

DISEÑO DE UN DISIPADOR DE ENERGÍA PARA CHORROS DE FLUJO VERTICAL QUE DESCARGAN EN CAJAS DE INSPECCIÓN DE DRENAJE PLUVIAL, A PARTIR DE UN MODELO FÍSICO CASERO.

Autor(es): Deirson David Yepes Tabares¹ – ddyepest@correo.udistrital.edu.co
Brayan Steven Torres Corredor¹ – bstorresc@correo.udistrital.edu.co

Docente asesor: Juan Sebastián De Plaza Solórzano

Semillero de investigación: Obatalá

RESUMEN

Este proyecto de investigación e innovación, se enfoca en el análisis de la hidráulica al interior de las cajas de inspección, las cuales reciben una descarga de chorro vertical, que puedan llegar a tener flujos supercríticos y turbulentos, además contar con una alta energía disponible, que con el tiempo genera afectaciones a estas infraestructuras hidráulicas. Para ello, se propone diseñar y construir una caja de inspección casera que cumpla con las normas técnicas colombianas, con el objetivo de analizar la disipación de energía hidráulica del flujo vertical, mediante el diseño y la puesta en marcha de un modelo físico casero de disipación de energía. Para determinar si este modelo de disipación de energía se adapta al sistema y mejora el

comportamiento del flujo, se propone, medir variables como el caudal, la velocidad, profundidad del flujo, impacto del chorro, número de Froude y número de Reynolds, generando variaciones en la altura de inyección del chorro y de la pendiente del colector.

De este modo, al recolectar y analizar los datos, se espera que el modelo físico de disipación de energía reduzca considerablemente el valor de las variables mencionadas anteriormente, además, regule, uniformice el flujo, y disminuya el impacto generado al sistema.

PALABRAS CLAVES

Disipación de energía, cajas de inspección, modelos físicos, drenaje en edificaciones.

¹Proyecto Curricular Tecnología en Saneamiento Ambiental. UDFJC

ABSTRACT

This research and innovation project is focused on hydraulics analysis of the inside the inspection chamber, which receive a vertical jet discharge, which can have supercritical and turbulent flows, and have high available energy, which over time it generates damages to these hydraulic infrastructures. To do this, it is proposed to design and build a inspection chamber that complies with Colombian technical standards in order to analyze the dissipation of hydraulic energy from the vertical flow, through the design and implementation of a home physical model of dissipation of Energy. To determine if this energy dissipation model adapts to the system and improves flow behavior, it is proposed to measure variables such as flow, velocity, flow depth, jet impact, Froude and Reynolds numbers generating variations in the injection height of the jet and the slope friction collector. In this way, when collecting and analyzing the data, it is expected that physical model of energy dissipation will considerably reduce the variables value mentioned above, in

addition, regulate, standardize flow, and reduce the impact generated to the system.

KEYWORDS

Energy dissipating, inspection chamber, physical models, facilities.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se evidencia con frecuencia la afectación a las estructuras hidráulicas como cajas de inspección, sumideros y pozos sépticos; debido a la ausencia, fallas y/o a la mala concepción de la hidráulica de estas estructuras en su funcionamiento y operación, causando así, problemas por tapamientos a las tuberías que conllevan a inundaciones por bloqueo y como consecuencia, a la proliferación de enfermedades transmitidas por vectores y otras afectaciones a la salud. Por estas razones, se realiza la propuesta de un modelo físico de disipación de energía hidráulica para un flujo vertical que descarga en una caja de inspección mediante un montaje casero; contemplando los estudios e información ya documentada, la cual permite

obtener conocimientos previos de los tipos de disipadores y, además, del cómo se disipa la energía en estos sistemas. De esta manera, se formula el diseño de un modelo físico para disipar la energía en cajas de inspección y una vez desarrollado este, se lleva a cabo la experimentación con la descarga de un chorro vertical en una caja de inspección, por lo cual, se debe medir de manera cualitativa el efecto del chorro sobre el fondo, de modo que se puedan evaluar variables asociadas al caudal, altura de descarga del chorro y número de Froude, para así comprobar el fenómeno de disipación de energía y lograr implementar su uso en sistemas reales de drenaje en edificaciones.

¿Es posible que un disipador de energía asegure el flujo libre en un colector y además garantice la hidráulica y operatividad en las cajas de inspección? Asimismo, se plantean los siguientes objetivos para dar alcance al proyecto de investigación-innovación.

OBJETIVO GENERAL

•Analizar la disipación de energía hidráulica de un flujo vertical, mediante el diseño, la cons-

trucción y la puesta en marcha de un modelo físico casero aplicado a cajas de inspección.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un modelo físico que incluya una caja de inspección pluvial y un colector de drenaje que cumpla con las especificaciones técnicas colombianas.
- Implementar un disipador de energía hidráulica para cajas de inspección que reciban la descarga de un chorro vertical.
- Evaluar el funcionamiento y la eficiencia del disipador de energía por medio de las variables medidas en el modelo físico, a partir de la configuración de diferentes alturas de descarga del chorro.
- Analizar la hidráulica del colector de salida en la caja de inspección.

MÉTODOS

La recolección de la información se obtiene a partir de diferentes artículos, proyectos de grados, normativas y autores nacionales e internacionales. Posteriormente se realiza la

construcción de una caja de inspección que cumple con las normativas nacionales.

Luego, se diseñan, en el software AutoCAD 2021 tres prototipos de disipación de energía (el disipador tipo árbol, tipo Cap-Cono y Lamprella).

Mediante una matriz propuesta por los autores se comparan y evalúan algunos aspectos como vida útil, costos, impacto entre otros aspectos de los tres prototipos.

De este modo se decide que el prototipo de disipación de energía para flujos verticales a construir e implementar al interior de la caja de inspección es el disipador Lamprella. Asimismo, se propone la medición de parámetros como impacto, profundidad hidráulica, caudal; haciendo variaciones en la altura de inyección del flujo y en la pendiente del colector de salida con el fin de obtener valores de velocidad, número de Froude y número de Reynolds sin disipador y con el disipador al interior de la caja de inspección respectivamente.

RESULTADOS

A continuación, se presenta de manera clara y concreta, los resultados obtenidos durante el proceso de diseño, construcción, puesta en marcha y medición de parámetros hidráulicos para la caja de inspección sin y con la implementación del prototipo de disipación de energía.

La figura 1 muestra el diseño, la construcción y la puesta en marcha de una caja de inspección pluvial que cumple con normativa técnica colombiana, además, del modelo físico de disipación de energía y su implementación al sistema hidráulico.



Figura 1. Caja de inspección, junto al disipador de energía Lamprella y la incorporación de este al sistema.

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los parámetros medidos (altura de inyección de chorro 0.20, 0.40, 0.60 y 1 m, profundidad del agua al interior del colector y las variaciones de pendientes de 0.1% al 3%) los resultados fueron los siguientes: Se identifica que a mayor altura de descarga del chorro de agua, menor va a ser la profundidad al interior del colector y mayor es el valor del impacto en decibeles (Db).

Por otro lado, al aumentar las pendientes se obtiene igualmente una disminución de la profundidad del agua en el interior del colector, ya que, se incrementa la velocidad con la que circula el flujo al interior del colector.

También, se observa que la altura de inyección del chorro tiene mayor influencia que variación de la pendiente del colector respecto a la profundidad del flujo al interior del mismo, ya que, el flujo tiene un mayor desplazamiento vertical, lo cual implica que se almacene un menor volumen de agua y por consiguiente se disminuya el valor de profundidad.

La figura 2 muestra, que tras la implementa-

ción del disipador Lamprella, el flujo tiene a tener para todas las pendientes un perfil de comportamiento similar. Esto gracias a que, el disipador cuenta con un tiempo de retención el cual permite que el flujo se uniformice y se regule antes de ingresar al colector.

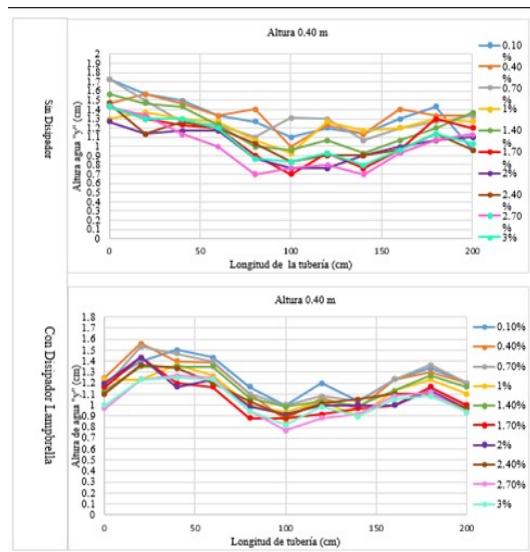


Figura 2. Comportamiento del flujo a lo largo del colector para la altura de inyección de 0.40m y variación de pendientes desde 0.1% hasta 3% sin disipador y con el disipador Lamprella.

Fuente: Autores

Finalmente, al hacer una comparación con los perfiles de flujos gradualmente variados teóricamente conocidos, no se encuentra similitud alguna con el comportamiento del

flujo al interior del colector sin la implementación del disipador de energía, mientras que, al implementarlo se muestra una similitud con un flujo de un canal tipo mild (M). Es decir, con variaciones de pendientes suaves y moderadas, por lo que presenta un abatimiento en el punto de entrada y salida del colector.

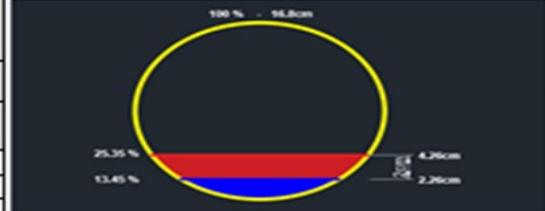
DISCUSIÓN

Respecto a los resultados obtenidos y presentados, se pretende dar respuesta a los objetivos específicos, por lo que, se realiza una comparación entre los valores de la profundidad, velocidad y caudal obtenidas para cada pendiente respecto a una altura de descarga del chorro de agua como se muestra en la Tabla 1.

En la Tabla 1, se muestra cual es la diferencia en centímetros entre las profundidades medidas en el abscisado del colector sin el disipador y con el disipador, donde se identifica que para el caso de las tres pendientes disminuye el valor de la profundidad.

Además, al relacionar el diámetro total del colector respecto al área ocupada por el flujo, se identifica que este pasa de ocupar un 25.35% del diámetro del colector a un 13.45% para el caso de la pendiente del 3%, como lo indica la figura en la parte superior derecha; de manera que, el disipador es capaz de aumentar la capacidad del colector, permitiendo manejar un mayor volumen de agua en la descarga del sistema, evitando así

COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD, CAUDAL Y PROFUNDIDAD HIDRÁULICA A UNA ALTURA DE INYECCIÓN DEL FLUJO DE 1m			
PENDIENTE (%)	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR LAMPBRELLA	DIFERENCIA
VELOCIDAD (m/s)			
1	0,55	0,29	0,56
2	1,01	0,34	0,67
3	1,12	0,37	0,75
CAUDAL (l/s)			
1	3,10	0,37	2,73
2	3,31	0,41	2,90
3	3,43	0,43	3
PROFUNDIDAD (cm)			
1	4,53	2,43	2,4
2	4,45	2,53	1,92
3	4,26	2,26	2



Relación (Q/Q₀) vs. (QSD) (%)	Relación (Q/Q₀) vs. (QCD) (%)	Diferencia (QCD) vs. (QSD) (%)
7,05	0,55	6,20
5,57	0,69	4,88
4,85	0,61	4,24

Relación (d) vs. (PSD) (%)	Relación (d) vs. (PCD) (%)	Diferencia (PSD) vs. (PCD) (%)
28,75	14,46	14,59
26,48	15,05	11,43
25,35	13,47	11,9

Tabla 1. Comportamiento de Velocidad, caudal y profundidad hidráulica en el colector a una altura de inyección del flujo de 1m para las pendientes del 1%, 2% y 3% sin y con el disipador Lampbrella

Fuente: Autores

posibles ahogamientos de la caja de inspección.

Asimismo, muestra el valor obtenido por medio de la ecuación físicamente basada para calcular la velocidad que para ambos casos de estudio. Se observa que la velocidad con el disipador Lamprella es aproximadamente tres veces menor que sin el mismo.

De la misma manera, al analizar la relación caudal de llenado(Q/Q_o) vs caudal sin disipador (QSD) y caudal con disipador (Q/QCD), que se muestran en la Tabla 1, Se observa que el QSD ocupa un mayor volumen a lo largo del colector para todas las pendientes; como en el caso de la pendiente del 1% que usa el 7.05% de la capacidad total del colector, mientras que al implementar el disipador Lamprella el caudal, no logra ocupar ni siquiera el 1% de la capacidad total del colector. Lo cual, quiere decir que se reduce aproximadamente a una octava parte el valor de dicho Caudal.

Igualmente, se realiza una comparación entre los valores de número de Froude, Reynolds e

impacto, obtenidos para cada pendiente respecto a una altura de descargue del chorro de agua como se muestra en la Tabla 2.

COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD, CAUDAL Y PROFUNDIDAD HIDRÁULICA A UNA ALTURA DE INYECCIÓN DEL FLUJO DE 1m			
PENDIENTE (%)	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR LAMPRELLA	DIFERENCIA
NÚMERO FROUDE			
1	1,67	0,82	0,85
2	2,08	0,99	1,09
3	2,35	1,1	1,25
NÚMERO REYNOLDS			
1	16670	2966	13704
2	18556	3309	15247
3	19638	3553	16135
IMPACTO (DECIBELES (Db))			
ALTURA DE INYECCIÓN DEL CHORRO (m)	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR LAMPRELLA	DIFERENCIA (Db)
0,40	77	62	15
0,60	79	69	10
1	81	78	3

Tabla 2. Comparación del Número de Froude, Número de Reynolds e impacto en Decibles (Db); sin y con el disipador Lamprella.

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que el número de Froude es una de las variables más importantes para este caso de estudio, se observa que sin implementar el disipador Lamprella se obtuvo un régimen de flujo Supercrítico (>1.5), y con la implementación del disipador Lamprella mejora notablemente la hidráulica del flujo, alcanzando a mantenerse en un flujo cuasocrítico ($0.7 < Fr < 1.5$) con mayor tendencia a ser subcrítico, debido a la condición de entrada del flujo al colector.

Los datos obtenidos del número de Reynolds muestran una reducción del valor de Re en aproximadamente una sexta parte con la implementación del disipador Lamprella, reducción que es significativa y que demuestra el correcto funcionamiento del prototipo de disipación de energía.

Estos valores demuestran, que a pesar de que hay una amplia diferencia entre los datos, el flujo sin disipador es de régimen Turbulento y con el disipador se encuentra al igual en régimen Turbulento, aunque con una tendencia a disminuir la turbulencia, se considera, que este

tipo de comportamiento se da debido a la geometría del sistema, ya que, cuando el flujo sale de la base rectangular del disipador e ingresa a la sección circular del colector genera un choque entre las líneas de flujo, causando una alteración a su comportamiento hidráulico, lo cual genera oleajes y turbulencia.

Finalmente, el impacto del chorro de agua, se calcula con la aplicación Sound Analyzer y se identifica que a medida que la altura de caída del chorro de agua aumenta, el valor del impacto obtenido en decibeles también aumenta.

Al implementar el disipador, se observa que el valor de este parámetro disminuye, ya que, el espacio de desplazamiento del flujo de manera vertical se reduce al igual que la energía potencial y cinética disponible; teniendo en cuenta la altura de dicho prototipo, puesto que es ahora el que amortigua y recibe directamente toda la descarga del flujo evitando así que se generen afectaciones a la infraestructura.

CONCLUSIONES

1. Se logra construir un modelo físico de una caja de inspección que cumple con las normas técnicas colombianas.
2. Se concluye que, tras el diseño y el análisis de tres prototipos de disipación de energía, se decide construir e implementar el disipador Lamprella.
3. Se identifican cambios positivos en la hidráulica del colector al implementar el disipador Lamprella, ya que uniformiza, regula y retarda el flujo. Del mismo modo, se observa la reducción en los valores de caudal, velocidad, número de Froude, número de Reynolds e impacto al implementar el prototipo de disipación de energía.
4. Se identifica que con la implementación del disipador Lamprella en la caja de inspección, se logra generar una variación en el régimen del flujo de supercrítico a quasi-crítico con tendencia a subcrítico de acuerdo al número de Froude y también se observa una reducción notable en el número de Reynolds, lo cual beneficia totalmente la hidráulica del flujo al inferior del colector.
5. Se concluye, que el disipador Lamprella es capaz de reducir los valores de energía hidráulica disponible, ya que, amortigua el impacto generado por la caída del chorro vertical y disipa la energía con la que circula el flujo.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primera instancia a Dios por darnos salud y sabiduría para culminar de la mejor manera el proyecto; a nuestras familias, queridos padres y hermanos por darnos su apoyo incondicional en esta etapa tan importante para nuestras vidas. También, a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, a la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en especial al proyecto curricular Tecnología en Saneamiento Ambiental por permitirnos ser parte de esta hermosa comunidad universitaria y formarnos académicamente como profesionales. Asimismo, agradecerle inmensamente a nuestro director de grado Juan Sebastián De

Plaza Solórzano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdusalam, A. Stevović, S. and Abourohiem, M.* 2016. “Dissipation of mechanical energy over spillway through counter flow” *Gradjevinar*, vol. 70, no. 5, p.377–391, doi:10.14256/JCE.1691.2016.
- Álvarez, H.* 2007. “Diseño de cámaras de quieto en alcantarillados de alta pendiente,” Universidad de los Andes, pp. 1–102, Colombia, Bogotá D.C.
- Autodesk, Inc. 2021. Diseño asistido por computadora (for Windows 10 Home Single Language, versión 20H2). AutoCAD®. Autodesk, AutoCAD, AutoCAD LT y Revit LT Suite. Mill Valley, California, E.E.U.U.
- C. y T. C. Ministerio de Vivienda, 2017. “Resolución 0330 - 2017.” p. 77, [Online]. Available: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>.
- Dominique, R.* Google Play. 2019. “Sound Analyzer App” Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dom.audioanalyzer>.
- EAAB - Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, 2001. “Requisitos mínimos para cajas de inspección externa para efluentes industriales”. pp. 1–4, Colombia, Bogotá D.C.
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. 2009. “Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM,” Empres. Públicas Medellín E.S.P., p. 246, [Online]. Available:https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf.
- Haro, P and Jara, M.* 2006. “Manual básico de diseño de estructuras de cambio de nivel y cambio de dirección con flujo a gravedad”. Escuela Politécnica Nacional. pp. 1–146, Ecuador, Quito.
- Holland, P.* 1998. Encyclopedia of Hydrology and Lakes. Springer Science + Business Media BV. <https://doi.org/10.1007/1-4020-4497-6>.
- Innovar (Reparaciones y Construcciones S.A.S). 2020. “Redes de alcantarillado, construcción, limpieza y destape de cajas de inspección o desague de aguas negras”. <https://reparacionesyconstrucciones.com/>

- cajas-de-inspeccion-aguas-negras.html.
- Jacobowitz, C and Vásquez, E.* 2010. “Análisis De Medidores De Caudal Para Flujo Subcrítico En Sistemas De Alcantarillado”. Escuela Politécnica Nacional [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2459/1/CD-3154.pdf>.
- Marbello, R.* 2012. “Flujo gradualmente variado,” Universidad nacional de Colombia Sede Medellín. Flujo Grad. variado, pp. 191–235, Colombia, Medellín.
- Montes, C.* 2015. “Criterio de Esfuerzo Cortante Mínimo vs Velocidad Mínima para el Diseño de Alcantarillados Auto limpiantes”. XXVII Congr. Latinoam. Hidráulica, p. 184, Universidad de los Andes. Colombia, Bogotá.
- Ortega, B.* 2012 “Análisis experimental para la optimización de la disipación de energía a la salida del túnel de desvío del proyecto hidroeléctrico sopladora”. Escuela Politécnica Nacional. p. 154, Ecuador, Quito.
- Pardo, R. Lobaina, S and Martí, E.* 2017. “Monografía de disipadores de energía,” Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echevarría”. pp. 1–88,
- [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/327989172/Disipadoresdeenergia>. Cuba, La Habana.
- Santamaría, M.* 2015. “Colector tipo túnel Víctor Hugo entre los hidráulicos del flujo de aguas residuales”. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador, Ambato.
- Título, (s.f.). Calculartodo. 2018 “Dosificación para hormigón y morteros”. <https://www.calculartodo.com/calcu/acerca.php>.
- Ven Te Chow, Ph. D.* 1998. Hidráulica de canales Abiertos, McGraw Hil. Colombia, Bogotá D.C.
- Víctor, G.* 2020 “Sewerage - Chapter Five”. Soc. SecBeveridge Ils 191, pp. 113–128, doi: 10.4324/9781315007717-17.
- Wang, C and Samuel Li, S.* 2018. “Hydraulic jump and resultant flow choking in a circular sewer pipe of steep slope”. vol. 10, no. 11, pp. 1–18, Switzerland. doi: 10.3390/w10111674.