

Modelación hidráulica de gradas escalonadas con pantallas como estructura de disipación y amortiguamiento

EDDER ALEXANDER VELANDIA DURÁN¹
ADRIANA RANGEL RETAVISTA²
PAUL SÁNCHEZ OSPINA³

RESUMEN

Los sistemas de drenaje son importantes para el saneamiento, la movilidad, la calidad de vida y el desarrollo urbano por su rol en la recolección, conducción y evacuación de las aguas de escorrentía. Según la topografía y las condiciones de la cuenca aguas arriba, el diseño del drenaje urbano en zonas de alta pendiente representa desafíos para el manejo de altas velocidades del flujo, el tránsito rápido de caudales aguas abajo y el arrastre de sedimentos. Dichas situaciones pueden generar problemas de estabilidad o funcionalidad de las obras de infraestructura urbana, riesgos para los ciudadanos y costos en competitividad para las ciudades. Para mitigar estos potenciales problemas se proyectan canalizaciones y obras de control como disipadores de energía. En Colombia, un importante número de ciudades se construyó en zonas montañosas que evidencian la necesidad de este tipo de estructuras. Por eso es importante identificar las obras hidráulicas que pueden ser usadas y conocer su comportamiento. Este artículo presenta las características hidráulicas y descripción de una estructura tipo gradas escalonadas con pantallas, obra que permitiría realizar considerables transiciones de nivel en cortas distancias y amortiguar el caudal que transita por la estructura.

Palabras clave: disipador de energía, drenaje urbano, modelación, obras hidráulicas.

¹ Ingeniero civil. MSc. en Ingeniería Civil y en Ingeniería Industrial. Becario Escuela de Gobierno Alberto Lleras Camargo. Docente, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, Universidad de La Salle. Correo electrónico: evelandiad@unisalle.edu.co

² Ingeniera ambiental y sanitaria, Universidad de La Salle. Estudiante Especialización en Edificación Sostenible. Correo electrónico: shout580@hotmail.com

³ Ingeniero ambiental y sanitario, Universidad de La Salle. Correo electrónico: paulskate2@hotmail.com

FECHA DE RECEPCIÓN: 10 DE ENERO DE 2015 • FECHA DE APROBACIÓN: 30 DE ABRIL DE 2015

Cómo citar este artículo: Velandia Durán, E. A., Rangel Retavista, A. y Sánchez Ospina, P. (2015). Modelación hidráulica de gradas escalonadas con pantallas como estructura de disipación y amortiguamiento. *Épsilon*, (25), 157-175.

Hydraulic Modeling of Stepped Structures with Screens as Dissipation and Damping Structure

ABSTRACT

Drainage systems are important for sanitation, mobility, quality of life and urban development, due to their role in the collection, conduction and evacuation of runoff waters. Based on the topography and upstream conditions of the basin, designing urban drainage in high slope areas is a challenge for handling high flow rates, rapid transit of downstream flow and sediment entrainment. This can lead to stability or functionality problems of urban infrastructure works, risks for citizens and cost competitiveness for cities. In order to mitigate these potential problems, piping and control work projects are presented as energy dissipators. A significant number of Colombian cities were built in mountainous areas, which reveal the need for those types of structures. Thus, it is important to identify the hydraulic works that can be used and learn about their behavior. This paper presents the hydraulic characteristics and description of a structure consisting in stepped structures with screens, which would allow considerable level transitions over short distances and dampening the flow passing through the structure.

Keywords: energy dissipators, urban drainage, modeling, hydraulic works.

Modelação hidráulica de grades escalonadas com telões como estrutura de dissipação e amortecimento

RESUMO

Os sistemas de drenagem são importantes para o saneamento, a mobilidade, a qualidade de vida e o desenvolvimento urbano por seu rol na recolecção, condução e evacuação das águas de escoamento. Segundo a topografia e as condições da bacia águas acima, o desenho da drenagem urbana em zonas de alta inclinação representa desafios para o manejo de altas velocidades do fluxo, o trânsito rápido de fluxos águas abaixo e o arrasto de sedimentos. Estas situações podem gerar problemas de estabilidade ou funcionalidade das obras de infraestrutura urbana, riscos para os cidadãos e custos em competitividade para as cidades. Para mitigar estes potenciais problemas se projetam canalizações e obras de controle como dissipadores de energia. Na Colômbia, um importante número de cidades se construiu em zonas montanhosas que evidenciam a necessidade deste tipo de estruturas. Por isso é importante identificar as obras hidráulicas que podem ser usadas e conhecer o seu comportamento. Este artigo apresenta as características hidráulicas e descrição de uma estrutura tipo grades escalonadas com telões, obra que permitiria realizar consideráveis transições de nível em curtas distâncias e amortecer o fluxo que transita pela estrutura.

Palavras chave: dissipador de energia, drenagem urbano, modelação, obras hidráulicas.

Introducción

En Colombia, una importante área de su territorio presenta un relieve demarcado por la cordillera de los Andes, las cadenas montañosas menores y las serranías en las cuales se localizan importantes asentamientos urbanos. En estas zonas, la escorrentía fluye naturalmente por zonas de pendiente, y se caracteriza por el tránsito rápido de los caudales y el arrastre de sedimentos. Al desarrollarse asentamientos humanos en el perfil montañoso o en el pie de montaña, la escorrentía se desplaza con velocidades relevantes que pueden ocasionar situaciones no deseadas como daños en la infraestructura y mobiliario urbano, reducción de la movilidad de personas y vehículos, inundaciones de predios privados y depósitos de sedimentos en las calles.

Para manejar estos caudales, una propuesta considera la construcción de canalizaciones y estructuras especiales que garanticen la conducción de la escorrentía de forma segura y con bajos impactos ambientales. Para el diseño de estas obras existen dos criterios: canalizaciones revestidas para el transporte rápido de caudales o canalizaciones para el transporte de caudales con la opción de amortiguamiento. En el segundo criterio se reducen las magnitudes de los flujos rápidos de caudales o los efectos de la urbanización en el flujo de la escorrentía y menores impactos ambientales. No obstante, para los dos criterios de diseño en zonas de alta pendiente es necesaria la implementación de disipadores de energía que garanticen la estabilidad y durabilidad de las obras.

En la literatura existen diferentes estructuras que permiten disipar energía y al mismo tiempo amortiguar los caudales que son transportados. La estructura denominada en este documento como gradas con vertederos y orificios con amortiguamiento es una opción que se evidencia en una canalización bogotana, pero que no se detalla completamente en la literatura (figura 1). Consultada la empresa de servicios públicos, no se dispone de memorias de diseño y se refieren a ella como una trampa de sedimentos. De igual forma, esta estructura no es una opción visible en la literatura ni en la normatividad colombiana asociada a drenaje urbano.

Descripción de la estructura propuesta

En zonas de alta pendiente las gradas disipadoras son estructuras ampliamente utilizadas para realizar transiciones de nivel en zonas de ladera, reducir la velocidad



Figura 1. Estructura hidráulica en canal de la calle 127, Bogotá

Fuente: elaboración propia.

del flujo y minimizar el impacto de las descargas de agua en la canalización o en los elementos aguas abajo de esta. Sin embargo, de acuerdo con las consideraciones de diseño que propone Chanson (2002), se restringe la caída entre escalones y se proyectan estructuras largas para permitir la transición de nivel en la canalización. Por otra parte, las gradas disipadoras no garantizan un amortiguamiento de los caudales ni retención de sedimentos que son transportados por el flujo en la canalización.

En la normatividad colombiana (*Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico* [RAS], 2000), y según otros autores, se define una caída de flujo máxima de 75 cm. Esta recomendación se plantea para limitar el potencial daño asociado a la caída de un flujo sobre una canalización o estructura. Este tipo de consideraciones genera que un diseño de gradas disipadoras para realizar una importante transición de nivel en una zona de ladera signifique la implementación de un importante número de escalones sucesivos.

Por su parte, Ayala (2010) analizó el comportamiento de gradas disipadoras con gaviones en el laboratorio. En este trabajo se demostró la eficiencia de esta estructura como disipadora de energía y se hicieron algunas recomendaciones de diseño.

Como alternativa a estas propuestas de diseño se considera una estructura tipo gradas con vertederos y orificios con amortiguamiento. Con la implementación de pantallas en cada paso de las gradas tradicionales se genera un control de caudal en la estructura que permitiría una transición de nivel con alturas de paso mayores y el amortiguamiento de los caudales que se desplazan por la estructura. Para caudales pequeños, las pantallas no aportan mayor diferencia entre esta estructura y una grada disipadora convencional. Sin embargo, al aumentar los caudales se genera

un control en cada paso de la estructura que incita el incremento de la lámina de agua atrás de la pantalla (almacenamiento).

Este almacenamiento no solo genera un retraso de la onda de caudal que se puede desplazar aguas abajo de la canalización, sino que además se posibilita la remoción de material grueso arrastrado por el flujo. Con el incremento de los caudales y consecuente aumento de la lámina de agua en los pasos de la estructura, se permite una reducción del impacto generado por la descarga de los orificios en la pantalla, esto, al considerar que el flujo cae a una piscina generada entre el escalón y la siguiente pantalla. Una última fase ocurrirá cuando al aumentar el caudal se incrementa la lámina de agua entre los pasos hasta rebosar sobre la parte superior de la pantalla. En dicho momento todos los orificios de la pantalla funcionarán con descargas a presión y el rebose superior se asimilará a una descarga de un vertedero rectangular de cresta delgada. En la figura 2 se muestra un perfil de la estructura y su posible esquema de funcionamiento para rebose sobre las pantallas.

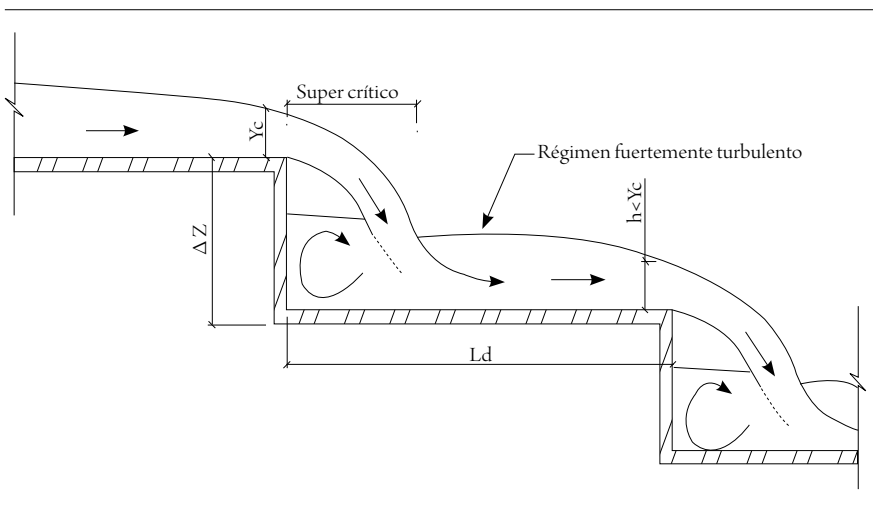


Figura 2. Perfil de un escalón en una grada disipadora

Fuente: Matos y Quintela (1997).

Modelación hidráulica

Para identificar el comportamiento hidráulico de la estructura tipo gradas con vertederos y orificios con amortiguamiento se desarrolló un modelo a escala para

algunas configuraciones y diferentes caudales en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de La Salle (figura 3). Teniendo en cuenta que el tipo de investigación se orienta a la modelación de las condiciones de superficie libre con turbulencia, vertederos y orificios, en la que las fuerzas relevantes son las gravitacionales, se consideró el número de Froude como criterio de similitud.

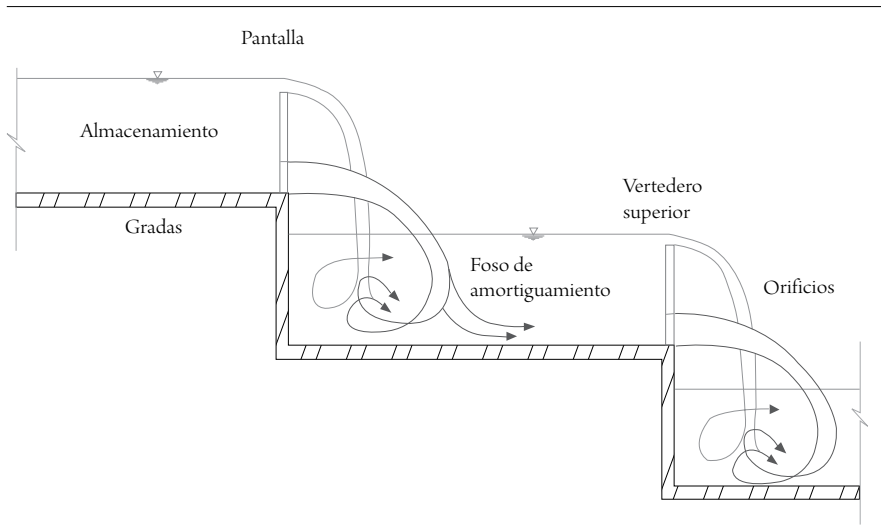


Figura 3. Perfil de la estructura: gradas con pantallas y orificios con amortiguamiento

Fuente: elaboración propia.

Según este criterio, la relación entre la magnitud del objeto real y el modelo se define según las siguientes condiciones (Saldarriaga, 2005):

$$V_r = \frac{V_r}{V_m} = L_r^{1/2} = \frac{L_r^{1/2}}{L_m}$$

La anterior relación indica la escala en la cual quedan reproducidas las velocidades del flujo, dada una escala geométrica de longitudes. Así mismo, la escala de caudales en función de la escala geométrica se define como:

$$Q_r = V_r * A_r = (L_r)^{1/2} * L_r^2 = L_r^{5/2}$$

Las relaciones de similitud mostradas se aplican exclusivamente a modelos no distorsionados en los cuales la escala geométrica vertical es igual a la horizontal. En la modelación, el flujo debe ser turbulento para garantizar mejores resultados.

El modelo físico fue construido tomando algunas de las características de la estructura evidenciada en el canal de la calle 127, en Bogotá, y ajustando otras a las dimensiones del canal de pruebas disponible y las limitaciones del laboratorio. El modelo planteado a escala 1:6 se instaló en un canal con ancho de 0,5 m y longitud de 4 m. En el canal se implementaron tres gradas en madera cubiertas con láminas de poliestireno expandido que fueron revestidas con concreto permeabilizado con iguales proporciones geométricas (0,19 m de alto; 0,64 m de longitud; 0,50 m de ancho). En la figura 4 se muestran algunas imágenes del modelo.



Figura 4. Modelo físico en laboratorio

Fuente: elaboración propia.

Para la recirculación de caudal, el sistema fue provisto por bombas con un caudal total de 8 l/s y dos tanques de 1000 l. Para la modelación se emplearon cuatro caudales de descarga que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Escala de caudales en modelo

PARÁMETRO	MODELO	OBJETO REAL	UNIDADES
Caudal 1	0,003	0,265	m ³ /s
Caudal 2	0,004	0,353	m ³ /s
Caudal 3	0,006	0,529	m ³ /s
Caudal 4	0,008	0,705	m ³ /s

Fuente: elaboración propia.

Con el fin observar el comportamiento de la estructura bajo distintas situaciones, se implementaron pantallas de 7 y 12 cm de altura. La pantalla con menor altura se perforó con tres orificios de 1,7; 2,5 y 3,3 cm de diámetro cada uno. La pantalla más alta se perforó con cuatro orificios en dos niveles y ubicaciones distintas. En la figura 4 se muestran algunas de las configuraciones para las pantallas de control.

El primer nivel de los orificios en la pantalla se ubica generando una mínima distancia entre la base del escalón y el borde inferior del orificio. Este lineamiento de los orificios, así como la distancia entre ellos, fue definido buscando una distribución uniforme de las velocidades aguas arriba de las pantallas. Así mismo, se consideró la configuración de la estructura en campo usada de referencia, las percepciones del observador y las pruebas iniciales con sedimentos. Las configuraciones propuestas facilitan el lavado de sedimentos teniendo en cuenta que la estructura planteada en esta investigación no considera retención de sólidos. Además de ello, las configuraciones facilitaron la formación de colchones de agua (almacenamiento) y la saturación de cada escalón en función de los caudales disponibles.

Construido el modelo, se realizaron modelaciones con cambios de caudal con el objeto de valorar el comportamiento hidráulico antes (comportamiento de la turbulencia por la caída libre del flujo) y después de la pantalla (comportamiento de la descarga a la salida de los vertederos y orificios) para observar el comportamiento hidráulico de la estructura. Se realizaron tomas de datos para establecer el comportamiento de flujo por los orificios y validar las condiciones de la descarga para distintos niveles aguas arriba de la pantalla, datos a la salida del modelo para validar el caudal transitado y niveles en cada escalón.

Resultados de la modelación

Al iniciar las pruebas se destinó un tiempo, establecido en un par de minutos, para garantizar la adecuada carga de la estructura y la estabilidad del flujo en el modelo. De igual forma, previo a cualquier toma de datos, se realizó la validación del caudal en el modelo, caudal que podía ajustarse con la operación de las bombas y válvulas del sistema de recirculación, con el propósito de garantizar condiciones similares para cada una de las modelaciones y comparar las observaciones. Por último, cada una de las medidas en las modelaciones fue tomada no menos de tres veces para ratificarla y fueron tomadas fotografías de cada situación de operación.

La descarga de los orificios en las pantallas presentó variaciones que pueden estar influenciadas por las pérdidas de energía en las paredes del canal, la proximidad a las paredes del modelo y la turbulencia en el escalón aguas arriba de la pantalla. En todos los casos se encontró que el orificio central registró un mayor caudal de descarga respecto a los registrados en los orificios laterales. Igualmente, con el aumento del caudal en tránsito por la estructura se generó un aumento de los niveles de agua en los escalones y, consecuentemente, un aumento del caudal de descarga por los orificios y una variación en el alcance los chorros de agua hacia el siguiente nivel de la estructura.

En las tablas 2, 3 y 4 se muestra el comportamiento hidráulico de la estructura en planta y perfil para cada caudal transitado y cada configuración de la pantalla con altura de 7 cm. Teniendo en cuenta que la pantalla empleada era baja y los orificios moderadamente pequeños, se generó en cada uno de los casos modelados un rebose por la parte superior de la pantalla, excepto en la configuración con diámetros mayores y caudal bajo (tabla 4). Como se muestra en las imágenes, al presentarse el rebose sobre la pantalla en cada escalón se observó un efecto de la descarga superior —vertedero— sobre la forma de la descarga de los orificios. En las imágenes en planta se registra el alcance de los chorros de cada orificio de la pantalla.

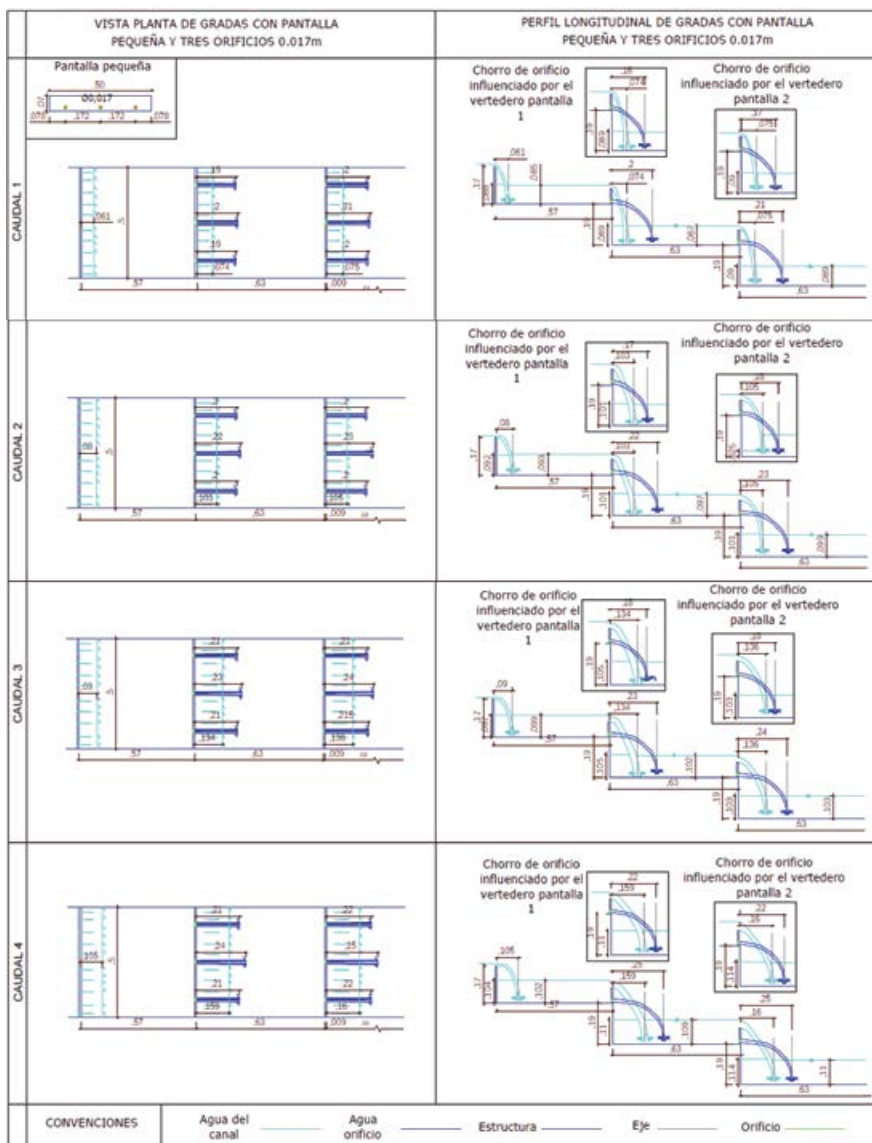
La disipación de energía en la estructura se desarrolla por la turbulencia generada por el impacto del agua y la formación de un resalto en cada escalón de la estructura. Para caudales bajos y pantallas con orificios grandes, al no generarse suficiente colchón de agua en el escalón se desarrolló un resalto hidráulico controlado por la pantalla en el escalón aguas abajo. Para caudales grandes se observó el desarrollo del colchón de agua en el escalón, hecho que permitió un resalto ahogado (figura 5).



Figura 5. Pantallas de control en escalón

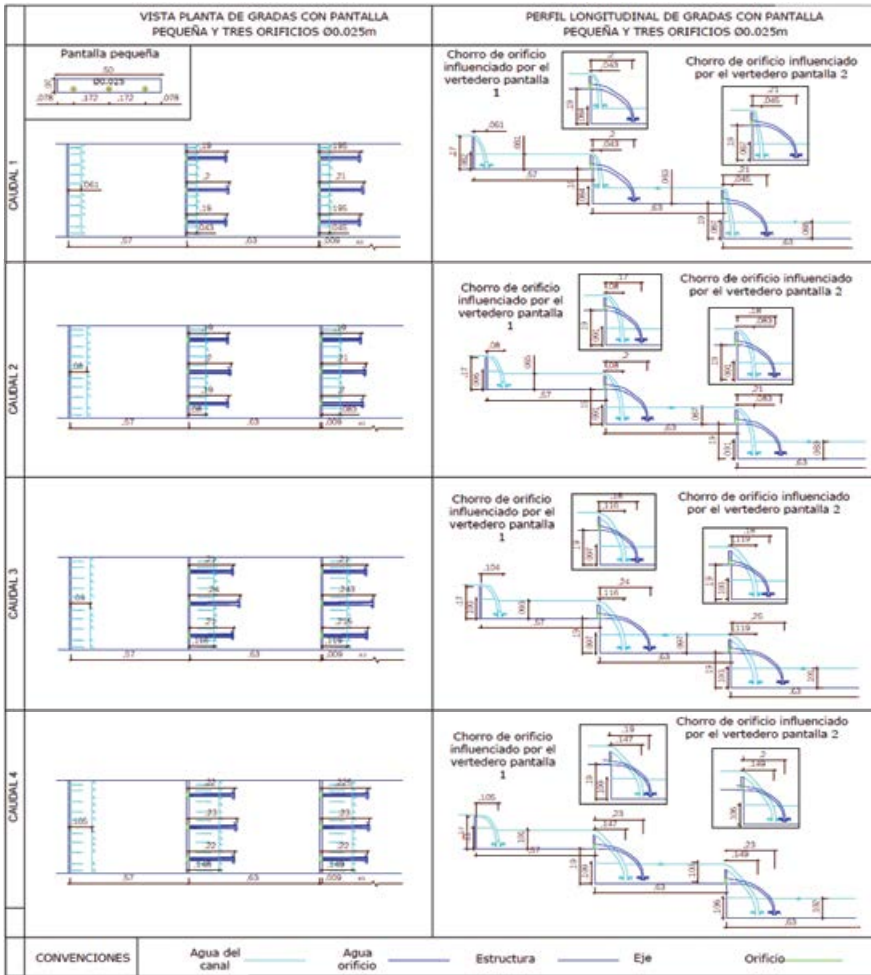
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Vista planta y perfil de los chorros para pantalla 1



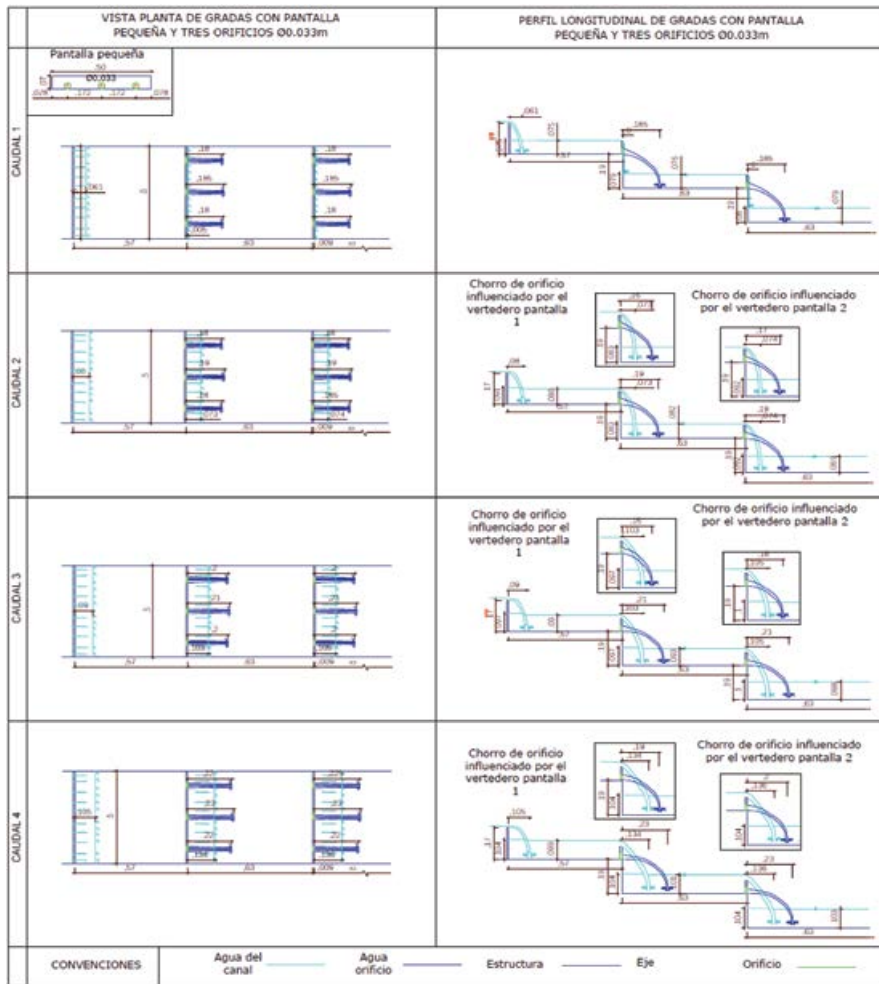
Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Vista planta y perfil de los chorros para pantalla 2



Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Vista planta y perfil de los chorros para pantalla 3



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la configuración de las pantallas, la curva de descarga de la estructura es compuesta. Para caudales pequeños que no generan sumergencia de los orificios en la pantalla se presenta una descarga de vertederos circulares. Con el incremento de caudal se da un aumento de la lámina de agua en el escalón y la consecuente sumergencia de los orificios. Por último, el continuo incremento del caudal genera un rebose por la parte superior de la pantalla; para ese momento la estructura posee una descarga compuesta por orificios y vertedero. En la figura 6 se muestra una representación de la curva de descarga de la pantalla con altura de 7 cm.

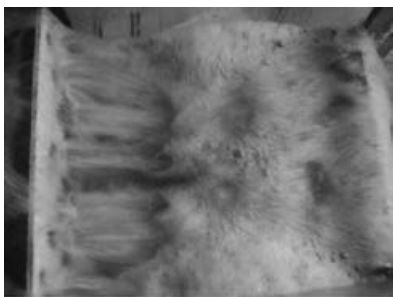


Figura 6. Planta y perfil resalto ahogado en escalón

Fuente: elaboración propia.

La sección A de la figura 7 muestra el comportamiento de descarga de los orificios de cada una de las configuraciones y la sección B expone la descarga total teniendo en cuenta el rebose por el vertedero de altura 7 cm. Para conocer el comportamiento en una pantalla de mayor altura se propuso una nueva configuración y se observó el flujo con dos caudales: 3 y 8 l/s. Se observó para el caudal bajo que los orificios superiores funcionaban como vertederos circulares. Para el caudal mayor se encontró que los orificios superiores operaban a flujo lleno; no obstante, el rebose superior por la pantalla generó una descarga que interfiere con la libre descarga de los orificios como se observa en la tabla 5.

El modelo físico propuesto alcanza una caída entre escalones de 1,14 m y agregando la pantalla de 0,12 m equivaldría a una altura total (escalón y pantalla) de 1,86 m. De igual forma, el caudal modelado sería de 0,705 m³/s. Una pantalla de mayor altura permite la formación de un colchón de agua mayor en cada escalón, lo cual permite el mejor amortiguamiento del impacto generado por la caída y consecuente resalto sumergido. Este hecho permite aumentar la altura del escalón y realizar transiciones verticales en una menor distancia. En el laboratorio se desarrollaron nuevas modelaciones con apertura inferior, nuevas configuraciones de pantallas y arrastre de sedimentos que no se muestran en este documento.

La estructura tipo gradas con vertedero y orificios con amortiguamiento es una opción compuesta que involucra conceptos de disipación de energía en transiciones verticales y amortiguamiento en canalizaciones. Para esta estructura son posibles distintas configuraciones; sin embargo, se considera su uso en canalizaciones de zonas de alta pendiente y pequeñas quebradas. En la figura 8 se muestra un esquema general de la estructura, así como algunos detalles deseables.

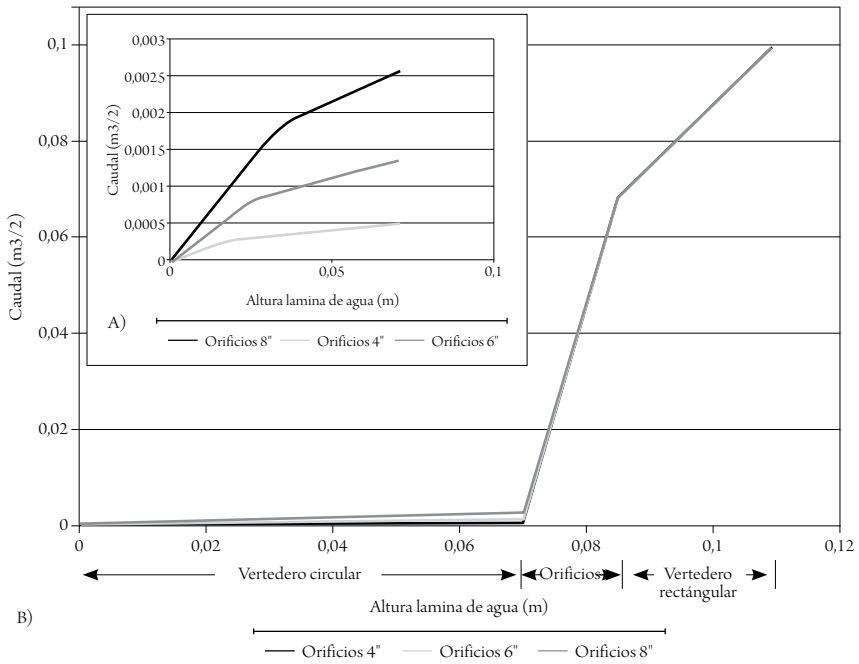
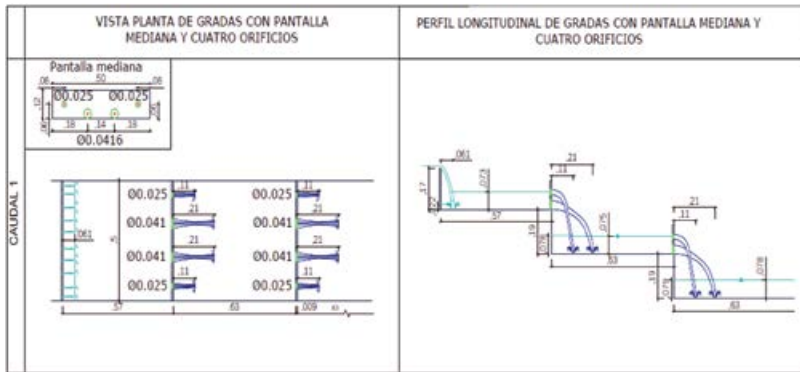
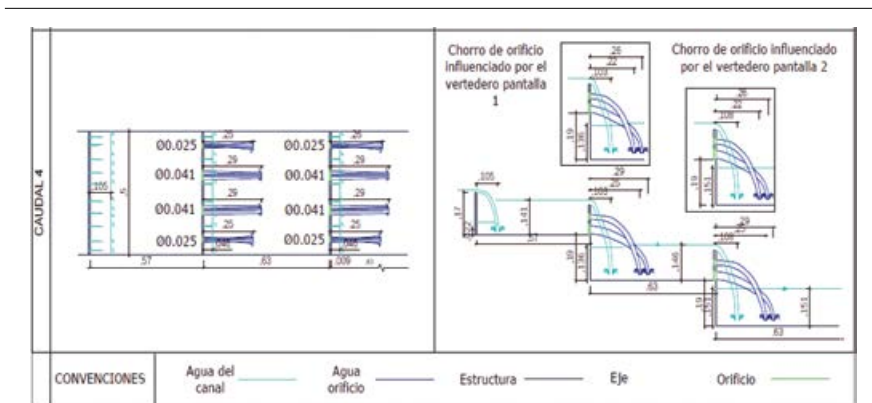


Figura 7. Comportamiento estimado de la descarga de la pantalla

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Vista planta y perfil de los chorros para pantalla 4





Fuente: elaboración propia.

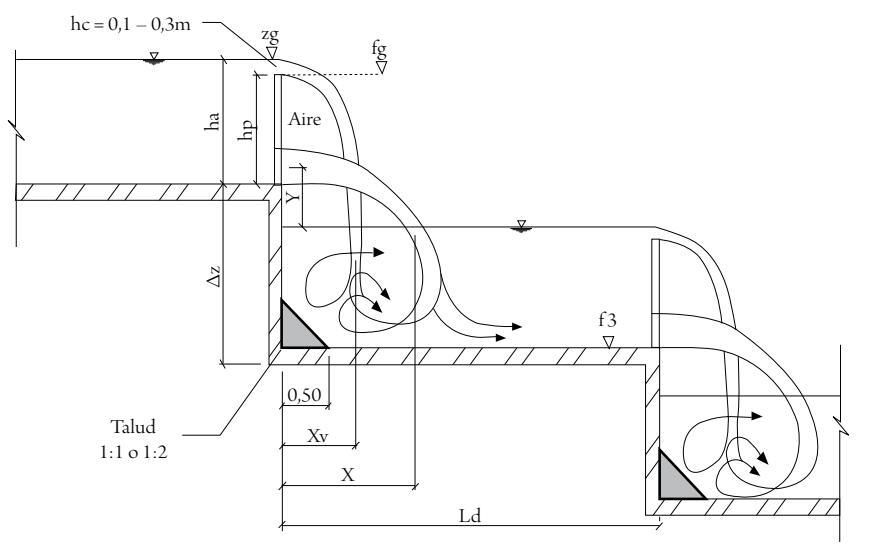


Figura 8. Esquema general de la estructura

Fuente: elaboración propia.

Altura de la pantalla de impacto/descarga

De acuerdo con los resultados, la altura de la pantalla debe ser definida con base en la altura de la grada (Δz) y la profundidad del colchón de agua requerido para una eficiente disipación de energía y arrastre de sedimentos. Se recomienda que se cumpla el siguiente rango:

$$0,3 * (\Delta z) \leq \text{Altura posible} \leq 1,2 (\Delta z)$$

Altura de la grada (Δz)

La altura de la grada debe ser definida según el caudal de diseño. En la tabla 6 se presentan algunas recomendaciones.

Tabla 6. Selección de la altura de la grada de acuerdo al caudal de diseño

ALTURA DEL ESCALÓN (M)	CAUDAL MÁXIMO (M ³ /S)
0,80	0,45-1,10
1,00	1,10-2,00
1,40	Hasta 4,00

Fuente: elaboración propia.

Velocidad de diseño en cada grada (V_d)

La velocidad del agua en cada grada debe evitar daños en la estructura y garantizar su durabilidad. Se recomienda una velocidad menor a 3 m/s.

Longitud de la grada (L_d)

Se recomienda que la longitud de cada grada sea mínimo tres veces la máxima longitud del chorro del orificio inferior de la pantalla. Con ello se busca reducir la posibilidad de impacto del chorro sobre las pantallas. A fin de aumentar el amortiguamiento de los caudales en tránsito por la estructura, se puede proyectar un mayor almacenamiento de agua, hecho que demandaría un incremento de la longitud de esta zona.

$$L_d = (0,452 V_c Y_2^1) * 3$$

V_c = Velocidad crítica del orificio

Y = Altura de caída libre del chorro hasta impacto

Para que el chorro que rebosa el vertedero superior no genere presiones negativas, problemas de cavitación y daños en las pantallas, se definió que la altura sobre la cresta del vertedero (h_c) sea menor a 0,30 m. Este rango permite que los chorros de los orificios rompan el chorro del vertedero y provoquen una cámara de aire bajo la napa inferior de la descarga superior de la pantalla.

Según Valenzuela (2013), se forma un resalto ahogado si Y_b es mayor a Y_p . De esta forma, aguas arriba y aguas abajo del punto de caída se tienen verdaderos colchones de agua. Para obtener este tipo de flujo se debe verificar que Y_{co}/b_o sea menor a 20, donde b_o es el espesor del chorro a la entrada del foso disipador. Para la estructura en análisis, los valores de la lámina de agua Y_{co} y Y_b tienen de equilibrarse por el control aguas abajo generado por la pantalla (figura 9).

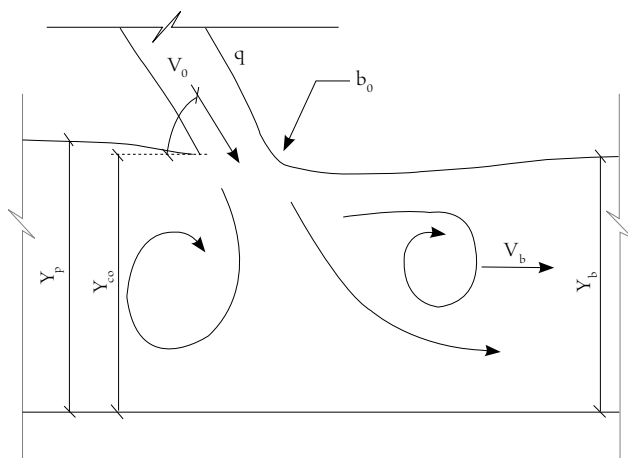


Figura 9. Condiciones de flujo en el foso disipador en función de Y_b

Fuente: Valenzuela (2013).

Este tipo de disipador podría ser implementado en topografías accidentadas con pendiente límite del 30 %. Para evitar el ahogamiento de los chorros inferiores en el colchón de agua, la pantalla de impacto que a su vez funciona como estructura contenedora de la masa de agua debe ser limitada a 1,20 veces la altura de la grada. La altura de los muros laterales puede ser variable evitando los desbordes de agua.

La ubicación de pantallas puede generar un control de material grueso en los escalones. Teniendo en cuenta que la estructura propuesta no considera la remoción de sedimentos, se recomienda la ubicación de rellenos laterales que eviten ángulos de 90° entre las paredes y el fondo. Otra opción para reducir la acumulación de arenas y finos en la estructura es colocar las pantallas a una distancia de 5 cm arriba del escalón. En este caso, existirá un flujo bajo las pantallas y será importante limitar la altura del escalón a 0,80 m.

Conclusiones

Los resultados indican que la estructura tipo gradas con pantallas para amortiguamiento es útil como disipador de energía y estructura de amortiguación de caudales en canales pluviales urbanos en pendientes moderadas y caudales pico menores a 4,0 mcs. Con una estrategia de mantenimiento rigurosa, la estructura hidráulica propuesta puede considerarse como una estructura para el control de sedimentos. Es importante mencionar que la ubicación de orificios en la parte inferior de la pantalla busca mejorar el arrastre de material. Sin embargo, en zonas de alto arrastre y poco mantenimiento será probable la colmatación de la estructura.

El diseño de la estructura requiere un análisis hidrológico previo que permita identificar el caudal de diseño de tránsito por el caudal o por la cañada. Con base en este caudal y el uso proyectado de la estructura se define la sección de la canalización, la altura de las pantallas y la configuración de los orificios en cada pantalla. El diseño debe considerar la formación del colchón de agua en los escalones que permitan amortiguar el impacto de los chorros y garantizar la estabilidad de la estructura. El tamaño de los tanques de almacenamiento y la configuración de los orificios definirá la capacidad de amortiguamiento de los caudales en la estructura.

Los tamaños y la ubicación de los orificios son importantes para la distribución del flujo y disipación de energía. Diámetros menores a 4" podrían generar depósitos de material grueso debido a la baja descarga, hecho que representaría una posible colmatación de la estructura. En contraste, la selección de diámetros muy grandes a los requeridos descargarían muy rápido el flujo y la estructura funcionaría como un disipador tipo gradas. La estructura, de sección rectangular, deberá ser proyectada en concreto armado resistente al flujo, y la altura de la pantalla estará limitada a 1,2 veces la altura del escalón. El diseño definitivo de la estructura no es estándar y dependerá de los criterios del diseñador.

Referencias

- Ayala, L. (2010). Modelo experimental para el estudio de la disipación de energía mediante el uso de gaviones en canales homogéneos en el control de inundaciones. *Épsilon*, (14), 93-105.

- Chason, H. (2002). Diseño de estructuras de caída y cascadas escalonadas. *Hidráulica de canales abiertos*. México: McGraw-Hill.
- Matos, J. y Quintela, A. (1997). *Escoamento em quedas sucessivas em descarregadores em degraus. Dissipação de energia*. Recuperado de http://www.aprh.pt/congressoagua2002/pdf/r_118.pdf
- Pérez, L. (2005). *Nociones sobre orificios y vertederos, tipos de escurrimiento uniforme en canales, remansos y resaltos, y su relación con la sedimentación y la corrosión en cloacas*. Buenos Aires: Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Recuperado de http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_orificios_vertederos.pdf
- Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000* (2000). Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico.
- Saldarriaga, J. G. (2005). Notas de clase en modelación hidráulica. Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Valenzuela, C. (2013). Control de cárcavas. *Colchón amortiguador de caídas*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/claudiovalenzuelay/colchon-amortiguador-de-caidas>

