

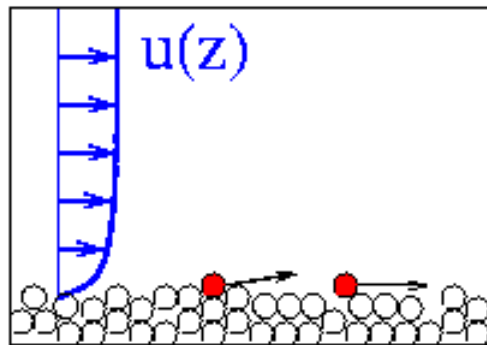
# Transporte Longitudinal

José A. Jiménez  
jose.jimenez@upc.edu

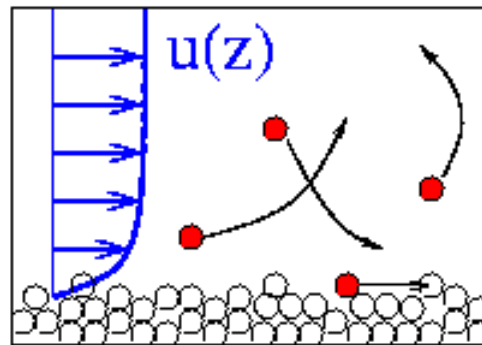
*Laboratori d'Enginyeria Marítima  
ETSECCPB  
Universitat Politècnica de Catalunya*



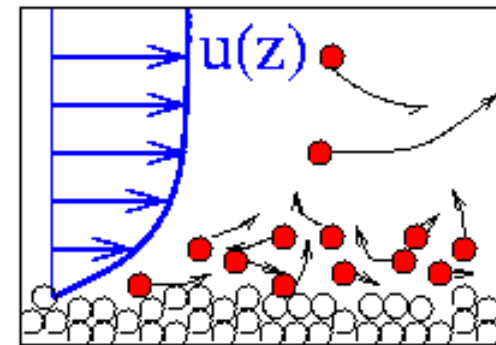
## Transporte de sedimento (tipos)



Bed load



Suspended load



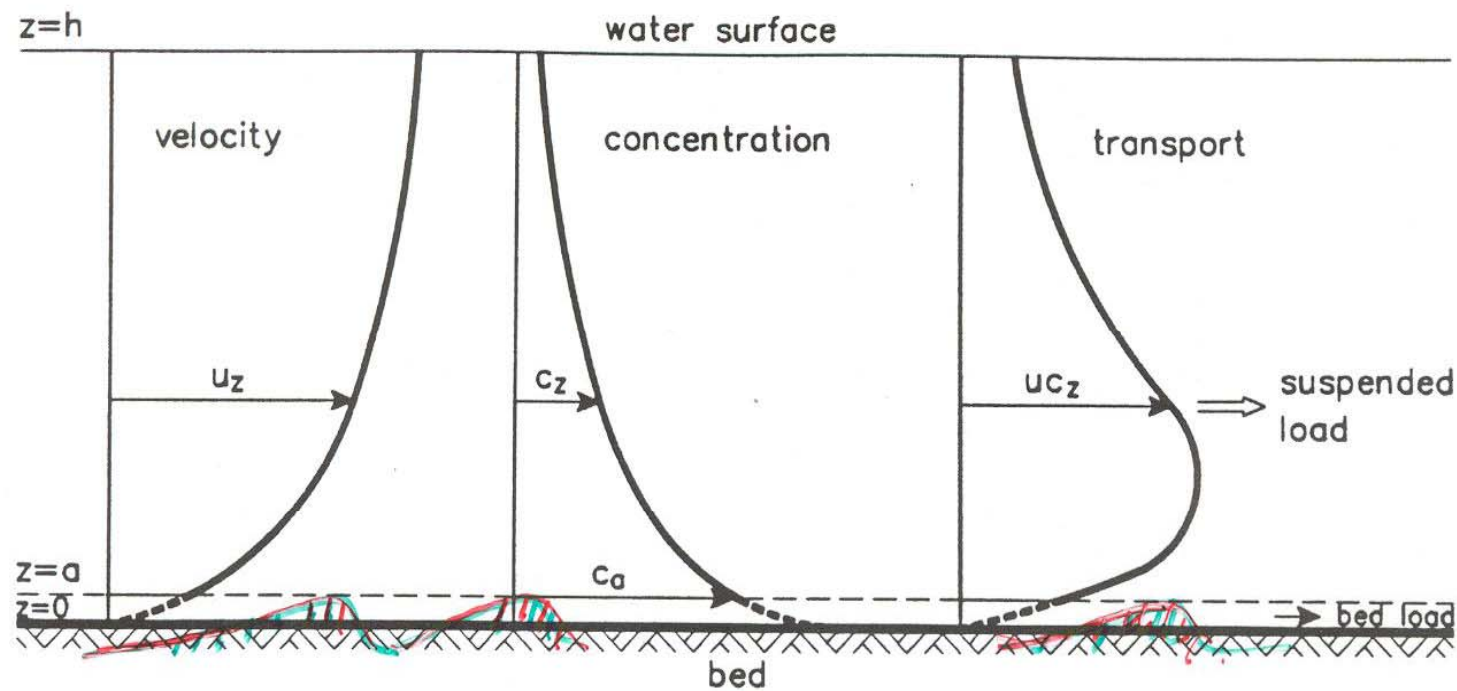
Sheet flow

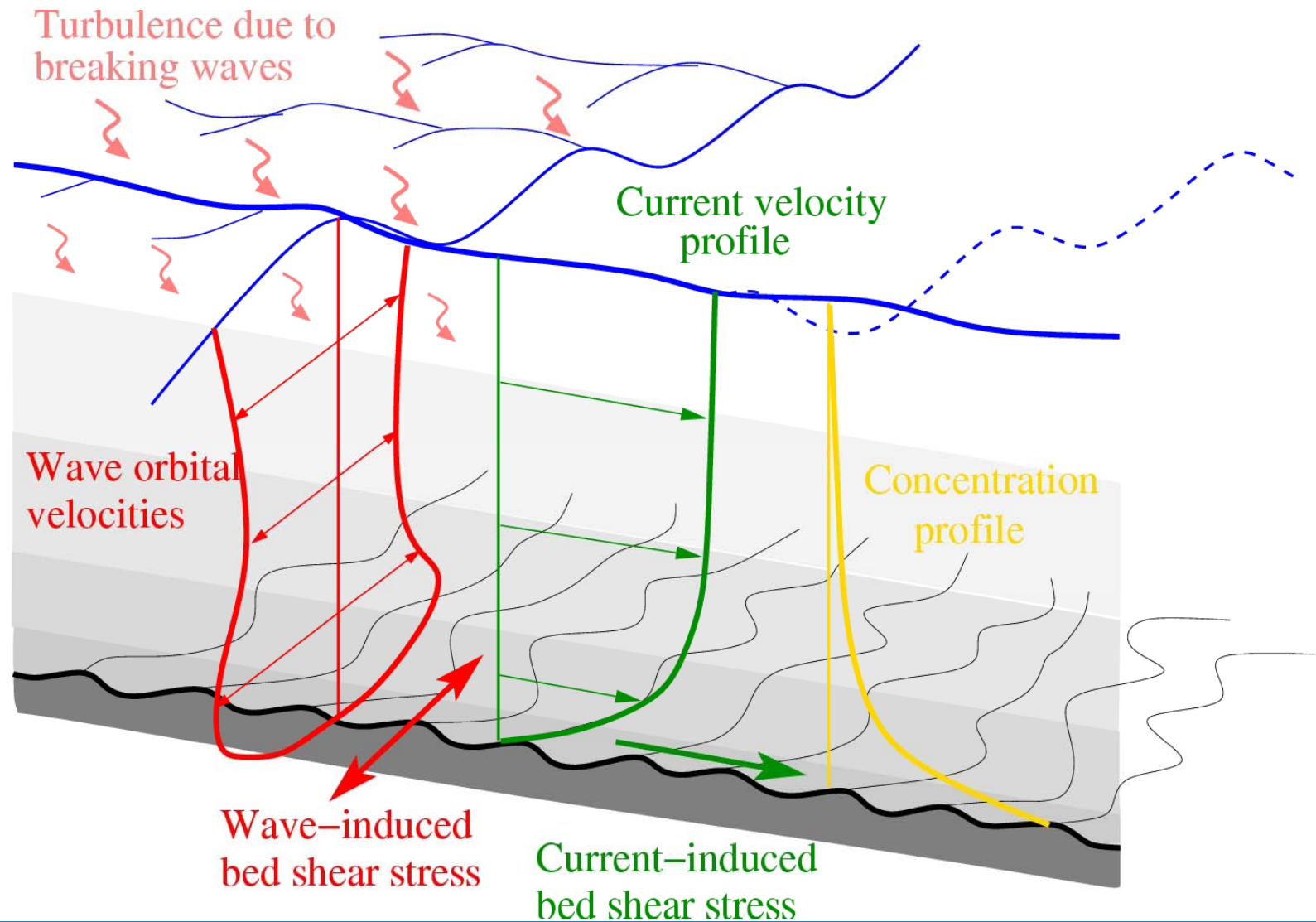
**Arrastre de fondo (bed load):** contacto entre granos - fondo

**Suspensión (suspended load):** granos en suspensión en la columna de agua – mantenidos por movimiento hacia arriba

**Sheet flow:** capa densa en movimiento en el fondo

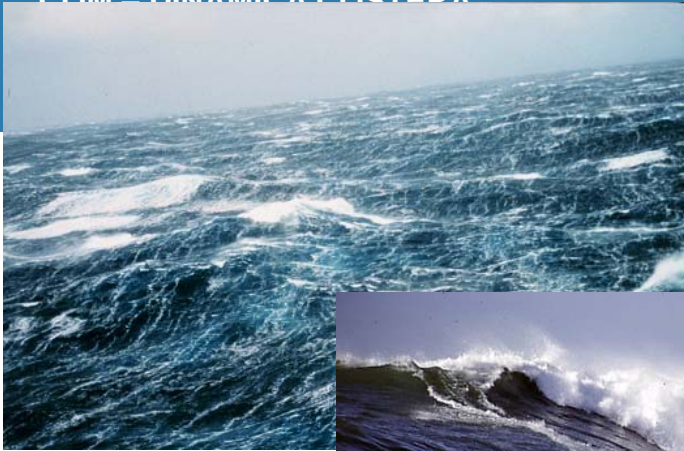
$$q_s = \int_{z_a}^h U(z)c(z)dz$$







# The Wave Route



**Deep water**



**Wave shoaling**



**Wave breaking**

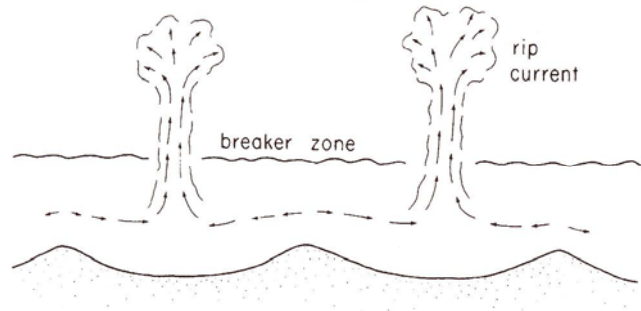


**Wave run-up**

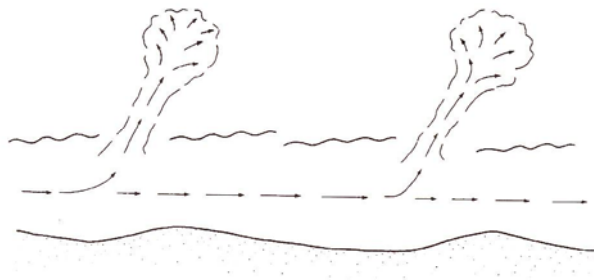


# Cell Circulation

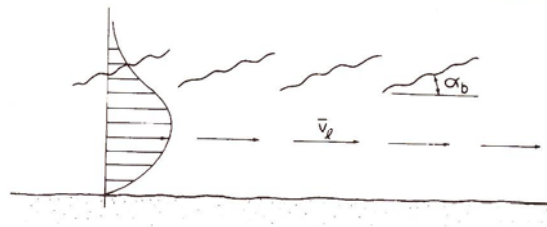
A Cell Circulation ( $\alpha_b \approx 0^\circ$ )



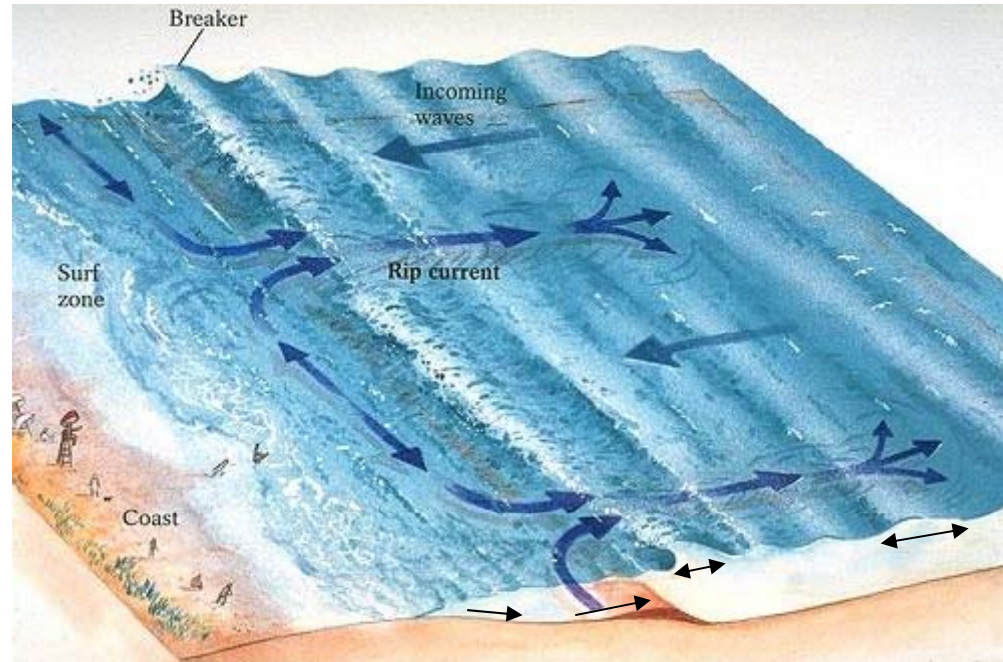
B General Circulation (small  $\alpha_b$ )



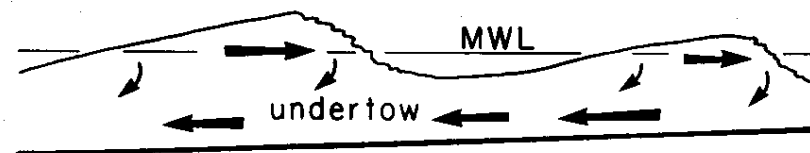
C Oblique Wave Approach (large  $\alpha_b$ )



## Horizontal Structure



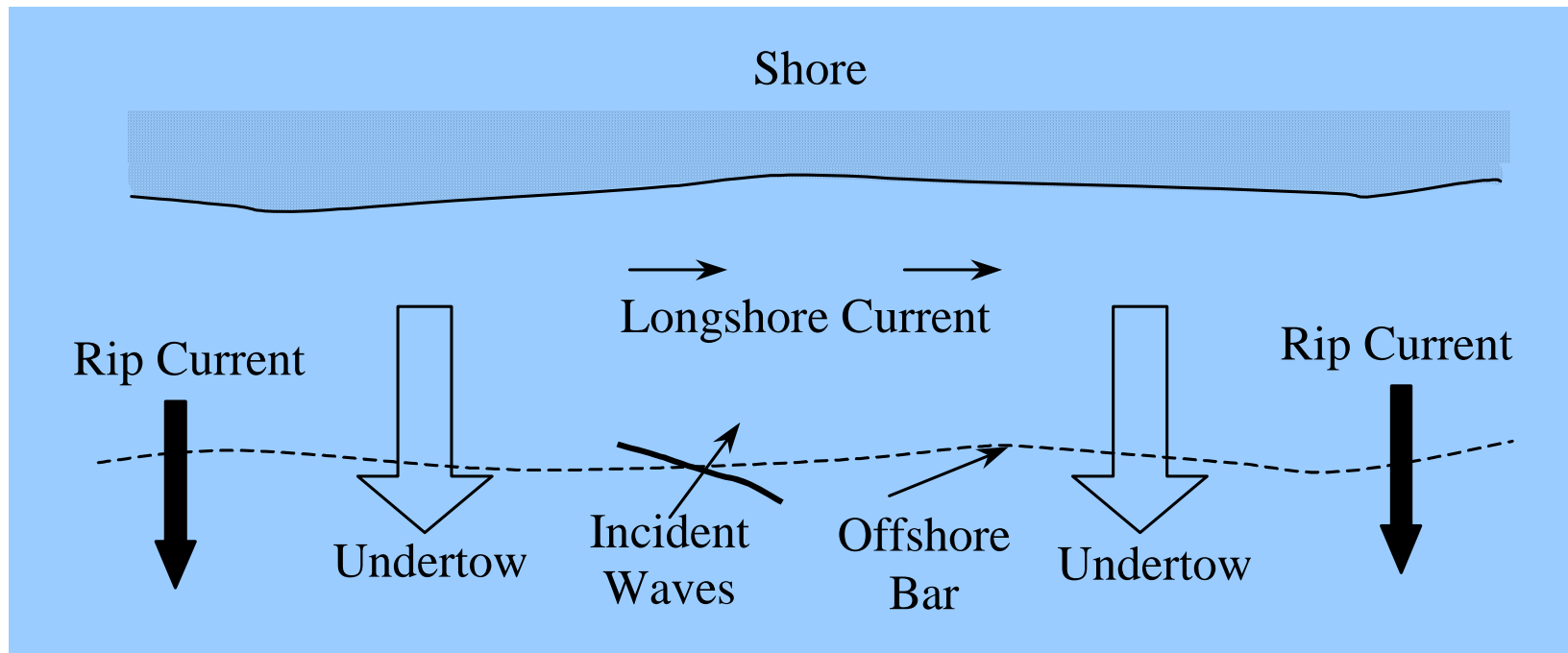
## UNDERTOW



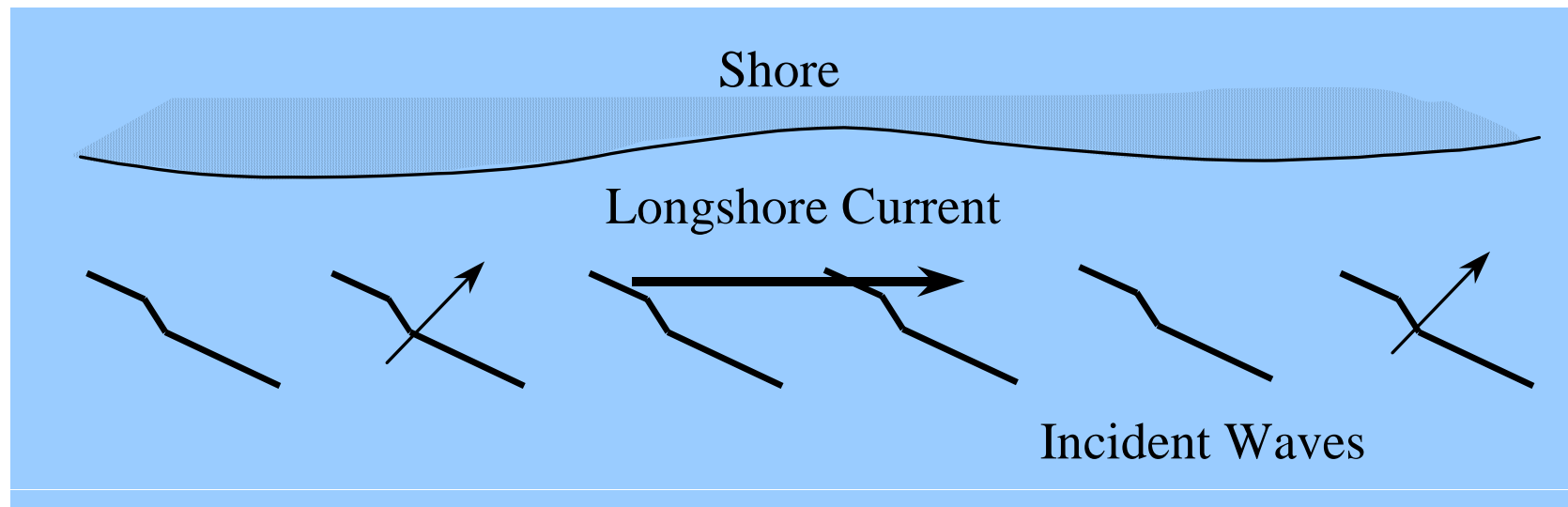
## Vertical Structure



## Small Incident Wave Angle

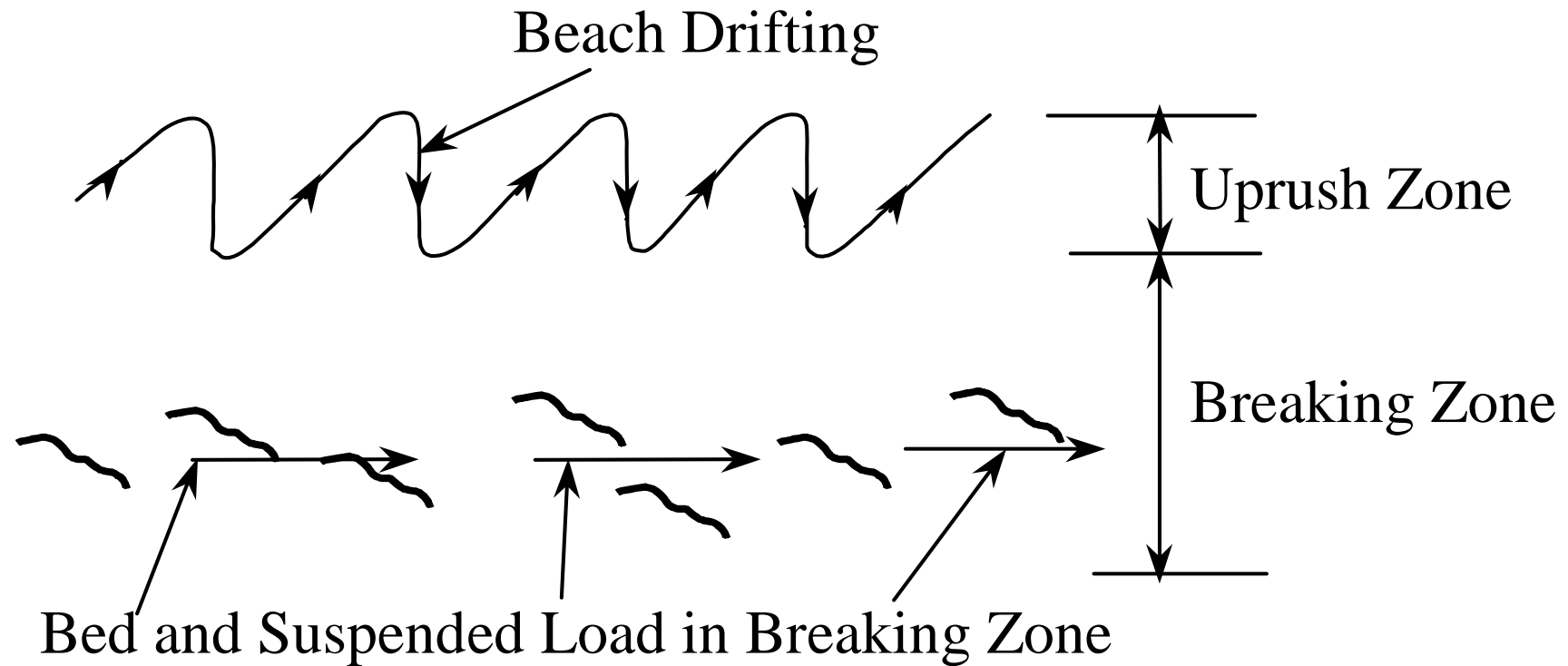


## Large Incident Wave Angle





## Transport Mechanisms



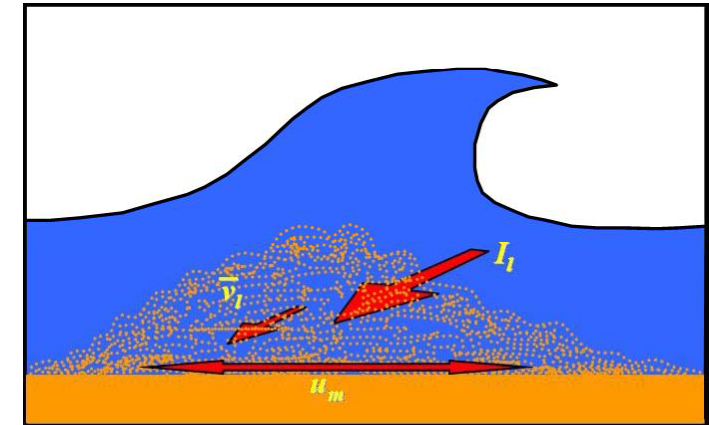
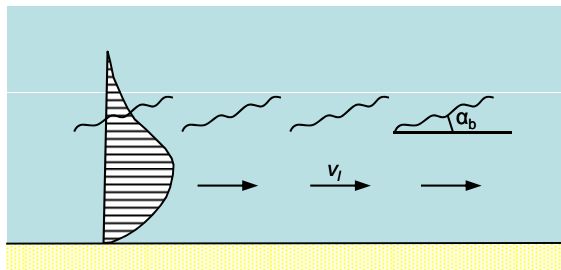
Longshore component of wave forcing = 
$$-\frac{1}{\rho d} \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \quad (1)$$

where  $S_{xy} = En \sin \alpha \cos \alpha = \frac{n}{8} \rho g H^2 \cos \alpha \sin \alpha$

Frictional drag on flow =  $R_y = \frac{2}{\pi} C_f \rho u_m v_l \quad (2)$

(1) = (2)  $\longrightarrow v_l = \frac{5\pi \tan \beta^*}{16 C_f} \gamma_b \sqrt{gd} \sin \alpha \cos \alpha$

(Longuet-Higgins 1970)



$$v_{l,mid} = 2.7 u_m \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

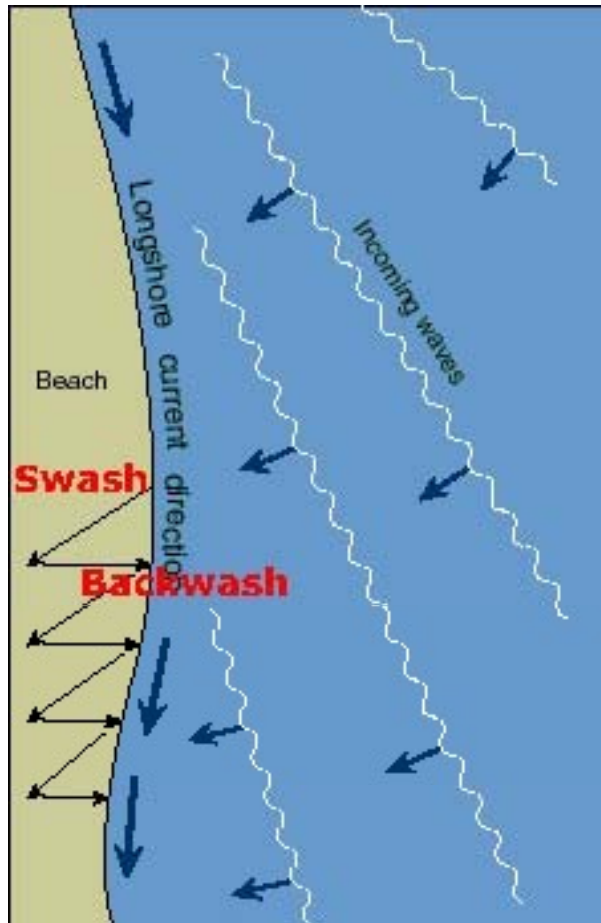
(Komar and Inman 1970)

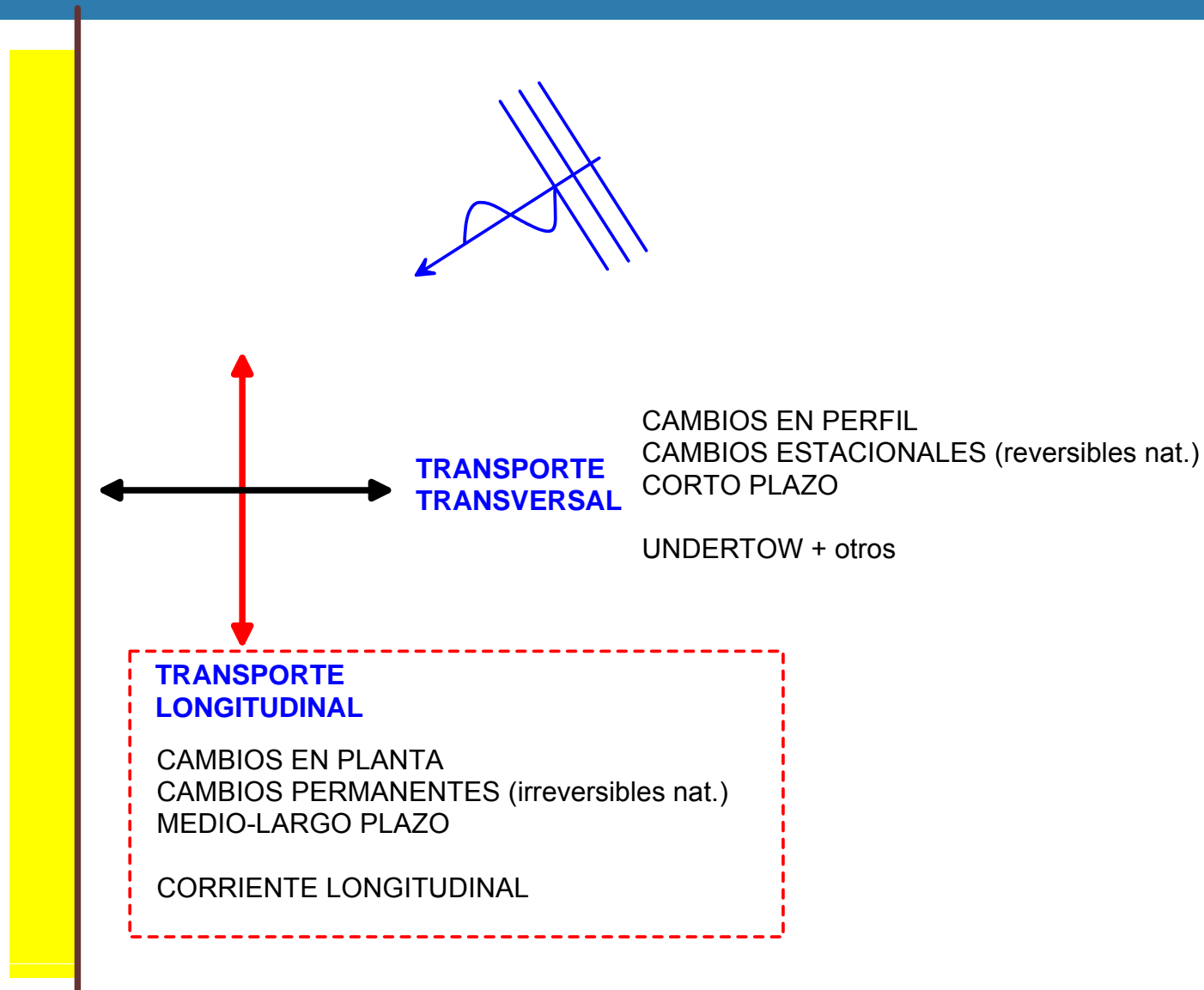
$$V_L = 20.7 m \sqrt{g H_b} \sin 2\alpha_b$$

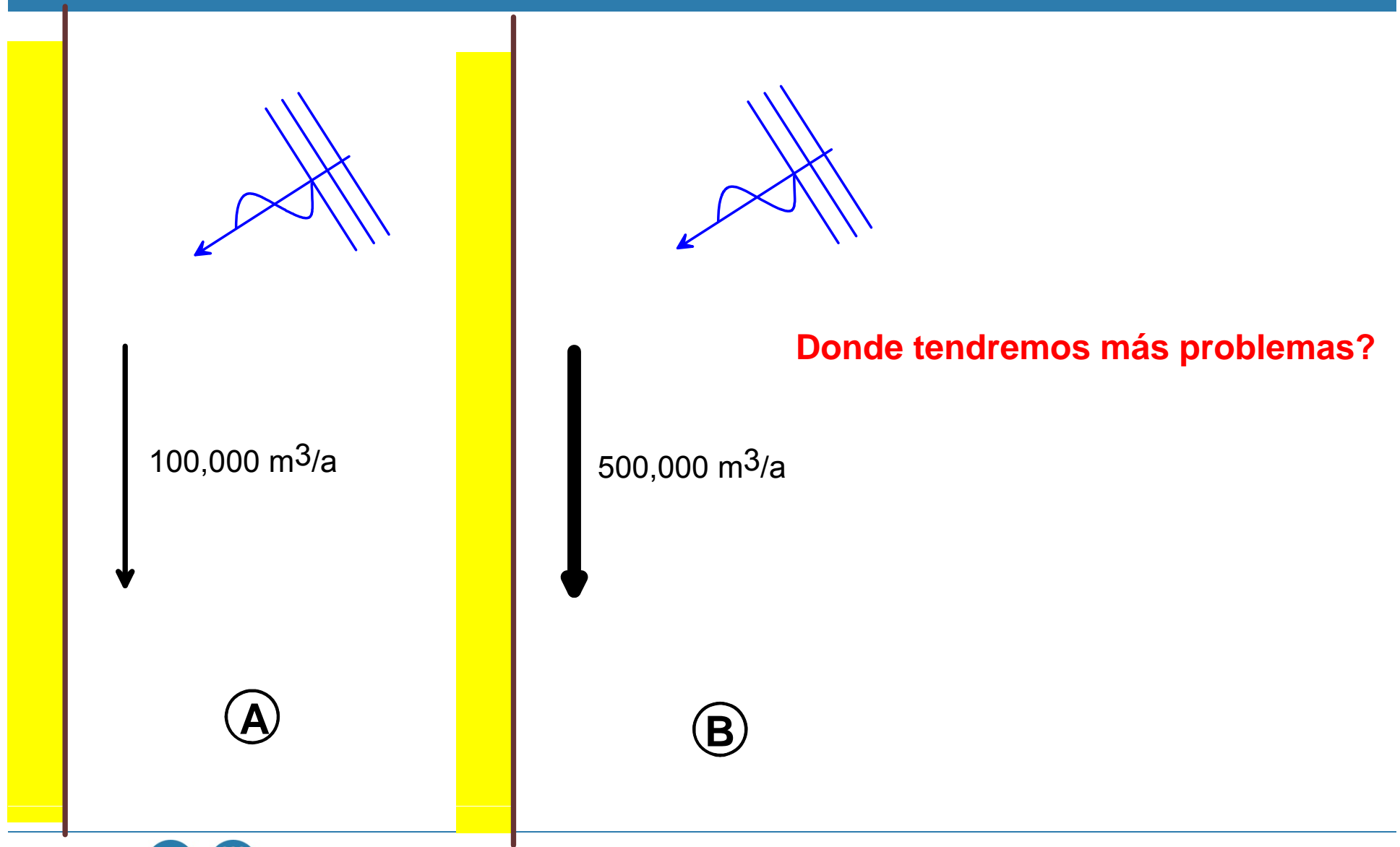
(Kamphuis)

## Corriente longitudinal

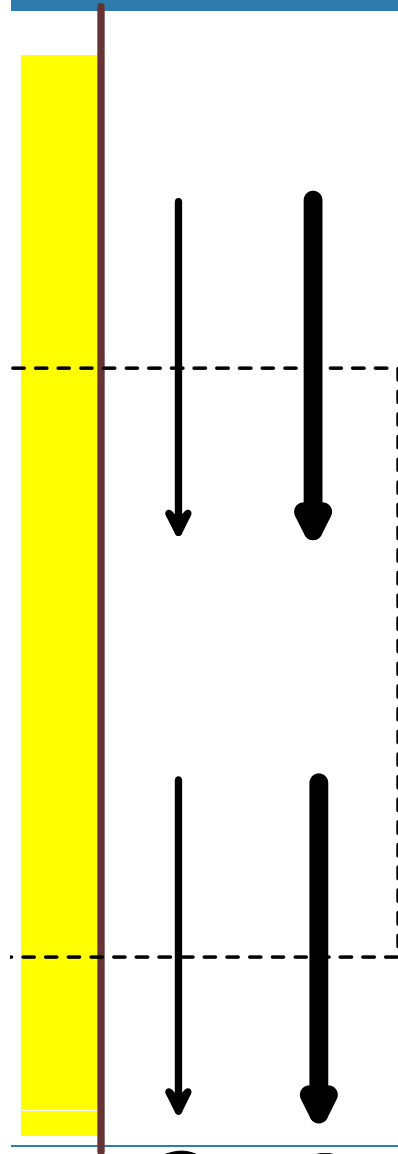
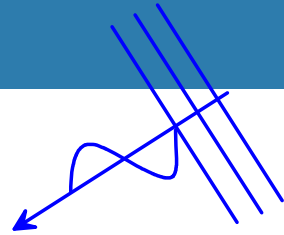
Incidencia oblicua del oleaje en rotura











Ⓐ SI in = 100,000 m<sup>3</sup>/a  
 SI out = 100,000 m<sup>3</sup>/a  
 SI in = SI out

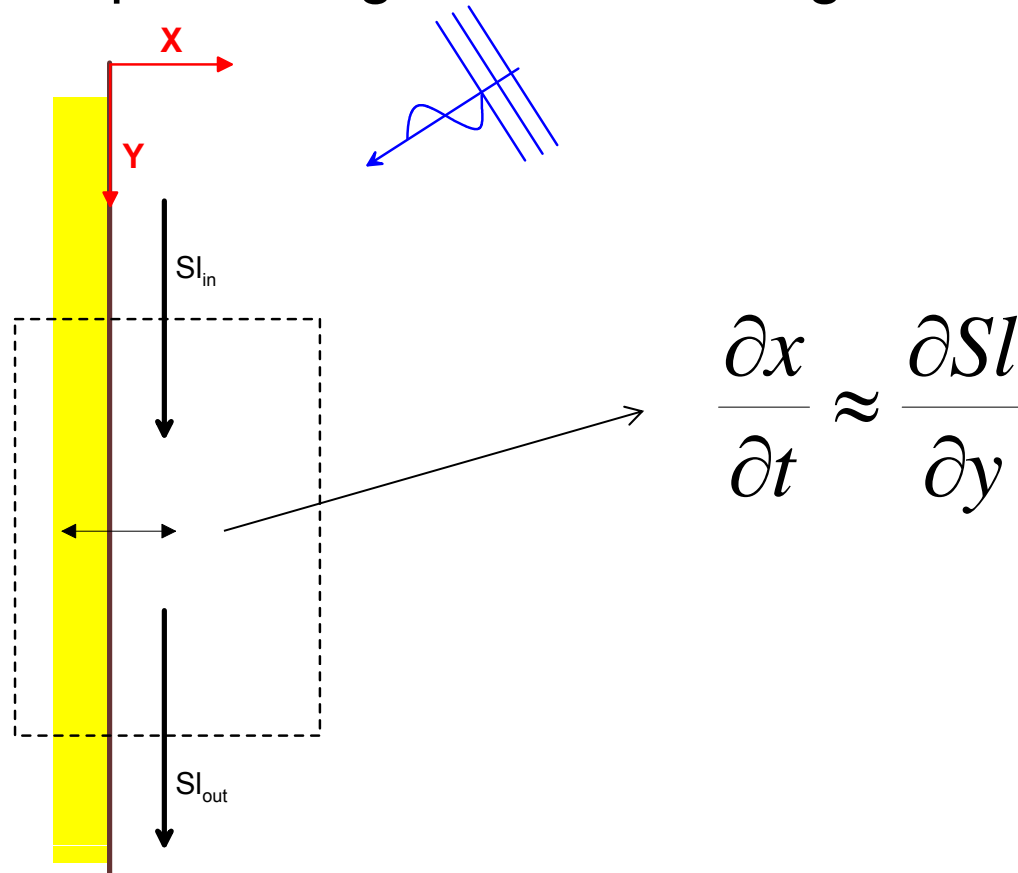
→  $\Delta V = 0$

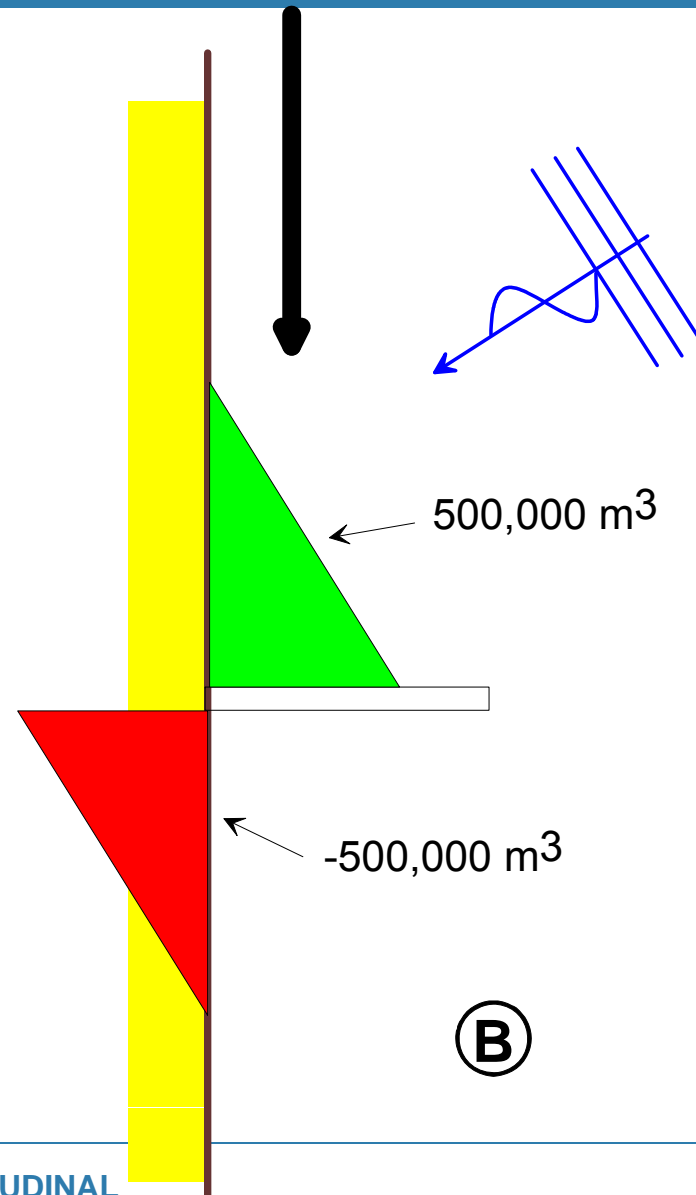
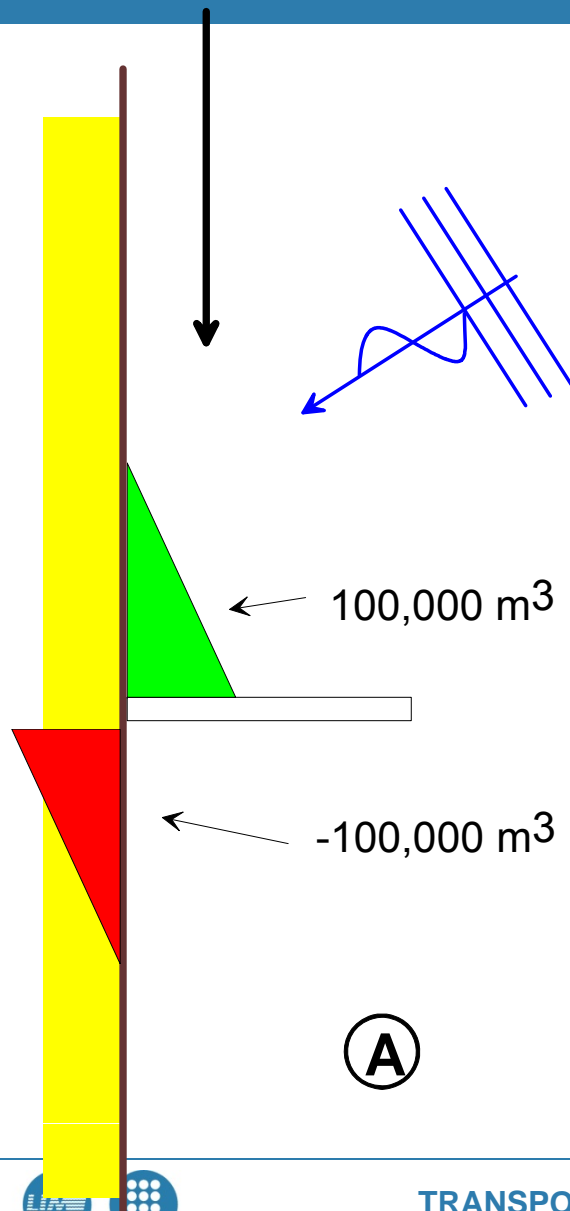
Ⓑ SI in = 500,000 m<sup>3</sup>/a  
 SI out = 500,000 m<sup>3</sup>/a  
 SI in = SI out

→  $\Delta V = 0$



**Cambios en planta o desplazamientos de la línea de orilla NO** son producto del transporte longitudinal sino del GRADIENTE en el transporte longitudinal a lo largo de la costa





TRANSPORTE LONGITUDINAL

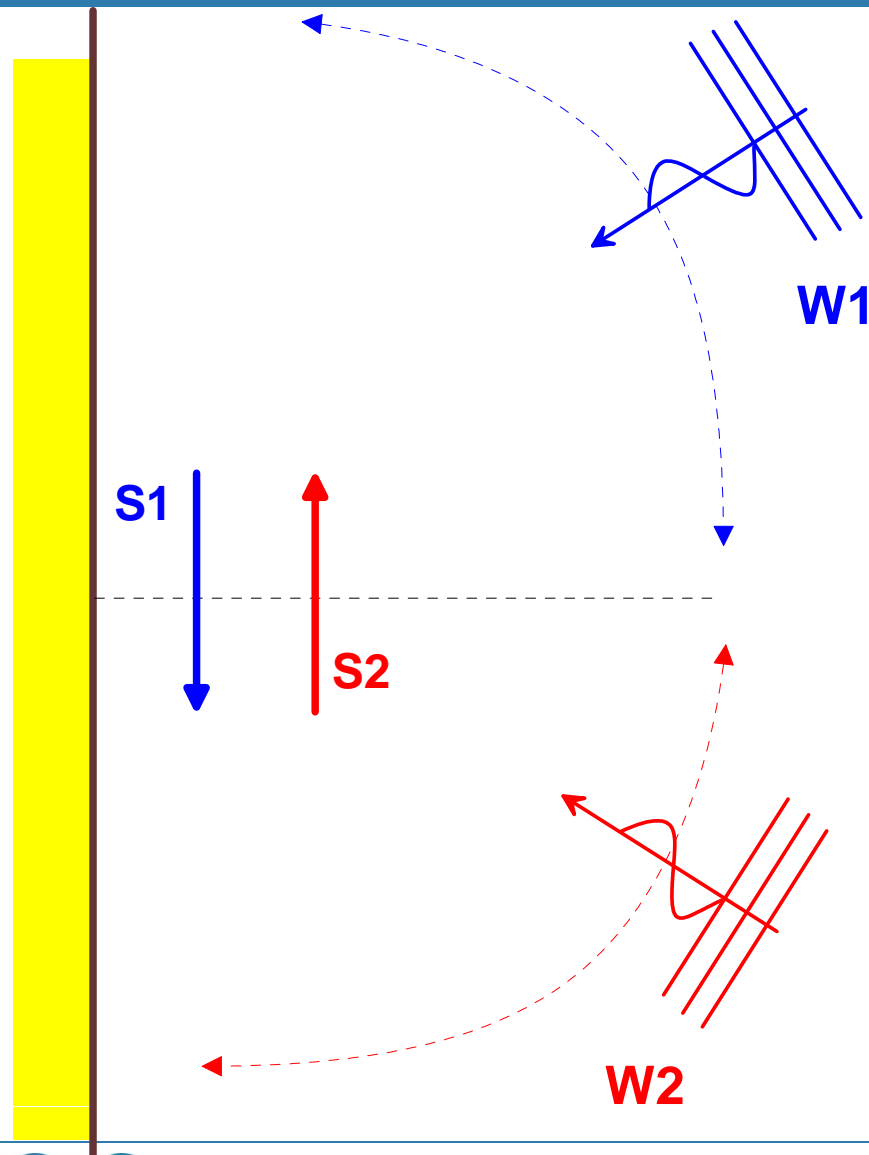


## Cambios en planta

Una vez existe un elemento que genera un gradiente, dado que los cambios inducidos son proporcionales a éste, cuanto MAYOR sea la tasa de transporte MAYOR será el gradiente MAYORES serán los problemas

$$\frac{\partial x}{\partial t} \approx \frac{\partial Sl}{\partial y}$$





$$S_{\text{neto}} = S1 - S2$$

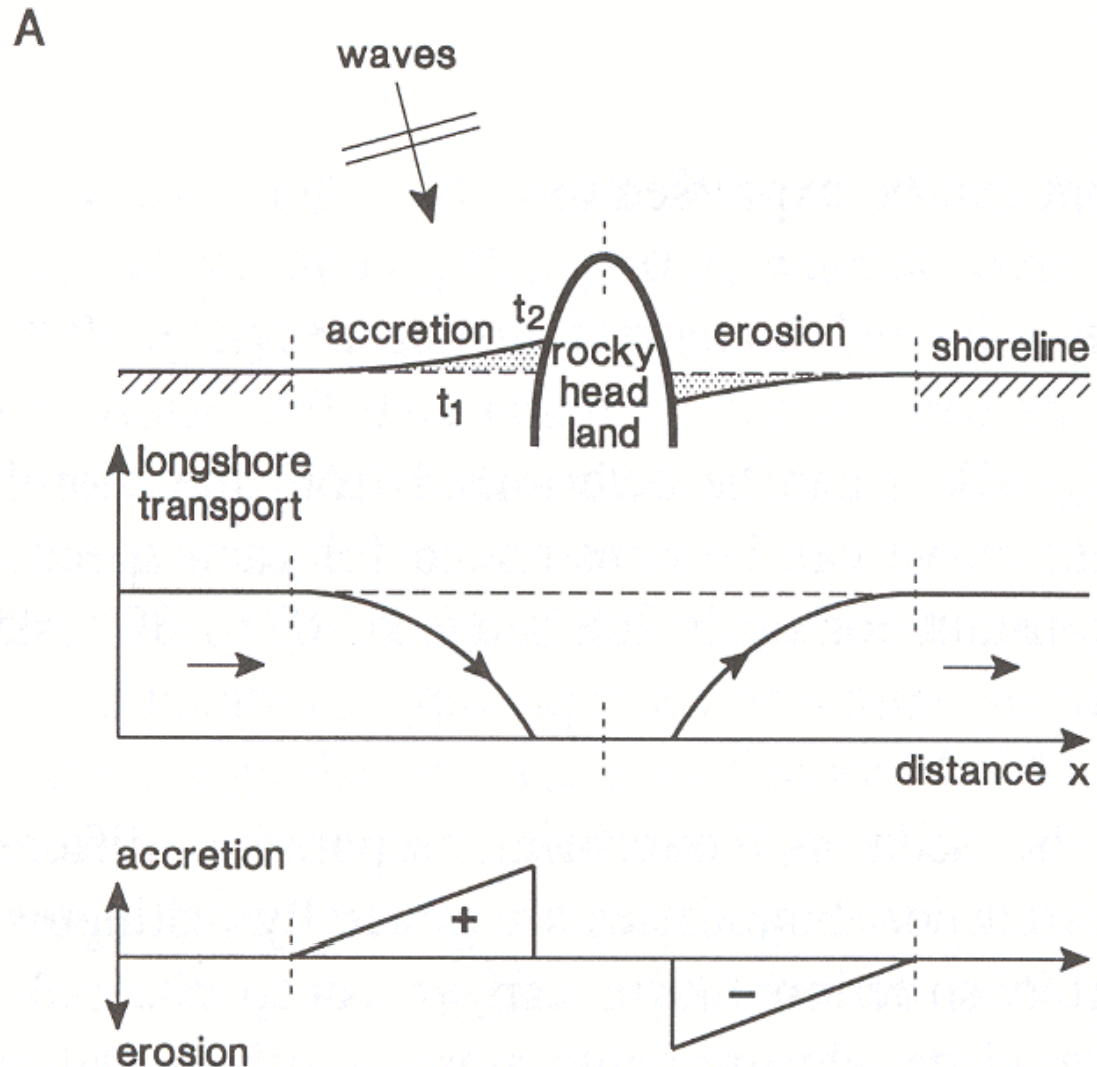
$$S_{\text{bruto}} = S1 + S2$$

## Examples of shoreline change: Blocking of transport by groyne/headland

### Basic process:

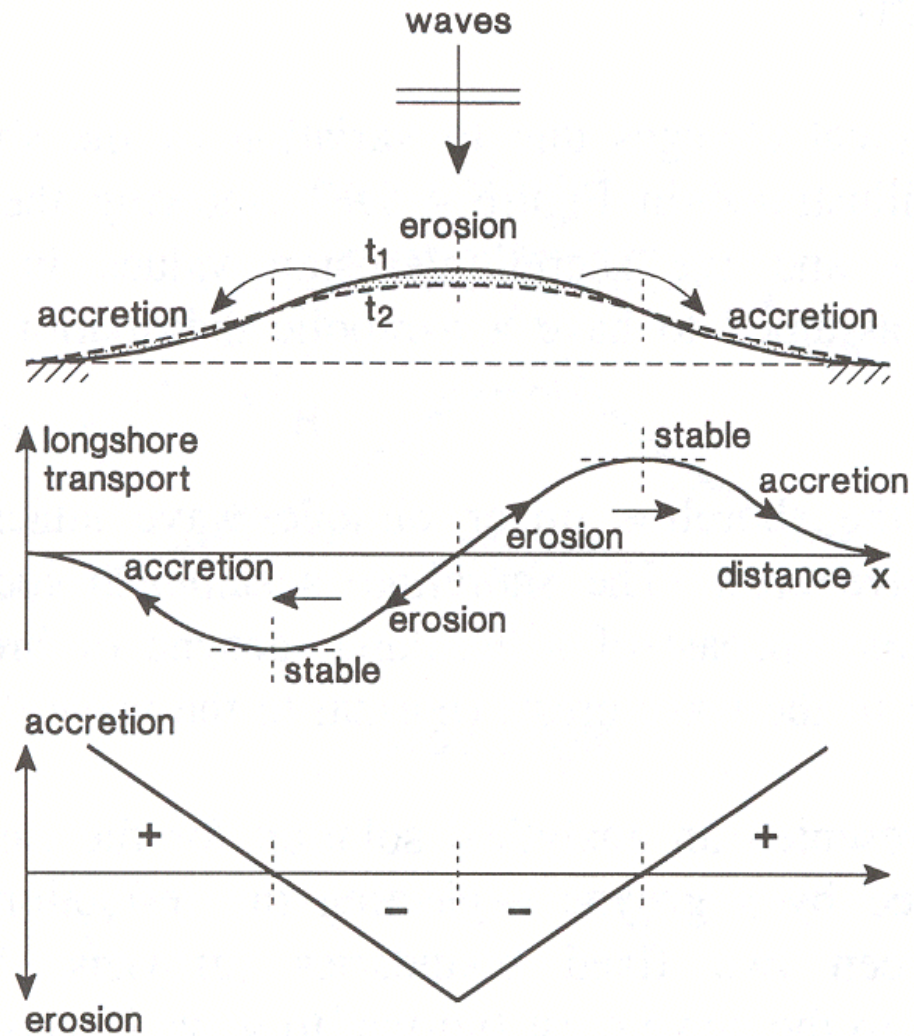
shoreline under oblique wave attack tends to adjust

- 1) to an orientation parallel to wave crests or
- 2) normal to wave propagation direction

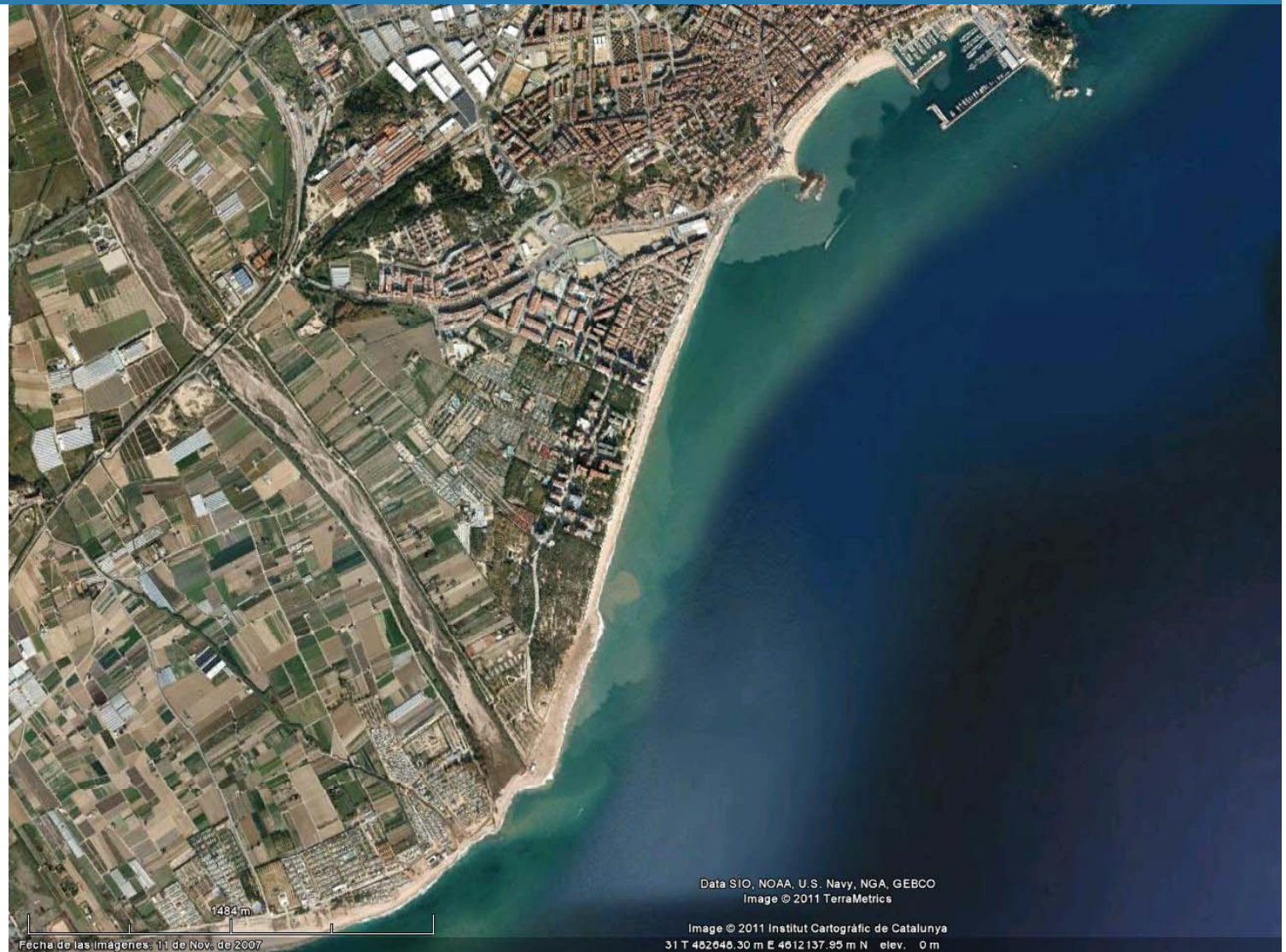




B

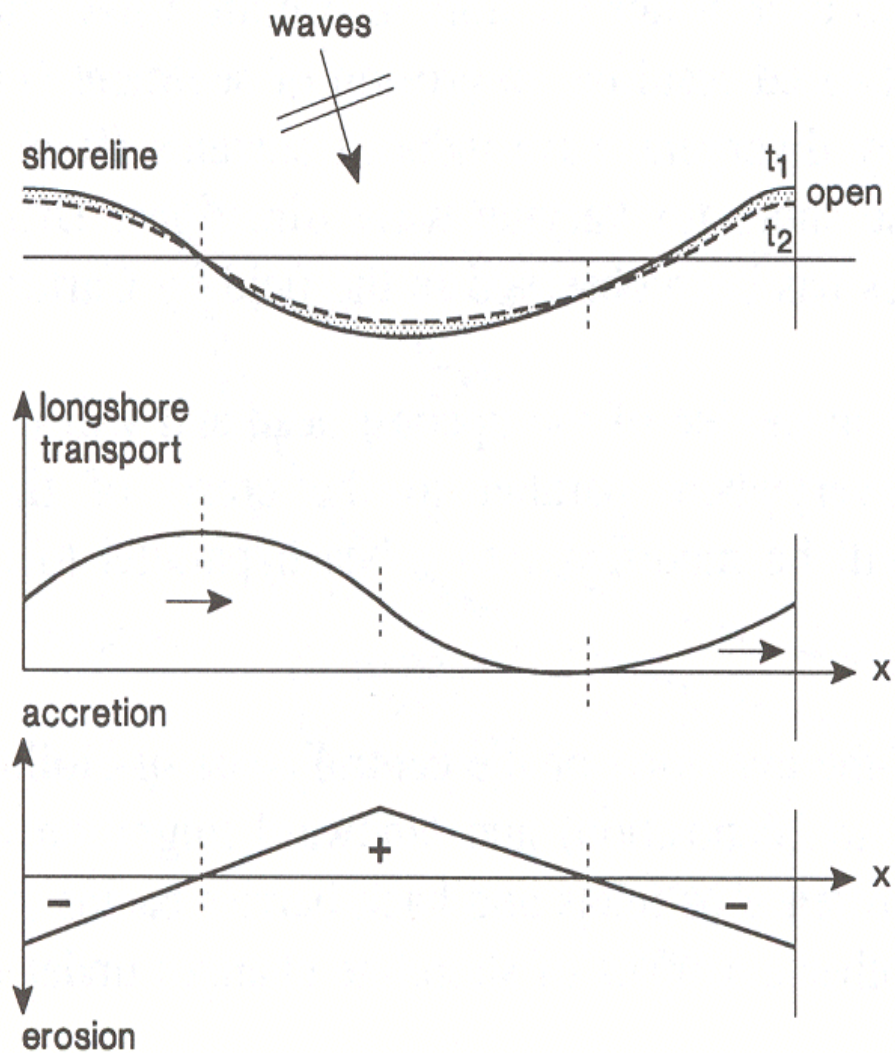


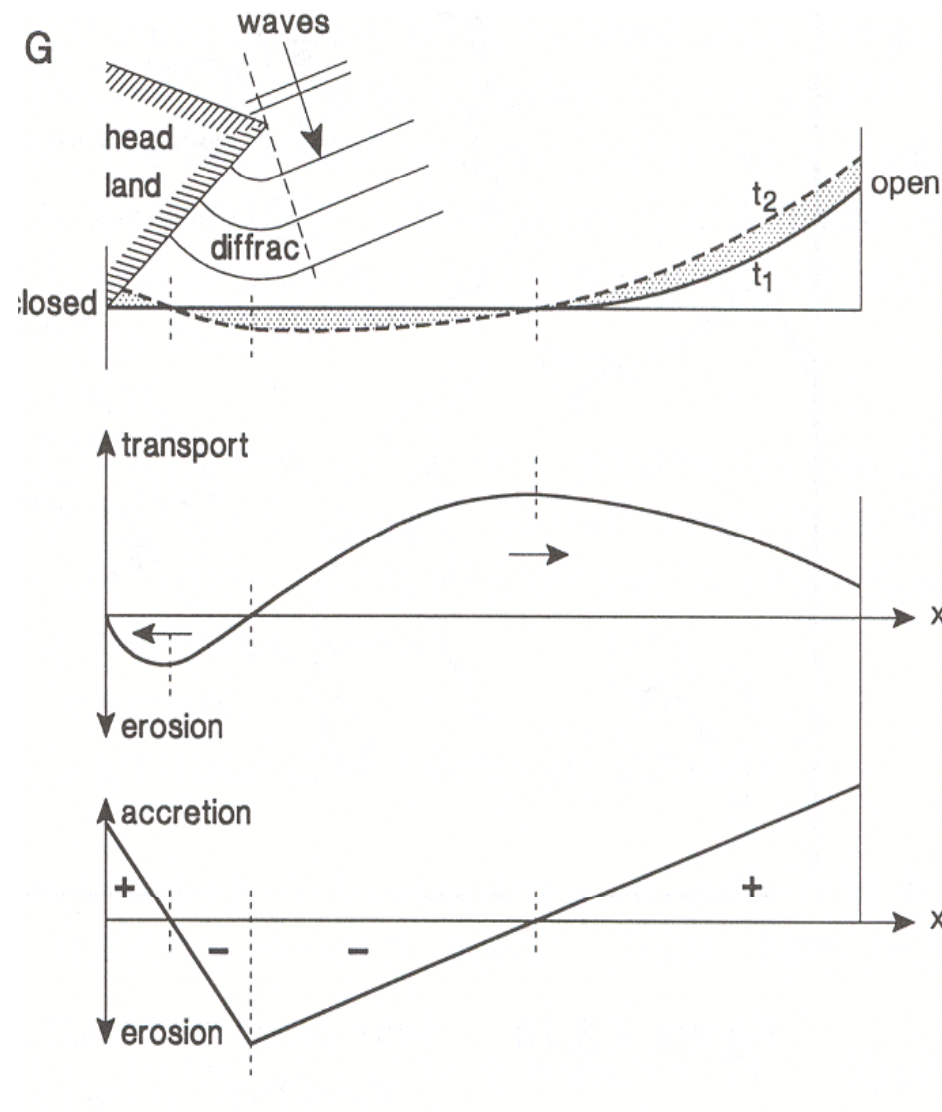






C

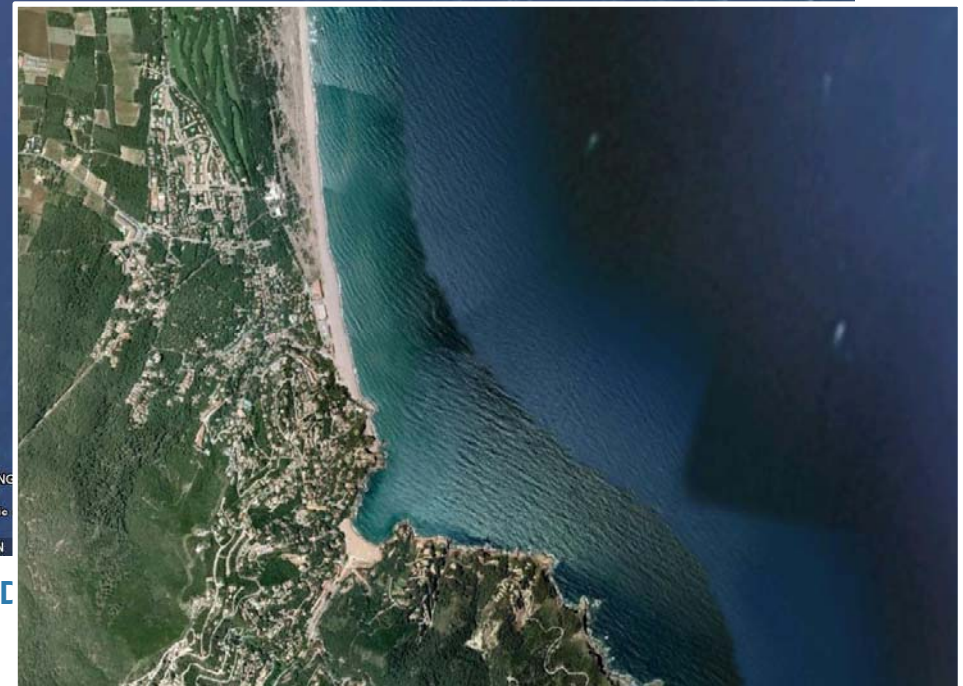
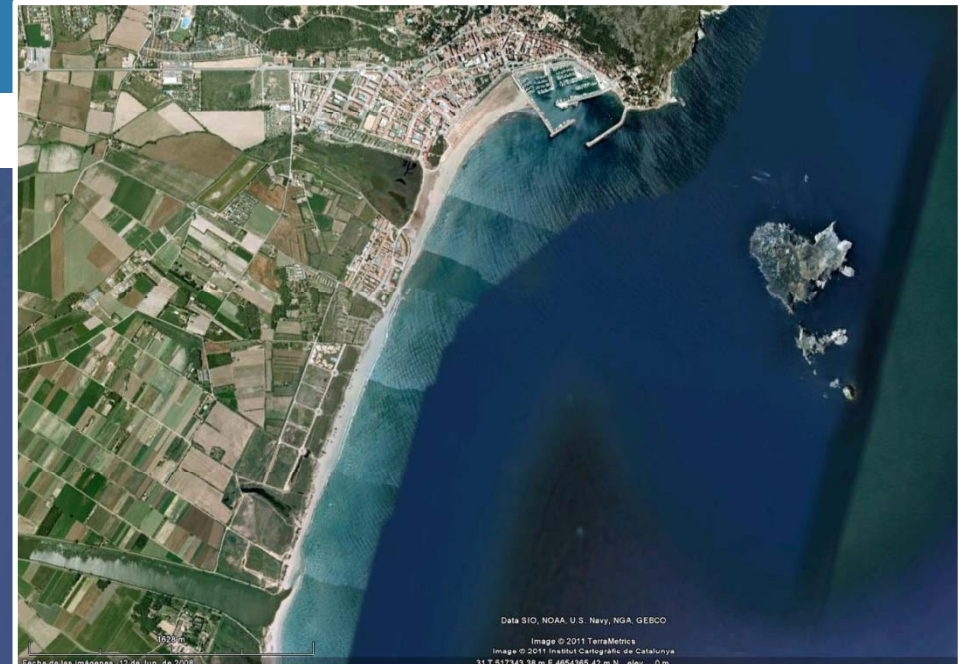
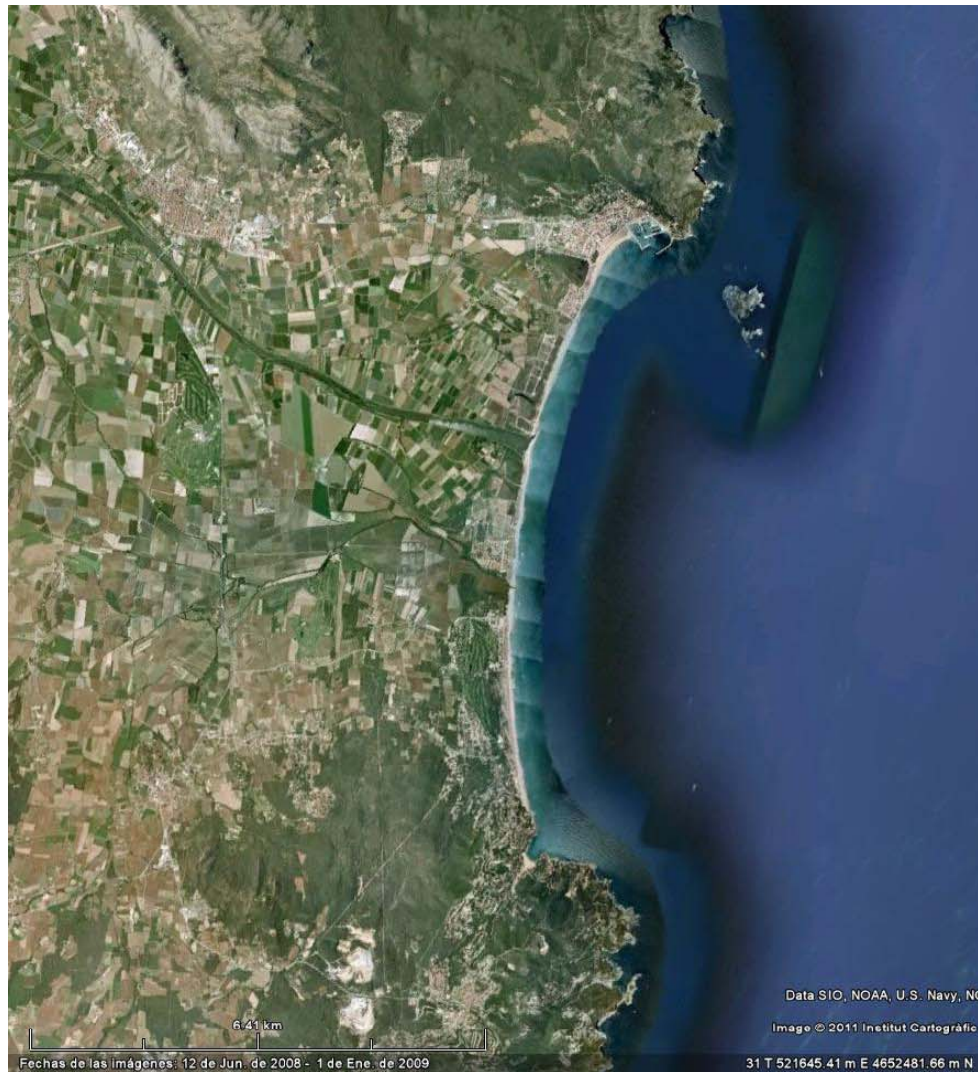




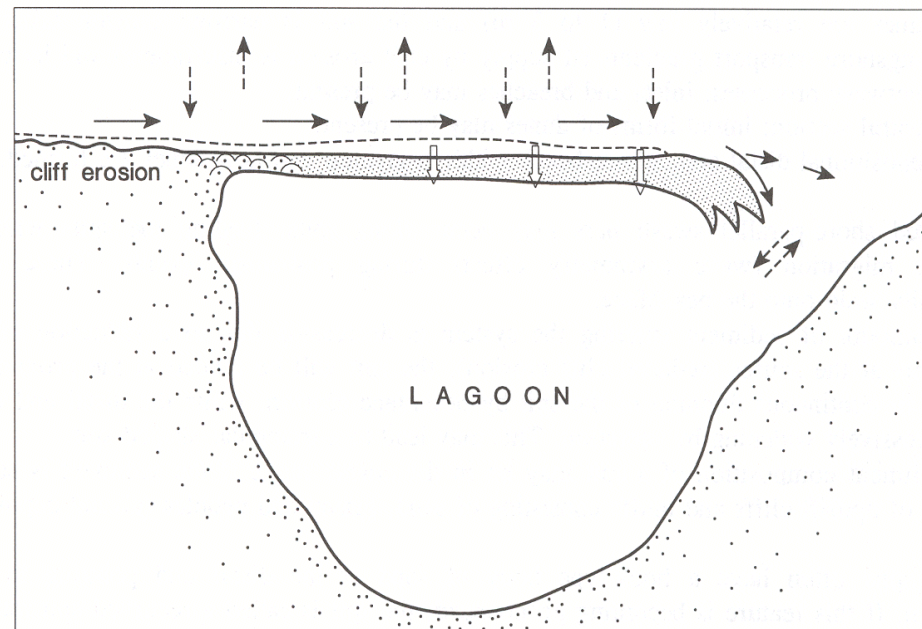
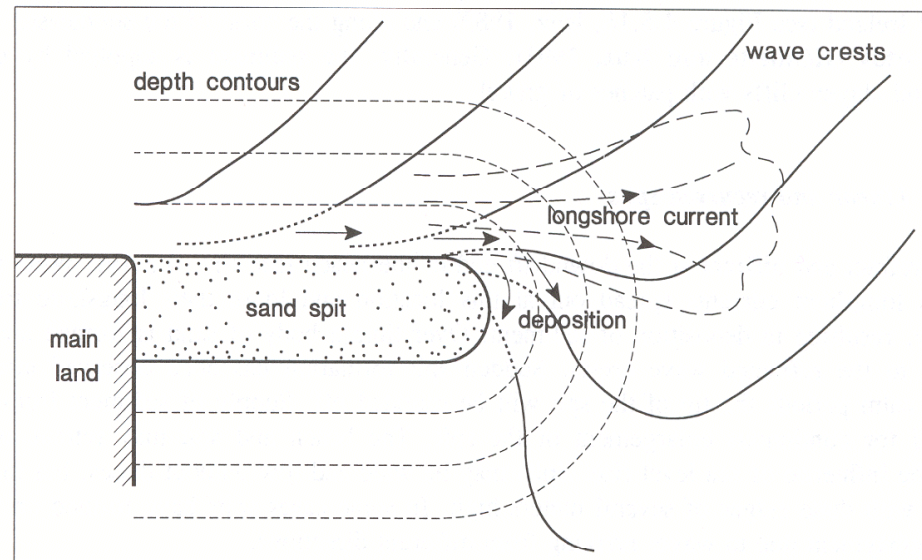
## TRANSPORTE LONGITUDINAL

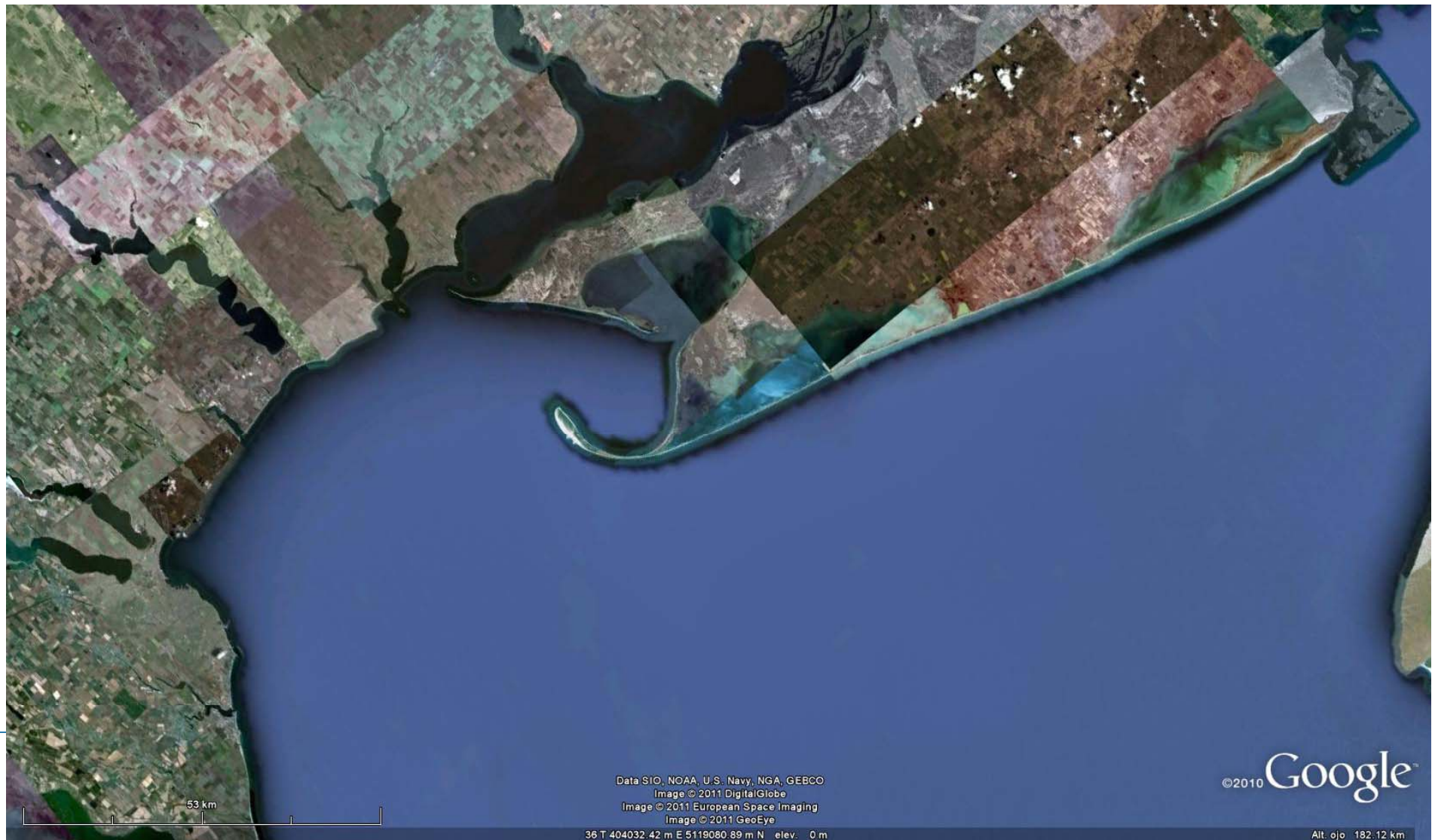
















$$q_{s,c} = \frac{e_s(1-e_b)\tau_b\bar{u}}{(\rho_s - \rho)g \cos \beta \left[ \frac{w_s}{\bar{u}} - \tan \beta \right]}$$

–1963–

Komar y Inman (1970)

Engelund - Hansen (1967)

Bijker (1981)

CERC (1984)

Ackers - White (1973)

Van Rijn (1981)

Fredsoe y Deigaar (1981)

Bowen (1980)

Damgaard y Soulsby (1996)

Komar (1988)

Ribberink (1998)

Kamphuis (1991)

Bailard (1981)

Watanabe (1992)

Van Rijn (2001)

Haas y Hanes (2004)



Author	Main factor			Verification data				Note
	Bottom fluid velocity	Bottom shear stress	Wave energy or wave height	d(mm)	s	Experimental conditions	Bottom topography (tanβ)	
Iwagaki and Sawaragi (1962)		$\frac{Q}{H_0 \sqrt{s g d^3}} = 1.97 \left( \frac{H_0}{L_0} \right)^{-2/3} \left( \frac{H_0}{s d} \right)^2 \times K_{sb}^{1/3} \tan \beta^{4/3} (\sin \alpha_B)^{4/3} \cos \alpha_B$	Lab. expt. (Sawaragi and Murakami, 1957) Field exp.	0.42 1.23~11.4	2.65 2.65	$H = 6.1 \sim 13.3(\text{cm})$ $T = 0.8 \sim 1.24(\text{s})$ $\alpha = 10 \sim 46^\circ$ $H_0 = 0.5 \sim 2.2(\text{m})$ $\alpha = 0 \sim 30^\circ$	10/100 ~12.8/100 9/100 ~12/100	• Kalinske • Brown type sediment transport rate was applied. • Data were obtained by sand trap.
Bijker (1968)	Bed load: $q = B d \frac{V}{C_t} K^{0.4} \times \exp \left[ -0.27 \frac{s d C_t^2}{\mu V^2} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left( A \frac{u}{V} \right)^2 \right\}^{-1} \right]$ Suspended load: $q = 1.83 \times (\text{bed load}) \times (I_1 \ln 33 h / r + I_2)$ [Einstein, 1950]		Field expt.	0.5	2.65	$H_0 = 1.6(\text{m})$ $T_0 = 12(\text{s})$ $\alpha = 13^\circ$	7.1/100	• $I_1$ and $I_2$ are functions of grain size and water depth. • Mixed bottom shear stress $\tau_s = \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left( A \frac{u}{V} \right)^2 \right\} \tau_e$ where $\tau_e$ is bottom shear stress under uni-directional flow.
Komar and Inman (1970)		$Q = A (E_{rm} c_p)_B \times \cos \alpha_B V / u_m$	Field expt.	0.6 0.175	2.65 2.65	$H = \sim 1(\text{m})$ $V = \sim 75(\text{cm/s})$ $\alpha = \sim 16^\circ$ $V = \sim 76(\text{cm/s})$ $\alpha = \sim 8^\circ$	13.8/100 3.4/100	Transport rate was related to the wave energy flux, based on the fluorescent tracer experiment.
Thornton (1972)	$q = \frac{A}{g(1-\rho/\rho_s)} \sqrt{\frac{V}{u_m}} \left( -\frac{\partial E_c}{\partial x} \right)$ Offshore zone $-\frac{\partial E_c}{\partial x} =  \bar{u} \bar{\tau} $ Nearshore zone $E = \frac{1}{8} \rho g \gamma^2 (h + \bar{\zeta})^2$ $c_s = \sqrt{g(1+\gamma)(h + \bar{\zeta})}$		Field expt.	0.2	2.65	$H_B \approx 1(\text{m})$ $T_B \approx 8(\text{s})$ $\alpha \approx 4^\circ$	2/100 ~3/100	• $-\frac{\partial E_c}{\partial x}$ is the power per unit area. • $\gamma$ is the ratio between wave height and water depth ( $\gamma = 0.78$ ). • Longshore velocity $V$ is given by Thornton (1970) • Spilling breaker is the main object of study.
Shore Protection Manual (1974)		$Q = A (E c_p)_B$	Field expt.			$2 \times 10^4 < (E c_p)_B < 2 \times 10^7$ (units: ft · 1 bs/day/ft)		• Field data of Komar, Caldwell, Watts were summarized. • This equation was proposed by U. S. Army Coastal Engineering Research Center, and is one of the standard formulas. (see Shore Protection Manual, 1984)
Komar (1977)	$q = A \rho \left( C_t V^2 + \frac{f_s}{2} u_m^2 \right) V$					Not verified		Equation of shear stress presented by Bijker (1971) was transformed.
Mizuguchi and Hori-kawa (1977)	$Q = A s \frac{\sqrt{g h_B}}{\frac{dh}{dx} C_t \gamma w_B} (E c_p)_B \sin \alpha_B$					Not verified		Combined the distributions of concentration of suspended load and velocity of longshore current.
Kamphuis and Readshaw (1978)	$Q = k (\xi_B) \frac{E_I}{g} \cdot \xi_B$ $= \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_B/L_0}}$		Lab. expt.	0.61	2.65	$H_0 = 4.7 \sim 5.6$ $9.3 \sim 12.4(\text{cm})$ $T_0 = 1.17 \sim 1.50(\text{s})$ $\alpha = 10^\circ$	1/10	Surf similarity parameter, $\xi_B$ , which indicates the relation between incident wave and characteristic of beach, is different between bar-type and step-type beaches.
Sawaragi and Deguchi (1978)	$\frac{q}{V d} = A \left( \frac{\tau - \tau_e}{\rho s d g} \right)^n$		Lab. expt. Field expt.	0.2 0.34 0.68	2.65 2.65	$H_0 = 6(\text{cm})$ $H_0 \approx 0.3, 1.0(\text{m})$	not in detail 1.25/100 6.7/100	$\tau$ is composition of vectors $\tau_x$ and $\tau_y$ . $\tau_x = \rho f_s u_m^2$ $\tau_y = \rho f_s u_m V$

Author	Main factor			Verification data				Comments
	Bottom fluid velocity	Bottom shear stress	Wave energy or wave height	$d(\text{mm})$	$s'$	Experimental conditions	Bottom topography ( $\tan\beta$ )	
Tsuchiya and Yasuda (1978)		$q = \bar{c}_0 h V$ $\bar{c}_0 = A s' \left(1 - \frac{\epsilon}{\epsilon_c}\right)$		Not verified				Mean concentration, $\bar{c}_0$ , was obtained by adopting blown sand and littoral transport rate proposed by Tsuchiya and Kawata (1975).
Ozasa and Brampton (1980)			$Q = (H^2 c_g)_B \left( A \sin 2\alpha_B - B \cos \alpha_B \cot \beta \frac{\partial H_B}{\partial y} \right)$ $A = K_1 / (16s' (1 - \lambda_s) 1.416^{5/2})$ $B = K_2 / (8s' (1 - \lambda_s) \tan \beta 1.416^{5/2})$	Lab. expt.	0.29	2.65 $H_0 = 8.5 \text{ (cm)}$ $T_0 = 1.4 \text{ (s)}$ $\alpha_0 = 22^\circ$	12.5/100	Longshore current due to longshore wave height distribution was taken into account (see 3.2.3, in Part IV).
Kraus et al. (1982)			$Q = \frac{A}{\gamma_B \tan \beta} H_B^2 V$	Field expt. (Fluorescent tracer expt.)	0.18~0.59 (mm)	2.65 ~ 3.13 $H_B = 0.63 \sim 1.61 \text{ (m)}$ $T_B = 4.9 \sim 10.2 \text{ (s)}$ $\alpha = 2 \sim 8^\circ$	1.4/100 ~10/100	Obtained from following results: Mixing depth $b = 0.027 H_B$ Sand advection speed $V' = 0.014 V$ Width of breaker zone $X_B = \frac{H_B}{\gamma_B \tan \beta}$
Katori et al. (1984)		$\frac{q}{w_b d} = 2.7 \left\{ \frac{(\tau_m - \tau_c) V}{\rho (s d g)^{3/2}} \right\}^{1.3}$		Lab. expt.	0.2~0.7	2.65 $V = 14 \sim 63 \text{ (cm/s)}$ $u_m = 9 \sim 43 \text{ (cm/s)}$	Horizontal flat bed	Obtained from experiments with an oscillatory flow basin.

$q$ : Longshore transport rate per unit width  
 $Q$ : Longshore transport rate integrated along the axis perpendicular to shore  
 $\alpha$ : Wave direction angle  
 $x$ : Coordinate axis perpendicular to shore  
 $y$ : Coordinate axis parallel to shore  
 $A, B, K_1, K_2, k$ : Empirical coefficients

$E$ : Wave energy per unit crest width in  
 $H$ : Wave height  
 $L$ : Wavelength  
 $h$ : Water depth  
 $\gamma$ : Ratio between the wave height and  $w$   
 $c_g$ : Group velocity

$u$ : Fluid orbital velocity due to wave motion in the vicinity of bed  
 $V$ : Uniform current velocity  
 $w_b$ : Fall velocity  
 $\tau$ : Bottom shear stress  
 $C_f, C_w, f$ : Friction factor  
 $\sim_B$ : Subscript for breaking point  
 $\sim_C$ : Subscript for the inception of sediment movement  
 $\sim_L$ : Subscript for longshore component  
 $\sim_m$ : Subscript for maximum value  
 $\sim_0$ : Subscript for deep water

$d$ : Grain size  
 $g$ : Gravitational acceleration  
 $s$ : Sediment specific gravity in still water  
 $s'$ : Sediment specific gravity in air  
 $\lambda_s$ : Sediment void ratio  
 $\mu'$ : Ripple coefficient  
 $\tan \beta$ : Bottom slope

Horikawa (1987)



Formula	Longshore sediment transport formula	Coefficients	Verification data		
			$D$ (mm)	$\tan\beta$	Exp. condition
Bijker	$q_{b,B} = A d_{50}^3 \sqrt{s} \exp\left[\frac{-0.475(1-1.5\alpha)\alpha}{d_{50}^{0.5}}\right] \left[\frac{H_0}{q_{b,B}}\right]^{0.5} \left[\frac{H_0}{q_{b,B}}\right]^{0.5}$ $1.83 q_{b,B} \left[ I_1 \ln\left(\frac{2H_0}{d_{50}}\right) + I_2 \right]$	$A=1-5$ (non-breaking)	0.23	0.07	$H_0=1.6$ m; $T=12.0$ s; $\alpha=13^\circ$
Engelund-Hansen	$q_{b,EH} = V \frac{0.045 \tau_{bm}}{(s-1)^{1.5} d_{50}^{0.5} F_C^{0.5}}$	—	0.19–0.93	—	—
Watanabe	$q_{b,W} = A \left[ \frac{(H_{0,max} - H_{0,c})^2}{\rho g} \right]$	$A=0.5-2$ (irregular)	0.2–2.0	0.2–0.01	$H_0=0.02-2.4$ m; $T=1.0-18.0$ s; $\alpha=15-45^\circ$ $h=0.18-7.77$ m
Ackers-White (not modified)	$q_{b,AW} = V \frac{1}{1-f} d_{50} \left( \frac{V}{V_c} \right)^n \frac{H_{0,max}}{A^n} (F_C - A)^m$	$A, m, n, C_{d,b}, F_C$ (see Appendix A)	0.2–0.61	—	—
Van Rijn	$q_{b,VR} = 0.15 \gamma \rho_s d_{50} D_*^{-0.5} \sqrt{\frac{\tau_{bm}}{\rho}} \left[ \frac{\tau_{bm} - \tau_{bm,c}}{\tau_{bm,c}} \right]^{1.5}$ $c_b V h \frac{1}{h} \int_0^h \frac{\tau}{\rho} dz = c_b V h F$	—	0.1–0.2	—	$H_0=0.07-0.2$ m; $T=1.0-2.0$ s; $\alpha=90^\circ$
Baillard-Inman	$q_{b,BI} = 0.5 \rho f_* u_b^3 \left( \frac{H_0}{\rho g} - \frac{H_0}{\rho g \cos\alpha} \right) \left( \frac{H_0}{\rho g} + \delta_s^2 \right) + 0.5 \rho f_* u_b^3 \left( \frac{H_0}{\rho g} - \frac{H_0}{\rho g \cos\alpha} \right) (\delta_s u_b \phi)$	$c_b=0.1$ ; $c_p=0.02$	0.175–0.6	0.034–0.138	$H_0=0.05-1.44$ m; $T=1.0-11.0$ s; $\alpha=2.8-18.8^\circ$

## Objetivo general

Presentación del método de evaluación del transporte longitudinal de forma integrada más conocido y ampliamente utilizado, i.e. *la fórmula del CERC*

## Objetivo docente

Adquirir un conocimiento de las bases que rigen el desarrollo de dicha fórmula, las hipótesis de partida, el rango de aplicación, sus limitaciones y como solventarlas mediante su calibración.



Munch-Peterson 1938 ► Eaton 1950 ► Watts 1953 ► Caldwell 1956  
► Savage 1962 ► Inman-Bagnold 1963 ► BEB 1966 ► Komar-Inman  
1970 ► CERC 1977 ► CERC1984

## HIPOTESIS DE PARTIDA

Transporte de sedimento se puede evaluar en función de  
una variable representativa del oleaje en rotura

*componente longitudinal del flujo de energía,  $PI$*



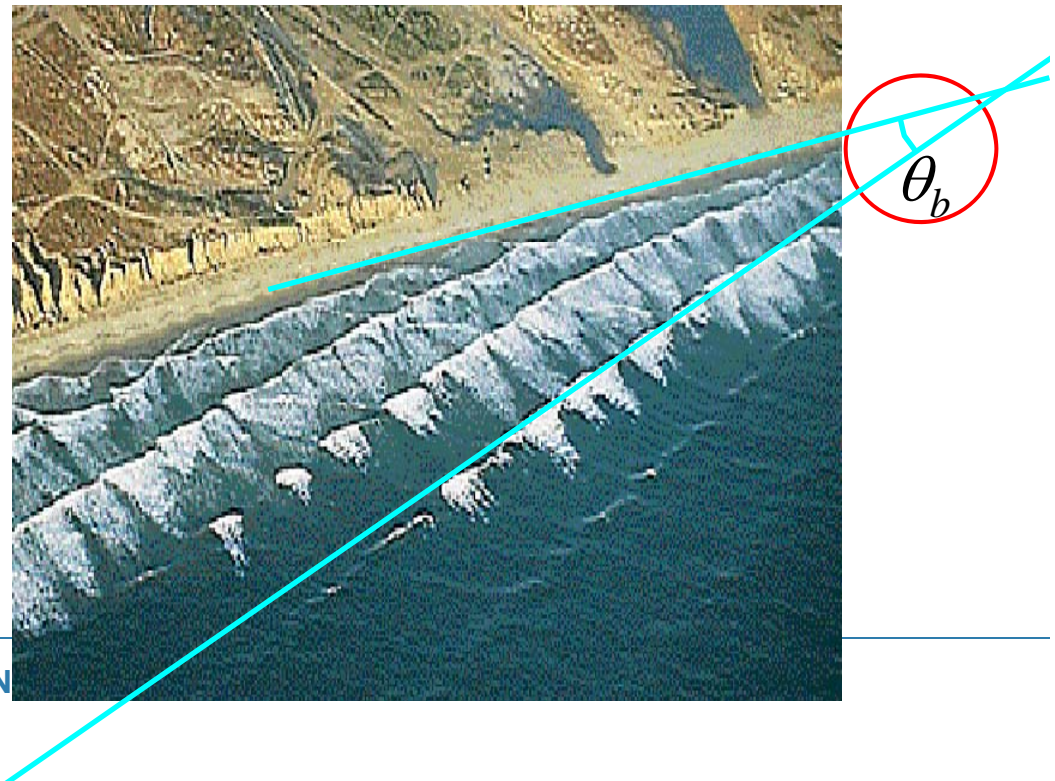


El transporte de sedimento,  $I$ , viene dado por la relación

$$I = K P l_b$$

Todas las variables del oleaje vienen dadas por

teoría lineal y son evaluadas en rotura



El flujo de energía,  $P$ , viene dado por la relación

$$P_b = (E C_g)_b = \frac{1}{8} \rho g H_b^2 C_{gb}$$

donde si se utiliza la aproximación de aguas someras para

la velocidad de grupo  $C_g = (g h)^{0.5}$

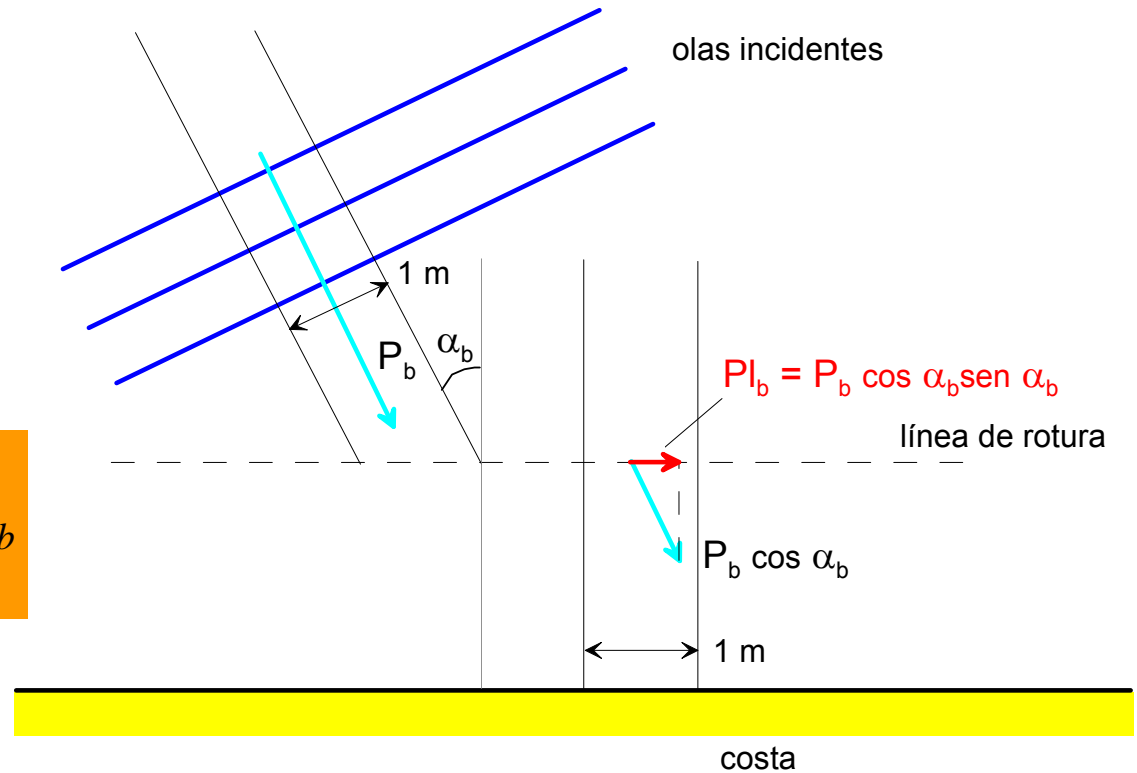
y asumiendo que la rotura viene definida por  $(H/h)_b = \gamma$

$$P_b = (E C_g)_b = \frac{1}{8} \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \rho g^{1.5} H_b^{2.5}$$

Este flujo de energía viene dado por *m de frente de onda*  
que si lo convertimos a flujo de energía por  
*m de línea de orilla*

$$P_b = \frac{1}{8} \rho g H_b^2 C_{gb} \cos \alpha_b$$

$$P_b = \frac{1}{8} \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \rho g^{1.5} H_b^{2.5} \cos \alpha_b$$



Puesto que lo que se intenta evaluar es el transporte longitudinal, el método utiliza la *componente longitudinal* de este flujo de energía por *m de línea de orilla*

$$Pl_b = \frac{1}{8} \rho g H_b^2 C_{gb} \cos \alpha_b \sin \alpha_b$$

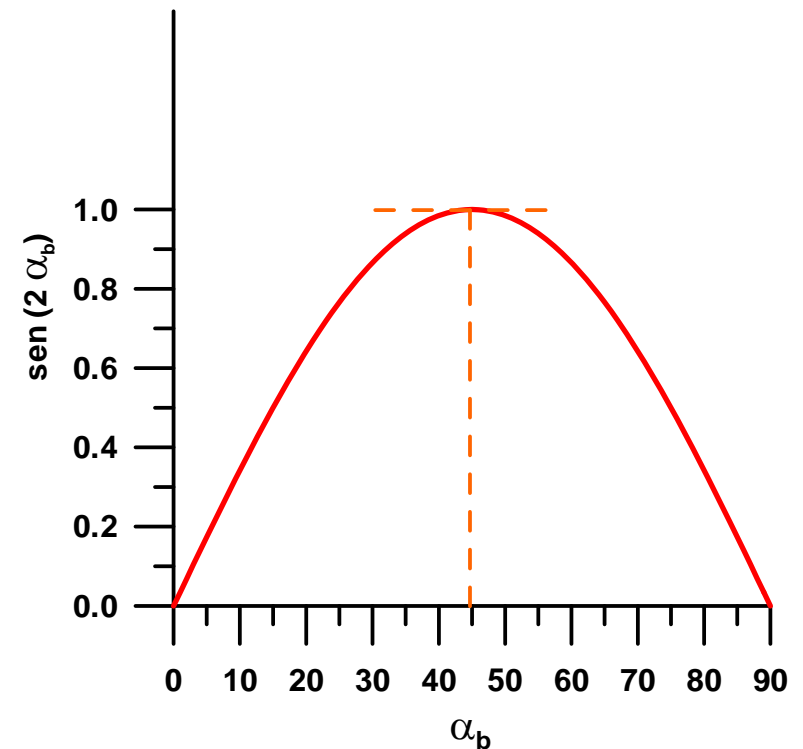
$$Pl_b = \frac{1}{8} \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \rho g^{1.5} H_b^{2.5} \cos \alpha_b \sin \alpha_b$$

con un poco de trigonometría

$$\sin \alpha \cos \alpha = 0.5 \sin (2 \alpha)$$

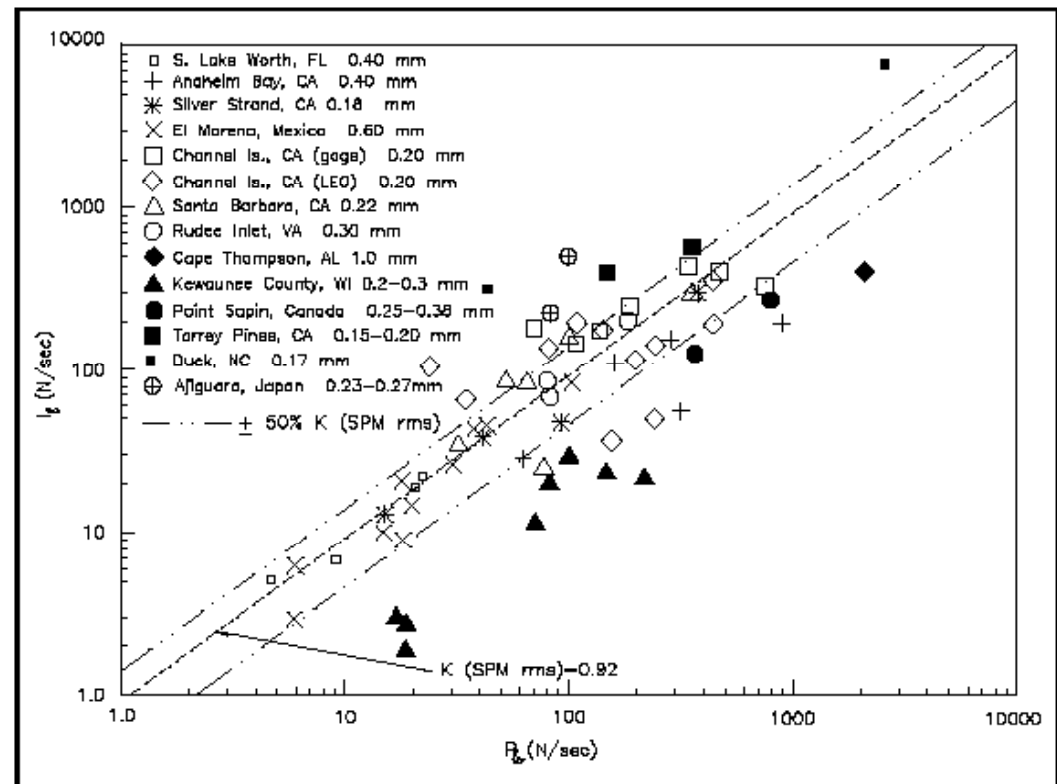
$$Pl_b = \frac{1}{16} \rho g H_b^2 C_{gb} \sin 2 \alpha_b$$

$$Pl_b = \frac{1}{16} \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \rho g^{1.5} H_b^{2.5} \sin 2 \alpha_b$$



Al relacionar la tasa de transporte de sedimento medido,  $I$ , vs la variable representativa del oleaje,  $Pl$ , encontraron que la relación era lineal del tipo

$$I = K Pl_b$$





Donde  $K$  es una constante de calibracion adimensional, por lo que la tasa de transporte de sedimento,  $I$ , viene dada en las mismas unidades que ,  $PI$  ,  $[N/s]$  , es lo que se denomina tasa de transporte en peso sumergido.

Si la convertimos a unidades “mas utilizables” tenemos

$$Sl = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1-p)} Pl_b \quad [m^3/s]$$

donde

- $\rho_s$  densidad del sedimento (**2650 Kg/m<sup>3</sup>**)
- $\rho$  densidad del agua de mar (**1025 Kg/m<sup>3</sup>**)
- $g$  aceleración de la gravedad (**9.81 m/s<sup>2</sup>**)
- $p$  porosidad del sedimento (**0.35 – 0.4**)

Dada la expresión obtenida es claro que la fiabilidad de esta depende cuan fiable sea el valor de ***K***.

### ***Problemas de la formula***

Inherentes a su definición.

No tiene en cuenta variables que potencialmente pueden  
Afectar al transporte de sedimento.

Formula empírica.



## PROBLEMAS DE LA FORMULA (1)

Inherentes a su definición:

### ***Formula integrada***

- No da información de cómo se distribuye el transporte de sedimento.
- Válida para aquellos casos en que el estudio no necesite conocer la distribución de éste a través del perfil de playa, e.g. Intercepción del transporte por parte de obstáculos integrales (diques largos).
- Problema soluble aplicando a la tasa de transporte calculada alguna *función de repartición* del transporte.

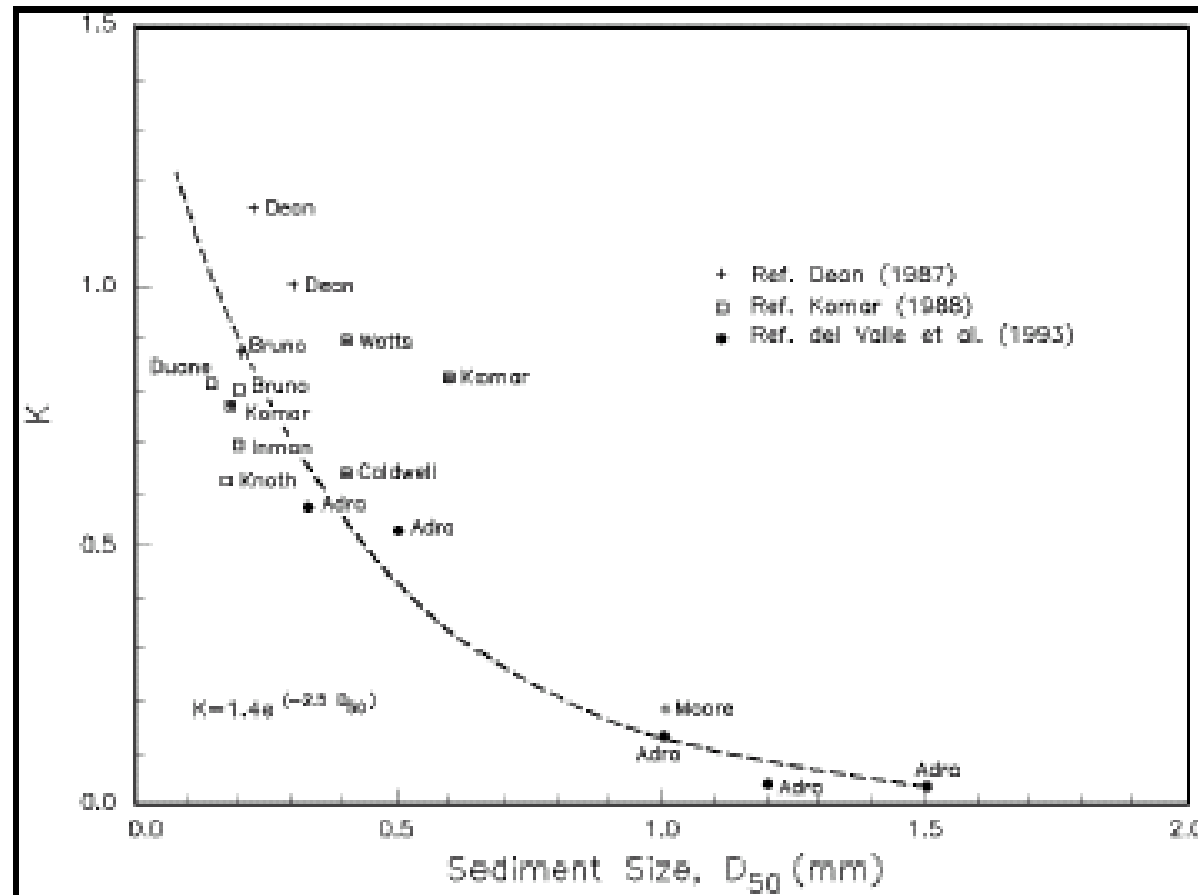


## PROBLEMAS DE LA FORMULA (2)

No tiene en cuenta variables que potencialmente pueden  
Afectar al transporte de sedimento :

**Tamaño de sedimento** – la fórmula predice el mismo transporte bajo la acción de un mismo oleaje en playas con tamaños de sedimento diferentes –.

- Algunos autores afirman que **no** existen datos que demuestren una dependencia de **K** con el tamaño de grano cuando la fórmula es aplicada al rango de arenas (e.g. Komar, 1998). Válido para el rango de sedimento tipo arena (0.15 mm – 1 mm).
- Otros autores afirman que **si** existen datos que demuestren una dependencia de **K** con el tamaño de grano cuando la fórmula es aplicada al rango de arenas (e.g. del Valle et al., 1993).

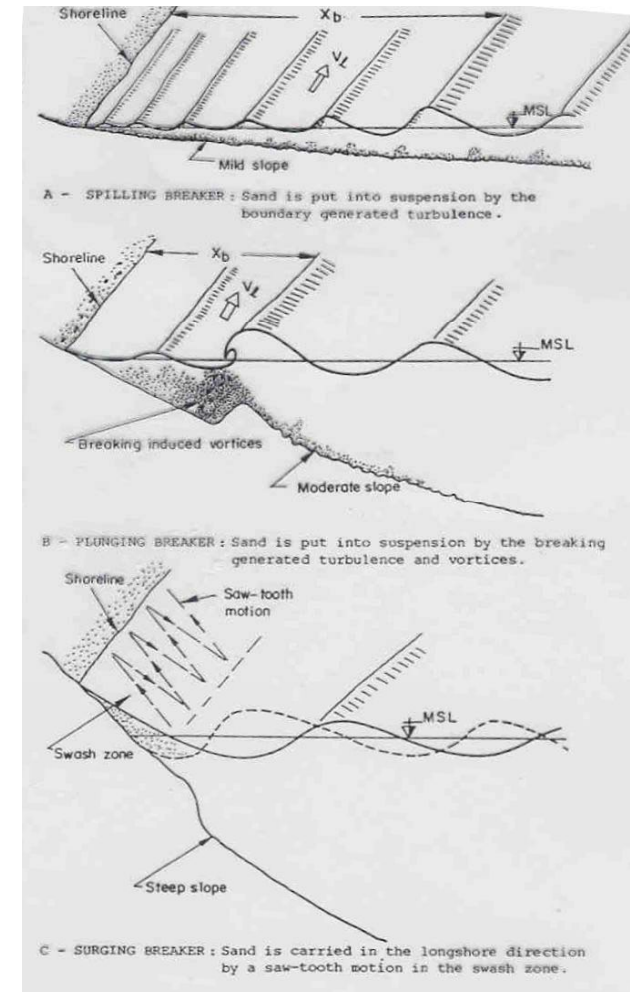




## PROBLEMAS DE LA FORMULA (3)

### ***Características de la playa – Tipo de rotura del oleaje –***

La fórmula predice el mismo independientemente del tipo de rotura del oleaje, el cual influirá en las características de la hidrodinámica de la zona donde se verifica el transporte.



## CERC - CUANTO VALE K ? -

$K=0.77$  (Komar y Inman, 1970)  
original con  $H_{rms}$

$K=0.7$  (Komar, 1998) con  $H_{rms}$

$K=0.29$  (Komar, 1998) con  $H_s$   
(distribución de tipo  
Rayleigh, teoría lineal e  
índice de rotura).

Fuente	$Dn_{50}$ (mm)	K
Watts (1953)	0.4	0.89 (0.73-1.03)
Caldwell (1956)	0.4	0.63 (0.16-1.65)
Moore y Cole (1960)	1	0.18
Komar y Inman (1970)	0.6	0.82 (0.49-1.15)
Lee (1975)	?	0.42 (0.24-0.72)
Knoth y Nummedal (1977)	?	0.62 (0.23-1.00)
Inman et al. (1980)	0.2	0.69 (0.26-1.34)
Duane y Janes (1980)	0.15	0.81
Bruno et al. (1981)	0.2	0.87 (0.42-1.15)
Dean et al. (1982)	0.22	1.15 (0.32-1.63)
Dean et al. (1987)	0.3	1.00 (0.84-1.09)

## CUANTO VALE $K$ ?

Si utilizamos  $H_s$  como dato de partida,  $K$  debe ser modificada  
 $SI \sim K H^{2.5}$

$$SI \sim K_{rms} H_{rms}^{2.5}$$

$$SI \sim K_s H_s^{2.5}$$

Asumiendo una distribución de alturas Rayleigh  $H_s = 2^{0.5} H_{rms}$

$$SI \sim K_s H_s^{2.5} \sim K_s (2^{0.5} H_{rms})^{2.5} \sim K_s 2.38 H_{rms}^{2.5}$$

$$K_s 2.38 H_{rms}^{2.5} = K_{rms} H_{rms}^{2.5} \text{ ----- } K_s = K_{rms} / 2.38 = 0.7 / 2.38 = 0.29$$

$$K = 0.29$$

$$0.15 \leq d_{50} \leq 1.0 \text{ mm}$$



EXPRESIONES PARA  $K$  VARIABLE PARAMETRICAMENTE

Expresión general para  $K$  propuesta por Bailard (1981, 1984)

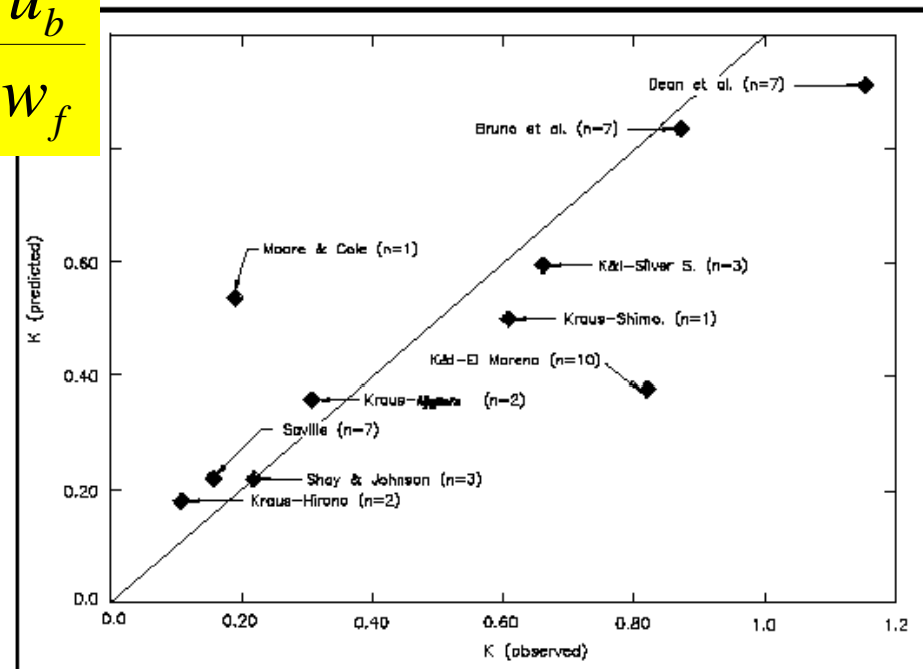
$$K = 0.05 + 2.6 \sin^2(2\alpha_b) + 0.007 \frac{u_b}{w_f}$$

$$u_b = \frac{\gamma}{2} \sqrt{g h_b}$$

$$2.5 \leq w_f \leq 20.5 \text{ cm/s}$$

$$0.2^\circ \leq \alpha_b \leq 15^\circ$$

$$0.33 \leq u_b \leq 2.83 \text{ m/s}$$



## FORMULA DE KAMPHUIS / QUEENS

FORMULA DESARROLLADA POR KAMPHUIS (1991)

INTEGRADA, SIMPLE Y DEPENDIENTE DE PARAMETROS RELEVANTES QUE DEFINEN EL PROBLEMA A RESOLVER

FORMULA DERIVADA A PARTIR DE ANALISIS DIMENSIONAL, PUNTO DE PARTIDA

$$Q_s = f(H, T, \alpha, h, \rho, \mu, g, x, y, z, t, \rho_s, D, m)$$

PUESTO EN FUNCION DE PARAMETROS ADIMENSIONALES –  $H, T, \rho$ –

$$\Pi_Q = \frac{Q_s}{\rho H^3 / T} = \phi \left( \frac{g T^2}{H}, \alpha, \frac{h}{H}, \frac{\mu / \rho}{H^2 / T}, \frac{x}{H}, \frac{y}{H}, \frac{z}{H}, \frac{t}{T}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{D}{H}, m \right)$$



LA EXPRESION SE PUEDE SIMPLIFICAR (SIN PERDIDA DE INFORMACION SIGNIFICATIVA) ELIMINANDO ALGUNAS VARIABLES DE ACUERDO A LAS SIGUIENTES HIPOTESIS

$h/H$  ES DEFINIDO POR LA ROTURA Y NO ES UNA VARIABLE

ZONA TURBULENTA, LA VISCOSIDAD NO ES IMPORTANTE

FORMULA INTEGRADA, COORDENADAS ESPACIALES NO IMPORTANTES

FORMULA PROMEDIADA EN EL TIEMPO  $t/T$  NO ES NECESARIO

EN LAS SITUACIONES A APLICAR (NORMALMENTE) LAS CONDICIONES SON AGUA/ARENA POR LO QUE  $\rho_s / \rho$  ES CONSTANTE

$$\Pi_Q = \frac{Q_s}{\rho H^3 / T} = \phi \left( \frac{g T^2}{H}, \alpha, \cancel{\frac{h}{H}}, \cancel{\frac{\mu}{\rho}}, \cancel{\frac{x}{H}}, \cancel{\frac{y}{H}}, \cancel{\frac{z}{H}}, \cancel{\frac{t}{T}}, \cancel{\frac{\rho_s}{\rho}}, \frac{D}{H}, m \right)$$

ADICIONALMENTE SE IMPONEN LAS SIGUIENTES CONDICIONES

TRANSPORTE LONGITUDINAL SIGUE UNA RELACION TIPO CERC  
Y LA DEPENDENCIA DEL ANGULO ES FUNCION DE  $\sin 2\alpha$

LA PENDIENTE DE LA PLAYA,  $m$ , SE DEFINE COMO  $h_b/X_b$

EL TERMINO  $gT^2 / H$  es PROPORCIONAL AL PERALTE DEL OLEAJE,  $L/H$

LA ALTURA DE OLA A USAR ES  $H_s$  Y EL PERIODO DEL OLEAJE ES  $T_p$

CON TODAS LAS HIPOTESIS LA FORMULA QUEDA COMO

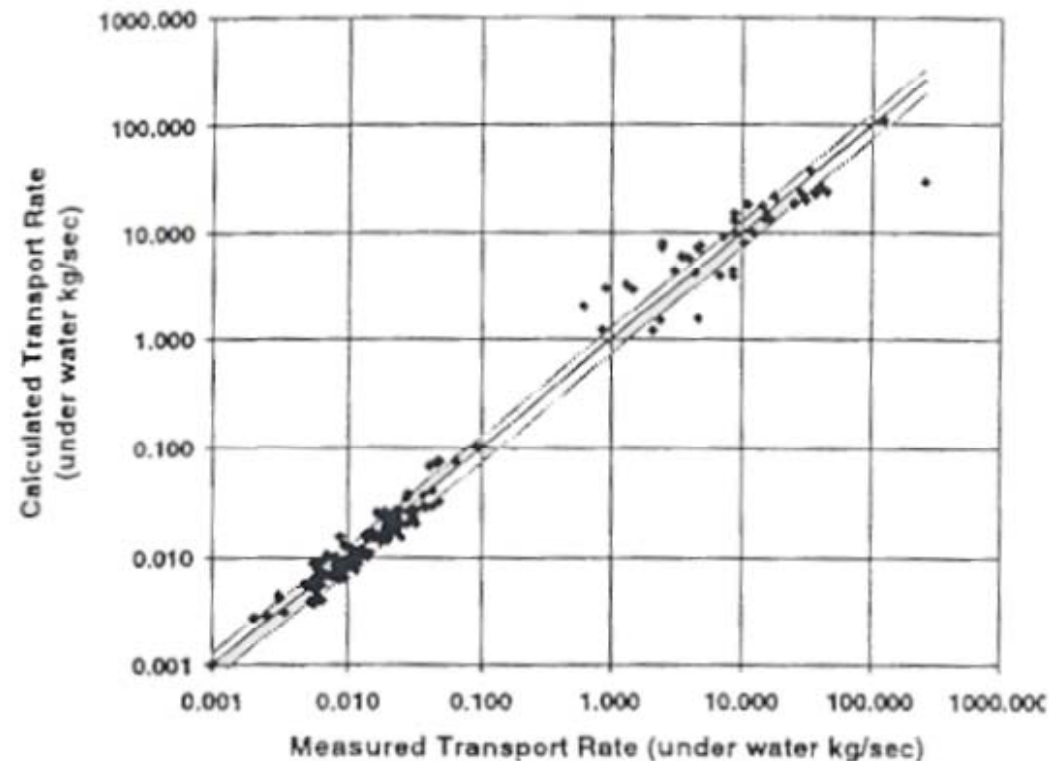
$$\frac{Q_s}{\rho H_{s,b}^3 / T_p} = K \left( \frac{H_{s,b}}{L_{op}} \right)^p m_b^q \left( \frac{H_{s,b}}{d_{50}} \right)^r \sin^s(2\alpha_b)$$

PARA OBTENER LA FORMULA DEFINITIVA, LOS VALORES DE LOS EXPONENTES **p**, **q**, **r**, **s** SE DETERMINAN A PARTIR DE UN AJUSTE FRENTE A DATOS DE TRANSPORTE

	mínimo	óptimo	máximo
p	-1.3	-1.25	-1.15
q	0.6	0.75	0.85
r	0.15	0.25	0.3
s	0.55	0.6	0.6

	$\sigma'$
lab tests	0,27
field data	0,99
lab+field	0,48

$$\sigma' = \frac{\sigma}{x}$$



68% puntos se sitúan en  $\pm\sigma$



EN **kg/ s**

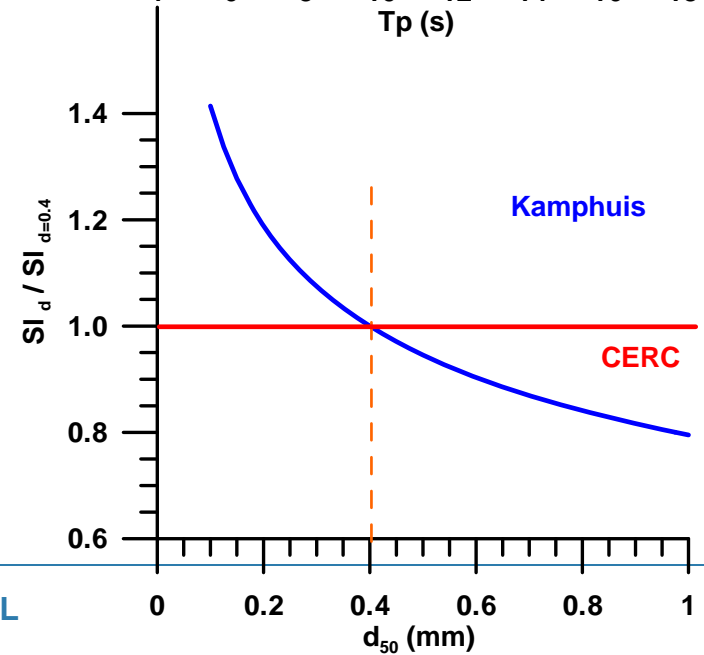
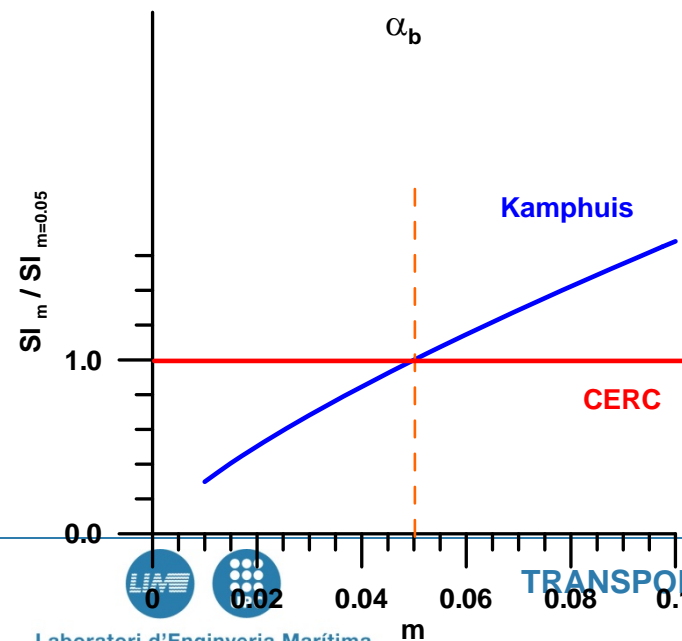
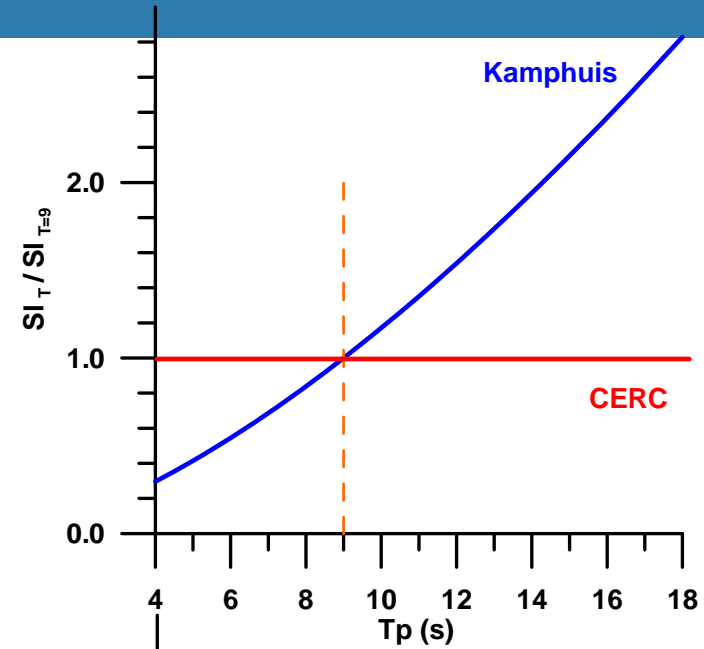
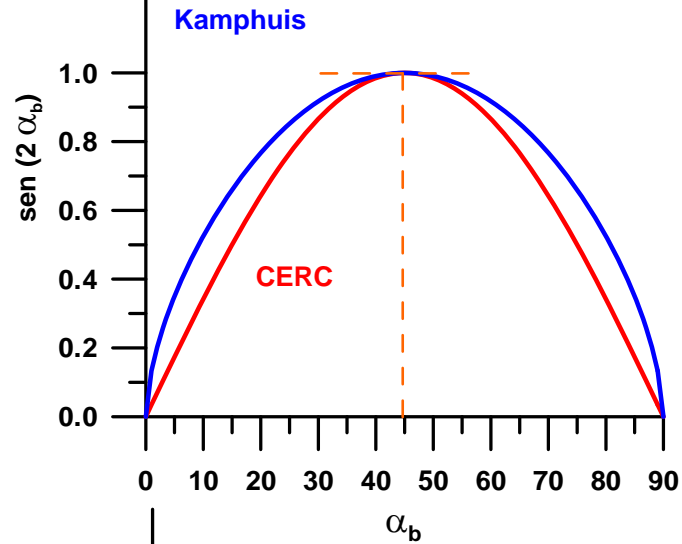
$$\frac{Q_s}{\rho H_{s,b}^3 / T_p} = K \left( \frac{H_{s,b}}{L_{op}} \right)^{-1.25} m_b^{0.75} \left( \frac{H_{s,b}}{d_{50}} \right)^{0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b)$$

EN **m<sup>3</sup>/ hora**

$$Q_s = 7.3 H_{s,b}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} d_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b)$$

EN **m<sup>3</sup>/ año**

$$Q_s = 63,950 H_{s,b}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} d_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b)$$

**CERC vs KAMPHUIS**

TRANSPORTE LONGITUDINAL