

ESTIMACIÓN DE TIEMPOS CARACTERÍSTICOS DE VIAJE PARA LA EVALUACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES EN DOS RÍOS DE COLOMBIA

Mario A. Jiménez Jaramillo, Joany Sánchez Molina, Oscar A. Estrada Restrepo, Alejandro Aguilar Amaya y Rodrigo Vélez Otálvaro

GOTTA Ingeniería S.A.S. & Servicios Ambientales y Geográficos S.A.
E-mail: mario.jimenez@gottaingenieria.com - joany.sanchez@gottaingenieria.com
Web: <http://www.gottaingenieria.com/>

Introducción

Como parte del proceso de licenciamiento de proyectos de generación hidroeléctrica en Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y la Universidad Nacional de Colombia han propuesto la aplicación de estrategias de simulación para apoyar la evaluación de los caudales ambientales correspondientes a dichas intervenciones. Si bien las metodologías propuestas no se han convertido en Decreto nacional, su aplicación hace parte de los actuales requerimientos ambientales con miras a realizar una gestión coherente del recurso hídrico y continuar, a su vez, con un proceso de depuración que demuestre la robustez de los métodos.

En este trabajo se presentan los resultados de la aplicación de la “Metodología para la estimación del caudal ambiental en proyecto licenciados” correspondientes a los proyectos hidroeléctricos Espíritu Santo y Piedra del Sol, proyectados sobre los ríos Cauca y Fonce, respectivamente.

Objetivos

Objetivo general

Determinar los caudales ambientales requeridos para la puesta en marcha de los proyectos hidroeléctricos Espíritu Santo y Piedra del Sol teniendo en cuenta factores hidrológicos, hidráulicos y de calidad de agua.

Objetivos Específicos

- Caracterizar los procesos de mezcla y transporte de solutos del tramo, con miras a configurar un modelo de tránsito de sustancias conservativas y no-conservativas.
- Configurar un modelo que permita evaluar las variaciones de variables hidráulicas tanto para las condiciones actuales del tramo como para las correspondientes a cada proyecto.

Descripción de las Zonas de Estudio

El tramo de estudio del proyecto Espíritu Santo, que aprovecha las aguas del río Cauca, se encuentra localizado en el Departamento de Antioquia (Noroeste de Colombia), en zona limítrofe de los municipios de Briceño, Ituango y Valdivia (Figura 1). Es importante mencionar que el proyecto hidroeléctrico Ituango, actualmente en fase de construcción, se encuentra localizado sobre el mismo río, aproximadamente 24 km aguas arriba de las alternativas contempladas para el proyecto Espíritu Santo, por lo tanto el régimen hidrodinámico de referencia para la evaluación de los caudales ambientales del proyecto Espíritu Santo, debe definirse bajo la premisa de dicha intervención.

En dicho tramo, el río Cauca drena un área de 37,173 km² aproximadamente y posee un alineamiento horizontal controlado por la geología y litología local, con un cauce predominantemente recto y que presenta pocas variaciones en la formas, lo cual se traduce en valores de sinuosidad cercanos a 1. La pendiente longitudinal no refleja cambios significativos y posee un valor medio del orden del 0.3 %. Debido al alto nivel de confinamiento del

cauce, no se aprecia la formación de llanuras aluviales, aunque pueden identificarse pequeñas barras puntuales de arenas.

De acuerdo con el sistema de clasificación de Flores et al. (2006), el tramo puede considerarse de lecho plano, ya que su imposibilidad de migrar lateralmente impide la formación de pozos en curvas y adquirir una morfología del tipo pozo-rápida.

El tramo de estudio del proyecto hidroeléctrico Piedra del Sol sobre el río Fonce, de una longitud aproximada de 9 km, comprendida entre el sitio de captación del proyecto y la descarga del mismo, se encuentra localizado en la cordillera Oriental, aguas abajo del municipio de San Gil (Departamento de Santander, Noreste de Colombia), y el cual se puede observar en la Figura 1,

En este sector, el río Fonce tiene una pendiente media del 3.5 %, y posee una morfología tipo *cascade* de acuerdo con el sistema de clasificación de Motgomery y Buffington (1997).

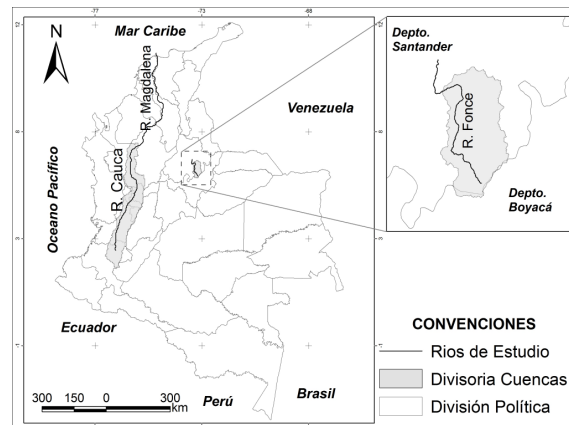


Figura 1.- Localización general de los proyectos

Metodología

Tendiendo en cuenta los objetivos específicos, es claro que un gran componente técnico del estudio está enfocado a la simulación de procesos de tránsito de caudales y de solutos. Es preciso entonces definir como paso inicial, los elementos de discretización espacial que serán empleados para representar el tramo en estudio. Dicha discretización es denominada discretización topológica, pues se ocupa de establecer el tipo de elemento (tramo, volumen finito, sección transversal, tanque, etc.) que será empleado como representación conceptual del sistema natural. Un segundo tipo de discretización corresponde a la discretización hidráulica, que se refiere a la información requerida para representar los elementos topológicos escogidos (Cunge, 1980).

Para la simulación del tránsito de solutos se empleó el esquema ADZ -Aggregated Dead Zone (Beer y Young, 1983). El modelo ADZ permite representar de forma agregada y unidimensional el proceso de mezcla de un soluto a lo largo de un tramo de canal, proceso que es en esencia tridimensional e incluye mecanismos tanto superficiales como sub-superficiales. Dada la concentración de un soluto, c_{up} , al inicio de un tramo, el

modelo permite estimar la concentración a la salida de acuerdo con:

$$\frac{dc(t)}{dt} = \frac{1}{t_m - \tau} [c_{up}(t - \tau) - c(t)] \quad [1]$$

donde t_m representa el tiempo medio de viaje del soluto y τ el tiempo de viaje de la partícula más veloz. La importancia relativa entre los mecanismos de advección y dispersión viene expresada por la fracción dispersiva, DF , dada por:

$$DF = 1 - \frac{\tau}{t_m} \quad [2]$$

Empleando el modelo de tránsito hidrológico MDLC (Camacho, 2000), se pueden determinar los parámetros del modelo ADZ. Este modelo está caracterizado por parámetros similares a los del modelo ADZ, y el canal se representa como una serie acoplada de n tanques. El frente de onda está caracterizado por un rezago τ_n . Cada tanque de la serie se encuentra caracterizado por un coeficiente K , cuyo efecto de atenuación es análogo al tiempo de residencia del modelo ADZ. De este modo el tiempo medio de viaje de una onda esta dado por la ecuación (3).

$$\bar{t}_n = nK + \tau_n \quad [3]$$

Los detalles para encontrar n y K , se pueden consultar en Camacho (2000). De este modo, dado que los dos modelos son análogos en su estructura, a partir de un solo experimento de trazadores es posible determinar los parámetros básicos para el modelo MDLC y de este modo encontrar los tiempos característicos para cualquier caudal que se desee simular.

Posterior a esto, se realizaron muestreos de sustancias de interés ambiental, los cuales permitirán hacer simulaciones sobre ellas, para determinar en qué porcentaje se degradaban al ser transitadas en el tramo de estudio. En la Figura 2, se muestran los tiempos característicos de viaje encontrados para el río Fonce, empleando el modelo MDLC-ADZ.

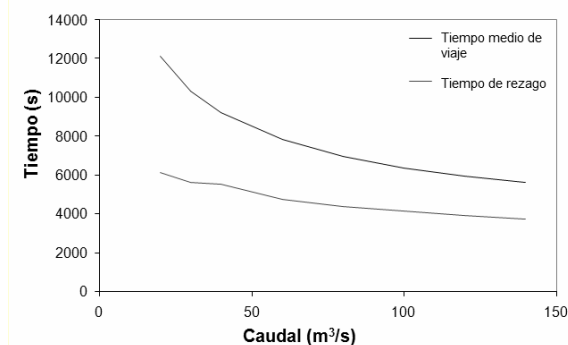


Figura 2.- Tiempos característicos de viaje en el caso del río Fonce

En este trabajo se empleó la relación de concentraciones de cada sustancia de interés ambiental en el tramo de estudio de acuerdo con la ecuación [4].

$$r = \frac{c_2}{c_1} \quad [4]$$

Evaluación de Resultados

En ambos casos se encontró que los tiempos medios de viaje son cortos, lo cual tiene implicaciones importantes en los modelos. En el caso del río Fonce se encontró que estos no son lo suficientemente altos como para que los procesos de advección, dispersión y decaimiento atenúen

las cargas transportadas por la corriente. Por tanto, la ecuación adimensional [4] tiende a 1.

Lo anteriormente dicho, pone de manifiesto que desde el punto de vista de los procesos de transporte y depuración de sustancia de interés ambiental, el proyecto hidroeléctrico no representa ningún tipo de problemas, pues las descargas de aguas servidas, se presentan en el municipio de San Gil, que se encuentra aguas arriba de éste, y dadas las condiciones de flujo en el río, el cual cuenta con gran cantidad de zonas con rápidos, permite realizar una mezcla muy homogénea de estas sustancias, antes de que lleguen al sitio donde se ubicará la presa del proyecto. Es posible inferir, entonces, que las concentraciones de sustancias de interés ambiental en los caudales vertidos para conservar los caudales ambientales y en los caudales usados para producción de energía son las mismas, es decir no se está aumentando la concentración de dichos elementos a causa de la generación.

Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados de la modelación de la calidad del agua, haciendo énfasis en la asimilación de sustancias de interés ambiental en el tramo de estudio, muestran que en general esta es muy próxima a 1, lo cual quiere decir que cualquier sustancia ingrese al tramo de estudio sufrirá una degradación casi nula, es decir, las concentraciones de dicha sustancia a la salida del tramo son prácticamente iguales a las concentraciones de entrada, esto se cumple para un amplio intervalo de caudales y para cualquier concentración de dichas sustancias. Sin embargo, esto no debe representar ningún tipo de problemas para el proyecto pues las concentraciones de las sustancias de interés ambiental son las mismas antes e inmediatamente después del sitio de presa.

Referencias Bibliográficas

- Beer, T., Young, P.C. (1983). "Longitudinal dispersion in natural streams". *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 109, No. 5, pp. 1049-1067.
- Montgomery, D.R., Buffington, J.M. (1997). "Channel-reach morphology in mountain drainage basins". *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 109, pp. 596-611.
- Camacho, L. A. (2000): "Development of a Hierarchical Modeling Framework for Solute Transport Under Unsteady Flow Conditions in Rivers". PhD Dissertation, Imperial College of Science Technology and Medicine, London, England.
- Cunge, J.A. ; Holly, F.M.; Jr.; Verwey, A. (1980): "Practical Aspects of Computational River Hydraulics". *Iowa Institute of Hydraulic Research*. pp. 420.
- Flores, A. N., B. P. Bledsoe, C. O. Cuhaciyan, and E. E. Wohl. (2006): "Channel-reach Morphology Dependence on Energy, Scale, and Hydroclimatic Processes with Implications for Prediction Using Geospatial Data". *Water Resour. Res.*, 42, W06412, doi:10.1029/2005WR004226