

LIBRO: **PRY. PROYECTO**
TEMA: **PUE. Puertos**
PARTE: **1. ESTUDIOS**
TÍTULO: 07. Estudios de Transporte Litoral
CAPÍTULO: 005. *Determinación del Estado Morfodinámico de las Playas*

A. CONTENIDO

Este Manual contiene los procedimientos para determinar el estado morfodinámico de las playas, necesario para la elaboración del estudio de transporte litoral para puertos, que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios y que se indica en la Fracción E.4. de la Norma N·PRY·CAR·1·07·001, *Ejecución de Estudios de Transporte Litoral*.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

El estado morfodinámico de una playa es la descripción de la forma que el perfil de ésta adquiere como consecuencia de la interacción agua-sedimento.

Existen 6 estados tipo para las playas, 2 límites y 4 intermedios, mismos que se designan de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1 de este Manual.

TABLA 1.- Tipología de los estados morfodinámicos

Estado	Nomenclatura
Disipativo	D
Barra longitudinal y valle	LBT
Barra y playa rítmica	RBB
Barra transversal y corriente de retorno	TBR
Terrazas Mareales	RR o LTT
Reflejante	R

El estado modal se define como aquel estado en el que una playa se encuentra con mayor frecuencia. La movilidad de una playa se define como el rango de variación alrededor del estado modal.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las Normas N·PRY·PUE·1·07·001, *Ejecución de Estudios de Transporte Litoral* y N·PRY·PUE·1·01·001, *Estudios Topográficos y Batimétricos* y los Manuales M·PRY·PUE·1·07·002, *Reconocimiento de Zonas Costeras* y M·PRY·PUE·1·07·006, *Determinación del Perfil de Equilibrio*.

D. REQUISITOS

Antes de efectuar la determinación del estado morfodinámico de la playa, se contará con la siguiente información:

- D.1.** El reconocimiento de la playa bajo estudio, efectuado de acuerdo con lo indicado en el Manual, M-PRY-PUE 1-07-002, *Reconocimiento de Zonas Costeras*.
- D.2.** Los estudios topográficos y batimétricos, que contengan el levantamiento topobatimétrico realizado con posterioridad a la última modificación física de la zona en estudio y si no ha habido acciones antropogénicas, el más reciente que exista, donde se muestre la planta general y los planos de secciones, con el propósito de conocer la configuración del fondo marino en la zona en la que se realizará la obra. Lo ideal es que el estudio topobatimétrico no tenga más de un año de realizado.
- D.3.** Los estudios de oleaje que contengan la dirección, altura de ola significativa (H), y periodo (T) del oleaje significativo y altura de ola media cuadrática, que permitan calcular la frecuencia angular del oleaje incidente (σ). Es necesario realizar un estudio de propagación de oleaje desde aguas profundas hasta la costa y definir el régimen estacional y anual del oleaje, en el que se incluirá, además de los parámetros ya mencionados, la frecuencia del oleaje y su relación con diferentes rangos de altura y diferentes periodos del oleaje, todo ello basado en mediciones directas del sitio de estudio y, de no ser posible, el régimen estacional y anual del oleaje se obtendrá a partir de fuentes de información confiables y cuyos datos estén actualizados.

E. CÁLCULOS PREVIOS

Antes de efectuar la determinación del estado morfodinámico de una playa, se realizarán los siguientes cálculos, de acuerdo con los métodos indicados a continuación:

E.1. MEDICIÓN DEL PERFIL DE LA PLAYA (β)

Las mediciones del perfil de la playa se realizarán como se indica en la Norma N-PRY-PUE-1-01-001, *Estudios Topográficos y Batimétricos*, con la mayor precisión posible, utilizando alguno de los equipos descritos en el Tabla 2 de este Manual.

E.1.1. Métodos tradicionales (medición directa)

Dentro de estos métodos se encuentra la medición por medio de estadal y tránsito, donde la profundidad de un punto se determina como la diferencia de niveles entre el punto donde se mide y un punto en la playa donde se conoce la altura. Se puede utilizar la triangulación para determinar las coordenadas de los puntos que se están midiendo.

Dentro de los inconvenientes de este método está la limitación por efectos del oleaje, ya que la altura máxima de ola en rotura en la que se puede medir es de 1,5 m.

También se pueden utilizar datos obtenidos de satélite o radares para obtener el perfil de una playa, aunque en tal caso el grado de precisión es bajo, sin embargo da una idea general de la evolución de un perfil en el tiempo o después de un evento climático importante.

E.1.2. Otros métodos

Además de los métodos tradicionales para la medición de los perfiles de playa, se puede usar alguno de los siguientes métodos, los cuales ofrecen muy buenos resultados. Las características generales de dichos métodos se muestran en la Tabla 2 de este Manual.

E.1.2.1. Ecosonda

Es un dispositivo de medición directa destinado a determinar la profundidad de las aguas marinas mediante la reflexión de ondas sónicas o ultrasónicas en el fondo del mar y midiendo el tiempo que tarda en viajar la onda.

Los estudios con ecosonda se realizarán bajo condiciones normales de oleaje.

E.1.2.2. CRAB (Coastal Research Amphibious Buggy)

Es un vehículo autopropulsado, que por medio de un sistema láser, puede realizar un estudio de campo; este vehículo recorre por debajo del agua el perfil de la playa y realiza las mediciones, necesitando como dato inicial el nivel de agua en el cual se encuentra.

E.1.2.3. Trineo de mar

La diferencia entre el trineo de mar y el CRAB es el sistema de propulsión, ya que el primero requiere ser remolcado (ya sea por un bote o camioneta) y el segundo es autónomo.

E.1.2.4. Perfilador hidrostático

Este perfilador consiste en un tubo largo (generalmente de 600 m), lleno de aceite, que se extiende desde la playa hasta un trineo localizado en el lugar de medición. Un medidor de presión que se localiza en el trineo pesa la columna vertical de aceite desde la playa hasta el lugar donde se encuentra éste, la cual puede ser asociada a la diferencia de elevaciones; este sistema no es muy utilizado debido a las limitaciones inherentes a su comportamiento, como son su sensibilidad a la presión ejercida por el oleaje y a las corrientes.

TABLA 2.- Características de los métodos de medición de perfiles

Sistema	Requerimientos de operación				Precisión vertical		Precisión horizontal
	Personal requerido	Altura de ola m	Número de mediciones	Perfiles por día	Promedio de la diferencia con respecto a la media cm	Envolvente media vertical cm	Distancia media m
Ecosonda	4	< 1	6 (5)*	16	9 (6)*	31 (20)*	1,3
CRAB	2	< 2	5	7	2	5	0,4
Trineo marino	3 a 4	< 1	5	9	1	3	1,6
Perfilador hidrostático	2 a 3	< 1	4	3	3	7	3,6

[*] Basados en registros análogos, todos los otros datos están basados en registros digitales

E.1.3. Resultados

Se reporta como resultado de la medición del perfil del fondo de una playa, en grados, su pendiente β , calculada con la siguiente expresión:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{h_f - h_i}{X_f - X_i} \right)$$

Donde:

h_f = Profundidad de cierre, (m)

h_i = Nivel medio del mar, (generalmente se asume 0 m) (m)

X_f = Longitud máxima, corresponde a h_f , (m)

X_i = Longitud mínima, corresponde a h_i , (m)

Se recomienda realizar transectos dentro de un rango de 25 a 500 m, dependiendo de la profundidad del estudio, de la homogeneidad y extensión de la costa, de los recursos técnicos (instrumentos GPS, DGPS, tránsito, estaciones totales) así como de los humanos. En todos los casos, la separación de los transectos estará plenamente justificada ante la Secretaría; las mediciones se empezarán al inicio de la duna y culminarán en la profundidad de cierre señalada en la Fracción E.2. del Manual M-PRY-PUE-1-07-006, *Determinación del Perfil de Equilibrio*, pero la pendiente de la playa se obtiene entre el nivel cero (NMM) y la profundidad de cierre. Para cada transecto se obtendrá su pendiente y la pendiente de la playa se define como el promedio aritmético de las pendientes de todos los transectos; esta pendiente promedio es la que se utiliza en la ecuación de la Fracción E.2. de este Manual.

E.2. CÁLCULO DEL PARÁMETRO DE ESCALA DE ROMPIENTE

Se calcula el parámetro de escala de rompiente ε , de acuerdo con lo indicado a continuación:

$$\varepsilon = \frac{a\sigma^2}{g \cdot \tan^2 \beta} = \frac{\pi}{I_r^2}$$

Donde:

- ε = Parámetro de escala de rompiente, (adimensional)
- a = Amplitud del oleaje incidente, (m)
- g = Aceleración debida a la fuerza de gravedad, (m/s²)
- σ = Frecuencia angular del oleaje incidente, (1/s) ($\sigma=2\pi/T$)
- I_r = Número de Iribarren, (adimensional) el cual se obtiene con la fórmula:

$$I_r = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{2a}{L}}}$$

- L = Longitud de ola asociada al periodo, T , y la mayor profundidad medida en la zona de estudio, (m)
- β = Pendiente de la playa, (grados)

F. PROCEDIMIENTO

El procedimiento para describir y definir las playas en función de los estados citados en la Cláusula B. de este Manual, es el siguiente.

Con base en toda la información hasta entonces recopilada y considerando las características de los estados morfodinámicos tipo descritos, se hace una comparación buscando el estado que mejor se apegue a las condiciones de la zona en estudio, el cual se considerará como representativo de dicha zona. El conocimiento de dicho estado facilitará la comprensión del comportamiento de la playa ante la construcción de nuevas estructuras como rompeolas o muelles y su tendencia de variación anual y con ello determinar si la playa es apropiada para desarrollos turísticos o industriales.

Las características principales de los estados morfodinámicos tipo son:

F.1. PLAYA DISIPATIVA (D)

Como la mostrada en la Figura 1, donde sus principales características son:

- Perfil muy tendido ($\tan \beta \approx 0,01 - 0,02$)
- Valores de ε mayores a 20, las olas rompen en descrestamiento y en voluta.

- Disipación progresiva de la energía del oleaje a lo largo del perfil.
- Pendiente cóncava, muy suave y muy ancha con una o varias barras longitudinales.
- Talud de perfil cóncavo, coronado por una berma por donde las olas, después de romper, ascienden y descienden.

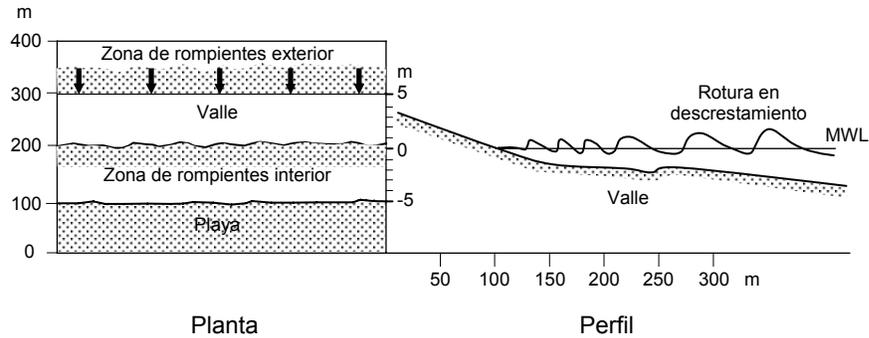


FIGURA 1.- Playa disipativa (D), estado morfodinámico límite

F.2. PLAYA REFLEJANTE (R)

Como la mostrada en la Figura 2, donde sus principales características son:

- Pendiente elevada ($\tan \beta \approx 0,1 - 0,2$)
- Valores de ε menores a 3, las olas rompen en colapso u oscilación enfrente de la playa.
- Pendiente suave y material muy fino desde el punto de rotura hacia el mar.
- Talud muy rígido con material grueso, localizado en el punto de rotura de la ola incidente y coronado por una berma.
- Pueden producirse corrientes de retorno fuertes asociadas a los límites de las playas por cabos y espigones, si es el caso se presenta gran erosión.

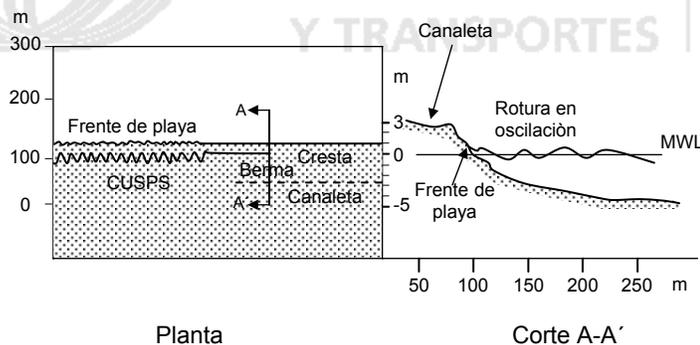


FIGURA 2.- Playa reflejante (R), estado morfodinámico límite

F.3. PERFILES INTERMEDIOS

Los cuatro estados intermedios se muestran en las Figuras 3, 4, 5 y 6 de este Manual; cada estado presenta una morfología compleja y poseen elementos tanto del estado disipativo como del reflejante. En general las playas intermedias pueden pertenecer a más de un estado dependiendo del oleaje que actúa sobre ellas.

Dichos estados presentan las siguientes características generales:

- Formas de playa muy variadas en tipos y tamaños, se pueden presentar sistemas de barras, barras creciendo y sistemas rítmicos de barras cruzadas por corriente de retorno.

- Las barras que se presentan protegen la playa del oleaje, por lo que en general, se presentan dos comportamientos, uno externo disipativo (asociado en general a la bajamar) y otro interno reflejante (asociado a la pleamar).
- Una característica fundamental es la existencia de un canal paralelo a la playa que encauza el flujo de retorno hacia los puntos de salida donde se establecen las corrientes de retorno.
- Las olas rompen bajo la acción de las diversas formas de barra, y se reorganizan en nuevas olas con periodos del orden de la mitad del original, las cuales al alcanzar el talud interno de la playa, se reflejan produciendo una onda estacionaria. Este fenómeno trae consigo la creación de formas arqueadas en el talud interior.

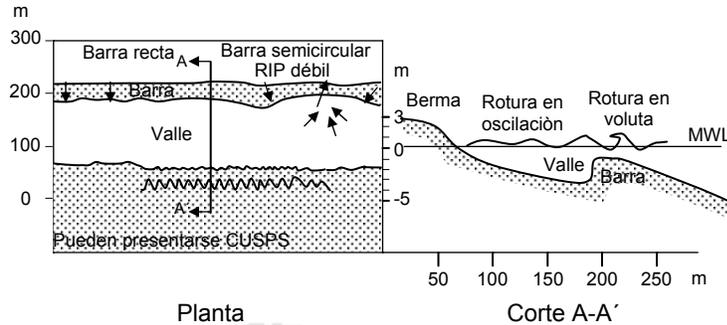


FIGURA 3.- Barra longitudinal y valle (LBT), estado intermedio

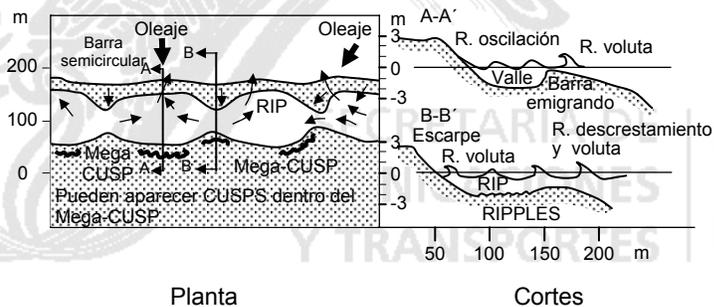


FIGURA 4.- Barras y playas rítmicas (RBB), estado intermedio

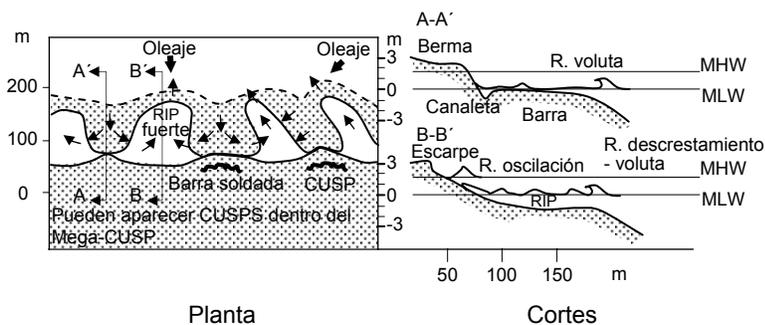


FIGURA 5.- Barra transversal y RIP (corriente de retorno) (TBR), estado intermedio

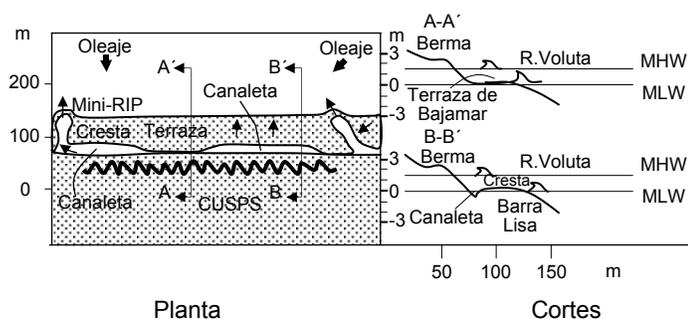


FIGURA 6.- Terrazas mareales (RR o LTT), estado intermedio

G. BIBLIOGRAFÍA

Birkemeier, W., *Field data on seaward limit of profile change*, Journal of Waterways, Port and Oceanic Eng. Vol. 111 ASCE (1985)

Bruun, P., *Coast Erosion and the Development of Beach Profiles*, Journal of Waterways Experiment Station, Vol. 44 ASCE (1954)

Dean, R., *Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf Coasts*, Newark, Universidad de Delaware, EUA, (1977)

Dean, R., *Coastal sediment processes: toward engineering solutions*, Coastal Sediments, Vol. 1 ASCE (1987)

Hallermieier, R., *Uses for a calculated limit depth to beach erosion*, Proc. 16th Coastal Eng. Conference, ASCE (1978)

Hanson, H. y K., N., *Seawall boundary condition in numerical models of shoreline change*, US Army EUA (1986)

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

Huntley, D., *Beach cusps and edge waves*, Proc. 16th Coastal Eng. Conference, ASCE (1978)

Kriebel, D., Kraus, N. y Larson, N., *Engineering Methods for Predicting Beach Profile Response*, Proc. of Conf. on Coastal Sediments, ASCE (1991)