

## EL NÚMERO DE VEDERNIKOV CALCULADO EN LÍNEA

VÍCTOR M. PONCE

Universidad Estatal de San Diego, California, EE.UU.  
vponce@sdsu.edu, poncev@gmail.com

### Introducción

Ponce (1991) ha presentado los números de Froude (**F**) y Vedernikov (**V**) como esencialmente dos partes del mismo tema, argumentando en forma convincente a favor de su tratamiento conjunto. En la hidráulica de canales, los dos números constituyen una verdadera dualidad, porque su relación  $V/F$  es igual a  $(\beta - 1)$ , en el cual  $\beta$  es el exponente de la curva de gasto  $Q = \alpha A^\beta$ . El exponente  $\beta$  es sumamente importante porque encapsula no sólo los números de Froude y Vedernikov, sino también la fricción de fondo y la forma de la sección transversal del canal.

### Número de Vedernikov

Para describir apropiadamente el número de Vedernikov, primero definimos las tres velocidades típicas en el flujo en canal abierto: (1) la velocidad media del flujo permanente  $u$ , (2) la celeridad relativa de las ondas cinemáticas  $v$ , y (3) la celeridad relativa de las ondas dinámicas  $w$ . Las ondas cinemáticas son las ondas "largas" de Seddon (1900); las ondas dinámicas son las ondas "cortas" de Lagrange (1788).

El número de Vedernikov se define como  $V = v/w$ , la relación entre las celeridades relativas de la onda cinemática y dinámica. El valor del umbral  $V = 1$ , denominado flujo neutralmente estable o neutro, separa el flujo estable ( $V < 1$ ) del inestable ( $V > 1$ ). En flujo neutralmente estable, las ondas cinemáticas y dinámicas viajan con la misma celeridad. En flujo estable, las ondas dinámicas viajan más rápido que las ondas cinemáticas; en flujo inestable, las ondas cinemáticas viajan más rápido que las ondas dinámicas.

### Diseño de Canales Estables

El concepto de número de Vedernikov es muy útil en el diseño de canales para asegurar la estabilidad hidrodinámica. El diseño hidráulico del flujo en canales revestidos y empujados requiere una evaluación del número de Vedernikov asociado con el caudal de diseño. Si el número de Vedernikov calculado excede la unidad, existe la posibilidad de que se formen ondas de rollo. En la literatura en Español también se ha hecho referencia a estas

ondas como ondas "pulsantes", para denotar el hecho de que invariablemente ocurren como un "tren de ondas de masa" que viajan canal o río abajo a altas velocidades, a menudo peligrosas (Lighthill y Whitham, 1955; Ponce y Choque Guzmán, 2019).

El objetivo debe ser el mantener a las ondas de rollo dentro de los límites establecidos del canal, para el caudal de diseño adoptado o, mejor aún, diseñar la sección transversal del canal para evitar por completo las ondas de rollo. Esto requiere una comprensión profunda de la naturaleza y el comportamiento de las ondas de rollo. Necesariamente, el análisis se basa en la evaluación del exponente de la curva de gasto  $\beta$ . Para evitar ondas de rollo, el  $\beta$  de diseño debe ser el valor más bajo posible, acorde con otros criterios de diseño tales como el costo y la huella geométrica del proyecto.

Aquí describimos dos ejemplos del cálculo de  $\beta$  utilizando ONLINECHANNEL15B (<https://ponce.sdsu.edu/onlinechannel15b.php>), una herramienta en línea específicamente diseñada para calcular el valor de  $\beta$  para un canal prismático de sección rectangular, triangular, o trapezoidal. El objetivo es mostrar la variación del número de Vedernikov  $V$  con  $\beta$ , confirmando una vez más la relación directa entre ellos.

Ejemplo 1: Alto valor de  $\beta$ , sección rectangular.

Caudal = 100 m<sup>3</sup>/s; ancho de fondo  $b = 6$  m; profundidad de flujo  $y = 1,638$  m; pendiente lateral  $z = 0$ ;  $n$  de Manning = 0,025; pendiente de fondo  $S = 0,06$ .

Nótese que estos datos se asemejan a las condiciones de flujo del canalizado río Huaynajahuira en La Paz, Bolivia (Fig. 1).

Los resultados de ONLINECHANNEL15B se muestran en la Fig. 2.

Ejemplo 2: Bajo valor de  $\beta$ , sección trapezoidal.

Caudal = 100 m<sup>3</sup>/s; ancho de fondo  $b = 1$  m; profundidad de flujo  $y = 3,503$  m; pendiente lateral  $z = 0,5$ ;  $n$  de Manning = 0,025; pendiente de fondo  $S = 0,06$ .

Esta condición hipotética modifica el Ejemplo 1 reduciendo el ancho de fondo y aumentando la pendiente lateral.

Los resultados de ONLINECHANNEL15B se muestran en la Fig. 3.



Figura 1. El río canalizado Huayñajahuira river, en La Paz, Bolivia.

INPUT DATA:	INTERMEDIATE CALCS:	OUTPUT:
Stream or river (optional): Example 1	Units selected: SI (metric) Grav. accel. g: 9.806 m s <sup>-2</sup> Constant C: 1	Stream or river (optional): Example 1 Discharge Q: 100.0 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Select: <input type="radio"/> SI units (metric) <input type="radio"/> U.S. Customary units	Wetted perimeter P: 9.276 m Top width T: 6 m	Flow velocity v: 10.18 m s <sup>-1</sup> Froude number F: 2.54
Bottom width b: 6 m	Flow area A: 9.828 m <sup>2</sup> Hydraulic radius R: 1.059 m Hydraulic depth D: 1.638 m	Exponent of the rating β: 1.58 Neutrally stable Froude number F <sub>ns</sub> : 1.71
Flow depth y: 1.638 m		Vedernikov number V: 1.48
Side slope z <sub>1</sub> : 0		
Side slope z <sub>2</sub> : 0		
Manning's n: 0.025		
Bottom slope S: 0.06		
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/>		

Figura 2. Resultados de ONLINECHANNEL15B: Ejemplo 1.

INPUT DATA:	INTERMEDIATE CALCS:	OUTPUT:
Stream or river (optional): Example 2	Units selected: SI (metric) Grav. accel. g: 9.806 m s <sup>-2</sup> Constant C: 1	Stream or river (optional): Example 2 Discharge Q: 100.0 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Select: <input type="radio"/> SI units (metric) <input type="radio"/> U.S. Customary units	Wetted perimeter P: 8.832 m Top width T: 4.503 m	Flow velocity v: 10.38 m s <sup>-1</sup> Froude number F: 2.26
Bottom width b: 1 m	Flow area A: 9.638 m <sup>2</sup> Hydraulic radius R: 1.091 m Hydraulic depth D: 2.140 m	Exponent of the rating β: 1.35 Neutrally stable Froude number F <sub>ns</sub> : 2.77
Flow depth y: 3.503 m		Vedernikov number V: 0.81
Side slope z <sub>1</sub> : 0.5		
Side slope z <sub>2</sub> : 0.5		
Manning's n: 0.025		
Bottom slope S: 0.06		
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/>		

Figura 3. Resultados de ONLINECHANNEL15B: Ejemplo 2.

En el Ejemplo 1, un canal rectangular, los resultados son:  $\beta = 1,58$ , y  $V = 1,48$ , indicando un flujo inestable. Cabe mencionar que el río canalizado Huayñajahuira sufre de eventos recurrentes de ondas de rollo, lo cual ha sido ampliamente documentado por Ponce y Choque Guzmán (2019).

En el Ejemplo 2, un canal trapezoidal, los resultados son:  $\beta = 1,35$ , y  $V = 0,81$ , indicando un flujo estable (Ponce, 2021). Se observa la relación directa entre  $\beta$  y  $V$ ; cuanto menor sea el exponente  $\beta$ , menor será el número de Vedernikov  $V$ .

## Observaciones Finales

Se revisa y aclara el concepto del número de Vedernikov. Junto con el número de Froude,

constituyen una dualidad inseparable, más ahora que su relación con  $\beta$ , el exponente de la curva de gasto ( $V/F = \beta - 1$ ), ha sido claramente establecida y su utilidad en el diseño de canales ampliamente demostrada. El uso de una calculadora en línea para  $\beta$  y  $V$  en términos de variables hidráulicas aumenta considerablemente la utilidad de la teoría, haciendo posible el evitar las ondas de rollo en la etapa de diseño.

## Referencias

Lagrange, J. L. de. 1788. Mécanique analytique, Paris, part 2, section II, article II, p. 192.

Lighthill, M. J. y G. B. Whitham. 1955. On kinematic waves. I. Flood movement in long rivers. *Proceedings, Royal Society of London, Series A*, 229, 281-316.

Ponce, V. M. y D. B. Simons. 1977. Shallow wave propagation in open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 103(12), 1461-1476.

Ponce, V. M. 1991. New perspective on the Vedernikov number. *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 7, 1777-1779, July.

Ponce, V. M. y B. Choque Guzmán. 2019. The control of roll waves in channelized rivers. Artículo en línea. ([https://ponce.sdsu.edu/the\\_control\\_of\\_roll\\_waves.html](https://ponce.sdsu.edu/the_control_of_roll_waves.html))

Ponce, V. M. 2021. Design of a stable channel on a steep slope using the exponent of the rating. Artículo en línea. ([https://ton.sdsu.edu/design\\_of\\_a\\_stable\\_channel\\_using\\_the\\_exponent\\_of\\_the\\_rating.html](https://ton.sdsu.edu/design_of_a_stable_channel_using_the_exponent_of_the_rating.html))

Ponce, V. M. 2023. Kinematic and dynamic waves: The definitive statement. Artículo en línea. ([https://ponce.sdsu.edu/kinematic\\_and\\_dynamic\\_waves.html](https://ponce.sdsu.edu/kinematic_and_dynamic_waves.html))

Seddon, J. A. 1900. River hydraulics. *Transactions, ASCE*, Vol. XLIII, 179-243, Junio.