

# Longitud de reja de un sistema de captación de fondo

## Rack length of a bottom intake system

(Recepción 02/01/2017; Aceptación 09/03/2017)

Haro, P.L.<sup>1</sup>; García, J.T.<sup>2</sup>; Castillo, L.G.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Cartagena. Estudiante de Doctorado

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor Asociado

<sup>3</sup> Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor Titular

Teléfono: +34 603 180 335

Email: patricia.haro@epn.edu.ec

**Resumen.** La longitud de reja es una variable de importancia en el diseño de un sistema de captación de fondo. El presente trabajo recoge diversas formulaciones para el dimensionamiento de rejillas de fondo en captaciones caucásicas o tirolesas. Los valores de longitud de reja para diversos caudales derivados se presentan en forma adimensional y para relaciones de área libre (espacio entre barrotes) sobre área total de 0.28 y 0.60. Dichas longitudes manifiestan importantes diferencias en función de las condiciones para las que fueron obtenidas en cuanto al tipo de barras -circulares o planas-, espaciamiento entre barras, o la pendiente adoptada por la reja.

**Palabras clave.** Condiciones de Diseño; Índice de huecos; Longitud de Reja, Captación de fondo

**Abstract.** The length of rack to derive a flow rate is an important variable in the design of bottom rack systems. The present work includes several formulations for the sizing of the bottom racks of a Caucasian or Tyrolean weir. Rack length values for different flow rates are presented in dimensionless form and for the ratio free area over total area of values 0.28 and 0.60. These lengths present important differences depending on the conditions for which they were obtained as, type of bars, e.g. circular or flat, spacing between the bars, or the slope adopted by the grid.

**Keywords.** Bottom Racks; Design Conditions; Void Ratio, Wetted Rack Length.

## 1. Introducción

Los ríos de montaña se caracterizan por tener pendientes longitudinales fuertes, lluvias intensas de corta duración, grandes variaciones de caudal y alto contenido de sedimento con escasos finos (agua limpia en época de estiaje), Krochin (1968).

Las zonas semiáridas, en cambio, se caracterizan por tener escasas precipitaciones y gran variabilidad espacio – temporal, baja humedad de los suelos, escasez de cubierta vegetal, morfología abrupta y con escorrentías con gran capacidad de transporte de sedimentos (García, 2016).

En las cuencas de ríos de montaña, se han utilizado captaciones tirolesas o caucásicas por su capacidad de captación derivando la mínima cantidad de sedimentos, lo que facilita su operación y mantenimiento cuando se ubican en lugares de difícil acceso (Krochin, 1978).

En las cuencas semiáridas se plantea la implementación de captaciones con reja de fondo en las partes altas para captar caudales de escorrentía en tiempo de lluvias. Sin embargo, la alta capacidad de arrastre de sedimentos en este tipo de cuencas precisa el estudio detallado de los parámetros de diseño a fin de optimizar el dimensionamiento de la estructura y garantizar la captación de caudales de avenida con elevada capacidad de transporte de sólidos (Castillo & Lima, 2010; García, 2016).

## 2. Consideraciones de Diseño

Las captaciones de fondo constan de una reja formada por barras paralelas dispuestas longitudinalmente a la corriente y ubicada con cierta inclinación,  $\operatorname{tg}\theta$ , sobre una galería hecha en el cuerpo de un azud o en el fondo de un canal que facilita la derivación del caudal.

Una vez definido el caudal a captar, para el correcto diseño de la reja, se necesita considerar los factores que afectan su eficiencia como: la relación entre el área de huecos y el área total (índice de huecos), forma de las barras, pendiente de la reja (reduce la oclusión y facilita la autolimpieza), las condiciones de aproximación del flujo (número de Froude a la entrada) y la resistencia a la flexión de los perfiles (capacidad de resistir golpes o abrasión provocada por material grueso transportado por las avenidas).

El comportamiento de las rejillas de fondo ha sido estudiado por diversos investigadores como se menciona en el trabajo realizado por García (2016). El flujo sobre los sistemas de captación de fondo es tridimensional y espacialmente variado, presentando interacciones con las barras y un alto nivel de turbulencia. Como simplificación, para el ajuste de los diversos parámetros se suele adoptar las siguientes hipótesis:

- Distribución hidrostática de presiones a lo largo del flujo.
- Flujo unidimensional con caudal decreciente



- Aplicación de la Ecuación de Conservación de la Energía.
- Coeficientes de descarga ajustados experimentalmente.

En cuanto a la pérdida de energía, en algunos estudios se asume como hipótesis que es despreciable (línea de energía horizontal) mientras que en otros casos, se parte de la hipótesis de energía específica constante, asumiendo que el calado que se presenta al inicio de la reja corresponde al calado crítico.

### 3. Longitud de la Reja de Fondo

El presente trabajo recoge diversas formulaciones que proponen longitudes de reja necesarias para derivar un determinado caudal en un sistema de captación de fondo. Estas formulaciones proceden de trabajos experimentales en laboratorio y en prototipo recogidos en la bibliografía. Los resultados obtenidos de su aplicación se recogen en las Figuras 1 y 2 para los casos de índices de huecos  $m = 0.28$  ( $b_I = 0.0389$  m y  $b_w = 0.10$  m) y  $0.60$  ( $b_I = 0.15$  m y  $b_w = 0.10$  m); barras planas con forma de T, prismáticas, circulares y prismáticas con coronación redondeada; y pendiente del 20%. En el caso del índice de huecos  $m = 0.60$  los valores se pueden comparar con los medidos en prototipo para el caso de barras circulares y pendiente del 20% (Drobir, 1999).

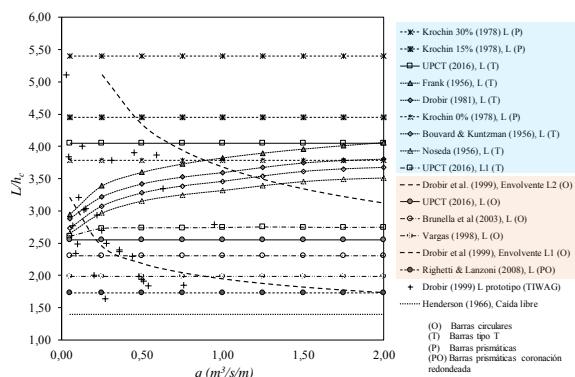


Figura 1. Relación Longitud de reja - calado crítico en función del caudal máximo de captación para  $m = 0.60$ .

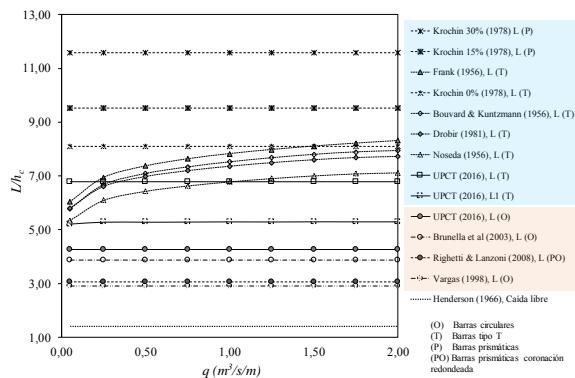


Figura 2. Relación Longitud de reja - calado crítico en función del caudal máximo de captación para  $m = 0.28$ .

En las figuras 1 y 2 se muestran diferentes longitudes:  $L$  es la longitud total de la reja para derivar un determinado caudal;  $L_I$  representa la

longitud máxima que alcanza la lámina de agua entre dos barras; y  $L_2$  es la envolvente de las longitudes medidas en prototipo para derivar la totalidad de un caudal, es decir una envolvente de  $L$  (Drobir, 1999). En dichas figuras se distinguen las formas de las barras que fueron usadas para ajustar cada formulación, mientras que en el Anexo se pueden observar las características de los ensayos experimentales realizados.

De forma concreta, para el caso de  $m = 0.60$  con barras de sección circular, los valores de longitud de reja adimensional ( $L/h_c$ ) varían desde 1.70 hasta 2.60, quedando por encima la envolvente de Drobir ( $L_2$ ) con el valor de 3.70, para el caso concreto de caudal específico  $q = 1.00 \text{ m}^3/\text{s/m}$ . Mientras, para las barras tipo T, los valores de longitud de reja adimensional varían desde 2.70 hasta 4.10 cuando no se considera obstrucción debida al transporte de sedimentos. Quedan en la parte superior los valores de longitud de reja de 4.40 y 5.40 que corresponden a rejillas con porcentajes de obstrucción del 15% y del 30% respectivamente.

Si se observa el gráfico para  $m = 0.28$  y se considera el mismo caudal específico de  $1.00 \text{ m}^3/\text{s/m}$ , los valores de longitud de reja adimensional para barras circulares varían desde 2.90 hasta 4.30. Para el caso de barras tipo T, las longitudes de reja adimensionales varían desde 5.30 hasta 8.10 sin considerar obstrucción debida al trasporte de sedimentos. Se presentan también los valores de longitud de reja considerando un porcentaje de obstrucción del 15% y del 30%, con valores adimensionales de 9.50 y 11.60, respectivamente.

Como se puede observar en las figuras, existen importantes diferencias en la longitud de reja propuesta por cada una de las formulaciones. Esto se debe a que cada uno de los trabajos experimentales se ha realizado con diferentes parámetros en lo que se refiere a índices de huecos, forma de las barras, pendiente de la reja o las condiciones de aproximación del flujo.

En definitiva, el presente trabajo complementa y actualiza el trabajo realizado por Castillo & Lima (2010), donde ya se recogía un gráfico con la bibliografía existente en cuanto a las longitudes de reja propuestas. A diferencia del anterior, en el presente trabajo, se recogen dichas longitudes adimensionales, se distingue el tipo de barra para las que fueron obtenidas, así como las características de cada uno de los trabajos experimentales (ver Anexo). Del mismo modo se actualiza con las nuevas formulaciones encontradas como es el caso de Vargas (1998) y García (2016).

### 4. Conclusiones

Presentar las longitudes para derivar un determinado caudal de forma adimensional se constituye en una herramienta de ayuda en el diseño de los sistemas de captación de fondo y que complementa a los trabajos anteriores (Castillo & Lima, 2010).

A la vista de los gráficos presentados se observa la importante influencia en la longitud de reja de parámetros como el índice de huecos y la forma de las barras seleccionadas. Así, en función del tipo de barras, circulares o planas, se encuentran diferencias de hasta el 35% en el caso del índice de huecos  $m = 0.60$  y de hasta el 47% para  $m = 0.28$ .

La mayoría de formulaciones no consideran la obstrucción de las rejillas como consecuencia del depósito de sedimentos en el espacio entre los barrotes, salvo el caso de Krochin (1968) que propone coeficiente de obstrucción de hasta el 30%, que ha sido validado experimentalmente por Castillo et al. (2016).

## Anexo

- Noseda (1956)  
 $q_{I\max} = 100 \text{ l/s}; B = 0.50 \text{ m}; 0.16 < m < 0.28$   
 Barras tipo T; Pendiente: 0 - 20%  
 $L = 1.1848 \frac{H_o}{C_{qh}m}; C_{qh} = \overline{C_{qh}(h)}$   
 $C_{qh}(h) = 0.66m^{-0.16} \left(\frac{h}{l}\right)^{-0.13}$
- Bouvard & Kuntzmann (1956) Información de Noseda (1956)
 
$$L = \left\{ \frac{1}{2m'} \left[ \left( j + \frac{1}{2j^2} \right) \arcsen \sqrt{\frac{j}{j + \frac{1}{2j^2}}} + 3 \sqrt{\frac{1}{2j}} \right] + \left( \frac{0.303}{m'^2} + \frac{2j^3 - 3j^2 + 1}{4j^2} \right) \operatorname{tg}\theta \right\} h_1 \cos\theta$$

$$j = \frac{h_1}{h_c} = 1; \quad m' = C_{qo}m; \quad C_{qo} = 0.82$$
- Frank (1956). Información de Noseda (1956)  
 $L = 2.561 \frac{q_1}{\lambda \sqrt{h_o}}; \lambda = m C_{qh} \sqrt{2g \cos\theta}$   
 $C_{qh} = \overline{C_{qh}(h)}_{\text{Noseda}}$
- Krochin (1978). Información de Melik Nubarov (Danelia N.F., 1964) con barras prismáticas y planas
 
$$L = \left[ \frac{0.313 q_1}{(C_{qH} k_1)^{\frac{3}{2}}} \right]^{\frac{2}{3}}; \quad k_1 = (1-f)m; \quad C_{qH} = C_0 - 0.325 \tan\theta; \quad C_0 = 0.50$$
- Drobir (1981). Información de Frank (1959) y Bouvard & Kuntzmann (1956)
 
$$L = \frac{0.846}{C_{qh} m^{\frac{2}{3}}(\theta) \sqrt{x}} \sqrt[3]{q_1^2}; \quad 2\cos\theta x^3 - 3x^2 + 1 = 0; \quad C_{qh} = \overline{C_{qh}(h)}_{\text{Noseda}}$$
- Drobir et al. (1999)
 
$$q_{I\max} = 20 \text{ l/s}; B = 0.50 \text{ m}; m = 0.60; \text{ Barras circulares; Pendiente: } 0 - 20\%$$

$$L_1 = 0.9088 q_1^{0.4993}; L_2 = 1.7205 q_1^{0.4296}; \quad L_{TIWAG}$$
- Brunella et al. (2003)  
 $q_{I\max} = 100 \text{ l/s}; B = 50 \text{ cm}; \text{ Barras circulares}$   
 Dos tipos de ensayos:  $m = 0.352$  y  $m = 0.664$   
 Pendiente:  $0^\circ - 51^\circ$   

$$L = \frac{0.83 H_0}{C_{q0} m}; \quad L = 0.87$$
- Righetti y Lanzoni (2008)  
 $q_{I\max} = 37.5 \text{ l/s}; B = 25 \text{ cm}; m = 0.20; b_I = 0.50 \text{ cm}; b_w = 2.0 \text{ cm}; \text{ Barras prismáticas con bordes redondeados; } b_0 = 1.50; b_a = 0.478$   

$$\Delta Q = C_{q0} m B L \sqrt{2g H_0} \left( \frac{a}{2 H_0} F_{H0} + 1 \right) \{ \tanh[b_o(\sqrt{2} - F_{H0})] \}^{b_a}$$

$$F_{H0} = \frac{U_0}{\sqrt{g H_0}}; \quad a = -0.1056$$
- Vargas (1998)  
 $q_{I\max} = 40 \text{ l/s}; B = 55.2 \text{ cm}; \text{ Barras circulares}$   
 Pendiente:  $0 - 20^\circ$ ; Dos tipos de ensayos:  $m = 0.33$  y  $m = 0.50$   

$$L = k_2 \sqrt{\frac{2 \cos\theta q_1^2}{m g h_1}}; \quad k_2 = 1.10$$
- García (2016)  
 $q_{I\max} = 77.7 \text{ l/s}; 0.16 < m < 0.28; 0.0057 < b_I < 0.0117; \text{ Barras tipo T; Pendiente: } 0 - 33\%$   

$$L \approx 1.3 \frac{h_c}{C_{qo} m} (1 + 0.3 \operatorname{tg}\theta); \quad C_{qo} = a \cdot e^{-0.77m}$$

$$a = 1.43 \text{ (circular); } a = 0.90 \text{ (tipo T)}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{2m C_{qH} \sqrt{(H_o + x \operatorname{sen}\theta)(H_o + x \operatorname{sen}\theta - h \cos\theta)} + h \operatorname{sen}\theta}{3h \cos\theta - 2(H_o + x \operatorname{sen}\theta)}$$

$$C_{qH} \approx \frac{0.58e^{-0.75(\frac{x}{h_c}m)}}{(1 + 0.90 \operatorname{tg}\theta)}$$
- Henderson (1966)  
 Caída Libre:  $L = 1.40 h_c$

**Nota:** Se considera que al inicio de la reja el calado  $h_1$  es igual al calado crítico  $h_c$ ; el calado al final de la reja  $h_2$  es igual a cero; la energía específica al inicio de la reja  $H_o = H_{min}$ ;  $B$  es el ancho del canal;  $q_1$  es el caudal específico de captación,  $\theta$  es el ángulo de inclinación de la rejilla;  $b_I$  es el espacio entre barras y  $b_w$  es el ancho de la barra;  $l$  es el valor del interje (  $b_I + b_w$  );  $F_{H0}$  es el número de Froude al inicio de la reja;  $C_{qh}$ ,  $C_{qH}$ ,  $C_{qo}$  son los coeficientes de descarga de la reja en función del calado, la altura de energía y estático respectivamente,  $a$ ,  $b_o$ ,  $b_a$ ,  $k_2$  son coeficientes propios de las ecuaciones en que intervienen, así como  $f$  es el factor de obstrucción (%).

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Fundación Séneca de la Región de Murcia – España



para el proyecto “Optimización de los sistemas de captación de fondo para zonas semiáridas y caudales con alto contenido de sedimentos. Definición de los parámetros de diseño”. Referencia 19490/PI/14.

## Referencias

- Castillo, L. G., & Lima, P. (2010). Análisis del Dimensionamiento de la Longitud de Reja en una Captación de Fondo. IAHR (Ed.), IAHR XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Punta del Este.
- Drobir, H., Kienberger, V., & Krouzecky, N. (1999). The wetted rack length of the Tyrolean weir. In IAHR-28th Congress. Graz.
- García, J. T. (2016). Estudio experimental y numérico de los sistemas de captación de fondo. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Krochin, S. (1978). Diseño Hidráulico. (E. Universitaria, Ed.) (Segunda). Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Vargas, O. A. (1998). Tomas de Fondo. In IAHR (Ed.), IAHR XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Oaxaca.

