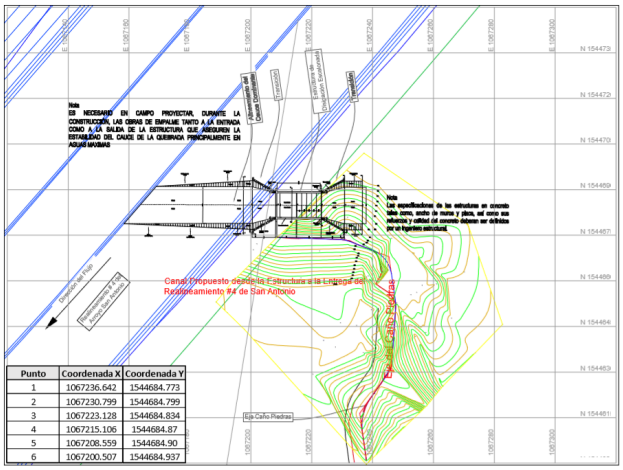
# ESTRUCTURA ESCALONADA CON FLUJO RASANTE PARA REALIZAR LA ENTREGA DE UN AFLUENTE A UN CANAL REALINEADO

Héctor Alfonso Rodríguez Díaz[1], Andrés Humberto Otálora Carmona[2] y Mónica Andrea Vargas Solla[3]

1. Profesor e Investigador de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
2. Profesor e Investigador de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
3. Profesora e Investigadora de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
E-mail: alfonso.rodriguez@escuelaing.edu.co, andres.otalora@escuelaing.edu.co, monica.vargas@escuelaing.edu.co.

## Introducción

El manejo ambiental de un proyecto de explotación minera a cielo abierto en Colombia, exige el desarrollo de acciones que aseguren mantener y preservar las condiciones del medio natural. La empresa Drummond LTD desarrolla actualmente una explotación minera en el sur del departamento del Cesar y dentro de su plan de manejo ambiental debe construir diferentes obras de ingeniería que aseguren la restauración de la cuenca, especialmente en la zona intervenida. Parte de las obras a desarrollar incluyen el diseño y construcción del realineamiento del cauce principal y por tanto el correspondiente manejo de las entregas de los afluentes al mismo, teniendo en cuenta las mejores prácticas ambientales e hidráulicas adecuadas para solucionar los cambios en los niveles de entrega naturales y proyectados del río, que aseguren el adecuado funcionamiento del drenaje de la cuenca en mención y para garantizar el libre movimiento de su fauna acuática por el sistema de drenaje.




| Punto | Coordenada X | Coordenada Y |
|---|---|---|
| 1 | 1067236.642 | 1544684.773 |
| 2 | 1067230.799 | 1544684.799 |
| 3 | 1067223.128 | 1544684.834 |
| 4 | 1067215.106 | 1544684.87 |
| 5 | 1067208.559 | 1544684.90 |
| 6 | 1067200.507 | 1544684.937 |

**Figura 1.-** Estructura de entrega del Caño Piedras al canal realineado

En este trabajo se presentan consideraciones de diseño de una estructura de entrega del Caño Piedras afluente al nuevo canal de realineamiento del arroyo San Antonio. Teniendo en cuenta las características de la entrega se ha proyectado una estructura escalonada que permite el desarrollo de flujo rasante y unas obras anexas que complementan adecuadamente dicha entrega, cuyo objetivo principal es reducir al máximo la energía residual en entre la corriente del Caño Piedras y el canal del realineamiento del arroyo San Antonio.

## Objetivos

Consideraciones y diseño de una estructura escalonada con flujo rasante como entrega de un afluente al cauce principal modificado de una cuenca intervenida por una explotación minera a tajo abierto.

## Metodología

Para la estimación de diferentes variables hidrológicas para la definición de las dimensiones de la estructura se utilizaron los estudios hidrológicos previamente realizados para el área de influencia mediante un modelo lluvia - escorrentía. También se dispone de la información topográfica que, mediante una herramienta de SIG, permite disponer de un modelo simplificado del terreno.

Con base en las condiciones establecidas, se evaluó y determinó el caudal de diseño de la estructura. Se definió el área de drenaje a partir del modelo de terreno generado con la topografía tomada en el terreno y complementado con en la interpretación de fotorrestituciones exportadas y visualizadas en ArcGIS 10.0. Adicionalmente se definieron las características del aguacero de diseño a partir del modelo hidrológico disponible por Drummond Ltd. y desarrollado por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (Centro de Estudios Hidráulicos, 2016).

Para el diseño de las estructuras escalonadas se estableció la altura más adecuada de cada escalón teniendo en cuenta la metodología propuesta por Ohtsu, I; Yasuda, Y; Takahashi, M. (2004). Dicha metodología, permite estimar las dimensiones del escalón que aseguran condiciones del flujo rasante más apropiada a partir de la topografía propia de la corriente que asegure una óptima disipación.

## Resultados

La estructura de entrega del caño Piedras se definió para una altura de escalón de 0.3 m, una huella de 2.10 m, con una sección transversal rectangular de 8.00 m de ancho y un escalón final de 0.37 m que da inicio a un tanque de amortiguamiento, el cual permite la generación de un resalto hidráulico estable para disipar y controlar la energía residual al final de las estructuras escalonadas.

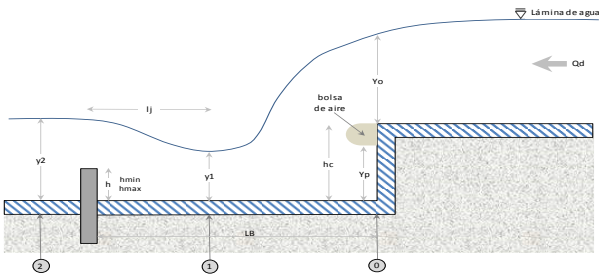



**Figura 2.-** Esquema General de un Tanque Disipador de Energía con Resalto Hidráulico.

Se proyectó un tanque de amortiguamiento de sección rectangular de 8.60 m de ancho con un vertedero rectangular de pared delgada en su extremo final, de 0.60 metros de altura.

La determinación de la altura de muros en la estructura escalonada y en el tanque disipador, se hizo con base en la lámina de agua máxima obtenida con el método de por Ohtsu, I; Yasuda, Y; Takahashi, M. (2004). Este método considera la aireación natural del flujo en la napa y propone una altura de muros 40% más del nivel de la lámina de agua aireada.

Para definir la altura de los muros también fue necesario tener en cuenta las características topográficas actuales del valle y las dimensiones de la sección transversal del canal de entrega.

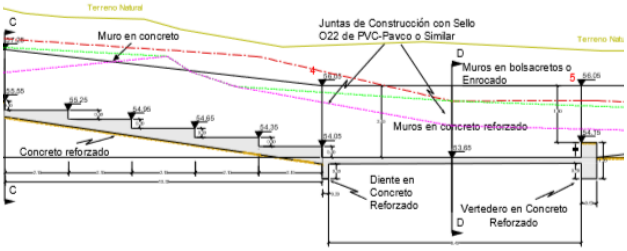



**Figura 3.-** Perfil longitudinal de la estructura de disipación del caño piedras.

Tanto en la entrada como en la salida de la estructura de disipación y teniendo en cuenta que las estructuras escalonadas no tienen el mismo ancho de la sección transversal del cauce natural del caño Piedras, fue necesario el diseño de transiciones al inicio y al final de tal manera que se asegure una lámina de agua y un flujo sin perturbaciones, para reducir al máximo las pérdidas de energía y la perturbación de la superficie libre por la generación de ondas cruzadas en las transiciones, para definir la longitud de cada transición se estableció un ángulo de 11°.

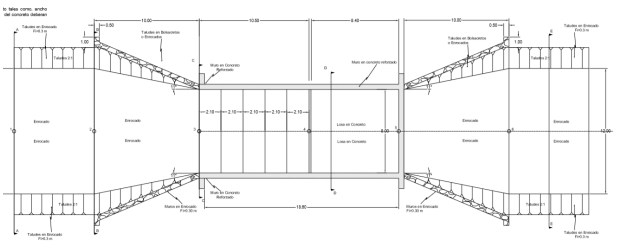


**Figura 4.-** Vista en planta de la estructura de disipación de energía del caño piedras.

Con el propósito de facilitar el proceso constructivo y para mejorar la estabilidad de la obra y la disipación de energía sobre la huella de la estructura escalonada se ha propuesto un fondo con bolsacretos para la zona inicial y con material de enrocado para la zona final junto a la nueva caída.

De acuerdo con las recomendaciones de los especialistas bióticos, esta estructura debió proyectarse con contrahuellas de baja altura, para permitir el libre tránsito de los peces por los cauces naturales o artificiales de la zona y garantizar la permanencia de las especies como el bocachico y el blanquillo que tienen allí su hábitat.

## Conclusiones

Para salvar una diferencia de altura en un tramo muy corto entre el lecho del arroyo Piedras y el nuevo canal de realineamiento del arroyo San Antonio, se proyectó una estructura de entrega de tipo escalonada de flujo rasante y un tanque amortiguador, los cuales permite disipar la mayor cantidad de energía cinética, adaptándose a la topografía del cauce. Son estructuras en concreto reforzado. Lateralmente para su empalme con el terreno natural se ha previsto un recubrimiento con material de enrocado. Se ha planteado como alternativa construir esta estructura con enrocados, piedra pegada y bolsacretos, para disponer de una estructura más flexible.

Las dimensiones de esta estructura de entrega se han definido, de acuerdo con las consideraciones ambientales, para permitir el libre tránsito de la fauna acuática por el canal de realineamiento del cauce principal.

La ubicación de la estructura fue seleccionada tal que, permite mantener de manera inalterada el alineamiento natural de la corriente, preservando la ubicación del talweg lo que a su vez logra mantener intacta las condiciones de la hidráulica fluvial propia de la corriente.

## Referencias

**Centro de Estudios Hidráulicos.** (2016). "Consultoría Para El Diseño del Realineamiento No. 4 y Factibilidad del Realineamiento Definitivo del Arroyo San Antonio en el Departamento del Cesar". Bogotá, Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería.

**González, C y Chanson, H.** (2007). "Diseño hidráulico de vertederos escalonados con pendientes moderadas: metodología basada en un estudio experimental". Universidad de Queensand, Australia.

**Ohtsu, I; Yasuda, Y; Takahashi, M.** (2004). "Flow Characteristics of Skimming Flows in Stepped Channels". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 130, No. 9, September 2004, pp. 860-869.