

OPTIMIZACIÓN EXPERIMENTAL Y NUMÉRICA DE SEPARADORES DE CAUDAL EN ALCANTARILLADOS COMBINADOS PARA CIUDADES ANDINAS

Patricio Ortega, Ximena Hidalgo, Darío Calderón, Edwin Casa, Pablo Vera
Jorge Santamaría y Carolina Lucero

Escuela Politécnica Nacional, Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos CIERHI, Quito-Ecuador.
E-mail: patricio.ortega@epn.edu.ec; ximena.hidalgo@epn.edu.ec; dario.calderon.v@gmail.com, edwin.casa@epn.edu.ec,
pablo.vera@epn.edu.ec jorge.santamaria.ch@gmail.com, carolinallucero01@hotmail.com

Introducción

Un alcantarillado combinado recolecta aguas residuales urbanas y lluvias de forma conjunta, siendo en la mayoría de los casos conducidas directamente y sin tratamiento hacia un cauce natural [Guhl 2010], causando un fuerte impacto ambiental. Tal es el caso del Ecuador, que en 2015 el 45.12% de municipios lo realiza mediante este sistema [INEC 2016]; es así que, por ejemplo, los principales ríos de la ciudad de Quito están severamente contaminados [ANDRADE 2012], problema que se ha agravado con el paso del tiempo y el crecimiento poblacional, convirtiéndolos en cloacas abiertas, focos de contaminación, zonas de desarrollo de roedores y vectores, fuentes de enfermedades, malos olores y molestias para la población. Sus aguas en la actualidad no son aptas para ninguno de los usos potenciales, tales como abastecimiento de agua potable, riego, uso recreativo y preservación de vida acuática y silvestre.

Es económicamente inviable el reemplazo total del sistema de drenaje combinado por sistemas separados, que técnicamente son los ideales; de igual no es viable económica y operativamente el tratamiento de la totalidad de caudales combinados pues los costos de construcción y operación de las futuras plantas depuradoras serán proporcionales a los caudales a ser tratados; en vista de ello una solución técnica y económicamente factible es la implementación inicial de redes de colectores paralelos a los ríos, conjuntamente con aliviaderos o estructuras de separación de caudales, que permitan por un lado derivar los fluidos mayormente contaminados hacia las futuras plantas de depuración y por otro lado a los fluidos en exceso (que por efecto de la dilución disminuyen su concentración) hacia su descarga directa en el cuerpo receptor natural; garantizando el cumplimiento de los límites de contaminación adecuados. El presente estudio sobre estructuras de separación de caudal resulta importante ya que de su funcionamiento correcto depende en gran medida el éxito de los sistemas en conjunto para cumplir con los objetivos de descontaminación integral y recuperación de los cuerpos receptores.

Características de la estructura separadora de caudales

Actualmente los separadores de caudal son estructuras muy utilizadas en sistemas de alcantarillado combinado, sin embargo, los criterios de diseño unidimensionales y en el mejor de los casos bidimensionales no logran representar correctamente el comportamiento de flujo en un separador de caudal de vertido lateral, adicionalmente en gran parte de ciudades andinas donde su topografía es muy montañosa, los colectores poseen pendientes muy fuertes, provocando un régimen de flujo supercrítico a lo largo de todo el colector, sin las consideraciones necesarias para este tipo de flujo el separador de caudales podría funcionar de manera errada y no cumplir con sus objetivo de separar correctamente los caudales del colector combinado. El estudio inicia del diseño original del separador de caudal y sobre el cual se ha hecho la evaluación experimental de la geometría original- Consta de un colector

rectangular de pendiente del XXXX de una pared que tiene la finalidad de desviar el caudal sanitario por un orificio lateral de XXXX x XXXXX después existe una cámara para recoger dicho caudal sanitario y mediante un fondo inclinado con pendiente negativa transportar el caudal sanitario hacia la planta de tratamiento.

Modelación física

El modelo físico del separador de caudales en su versión original fue construido en el Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos de la Escuela Politécnica Nacional, tiene una escala 1:5, está construido en acrílico de 6mm. Al tratarse de canales a superficie libre, la aceleración del fluido (cambios en la magnitud y dirección de la velocidad del agua) se debe a las variaciones en la geometría del contorno, por lo tanto, la variación de la fuerza inercial se debe exclusivamente a la fuerza de gravedad, la cual rige el movimiento y establece el criterio o ley de modelación de similitud dinámica restringida de Froude.

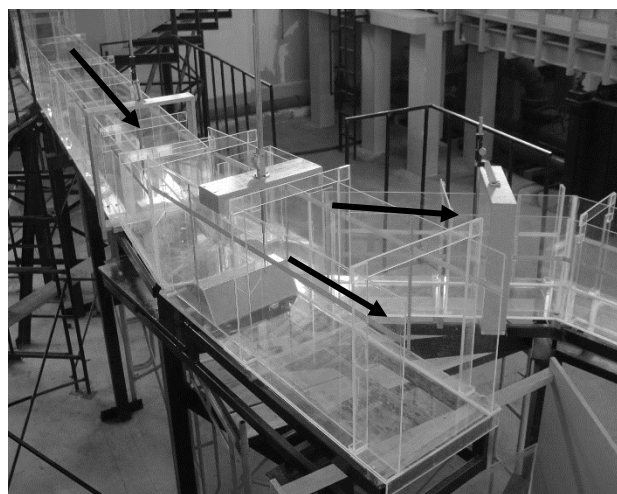


Figura 1.- Modelo 1:5 construido en el CIERHI-EPN, diseño original.

A continuación, se presenta el plan de pruebas para el diseño original del separador de caudales.

Tabla 1.- Plan de Pruebas diseño original.

PRUEBA	CAUDAL PROTOTIPO	CAUDAL MODELO
	(l/s)	(m ³ /s)
A-1	9.58	0.536
A-2	10.67	0.596
A-3	47.97	2.680
A-4	60.86	3.402
A-5	93.06	5.207

Modelación numérica

Para la simulación numérica de la estructura separadora de caudales se utilizó el programa de volúmenes finitos ANSYS

CFX, el modelo ha sido calibrado con los resultados obtenidos en el modelo físico y se ha simulado el comportamiento del flujo tanto en su diseño original y su diseño optimizado.

Se ha utilizado el modelo de turbulencia tipo RANS de dos ecuaciones k-ε, modelo utilizado ampliamente en problemas de mecánica de fluidos y de diseño hidráulico.

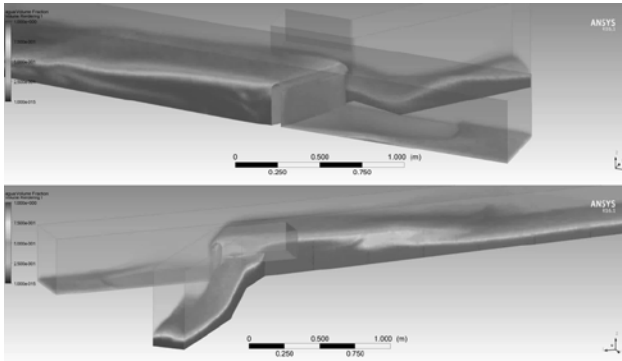


Figura 2.- Modelo numérico ANSYS CFX, diseño optimizado.

De la modelación física con la geometría original y de la modelación numérica CFD en ANSYS CFX, se pudo concluir que las modificaciones deben estar orientadas al cambio de las formas y las dimensiones de las siguientes secciones o estructuras: orificio lateral, sección de salida del orificio en el fondo del pozo de revisión, plataforma de revisión, sección de entrada al canal sanitario; además del ángulo de posicionamiento en planta de la barrera física transversal para la derivación.

Los cambios más importantes para la optimización del diseño son:

- Se implementa un vertedero de cresta semicircular con una altura total de 1.35 m en prototipo (27 cm en modelo), siendo ésta 135% mayor a la altura del umbral en el modelo original, inclinado en planta 58° con respecto al eje del colector pluvial; su objetivo es cambiar el régimen del flujo de aproximación de supercrítico a subcrítico.
- Se extienden las paredes del colector sanitario hasta la intersección con el canal combinado manteniendo su alineación en planta (incluido el orificio) con la finalidad de minimizar los choques y ondas cruzadas en el flujo.
- Se incrementa el área de la sección del orificio de 0.60 m x 1.90 m en prototipo (12 x 38 cm en modelo) a 0.85 m x 1.60 m en prototipo (17 x 32 cm en modelo).
- Se implementa una rampa descendente hacia el colector sanitario, empatando ortogonalmente con su fondo, para permitir el descenso uniforme del flujo.
- Se eleva el nivel de la plataforma de revisión (útil en labores de mantenimiento de la estructura) a 1.75 m (35 cm en modelo) con el fin de evitar su inundación.
- Se elimina el umbral al ingreso al canal sanitario, pues éste es propicio para la acumulación de sedimentos.

Conclusiones

Mediante el uso de metodologías tridimensionales como la modelación física y modelación numérica se ha logrado optimizar una estructura separadora de caudales en alcantarillados combinados, cuya principal característica es tener un flujo de aproximación supercrítico debido a las fuertes pendientes propias de los colectores en zonas andinas.

La optimización consiste en levantar un vertedero de cresta

semicircular en lugar de la pared concebida inicialmente en el diseño, esta sección de control favorece notablemente en la formación de un resalto hidráulico estable el mismo que cambia el régimen supercrítico y de alta velocidad en un régimen subcrítico, además de incorporar una masa de aire adicional producto de la formación del resalto hidráulico. Adicionalmente se ha cambiado la alineación del colector sanitario de salida a fin de evitar aristas vivas y perturbaciones de flujo.

El modelo numérico con metodología CFD debidamente calibrado con los resultados del modelo físico ha sido de gran ayuda a fin de optimizar la estructura separadora de caudales, brindando una metodología complementaria para evaluar el comportamiento de flujo de forma tridimensional. El modelo de turbulencia utilizado K-ε representa numéricamente de forma correcta la turbulencia para este caso y la simulación de flujo bifásicos agua-aire.

Referencias bibliográficas

- Andrade, L.** (2012). "Diseño de la Red Metropolitana Ambiental de la Calidad del Recurso Hídrico, diagnóstico". Secretaría de Ambiente del DMQ, Quito-Ecuador.
- Date, A. W., Versteeg, Malalasekera, & Date, A. W.** (2005). "Introduction to Computational Fluid Dynamics". CFD. <https://doi.org/10.2277/0521853265>
- EMAAP-Q/PSA (2008)**. "Depuración del Banco de Datos de Calidad del Agua 2002- 2007, Programa de Saneamiento Ambiental", Quito-Ecuador.
- EPMAPS, (2012)**. "Estudios y Diseños Definitivos de los Sistemas de Alcantarillado de los Interceptores en el Río Machángara, Quebrada Caupicho". Quito-Ecuador.
- Gómez Ávila, L. A., Torres Guerrón, M. C., Landázuri Flores, A. C., & Mayorga Andrade, L. F.** (2014). "Programa para la Descontaminación de los Ríos de Quito". Quito-Ecuador.
- Guhl, E., Montes, P., & Encalada, G.** (2010, junio). "El agua de los Andes". Comunidad Andina, 42 p.
- INEC. (2016)**. "Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015
- Kobus, H.** (1980). "Modelación Hidráulica" (Segunda Ed). Berlín-Alemania: German Association for Water Resources and Land Improvement.
- Mateos, C. (2000)**. "La modelación física en las obras hidráulicas". En Ingeniería del agua (Vol. 7, p. 55). <https://doi.org/10.4995/ia.2000.2837>
- Metcalf & Eddy, Inc.** (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse. Boston: McGraw-Hill.
- Ranga Raju. K.G.** (1997) "Flow Through Open Channels". McGraw Hill. New Delhi-India
- Sotelo, G. (1997)**. "Hidráulica General". (Grupo Noriega, Ed.) (Tercera Ed). México D.F-México: Limusa S.A.
- TULSMA - Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015)**. "Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente". Libro VI, Anexo I. Quito-Ecuador.
- Vergara, M. (1993)**. "Técnicas de modelación hidráulica". (E. García, L. Castañeda, & F. Rodríguez, Eds.) (Segunda Ed). México D.F-México: Alfaomega.