

LIBRO: PRY. PROYECTO
TEMA: PUE. Puertos
PARTE: 1. ESTUDIOS
TÍTULO: 07. Estudios de Transporte Litoral
CAPÍTULO: 009. Estimación del Relleno de Playas para Modificar su Perfil

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para estimar el tipo y la cantidad de material de relleno requerido para modificar el perfil de una playa, necesario para la elaboración del estudio de relleno de playas artificiales para puertos, que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios y que se indica en la Fracción E.8. de la Norma N·PRY·PUE·1·07·001, *Ejecución de Estudios de Transporte Litoral*.

B. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Estudios de Transporte Litoral	N·PRY·PUE·1·07·001
Caracterización Mineralógica y Granulométrica de los Sedimentos	M·PRY·PUE·1·07·003
Determinación del Perfil de Equilibrio	M·PRY·PUE·1·07·006

C. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

El relleno de playas para modificar su perfil, consiste en la disposición artificial de material selecto sobre una playa ya existente para darle la forma deseada y hacer el perfil más estable.

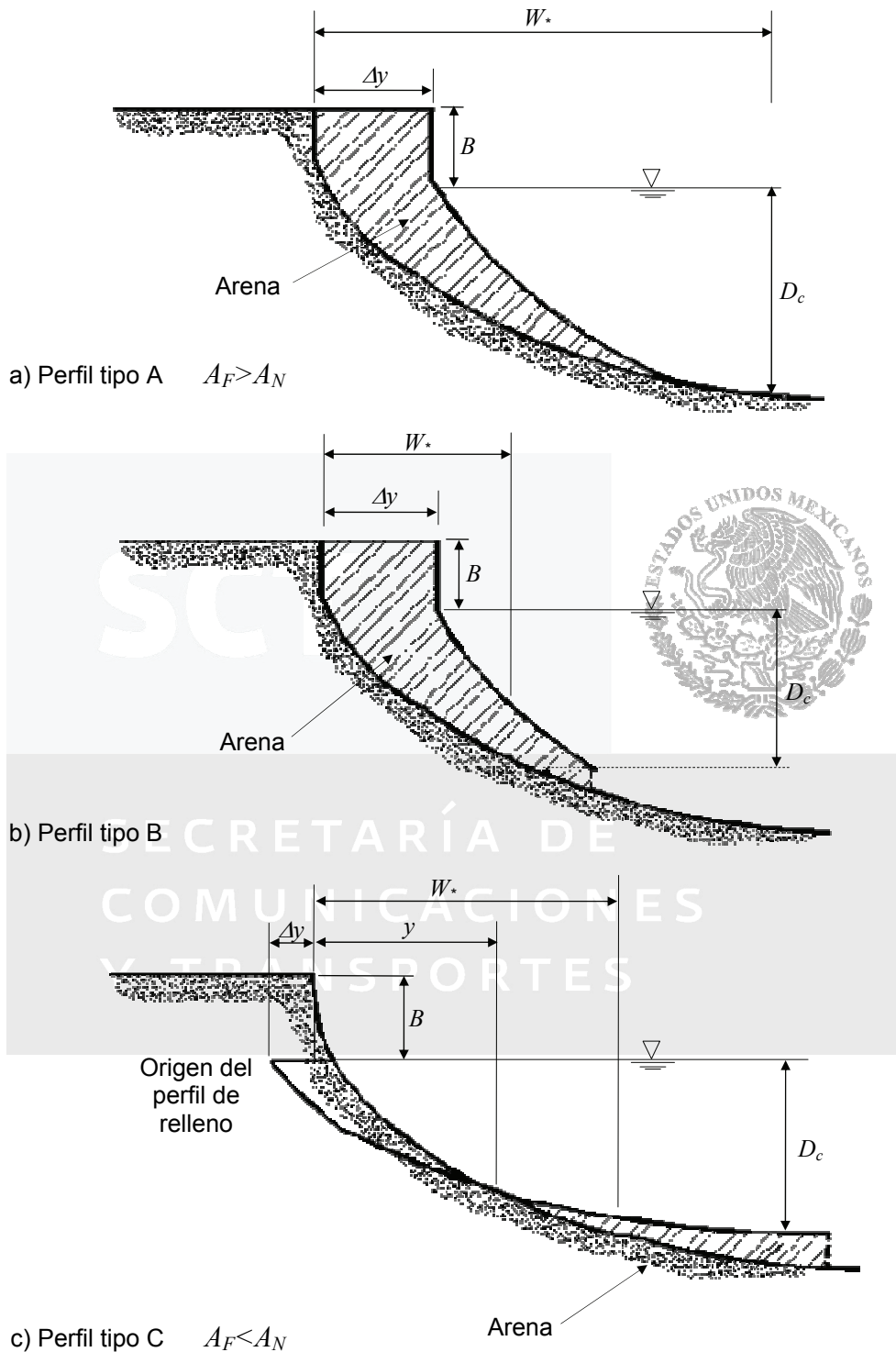
Existen 3 tipos de perfiles que se pueden presentar en un relleno de playa, los cuales se muestran en la Figura 1 de este Manual. Estos son función de la cantidad de material adicionado y de la compatibilidad entre la arena nativa y la arena de relleno; dichos perfiles se denominan:

- Perfil tipo A
- Perfil tipo B
- Perfil tipo C

D. REQUISITOS

Antes de efectuar la determinación del relleno de una playa, se requiere contar con la siguiente información:

- D.1.** El diámetro representativo de la arena nativa de la playa, que se designará como D_N , y el diámetro de la arena de llenado, que se designará como D_F , expresados en mm y clasificados de acuerdo con lo indicado en el Manual M·PRY·PUE·1·07·003, *Caracterización Mineralógica y Granulométrica de los Sedimentos*.



Donde Δy es el avance de playa seca (m); B es la altura de la berma de la playa (m); y es la distancia del inicio de la playa hasta el punto donde se cruzan los perfiles (m); W^* es la distancia del inicio de la playa hasta la profundidad de inicio de movimiento de los sedimentos del perfil original y A_F , A_N y D_c tienen el significado indicado en la Fracción D.2. de este Manual.

FIGURA 1.- Tipos de perfiles de relleno

- D.2.** El parámetro de escala para el material de relleno, que se designará como A_F , y el parámetro de escala de la arena nativa, que se designará como A_N , expresados en $m^{1/3}$, además de la profundidad de inicio de movimiento de la playa nativa D_c , expresada en m, todo ello estimado de acuerdo con lo indicado en el Manual, M·PRY·PUE 1·07·006, *Determinación del Perfil de Equilibrio*.

E. MÉTODO PARA ESTIMAR EL RELLENO DE PLAYAS

Para el diseño de proyectos de relleno de playas es importante estimar el ancho de la playa seca una vez alcanzado el perfil de equilibrio. Con el relleno artificial de playas aumenta la anchura de la playa seca de una playa determinada.

Este método se realiza agregando arena de otro lugar, con características físicas distintas (diámetro medio), por lo que el perfil de equilibrio que alcanzará la playa con el relleno artificial será diferente al perfil de la playa original.

El comportamiento de la playa artificial es función de la compatibilidad que exista entre la arena nativa y la arena de relleno. Con base en los conceptos de los perfiles de playa establecidos en el Manual M·PRY·PUE·1·07·006, *Determinación del Perfil de Equilibrio*, se espera que un perfil compuesto con arenas gruesas adquiera una pendiente mayor que un perfil compuesto por arena fina, por lo cual se necesitará menos arena si es gruesa que si es fina para obtener un determinado ancho de playa; de igual forma, para generar un perfil tipo A, se requerirá que la arena que se adiciona a la playa sea más gruesa que la nativa, aunque esta condición no garantiza este tipo de perfil ya que la intersección puede darse más allá de la profundidad de inicio de movimiento. Por su parte, los perfiles tipo C y tipo B, ocurren cuando el diámetro de la arena de relleno es igual que el de la arena nativa o menor.

E.1. RELACIONES CUANTITATIVAS PARA EL RELLENO DE PLAYAS

Antes de efectuar la determinación del tipo y cantidad de material de relleno requerido, en función de los tipos de perfiles que se pueden presentar al efectuar el relleno de una playa, se requiere definir las siguientes relaciones:

E.1.1. Obtención del parámetro A'

$$A' = \frac{A_F}{A_N}$$

Donde:

A' = Relación de parámetros de escala de las arenas

A_F y A_N tienen el significado indicado en la Cláusula D. de este Manual.

E.1.2. Obtención del parámetro B'

$$B' = \frac{B}{D_c}$$

Donde:

B' = Relación de la altura de la berma y la profundidad de cierre

B = Altura de la berma de la playa (altura de la duna medida desde el NMM de la playa nativa, (m)

D_c tiene el significado indicado en la Cláusula D. de este Manual.

E.1.3. Obtención del parámetro $\Delta y'$

$$\Delta y' = \frac{\Delta y}{W_*}$$

Donde:

$\Delta y'$ = Longitud adimensional de playa seca

Δy = Longitud de playa obtenida, (m)

E.1.4. Obtención del parámetro W_*

W_* = parámetro determinado con la siguiente expresión:

$$W_* = \left(\frac{D_c}{A_N} \right)^{3/2}$$

Donde:

D_c y A_N tienen el significado indicado en la Cláusula D. de este Manual.

E.1.5. Obtención del parámetro V'

$$V' = \frac{V}{B \times W_*}$$

Donde:

V' = Relación de volúmenes (adimensional)

V = Volumen adicionado por unidad de longitud, (m^3/m) (este valor es dato del proyecto)

B tiene el significado indicado en el Inciso E.1.2. de este Manual, y W_* tiene el significado indicado en el Inciso anterior.



E.2. VOLÚMENES PARA EL RELLENO DE PLAYAS

E.2.1. Relación para determinar si los perfiles son tipo A o tipo B

La relación que gobierna la condición para que se presenten perfiles tipo A o tipo B es:

$$C = \Delta y' + \left(\frac{I}{A'} \right)^{3/2} - I \begin{cases} < 0 & \text{perfiles Tipo A} \\ > 0 & \text{perfiles Tipo B} \end{cases}$$

Donde:

C = parámetro de comparación

A' tiene el significado indicado en el Inciso E.1.1., y $\Delta y'$ el significado indicado en el Inciso E.1.3. de este Manual.

Si el parámetro C es menor de cero, los dos perfiles se cruzarán como el perfil tipo A de la Figura 1; si es mayor de cero, los perfiles no se cruzarán antes de la profundidad de inicio de movimiento del sedimento, como se muestra en el perfil tipo B de la misma Figura.

E.2.2. Volumen crítico de arena que limita un perfil de otro

E.2.2.1. Volumen crítico de arena cuando $A' > 1$

El volumen crítico de arena cuando $A' > 1$ que limita un perfil de otro es:

$$V'_{C1} = \left(1 + \frac{3}{5B'}\right) \left[1 - \left(\frac{1}{A'}\right)^{3/2}\right]$$

Donde:

V'_{C1} = Volumen crítico (adimensional)

A' tiene el significado indicado en el Inciso E.1.1. y B' el significado indicado en el Inciso E.1.2. de este Manual.

Esta ecuación sólo aplica si $A' > 1$, porque para $A' < 1$ son perfiles tipo B. Si $A' > 1$, pero si $V' > V'_{C1}$, son perfiles tipo B.

E.2.2.2. Volumen crítico de arena cuando $A' < 1$

El volumen crítico de arena que justamente provoca un desplazamiento de la línea de costa para esta condición, se denota como V'_{C2} y se calcula como:

$$V'_{C2} = \frac{3}{5B'} \left(\frac{1}{A'}\right)^{3/2} \left(\frac{1}{A'} - 1\right)$$

Donde:

V'_{C2} = Volumen crítico de arena que provoca un desplazamiento de la línea de costa, (adimensional)

A' tiene el significado indicado en el Inciso E.1.1. y B' el significado indicado en el Inciso E.1.2. de este Manual.

E.2.3. Volúmenes adimensionales de arena para obtener un avance $\Delta y'$

E.2.3.1. Perfiles tipo A

Para perfiles tipo A, el volumen que se requiere para crear un desplazamiento $\Delta y'$ es:

$$V'_1 = \Delta y' + \frac{3}{5B'} (\Delta y')^{5/3} \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{1}{A'}\right)^{3/2}\right]^{2/3}}$$

Donde:

V'_1 = Volumen requerido para crear un desplazamiento $\Delta y'$, (adimensional)

A' , B' y $\Delta y'$ tienen el significado indicado en los Incisos E.1.1., E.1.2., y E.1.3., respectivamente. Esta ecuación sólo es aplicable cuando $A_F > A_N$, como se esquematiza en la sección a) de la Figura 1.

E.2.3.2. Perfiles tipo B

Para un perfil tipo B, el volumen que se necesita adicionar para un desplazamiento $\Delta y'$ es:

$$V_2' = \Delta y' + \frac{3}{5B'} \left\{ \left[\Delta y' + \left(\frac{1}{A'} \right)^{3/2} \right]^{5/3} - \left(\frac{1}{A'} \right)^{3/2} \right\}$$

Donde:

V_2' = Volumen requerido para crear un desplazamiento $\Delta y'$, (adimensional)

A' , B' y $\Delta y'$ tienen el significado indicado en los Incisos E.1.1., E.1.2., y E.1.3., respectivamente. Esta ecuación solo es aplicable cuando $A_F < A_N$, como se esquematiza en la sección b) de la Figura 1.

E.2.3.3. Perfiles tipo C

Para perfiles tipo C se tiene

$$\frac{\Delta y'}{y_1} = 1 - \left(\frac{1}{A'} \right)^{3/2}$$

Y el volumen de sedimento que se adicionará es:

$$V_3' = \frac{3}{5B'} \left\{ \left[\Delta y' + \left(\frac{1}{A'} \right)^{3/2} \right]^{5/3} + \frac{(-\Delta y')^{5/3}}{\left[\left(\frac{1}{A'} \right)^{3/2} - 1 \right]^{2/3}} - \left(\frac{1}{A'} \right)^{3/2} \right\}$$

Donde:

V_3' = Volumen requerido para crear un desplazamiento $\Delta y'$, (adimensional)

A' , B' y $\Delta y'$ tienen el significado indicado en los Incisos E.1.1., E.1.2., y E.1.3., respectivamente.

E.3. EJEMPLO

Determinar el ancho adicional de playa seca (Δy) obtenido, debido al transporte perpendicular de sedimentos a partir de los siguientes datos: $D_N = 0,2$ mm, $D_F = 0,23$ mm, $B = 2$ m, $V = 400$ m³/m, $D_c = 8$ m.

Los parámetros de escala de sedimentos, tanto para la arena nativa como para la arena de relleno, que se obtienen como se indica en el Manual M·PRY·PUE·1·07·006, *Determinación del Perfil de Equilibrio*, son $A_N = 0,1 \text{ m}^{1/3}$ y $A_F = 0,11 \text{ m}^{1/3}$.

Aplicando las ecuaciones de los Incisos E.1.1., E.1.2., E.1.4. y E.1.5., se obtienen las relaciones:

$$A' = \frac{A_F}{A_N} = \frac{0,11 \text{ m}^{1/3}}{0,1 \text{ m}^{1/3}} = 1,1$$

$$B' = \frac{2 \text{ m}}{8 \text{ m}} = 0,25$$

$$W_* = \left(\frac{D_C}{A_N} \right)^{3/2} = \left(\frac{8 \text{ m}}{0,1 \text{ m}^{1/3}} \right)^{3/2} = 716 \text{ m}$$

$$V' = \frac{V}{B \times W_*} = \frac{400 \text{ m}^3 / \text{m}}{2 \text{ m} \times 716 \text{ m}} = 0,28$$

Aplicando la ecuación del Párrafo E.2.2.1. para determinar si el perfil es del tipo A o es un perfil del tipo B, se obtiene:

$$V'_{Cl} = \left(1 + \frac{3}{5B'} \right) \left[1 - \left(\frac{I}{A'} \right)^{3/2} \right]$$

$$V'_{Cl} = \left(1 + \frac{3}{5 \times 0,25} \right) \left[1 - \left(\frac{I}{1,1} \right)^{3/2} \right] = 0,45$$

como $V' < V'_{Cl}$ la solución es un perfil del tipo A, por lo tanto, al aplicar la ecuación del Párrafo E.2.3.1. y resolviendo $\Delta y'$ por un método iterativo, se obtiene:

$$V'_l = \Delta y' + \frac{3}{5B'} (\Delta y')^{5/3} \frac{I}{\left[1 - \left(\frac{I}{A'} \right)^{3/2} \right]^{2/3}}$$

$$0,28 = \Delta y' + 9,20 (\Delta y')^{5/3}$$

$$\Delta y' = 0,0955$$

Al aplicar la ecuación del Inciso E.1.3. se obtiene el valor de la playa seca que se gana:

$$\Delta y' = \frac{\Delta y}{W_*}$$

$$\Delta y = \Delta y' \times W_* = 0,0955 \times 716 \text{ m}$$

$$\Delta y = 68,4$$

Para calcular el punto de intersección de los dos perfiles (y_I , h_I) se utilizan las ecuaciones

$$h_I = A_N y_I^{2/3}$$

$$A_N y_I^{2/3} = A_F (y_I - \Delta y)^{2/3}$$

$$y_I = \frac{\Delta y \left(\frac{A_F}{A_N} \right)^{3/2}}{\left(\frac{A_F}{A_N} \right)^{2/3} - 1} = \frac{68,4(1,1)^{3/2}}{(1,1)^{2/3} - 1} = 513\text{m}$$

$$h_I = A_N y_I^{2/3} = 6,41\text{m}$$

La Figura 2 presenta los resultados obtenidos.

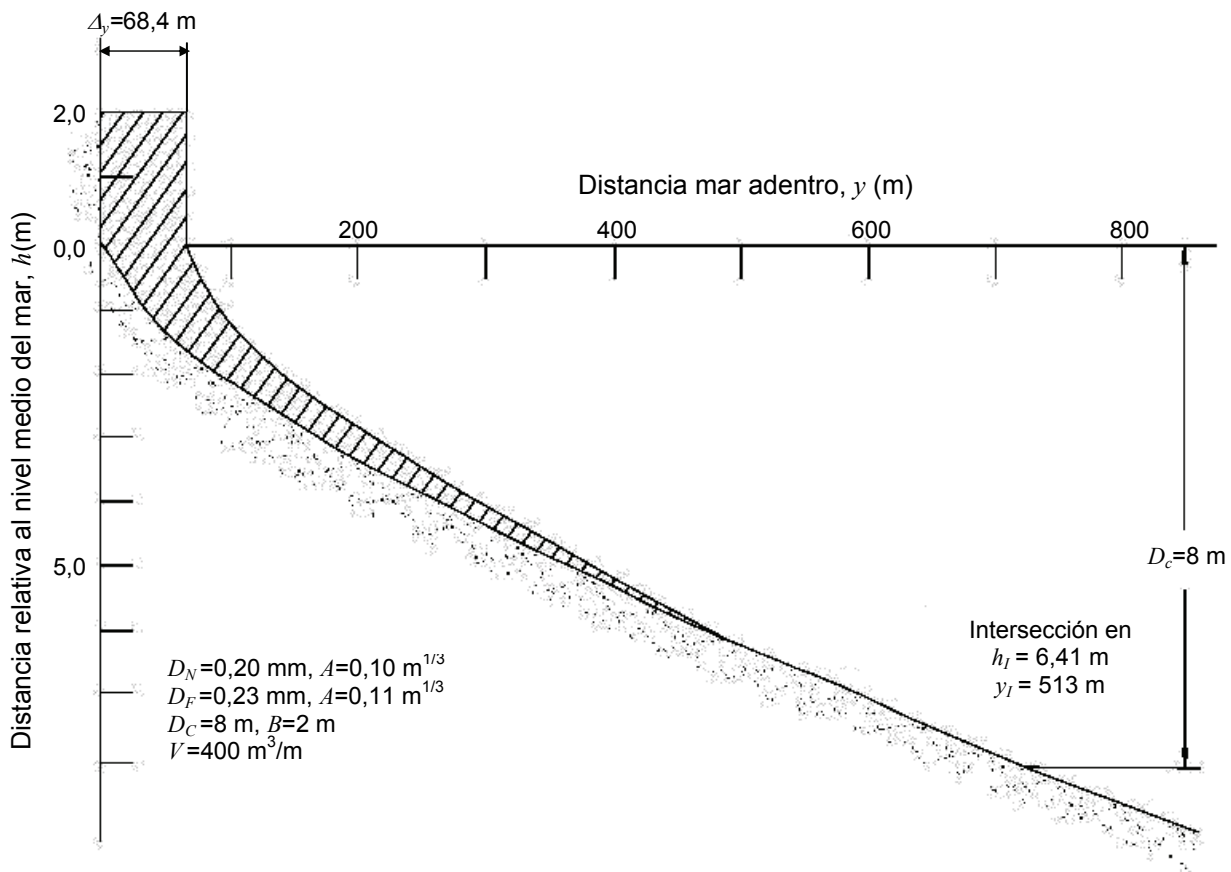


FIGURA 2.- Relleno de playa con una arena más gruesa que la original, (perfiles tipo A)

F. BIBLIOGRAFÍA

Dean, R., *Equilibrium beach profiles: Characteristics and Applications*, Journal of Coastal Research, Vol. 7, No 1, (1991)

US Army Corps of Eng., *Coastal Engineering Manual*, Parte III, Cap. III, Washington, EUA (2002)