

INFLUENCIA DE LA RELACIÓN ANCHO/TIRANTE EN LAS FÓRMULAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS FLUVIALES

Américo Dini¹ y Alfonso Pujol²

Universidad de Buenos Aires – Facultad de Ingeniería
e-mails: ¹ – eschid@fi.uba.ar; ² – apujol@fi.uba.ar

Resumen

La mayoría de las fórmulas de transporte de sedimentos fluviales han sido desarrolladas en base a datos de ríos medianos a pequeños. Ello es así porque ese tamaño de ríos facilita la obtención de una buena cantidad de datos hidrográficos, en particular la de gastos líquidos (caudal) y sólidos. Sin embargo, las fórmulas desarrolladas a partir de esos datos tienen el inconveniente – entre otros – de estar fuertemente influenciados por las márgenes.

Grandes ríos, como el Paraná o el Amazonas, tienen una gran relación ancho/tirante (B/h). En estos ríos se consiguen buenos resultados con la aplicación de fórmulas de transporte, en particular la de Engelund-Hansen (1967), basadas en datos de canales de laboratorio con relaciones B/h mayores de 5. Se mejoran aun más los resultados si se consideran subsecciones de la sección transversal, cada una con suficiente B/h , con tirante y velocidad relativamente constantes.

En esta contribución se presenta una fórmula que tiene en cuenta la influencia de las márgenes cuando la relación B/h es menor que 7 (Ec. 2). Para ello, se ha recurrido a datos de G. P. Williams (1970), los cuales son prácticamente coincidentes con los Guy et en el rango utilizado por Engelund-Hansen.

Introducción

Es interesante mencionar que Williams, unos pocos años después de Guy et al (1966), realizó una extensa serie de ensayos de laboratorio que básicamente corroboran los de Guy et al, usados por Engelund-Hansen. A nuestro entender, los ensayos de Williams no han sido aprovechados hasta ahora para desarrollar una fórmula, menos aun para considerar la influencia de B/h , no tenida en cuenta en otras fórmulas. En la Fig. 1 se incluye una versión modificada por A. Pujol (2006) de la fórmula de Engelund-Hansen y la propiciada en la presente contribución – prácticamente coincidentes cuando no con influye B/h , como es el caso ilustrado en ese gráfico. La modificación de A. Pujol modificó el valor de $\alpha = 0,1$ (original) por $\alpha = 0,04$, variación producida al eliminar los valores de Guy et al condicionados por las paredes del canal de ensayos. Debe señalarse que ha sido posible graficar la curva para Engelund-Hansen *modificada*, adoptando un valor $c^2 = 114$; otros valores hasta $c^2 \pm \sigma$ (desvío estándar) resultan en una “franja” en torno a la curva de Engelund-Hansen *modificada*, según se muestra en la Fig. 2. El adoptar $c^2 = 114$ respondió al interés de los autores (2010) de incluirla en un gráfico que solo tiene como variables a ϕ_v y τ_{adm} , del ASCE Sedimentation Engineering (2007).

Además de esa inclusión, los autores también seleccionaron la mitad de los datos usados para desarrollar la fórmula de Engelund-Hansen, que tuviesen las mayores relaciones B/h , supuestamente tendiendo a la bidimensionalidad y que se representó con la expresión $\phi_{vol} = 2\tau_{adm}^{2.6}$. Esa segunda curva “casi-bidimensional” aparece en la Fig. 1 bastante por debajo de las curvas de Engelund-Hansen *modificada* y la Ec. 1.

Desarrollo

Como se advierte de lo recién comentado, con los datos de Williams puede obtenerse una expresión muy cercana a la de Engelund-Hansen *modificada*, según se muestra en la Fig. 1:

$$\phi_v = 7.24 \cdot \tau_{adm}^{2.6} \quad [1]$$

Como es lógico, la Ec. 1 también permite describir la transición entre dos subsecciones transversales sucesivas. La exitosa aplicación de las fórmulas de Engelund-Hansen o la Ec. 1, en grandes ríos indicaría que la transición entre dos subsecciones subsección – con velocidades y concentraciones aproximadamente constantes – constituye una perturbación con un significado relativamente chico en el comportamiento de las subsecciones, claro está, salvo en escalones y planos longitudinales, y, evidentemente, las márgenes.

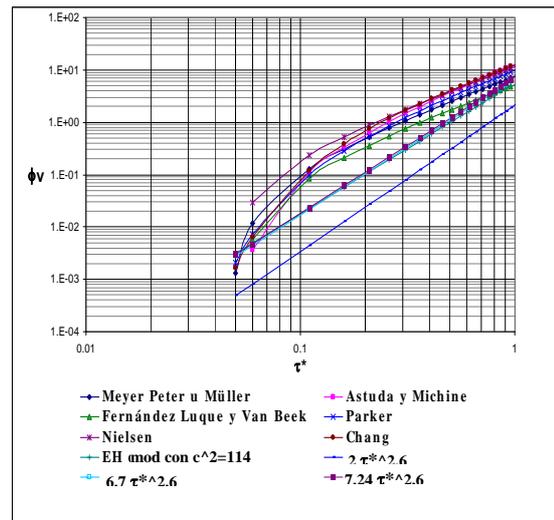


Figura 1. - Fórmulas de transporte de sedimentos en función de ϕ_v y τ_{adm} cuando B/h no influye.

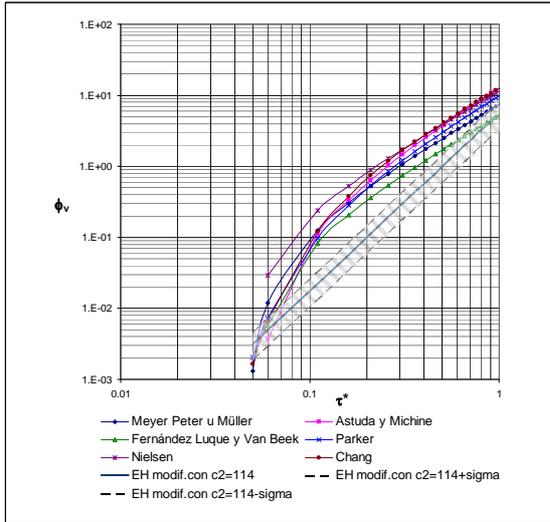


Figura 2.- Engelund-Hanse *modificada*, para $c^2 = 114$, con indicación de la franja de $c^2 \pm 47$ (desvío estándar)

La Ec. 1 es válida para $B/h \geq 5$. También es posible incluir la influencia de B/h , en una expresión para $B/h < 5$:

$$\phi_v = 2 (\tau_{adm})^{2,6} (B/h)^{(1,5 - 0,14 B/h)} \quad [2]$$

En esas expresiones (Ecs. 1 y 2) son:

$$\phi_{Vol} = \frac{g_s \text{ total}}{d_s^{3/2} \sqrt{g(s-1)}} \quad \text{función de transporte adim.}$$

$$\tau_{adm} = \frac{R I}{(s-1) d_s} \quad \text{tensión de corte adimensional}$$

$g_s \text{ total}$ gasto volumétrico total de sed. por unidad de ancho en $m^3/s/m$; d_s diámetro significativo del sedimento en m; g aceleración de la gravedad; s razón entre las densidades del sedimento y del agua; R radio hidráulico, en m; I pendiente hidráulica del cauce; B ancho de la sección transversal o de una subsección; h tirante de la sección transversal o de una subsección

Debe advertirse que la Ec. 2 es idéntica a la Ec. 1 cuando $B/h = 5$. Para $B/h > 5$ solo es válida la Ec. 1 y para $B/h < 5$ solo es válida la Ec. 2.

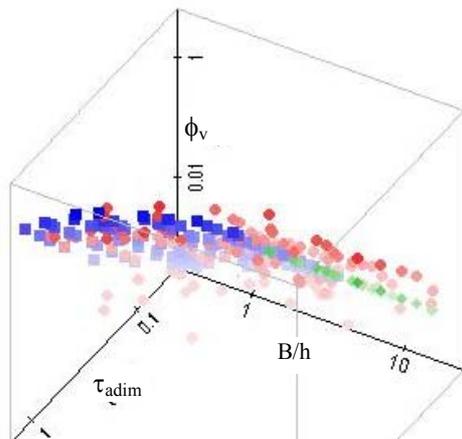


Figura 3. Superficie $\phi_v = f(\tau_{adm}; B/h)$. Datos de Williams – Datos ● Ec [1]◆ Ec.[2]■

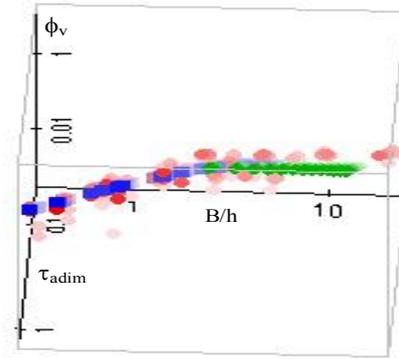


Figura 4. Influencia de B/h sobre ϕ_v y τ_{adm} : Williams – Datos ● Ec [1]◆ Ec.[2]■

En la Fig. 3. se muestran los puntos experimentales de Williams, el ajuste con una superficie curva tridimensional para $B/h < 5$ representado por la Ec. 2 y el ajuste con un plano para $B/h > 5$, representado por la Ec. 1.

Por otra parte, el modo de representar el espacio $[\phi_v; \tau_{adm}; B/h]$ en la Fig. 4, pone en evidencia la transición entre la Ec 2 y la Ec. 1. En realidad solo se trata de un giro de los ejes $[\phi_v; \tau_{adm}; B/h]$, a ese efecto.

Respecto a la relación gasto sólido/gasto líquido, se supondría relativamente biunívoca para determinadas condiciones hidrográficas. Sin embargo, en recientes mediciones de Szupiany-Latosinski (mayo 2011) en el brazo Colastiné del río Paraná, en numerosos casos aparecen trayectorias dispares entre el transporte sólido respecto del líquido, aun cuando – de acuerdo a experiencia – la aplicación de la fórmula de Engelund-Hansen todavía ofrezca buenos resultados

Referencias

- ASCE (2007): *Sedimentation Engineering – Processes, Measurements, Modeling, and Practice*. Ed. M. García, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 110. Reston, Virginia, USA. Fig. 2-33, pag.74.
- Dini, A. L. y A. Pujol (2010): “Compatibilización de fórmulas de transporte de sedimentos no-cohesivos”. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica – IAHR, Punta del Este, Uruguay. Noviembre.
- Engelund, F. y E. Hansen (1967): *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams*. Teknisk Forlag, Copenhagen, Dinamarca.
- Guy, H. P., D. B. Simons y E. V. Richardson (1966): *Summary of Alluvial Channel Data from Flume Experiments*. Professional Paper 462-I. U. S. Geological Survey.
- Pujol, A. (2006): “Mejores predicciones de transporte de sedimento con mediciones a lo largo de tubos de corriente”. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica – IAHR. Ciudad Guayana, Venezuela. Octubre
- Szupiani, R. N. y F. Latosinski (2011): comunicación personal, Santa Fe, Argentina, mayo,
- Williams G. P. (1970): “Flume width and water depth effects in sediment transport experiments”. Professional Paper 562h, U.S. Geological Survey.