

<b>LIBRO:</b>	<b>PRY. PROYECTO</b>
<b>TEMA:</b>	<b>PUE. Puertos</b>
<b>PARTE:</b>	<b>1. ESTUDIOS</b>
<b>TÍTULO:</b>	<b>07. Estudios de Transporte Litoral</b>
<b>CAPÍTULO:</b>	<b>004. Cuantificación del Transporte Litoral</b>

## **A. CONTENIDO**

Este Manual contiene los procedimientos para cuantificar el transporte litoral, tanto longitudinal como transversal a la línea de costa, 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 D.3. de la Norma N·PRY·CAR·1·07·001, *Ejecución de Estudios de Transporte Litoral*.

## **B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN**

El transporte de sedimento litoral es el movimiento y acarreo de partículas del material costero suspendidas en el agua y que comúnmente ocurre por la influencia combinada de procesos hidrodinámicos como el viento, el oleaje y las corrientes.

El transporte de sedimento más importante se presenta en la zona de rompientes donde las partículas son puestas en suspensión por la rotura del oleaje y luego transportadas por la corriente.

Según su tipo, el transporte litoral a que se refiere este Manual se clasifica como sigue:

### **B.1. TRANSPORTE PERPENDICULAR A LA LÍNEA DE COSTA**

El transporte perpendicular a la línea de costa incluye tanto el acarreo de partículas fuera de la playa, como sucede en las tormentas, como hacia la playa, que es el que se presenta en condiciones normales de oleaje y la mayor parte del año. El transporte en ambas direcciones difiere, principalmente, en la escala temporal, esto es, mientras que el transporte hacia afuera es más simple y rápido, el acarreo hacia la playa se produce en paquetes individuales de arena que generan ondulaciones en el fondo, éstas a su vez, causan un muy lento ensanchamiento de la playa seca.

El transporte perpendicular a la línea de costa es determinante en fenómenos como la respuesta de las playas y las dunas ante la ocurrencia de tormentas, el llenado artificial de playas con pendientes mayores a la de equilibrio, la respuesta de la línea de costa ante cambios del nivel medio del mar, cambios en la posición de la línea de costa y la socavación al pie de estructuras. La Figura 1 de este Manual presenta algunos problemas y procesos en los cuales el transporte perpendicular es relevante.

### **B.2. TRANSPORTE LONGITUDINAL A LA LÍNEA DE COSTA**

El transporte longitudinal es el movimiento de partículas a lo largo de la línea de costa. El oleaje rompiente combinado con patrones de corrientes horizontales y verticales genera dicho movimiento de partículas, el cual puede producir las siguientes formas:

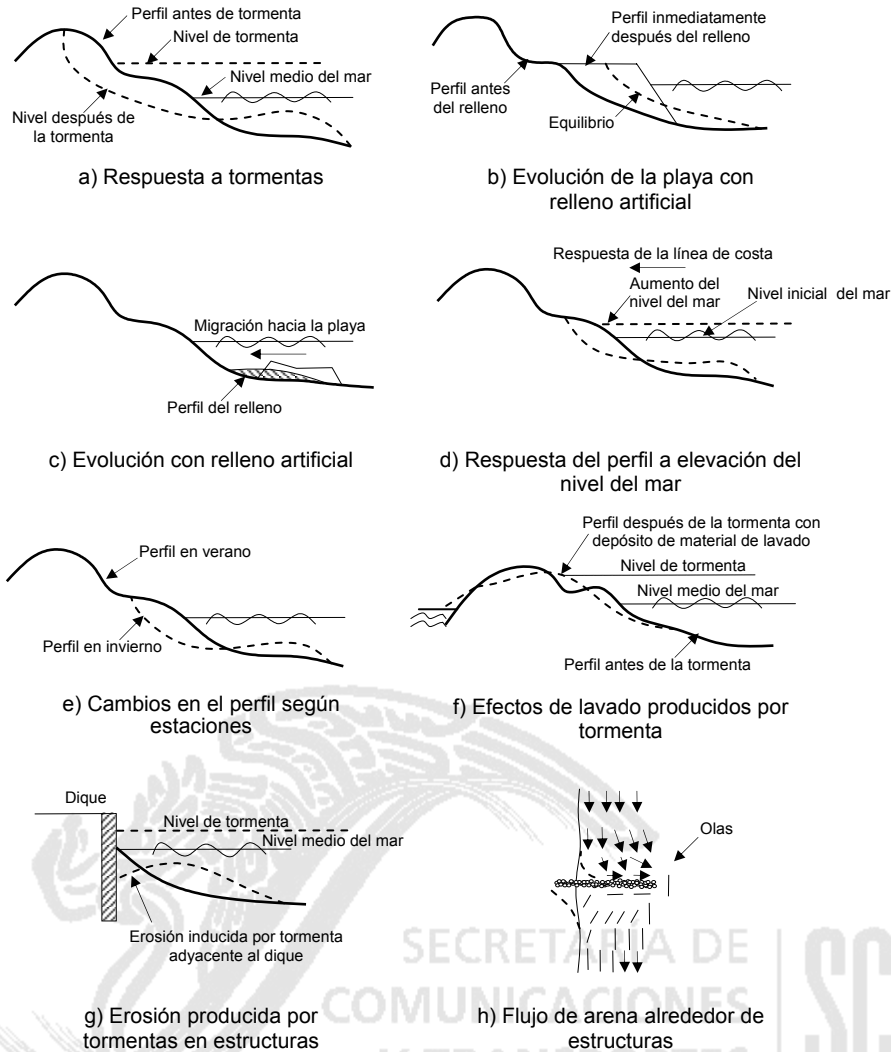


FIGURA 1.- Procesos en los que el transporte perpendicular es importante

**B.2.1.** Cuspate (*cusps*): Configuración cóncava y convexa de la línea de playa llamada cuspate; tienen generalmente los truchos de 10 a 60 m y se desarrollan continuamente para formar la cuspate de mayor longitud (de 100 a 1000 m), como se observa en la Figura 2.

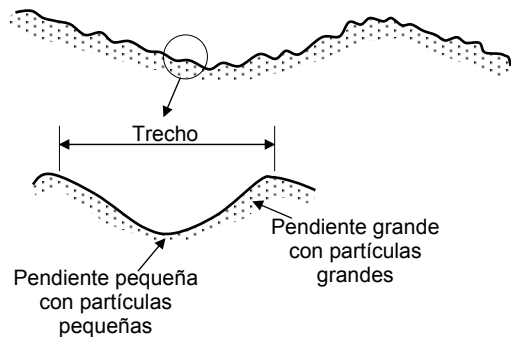


FIGURA 2.- Cuspate

**B.2.2.** Flecha y barrera: En la entrada de lagunas y desembocaduras de ríos grandes, a veces se presentan bancos de arena que son largos y delgados como se muestran en la Figura 3. Se llaman flechas aquellos que salen desde puntos extremos de tierra firme y barreras aquellos que no están unidos a tierra firme, es decir, en ambos extremos tienen una boca.

La barrera se forma inicialmente como la flecha formándose una sola boca en su extremo. Posteriormente durante una tormenta se rompe este banco de arena, con lo que se forma una segunda boca. Si ambas bocas son estables, queda permanentemente formada la barrera.

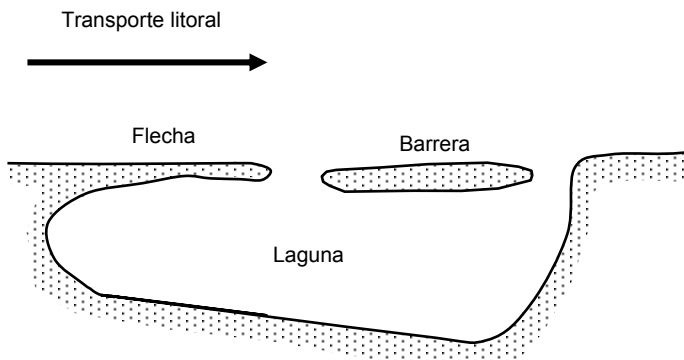


FIGURA 3.- Flecha y barrera

**B.2.3.** Tómbolo: Escolleras e islas apartadas de la costa disminuyen la altura de los oleajes que actúan sobre la playa atrás de ellas, por lo que los materiales granulares se acumulan en ese lugar para que esa línea de playa marche hacia el mar tomando una forma de lengua, como se aprecia en la Figura 4. Tal movimiento hacia el mar de la línea de la playa se conoce como tómbolo.

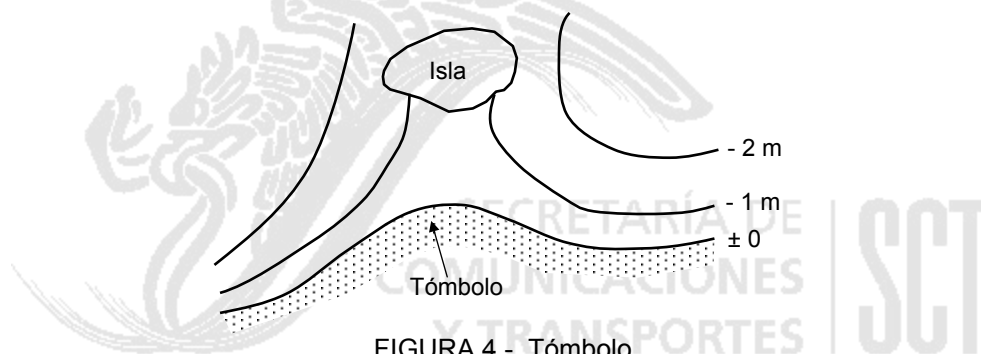


FIGURA 4.- Tómbolo

En la mayoría de los casos, el transporte longitudinal es en un sentido durante una época del año y en el otro el resto del año, por ello, el transporte neto debe calcularse como la diferencia entre ambos. Se deben hacer mediciones y cálculos por lo menos en cada estación y si es posible, en periodos mayores de un año.

### B.3. TRANSPORTE POR COMBINACIÓN DE OLEAJE Y CORRIENTE

Aunque los dos modos de transporte descritos anteriormente se llevan a cabo en presencia de corrientes, el motor principal del movimiento es el oleaje. Sin embargo, en condiciones de oleaje moderado, en el fondo tienden a formarse rizos y en los valles de dichos rizos se generan vórtices que levantan nubes de sedimento que son fácilmente removidas. Cuando el oleaje es más fuerte, el fondo adquiere una configuración plana y el sedimento es acarreado por un flujo casi laminar.

## C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las Normas aplicables de *Estudios de Oleaje*, de la Parte 1. *Estudios*, del Libro PRY. *Proyecto*, así como con la Norma N·PRY·PUE·1·07·001, *Ejecución de Estudios de Transporte Litoral* y los Manuales M·PRY·PUE·1·07·002, *Reconocimiento de Zonas Costeras*, M·PRY·PUE·1·07·003, *Caracterización Mineralógica y Granulométrica de los Sedimentos* y M·PRY·PUE·1·07·005, *Determinación del Estado Morfodinámico de Playas*.

## D. REQUISITOS

- D.1.** La caracterización del sedimento de la playa, efectuada de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-PUE-1-07-003, *Caracterización Mineralógica y Granulométrica de los Sedimentos*, que aporte los siguientes datos:
- El diámetro representativo del sedimento  $\bar{D}$ , en mm
  - Velocidad de caída del sedimento  $\omega_s$ , en m/s
  - Densidad relativa  $s$ , adimensional
- D.2.** Los estudios de oleaje que contengan o permitan calcular:
- Periodo de la ola significativa  $T$ , en s
  - Altura de la ola de rotura  $H_B$ , en m
  - Altura de la ola en aguas profundas  $H_0$ , en m
  - Profundidad de rotura, en m
- D.3.** El perfil de la playa bajo estudio, calculado de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-PUE-1-07-005, *Determinación del Estado Morfodinámico de Playas*, que permita conocer su pendiente del fondo  $\beta$ , expresada en grados.

## E. PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA CUANTIFICACIÓN

Para determinar el transporte litoral en la zona de estudio, el procedimiento es el siguiente:

- E.1.** Se requiere de la observación del sitio de estudio y del análisis de la evolución de la línea de playa en diferentes años; la ejecución de estas actividades se realizará de acuerdo con lo indicado en el Manual M-PRY-PUE-1-07-002, *Reconocimiento de Zonas Costeras*.
- E.2.** Con base en los requisitos que se señalan en la Cláusula D. de este Manual, definir de acuerdo con lo establecido en la Cláusula B., el o los tipos de transporte que se presentan en el área bajo estudio, mismos que deberán ser cuantificados.
- E.3.** Para cada tipo de transporte identificado se seleccionará la formulación que más se apegue, según el rango de verificación experimental, a las condiciones de la zona de estudio, es decir, se comprobará que los datos de la condición experimental en que se basa cada una de las expresiones, sean lo más parecidos a las condiciones reales del sitio de estudio detectadas de acuerdo con la Fracción E.1. de este Manual, teniendo en cuenta que si el Ingeniero o Contratista de Servicios a cuyo cargo esté la ejecución del estudio de transporte litoral considera que de acuerdo con las características particulares de la zona no aplicara ninguna de las formulaciones indicadas en este Manual, deberá seleccionar el procedimiento que a su juicio considere el más apropiado, previa autorización de la Secretaría, indicando en el informe la justificación de tal decisión.

### E.3.1. Transporte perpendicular a la línea de costa

En la Tabla 1 de este Manual se enlistan las formulaciones más comunes para determinar el transporte transversal.

### E.3.2. Transporte longitudinal

En la Tabla 2 de este Manual se enlistan las formulaciones más usuales para determinar el transporte longitudinal.

**E.3.3. Transporte por combinación de oleaje y corriente**

En la Tabla 3 se presentan algunas formulaciones para determinar el transporte en estas condiciones.

**E.4.** Una vez seleccionada la formulación más adecuada para cada tipo de transporte y de acuerdo con el caso particular bajo estudio, se procederá a ejecutarla y se obtendrá así el valor de la tasa de transporte.

En el caso de que más de una formulación sea aplicable, se debe calcular la tasa con cada una y el resultado será la tasa más desfavorable para el proyecto. Si el proyecto intenta acumular o atrapar arena, lo deseable es un gasto de transporte alto, en ese caso el escenario desfavorable es un transporte pequeño.

**TABLA 1.- Formulaciones para determinar el transporte perpendicular a la línea de costa**

Formulación de:	Condición experimental y parámetros		Ecuación
Madsen y Grant (1976)	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,15 - 2,82 mm	$\frac{\bar{q}}{\omega_f d} = 12,5 \Psi_m^3$
	Densidad relativa $s$	2,23 - 2,65	
	Parámetro de Shields	0,04 - 0,6	
	Fondo	horizontal	
Sleath (1978)	Diámetro representativo del sedimento $d$	1,89 - 4,24 mm	$\frac{\bar{q}}{\sigma d^2} = 47(\Psi_m - \Psi_c)^{1,5}$
	Densidad relativa $s$	1,14 - 2,61	
	Parámetro de Shields	< 0,6	
	Fondo	horizontal	
Sunamura et al. (1978)	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,2 mm	$\frac{q_{net}}{(u_m - u_c)d_0} = 2,1 \times 10^{-6} \left( \frac{u_m d_0}{v} \right)^{0,422}$
	Densidad relativa $s$	2,65	
	Profundidad	10 - 14 cm	
	Altura de ola	4,6 - 7,4 cm	
	Periodo	0,84 - 1,14 s	
	Fondo	horizontal	
Watanabe et al. (1978)	Valor de A	1,0 - 5,0 [(cm <sup>3</sup> /s)/cm]	$\frac{q_{net}}{\omega_f d} = A(\Psi_m - \Psi_c)$
	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,2 y 0,7 mm	
	Densidad relativa $s$	2,65	
	Parámetro de Shields	0,08 - 0,6 cm	
Hallermeier (1982)	Pendiente del fondo $\beta$	1/10 - 1/15	$\frac{q_{net}}{\sigma d^2} = 3,2 \times 10^{-2} \left( \frac{u_m^2}{s d g} \right)^{1,5}$
	Cerca de 700 pruebas de laboratorio		
Kajima et al. (1982)	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,27 - 0,47 mm	$\frac{q_{net}}{\omega_f d} = 3(\Psi_m - \Psi_c)\Psi_m^{0,5}$
	Densidad relativa $s$	2,65	
	Parámetro de Shields	0,2 - 1,3	
	Pendiente del fondo $\beta$	5/100 - 3/100	
Shibayama y Horikawa (1982)	Válido solo para configuración del fondo sin rizos		$\frac{q_{net}}{\omega_f d} = 19\Psi_m^3$
	Diámetro representativo del sedimento $d$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,2 - 2,0 mm, con flujo oscilatorio simétrico</li> <li>• 0,2 - 0,7 mm, con ondas progresivas</li> </ul>	
	Densidad relativa $s$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2,65 con pendiente 1/10 - 1/20</li> <li>• 1,2 - 1,7 con fondo horizontal</li> </ul>	
	Parámetro de Shields	0,04 - 2,0	

Sunamura (1984)	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,2 - 0,7 mm	$\frac{q_{net}}{\omega_f d} = 2,55 \times 10^{-3} u_s^2 \frac{[(10^{-2})g^{7/6} s^{1/6} v^{-1/3} d^{1/2} T - u_s]}{g \omega_f d}$
	Densidad relativa $s$	2,65	
	Profundidad	10 - 14 cm	
	Pendiente del fondo $\beta$	1/10	
Sunamura y Takeda (1984)	Válida solo para aguas someras		$\frac{q_{net}}{\omega_f d} = 2 \times 10^{-11} \left( \frac{H_B}{d} \right)^3$
	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,26 - 0,76 mm	
	Densidad relativa $s$	2,65	
	Altura de ola media de rotura	110 - 150 cm	
	Fondo	horizontal	
Yamashita et al. (1984)	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,2 - 2,61 mm	$\frac{q_{net}}{\omega_f d} = 2,2 \left( \frac{u^*}{\omega_f} \right)$
	Densidad relativa $s$	0,58 - 1,66	
	Parámetro de Shields	0,09 - 2,0	
	Fondo	horizontal	

Donde:

- $A$  = Parámetro experimental, [(cm<sup>3</sup>/s)/cm]
- $d$  = Diámetro representativo del material, (mm), obtenido del estudio granulométrico
- $d_0$  = Amplitud total del movimiento del fluido, (m), obtenido del estudio de oleaje
- $g$  = Aceleración debida a la fuerza de gravedad, (m/s<sup>2</sup>)
- $H_B$  = Altura de ola de rotura, (m), obtenido del estudio de oleaje
- $q_{net}$  = Transporte de sedimento transversal neto por unidad de ancho, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm), es la incógnita
- $q$  = Transporte medio de sedimento transversal por unidad de ancho, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm), es la incógnita
- $s$  = Densidad relativa, (adimensional), Horikawa 1988
- $T$  = Periodo de ola, (s), obtenido del estudio de oleaje
- $u_c$  = Valor crítico de la velocidad para el inicio de arrastre, (m/s), Horikawa 1988
- $u_m$  = Velocidad máxima del fluido cerca del fondo, (m/s), Horikawa 1988
- $u_s$  = Velocidad máxima en aguas en calma, (m/s), Horikawa 1988
- $u^*$  = Velocidad relativa al esfuerzo cortante en el fondo, (m/s), Horikawa 1988
- $\sigma$  = Frecuencia angular del movimiento del fluido, (1/s), obtenido del estudio de oleaje
- $\psi$  = Parámetro de Shields, (adimensional), Horikawa 1988
- $\psi_c$  = Valor crítico del Parámetro de Shields para inicio de arrastre, (adimensional), Horikawa 1988
- $\psi_m$  = Amplitud del parámetro de Shields, (adimensional), Horikawa 1988
- $\nu$  = Viscosidad cinemática del agua, (m<sup>2</sup>/s), Horikawa 1988
- $\omega_f$  = Velocidad de caída de las partículas, (m/s), Horikawa 1988

**TABLA 2.- Formulaciones para determinar el transporte longitudinal**

Formulación de:	Condición experimental y parámetros	Ecuación
Larras		$Q_s = K' g(H_r^2) \cdot T \operatorname{sen} \left( \frac{7}{4} \alpha \right)$ <p>Donde <math>K' = 1,18 \times 10^{-6} D^{-\frac{1}{2}} \left( \frac{L_0}{H_0} \right)</math></p> <p><math>Q_s</math> gasto sólido, en m<sup>3</sup>/s  <math>L_0</math> longitud de la ola en aguas profundas, en m  <math>H_0</math> altura de ola en aguas profundas, en m  <math>H_r</math> altura de la ola en aguas bajas, en m  <math>\alpha</math> ángulo que forma la playa con el oleaje  <math>D</math> diámetro del material <math>D_{50}</math>, en mm</p>

<p>CERC (Coastal Engineering Research Center)</p>			$Q_s = \alpha P l_s$ <p>Donde:  <math>Q_s</math> transporte litoral a lo largo de la costa, en m<sup>3</sup>/día  <math>\alpha</math> coeficiente cuyo valor se determina a partir de mediciones de campo  <math>Q = 0,401 P l_s</math> CERC Coastal Engineering Research Center  <math>Q = 0,22 P l_s</math> Montoya, J., Instituto Mexicano del Transporte (para la playa de Tecolutla, Ver.)  <math>P l_s</math> Parámetros proporcionado por la componente por unidad de ancho, a lo largo de la costa, de la energía de la ola que se transporta en cierto tiempo, en Ton-m/día/m</p> $P l_s = \sum \left[ \frac{\rho g}{8} \cdot H_{1/3}^2 C_g \text{sen} \alpha_b \cos \alpha_b \right]_b$ <p>El subíndice <math>b</math> indica la zona de rompiente  <math>C_g</math> es la celeridad de grupo  <math>\alpha</math> ángulo de incidencia del oleaje en la zona de rompientes  <math>H_{1/3}</math> altura de la ola significativa  <math>\rho</math> densidad del agua de mar = 10476 kg s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup></p>
<p>Rolando Springall</p>			$Q_s = 1,1 \times 10^7 D \left( H_r^4 \right) \left[ \frac{\text{sen} 2\alpha}{mT} \right]^{\frac{1}{2}}$ <p>Donde:  <math>Q_s</math> gasto sólido entre la rompiente y la línea de costa, en m<sup>3</sup>/s  <math>m</math> pendiente media de la playa, adimensional  <math>H_r</math> altura de la ola en aguas bajas, en m  <math>\alpha</math> ángulo que forma la playa con el oleaje  <math>D</math> diámetro del material <math>D_{50}</math>, en mm</p>
<p>Iwagaki y Sawaragi (1962)</p>	<p>Diámetro representativo del sedimento <math>d</math></p> <p>Densidad relativa <math>s</math></p> <p>Altura de ola</p> <p>Dirección del oleaje</p> <p>Pendiente del fondo <math>\beta</math></p>	<p>1,23 - 11,4 mm</p> <p>2,65</p> <p>0,5 - 2,2 m</p> <p>0 - 30 grados</p> <p>9/100 - 12/100</p>	$\frac{Q}{H_0 \sqrt{s g d^3}} = 1,97 \left( \frac{H_0}{L_0} \right)^{-2/3} \left( \frac{H_0}{s d} \right)^2 K_{sB}^{1/3} \tan \beta^{4/3} (\text{sen} \alpha_\beta)^{4/3} \cos \alpha_\beta$
<p>Sawaragi y Deguchi (1978)</p>	<p>Diámetro representativo del sedimento <math>d</math></p> <p>Densidad relativa <math>s</math></p> <p>Altura de ola</p> <p>Pendiente del fondo <math>\beta</math></p>	<p>0,34 - 0,68 mm</p> <p>2,65</p> <p>0,3 - 1,0 m</p> <p>1,25/100 - 6,7/100</p>	$\frac{\bar{q}}{V d} = A \left( \frac{\tau - \tau_c}{\rho s d g} \right)^n$ <p>Donde:  <math>A = 86, n = 3,7</math> para <math>0,7 \geq \left( \frac{\tau - \tau_c}{\rho s d g} \right) \geq 0,3</math> [(cm<sup>3</sup>/s)/cm]  <math>A = 23, n = 4,5</math> para <math>0,3 &gt; \left( \frac{\tau - \tau_c}{\rho s d g} \right)</math> [(cm<sup>3</sup>/s)/cm]</p>
<p>Komar e Inman (1970)</p>	<p>Diámetro representativo del sedimento <math>d</math></p> <p>Densidad relativa <math>s</math></p> <p>Altura de ola</p> <p>Velocidad de la corriente</p> <p>Dirección del oleaje</p> <p>Pendiente del fondo <math>\beta</math></p>	<p>0,6 y 0,175 mm</p> <p>2,65</p> <p>1,0 m</p> <p>0,75 m/s</p> <p>16 y 8 grados</p> <p>13,8/100 y 3,4/100</p>	$\frac{Q}{(E_{rms} C_g)_B} = \frac{0,28 \cos \alpha_B^V}{u_m}$ <p>Donde 0,28 es un coeficiente experimental con unidades de (N/s)</p>

Kraus et al. (1982)	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,18 - 0,59 mm	$\frac{Q}{H_B^2 V} = \frac{3,8 \times 10^{-4} h_B}{H_B \tan \beta}$
	Densidad relativa $s$	2,65	
	Altura de ola	0,63 - 1,61 m	
	Periodo	4,9 - 10,2 s	
	Dirección del oleaje	2 - 8 grados	
	Pendiente del fondo $\beta$	1,4/100 - 10/100	
Katori et al. (1984)	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,2 - 0,7 mm	$\frac{\bar{q}}{\omega_f d} = 2,7 \left[ \frac{(\tau_m - \tau_c) V}{\rho (s d g)^{3/2}} \right]^{1,3}$
	Densidad relativa $s$	2,65	
	Velocidad de la corriente	14 - 63 cm/s	
	Fondo	plano	

Donde:

- $A$  = Coeficiente experimental, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm)
- $(C_g)_B$  = Celeridad de grupo en el punto de rotura, (m/s)
- $d$  = Diámetro representativo del material, (mm), obtenido del estudio granulométrico
- $g$  = Aceleración debida a la fuerza de gravedad, (m/s<sup>2</sup>)
- $(E_{rms})_B$  = Energía del oleaje por unidad de ancho de la cresta en una longitud de onda, (N), Horikawa 1988
- $H_B$  = Altura de ola de rotura, (m), obtenido del estudio de oleaje
- $H_0$  = Altura de ola en aguas profundas, (m), obtenido del estudio de oleaje
- $h_B$  = Profundidad de rotura, (m), obtenido del estudio de oleaje
- $K_{sB}$  = Coeficiente de someramiento en el punto de rotura, (adimensional), obtenido del estudio de oleaje
- $L_B$  = Longitud de onda en rotura, (m), obtenido del estudio de oleaje
- $L_0$  = Longitud de onda en aguas profundas, (m), obtenido del estudio de oleaje
- $Q$  = Transporte longitudinal, (m<sup>3</sup>/s), es la incógnita
- $q$  = Transporte medio longitudinal por unidad de ancho, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm), es la incógnita
- $s$  = Densidad relativa, (adimensional), Horikawa 1988
- $T$  = Periodo, (s), obtenido del estudio de oleaje
- $u_m$  = Velocidad máxima del fluido cerca del fondo, (m/s), Horikawa 1988
- $V$  = Velocidad de la corriente, (m/s), obtenido del estudio de oleaje
- $\alpha_B$  = Ángulo de dirección del oleaje en rotura, (grados), obtenido del estudio de oleaje
- $\beta$  = Ángulo de la pendiente del fondo, (grados), obtenido de la batimetría
- $\rho$  = Densidad del agua, (N/m<sup>3</sup>), Horikawa 1988
- $\tau$  = Esfuerzo cortante en el fondo, (N/m<sup>2</sup>), Horikawa 1988
- $\tau_c$  = Esfuerzo cortante crítico en el fondo (N/m<sup>2</sup>), Horikawa 1988
- $\tau_m$  = Esfuerzo cortante máximo en el fondo, (N/m<sup>2</sup>), Horikawa 1988
- $\omega_f$  = Velocidad de caída de las partículas, (m/s), Horikawa 1988

**TABLA 3.- Formulaciones para determinar el transporte por combinación de oleaje y corriente**

Formulación de:	Condición experimental y parámetros		Ecuación
Watanabe (1982)	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,2 y 0,7 mm	$q_x = F_c V_x$ $q_y = F_c V_y$ $F_c = A \frac{f_c V^2 + u_*^2 - u_{*c}^2}{g}$ <p>El coeficiente <math>A</math> tiene un valor igual a 1 y unidades de ((cm<sup>3</sup>/s)/cm)</p>
	Densidad relativa $s$	2,65	
	Parámetro de Shields	0,08 - 0,6 cm	
	Pendiente del fondo $\beta$	1/10 - 1/15	
Shimizu (1983)	Diámetro representativo del sedimento $d$	0,34 - 0,68 mm	<p><i>Transporte paralelo a la propagación del oleaje</i></p> $q_p = A \frac{q'_{on} t_1 - q'_{off} t_2}{T}$ $q' = F u_p$ $F = B \frac{\tau_m - \tau_c}{\rho g}$ <p>El coeficiente <math>A</math> tiene valor de 1 o -1 según la dirección del transporte y el coeficiente <math>B</math> es igual a 0,3 ambos en unidades de ((cm<sup>3</sup>/s)/cm)</p>
	Densidad relativa $s$	2,65	
	Altura de ola:	0,3 - 1,0 m	



	Pendiente del fondo $\beta$ :	1,25/100 - 6,7/100	<p>Transporte normal a la dirección de propagación</p> $q_n = u_n \frac{F_{on} t_1 + F_{off} t_2}{T}$
--	-------------------------------	--------------------	---

Donde:

- $A$  = Coeficiente experimental, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm)
- $B$  = Coeficiente experimental, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm)
- $f_c$  = Factor de fricción del fondo, (adimensional), Horikawa 1988
- $g$  = Aceleración debida a la fuerza de gravedad, (m/s<sup>2</sup>)
- $q_n$  = Transporte normal a la propagación, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm), es la incógnita
- $q'_{off}$  = Transporte hacia afuera de la playa, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm), es la incógnita
- $q'_{on}$  = Transporte hacia la playa, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm), es la incógnita
- $q_p$  = Transporte en la dirección de propagación, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm), es la incógnita
- $q_x$  = Transporte en el sentido del eje x, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm), es la incógnita
- $q_y$  = Transporte en el sentido del eje y, ((cm<sup>3</sup>/s)/cm), es la incógnita
- $T$  = Periodo, (s), obtenido del estudio de oleaje
- $t_1$  = Tiempo de duración de la corriente en la dirección de propagación, (s), obtenido de mediciones en campo
- $t_2$  = Tiempo de duración de la corriente en dirección opuesta a la de propagación, (s), obtenido de mediciones en campo
- $u_n$  = Velocidad de la corriente normal a la dirección de propagación, (m/s), obtenido de mediciones en campo
- $u_p$  = Velocidad de la corriente paralela a la dirección de propagación, (m/s), obtenido de mediciones en campo
- $u_*$  = Velocidad relativa al esfuerzo cortante en el fondo, (m/s), Horikawa 1988
- $u_{*c}$  = Velocidad crítica relativa al esfuerzo cortante en el fondo, (m/s), Horikawa 1988
- $V$  = Velocidad de la corriente, (m/s), obtenido de mediciones en campo
- $V_x$  = Velocidad de la corriente en la dirección del eje x, (m/s), obtenido de mediciones en campo
- $V_y$  = Velocidad de la corriente en la dirección del eje y, (m/s), obtenido de mediciones en campo
- $\rho$  = Densidad del agua, (N/m<sup>3</sup>), Horikawa 1988
- $\tau_c$  = Esfuerzo cortante crítico en el fondo, (N/m<sup>2</sup>), Horikawa 1988
- $\tau_m$  = Esfuerzo cortante máximo en el fondo, (N/m<sup>2</sup>), Horikawa 1988

## F. BIBLIOGRAFÍA

- Antsyferov, S. y Kos'yan, R., *Study of suspended sediment distribution in the coastal zone*, Coastal Engineering, (1990)
- Horikawa, K., *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*, Universidad de Tokio, Tokio, Japón (1988)
- US Army, Corps of Engineers, *Coastal Engineering Manual*, Parte II, Washington, EUA (2001)
- Van Rijn, L., *Principles of Coastal Morphology*, Aqua Publications, Amsterdam, Holanda (1998)