hidrodinámica.

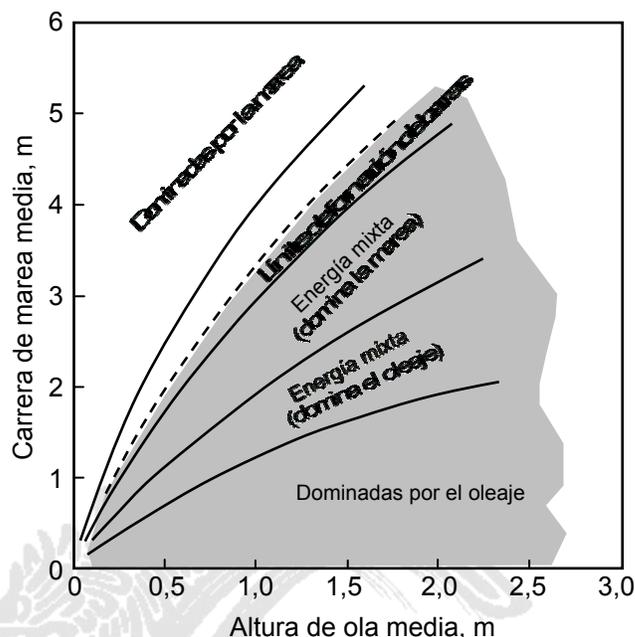


FIGURA 1.- Clasificación de las costas en función de la energía hidrodinámica

F.4.2. Clasificación genética de las costas

Los principales factores que se tomarán en cuenta para caracterizar las costas, según su génesis, son la configuración del terreno, el movimiento vertical relativo entre la tierra y el agua y el cambio de la línea de costa debido a procesos físicos (viento, oleaje y evolución de la costa).

F.4.2.1. La clasificación de las costas, según su génesis, es:

- Costas en crecimiento
- Costas erosivas
- Costas neutrales, aquellas cuyas características no dependen de la erosión ni de la sedimentación.
- Costas combinadas, aquellas en donde se presentan tanto erosión como sedimentación.

F.4.2.2. Existe otra clasificación la cual divide las costas según los siguientes dos factores esenciales:

a) Costas primarias

Son aquellas que fueron generadas por procesos geológicos. La forma de estas playas no depende de las acciones que el oleaje ejerce sobre ellas, sino de eventos que sucedieron tierra adentro. En función de dichos eventos, las playas primarias se subdividen en:

- Costas de erosión submarina
- Costas de erosión en tierra
- Costas resultado de heladas y deshielos
- Costas en hielos perpetuos
- Costas formadas por material aluvial, de las cuales se distinguen las formas que se presentan en la Figura 2 de este Manual.
- Costas formadas por depósitos eólicos
- Costas formadas por deslizamiento de tierras
- Costas volcánicas
- Costas debidas a fallas tectónicas

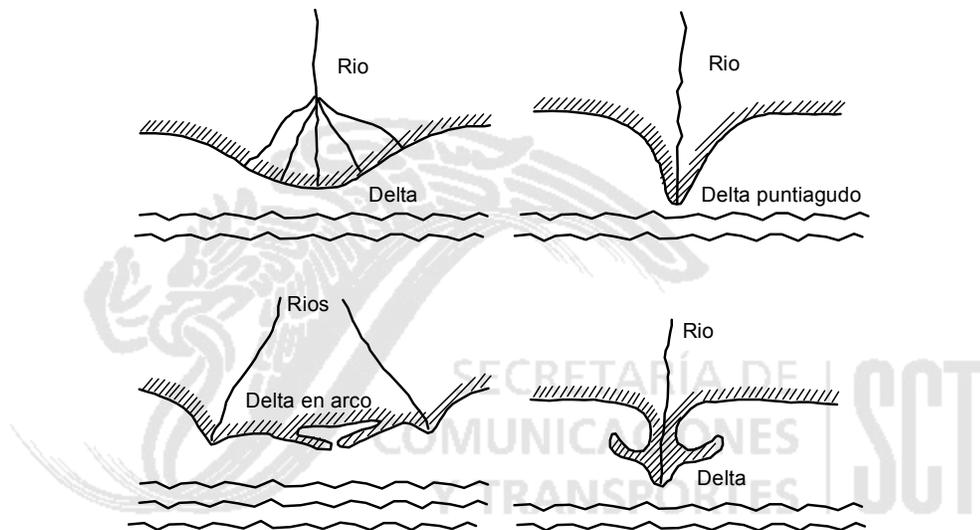


FIGURA 2.- Costas formadas por material aluvial

b) Costas secundarias

En este tipo de costas, la forma depende principalmente de las acciones del oleaje; pueden o no haber sido costas primarias. Son las generadas por procesos marinos como se muestran las más comunes en la Figura 3 de este Manual y son:

- Costas generadas por erosión marina
- Costas generadas por depósito de material. Entre ellas están las playas, barras, barreras, puntas, ondulaciones, tómbolos, cayos, bocas y formaciones lodosas
- Costas con arrecife coralino
- Manglares
- Pantanos

F.5. CARACTERIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

El transporte litoral es el movimiento de material de la playa, tanto a lo largo como en sentido perpendicular a la línea de costa. Este último provoca variaciones en el perfil de playa entre la zona de rompientes y el estrán. Así que, como parte de los trabajos de reconocimiento de las zonas costeras, cuando el estudio esté encaminado a proyectos de ampliación, se hará una caracterización de la evolución de la línea de costa, cuyo procedimiento es muy similar al de la Fracción F.4., con base en toda la información obtenida de la Fracción F.1. y del Inciso F.2.2., tomando en cuenta las clasificaciones propuestas para los posibles cambios en la línea de costa ilustradas en la Tabla 4 de este Manual y seleccionando aquella o aquellas clasificaciones que más y mejor se apeguen a las condiciones reales de la zona bajo estudio, lo que contribuirá a contar con un panorama completo de ella y así aprovechar trabajos realizados en regiones similares o ir creando un acervo para futuros estudios.

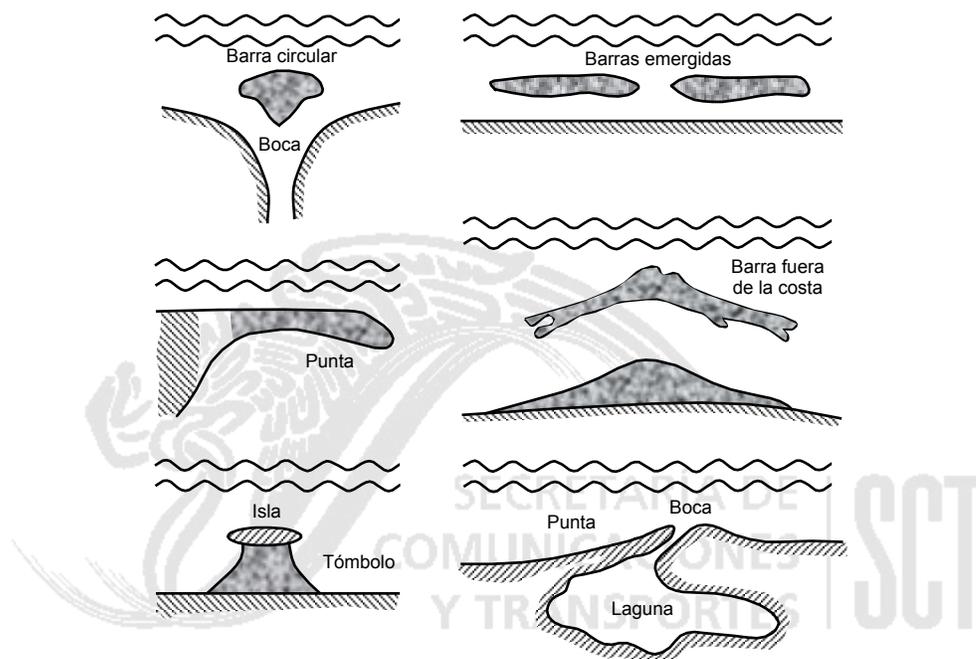


FIGURA 3.- Costas secundarias

G. RESULTADOS DEL RECONOCIMIENTO DE ZONAS COSTERAS

Además de los formatos indicados en las Tablas 1, 2 y 3, llenados conforme a lo establecido en este Manual, los resultados que se obtienen de este reconocimiento son:

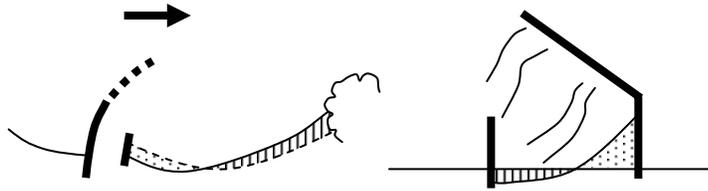
- Niveles de marea ordinaria y de tormenta
- Régimen local de viento y oleaje
- Dirección y origen del sedimento
- Muestras para caracterizar, mineralógica y granulométricamente, a los sedimentos

TABLA 4.- Esquemas de posibles tipos de evolución de la línea de costa [1] [2]

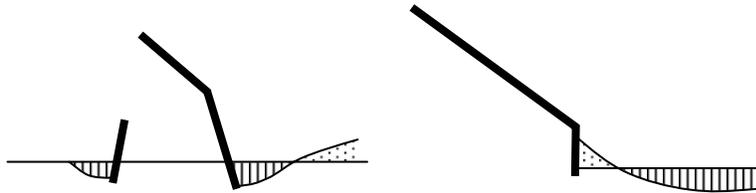
<p>1. Acreción (sedimentación) corriente arriba y erosión corriente abajo de una barrera perpendicular a la línea de costa.</p>
<p>2. Playa ancha generada por la presencia de un espigón en la desembocadura de un río.</p>
<p>3. Acreción en ambos lados de un espigón cuando se coloca al centro de una playa cóncava.</p>
<p>4. Acumulación de sedimento corriente arriba de un espigón.</p>
<p>5. Acumulación de material dentro de una zona de calma.</p>
<p>6. Acreción corriente arriba y erosión corriente abajo de un rompeolas con tómbolo en formación o completo (similar al tipo 1).</p>
<p>7. Cambios en la línea de costa corriente abajo de un rompeolas unido a un espigón.</p>

TABLA 4.- Esquemas de posibles tipos de evolución de la línea de costa (continuación)

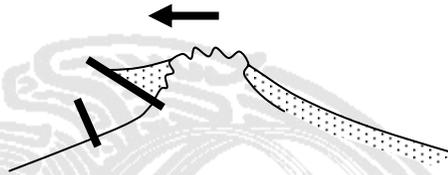
8. Formación de una línea de costa cóncava debido a la presencia de espigones o rompeolas.



9. Erosión al pie de un rompeolas provocada por reflexión.



10. Acumulación de sedimento corriente arriba de una estructura construida cerca del extremo de una playa.



11. Erosión local cerca de estructuras de protección



[1] Las zonas punteadas indican acreción y las achuradas erosión

[2] Vistas en planta

H. BIBLIOGRAFÍA

Horikawa, K., *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*, Universidad de Tokio, Japón (1988)

Jonson, D., *Shore Proceses and Shoreline Development*, Ed. Wiley, Nueva York, EUA (1919)

Shepard, F., *Thirty-five Thousand Years of Sea Level, Essays in Marine Geology*, Universidad del Sur de California, EUA (1963)

Tanaka, N. y Goda, Y., *Conference on Guidelines for Shore Preotection and Coastal Development*, San Juan Ixhuatepec, México (1995)

US Army Corps of Engineers, *Coastal Engineering Manual*, Washington, EUA (2001)

Van Rijn, L., *Principles of Coastal Morphology*, Aqua Publications, Amsterdam, Holanda (1998)