

Cámaras de Quiebre en Sistemas de Alcantarillado con Alta Caída

Saldarriaga, Juan

Ingeniero Civil, MSc.

Profesor Titular Universidad de los Andes. Director del Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA). E-mail: jsaldarr@uniandes.edu.co

Álvarez, Héctor

Ingeniero Civil, MSc.

E-mail: h-avare@uniandes.edu.co

XVIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología

Sociedad Colombiana de Ingenieros

Bogotá D.C. 22, 23, y 24 de mayo de 2008

Resumen. Los sistemas de alcantarillado en ciudades con topografías quebradas, frecuentemente requieren cámaras de quiebre que implican diferencias de altura muy grandes, entre los conductos de llegada y de salida. Además de eso, otra característica de estos sistemas es que no existe espacio suficiente para desarrollar una rápida con su correspondiente estructura de disipación de energía. El presente artículo, se enfoca en establecer la viabilidad económica y financiera de estructuras de alta caída que han sido propuestas experimentalmente en la literatura universal, haciendo énfasis en su comportamiento hidráulico. El artículo se focaliza inicialmente en las estructuras de alta caída tipo vórtice, para luego, dedicarse al tema de las estructuras escalonadas moduladas, y las estructuras tipo laberinto.

Palabras clave: Cámaras de caída, sistemas de alcantarillado, hidráulica de alcantarillados.

1. Introducción

Los sistemas de alcantarillado están compuestos por redes de tuberías y estructuras complementarias; la función de dichas estructuras es mejorar las condiciones de operación al interior del sistema. Cuando un sistema de alcantarillado se construye en una zona de alta pendiente, los tramos de tuberías se diseñan con pendientes menores a la del terreno. En consecuencia, el final de un tramo tiene una diferencia de altura con el inicio del tramo siguiente; cuando esta diferencia es mayor a 0.50 m (RAS 2000), es necesario construir una estructura especial para minimizar los daños en la red; estas estructuras se denominan cámaras de quiebre o caída.

En muchos lugares del mundo, con topografías de alta pendiente se han construido cámaras de este tipo desde tiempos romanos Chanson (2000); no obstante no existe una sistematización de esta información. Merlein et al (2002), en Alemania ha adelantado trabajo con este respecto, no obstante no hay un equivalente en español. En Latinoamérica y particularmente en Colombia son muchas las ciudades que cuentan con alcantarillados de alta pendiente, por lo tanto es necesario conocer la información disponible sobre este tema.

El diseño de estas estructuras, requiere conocimientos acerca de los fenómenos físicos que ocurren en su los canales y tuberías Chanson (2002), conceptos del diseño de sistemas de alcantarillado Tchobanoglous (1994), observaciones acerca del comportamiento del flujo en estas cámaras Rajaratnam (1997), análisis hidráulicos Chanson (2000).

Este artículo, pretende sistematizar información referente a cuatro tipos de estructuras, cámaras de caída libre Chanson (2002), cámaras tipo vórtice Zhao et al (2006) Motzet-Valentin (2002), cámaras escalonadas Chanson (2002) González (2007) y cámaras de gradas alternantes Kleinschroth (1998). Luego de esto se hace un análisis comparativo, teniendo en cuenta factores hidráulicos, económicos, constructivos, de acuerdo a la información disponible, para finalmente evaluar que tipo de estructura es más apropiada para condiciones dadas.

2. Definiciones

2.1. Diseño de alcantarillados urbanos

Un sistema de alcantarillado es un conjunto de canales, tuberías y estructuras complementarias, conectados entre sí, cuya función es recolectar y evacuar las aguas residuales y pluviales de un sector determinado, para conducirlos a un emisario final o a una PTAR. El proceso de diseño tiene algunos pasos para estructurar el sistema, obtención de información de campo como topografía, calidad de agua, localización de los usuarios y los emisarios finales; determinación del caudal de diseño, asociado con proyecciones poblaciones o proyecciones hidrológicas; escogencia de los materiales, asociado con los costos y la disponibilidad en el sector del proyecto; diseño hidráulico, implica la escogencia de ecuaciones de diseño y evaluaciones hidráulicas; diseño de estructuras complementarias.

Los sistemas de alcantarillado deben tener ciertas condiciones hidráulicas, para minimizar los costos de construcción, operación, mantenimiento y reparación. Estos costos, son proporcionales a la reducción de los problemas hidráulicos sobre los cuales se ampliara más adelante.

2.2. Definición de cámaras de quiebre

Una cámara de quiebre (Figura 1), es una estructura complementaria con la función de mitigar la turbulencia, la cavitación, los flujos inestables y el esfuerzo de corte entre tramos de tubería de un sistema de alcantarillado. Esta estructura debe conectar tramos de tubería con pendientes obligadas, menores a la del terreno, donde hay una altura mayor de 0.5 m entre el conducto de entrada y el conducto de salida de la cámara.

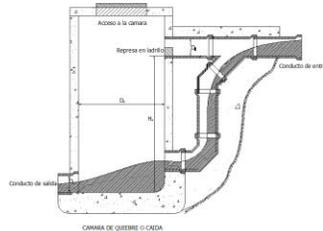


Figura 1. Cámara de quiebre tradicional

3. Tipos de cámaras de quiebre

Las cámaras de quiebre se clasifican de acuerdo con distintos criterios, como mecanismos de disipación de energía, tamaño o forma. En la literatura se referencian cinco tipos de cámara: cámaras de caída libre, cámaras tipo vórtice, cámaras escalonadas, cámaras de gradas alternantes y cámaras con rápida interna; en esta investigación se evaluaron los cuatro primeros tipos de cámara.

3.1. Parámetros de diseño

Parámetros hidráulicos: para el diseño de cámaras de quiebre es necesario tener en cuenta el caudal de diseño Q ; las condiciones del flujo aguas arriba, es decir el número de Froude; los fenómenos al interior de la estructura y las profundidades normales aguas arriba y aguas debajo de la misma.

Parámetros geométricos: es necesario tener en cuenta la geometría de los conductos de entrada, de salida y la altura entre las bateas de los dos conductos. Esta última es indispensable, dado que determina la cantidad de energía potencial que se transforma en cinética, por ende la energía a disipar.

Parámetros de operación: las cámaras de quiebre deben cumplir con las mismas condiciones que cualquier otra estructura complementaria. Deben ser accesibles, deben tener un acceso amplio y suficiente para que un operario pueda inspeccionarla, hacer mantenimiento y las reparaciones necesarias; por sí misma la estructura debe evacuar los sedimentos que se depositen en su interior.

3.2. Criterios de selección

Luego de tener la información suficiente para determinar que es necesario construir una cámara de quiebre, se debe determinar el tipo de cámara más apropiado. Para facilitar este proceso se requiere tener en cuenta los siguientes factores:

Factores hidráulicos: Entre otros altura máxima, caudal máximo y flujo de entrada.

Factores económicos: Costos de construcción, área intervenida y diseños complementarios.

Factores constructivos: Se refiere a la complejidad de construcción, asociada con la calificación requerida en el personal empleado, los equipos necesarios para desarrollar la obra y la precisión que requiere su ejecución.

Información disponible: Al tomar la decisión de cual tipo de estructura hidráulica escoger para un fin determinado, se debe tener en cuenta la información disponible acerca de técnicas de diseño, modelos documentados, memorias de operación, experiencias previas, entre otros.

3.3. Cámaras de Caída Libre

La cámara de quiebre de caída libre es el diseño más simple para este tipo de estructuras; conecta un conducto de entrada con un conducto de salida, a través de una cámara simple, en la cual ocurren los fenómenos de disipación de energía. Esta estructura, es empleada para flujos subcríticos y supercríticos, cuando la altura entre los conductos se encuentra entre 0.8 m. y 8 m.

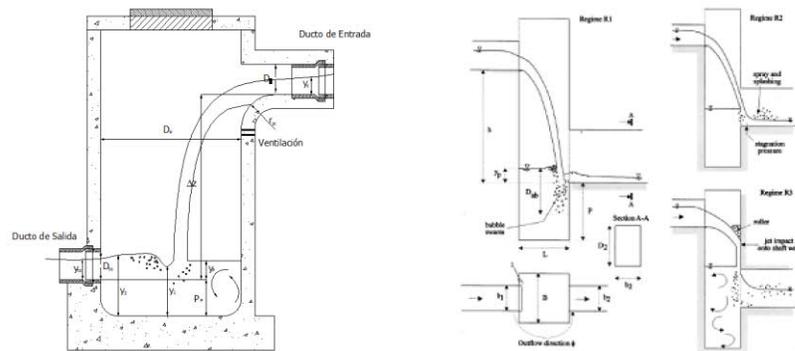


Figura 2. (a) Cámara de caída libre. (b) Patrones de flujo para una cámara rectangular. Chanson (2004).

3.3.1. Análisis hidráulico

Según Chanson (2004), el flujo en una cámara de caída libre se puede clasificar en tres tipos distintos, dependiendo del cojín de agua que se encuentre en la cámara (Figura 2b). El primer tipo de flujo ocurre cuando el chorro que proviene del ducto de entrada golpea la lámina de agua formada en el fondo, generando un resalto al interior de la cámara. El segundo tipo de flujo, ocurre cuando el chorro de agua golpea la unión entre el ducto de salida y la cámara; en este caso el resalto hidráulico ocurre en el ducto de salida. El tercer tipo de flujo ocurre cuando el chorro golpea la pared opuesta de la cámara; en este caso el cojín de agua puede ser más alto que el ducto de salida y este último funciona a presión.

Según Rajaratnam (1997), la entrada de la cámara de quiebre debe ser una curva (Figura 2a), con la finalidad de aumentar la capacidad de transporte, restringir o impedir la formación de una vena contracta en la entrada y reducir el impacto en las paredes de la estructura. La formación de una vena contracta en la entrada, aumenta la demanda de aire en el pozo, por lo tanto no es recomendable que la tubería de entrada funcione a presión; cuando el pozo tiene tres o más entradas la posibilidad de cavitación aumenta. El radio de curvatura de la entrada del pozo, debe ser de 0,5 veces el diámetro del conducto de entrada.

3.4. Cámaras Tipo Vórtice

Como se muestra en el (Figura 3), una cámara de quiebre tipo vórtice es una estructura hidráulica, en la cual ingresa un caudal por el extremo de aguas arriba, que es acelerado en una estructura con forma de espiral, generando un flujo en forma de vórtice que fluye por un conducto vertical, redondo y paralelo al eje de la espiral, que se conecta con una tubería de salida en el extremo de aguas abajo.

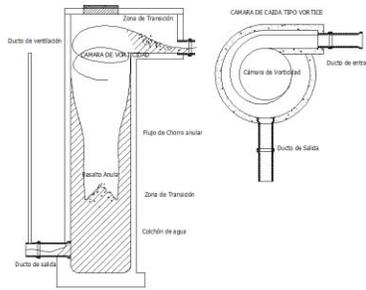


Figura 3. Cámara de quiebre tipo vórtice.

La cámara de vórtice está compuesta por tres partes principales. En primer lugar el conducto de entrada y cámara de vorticidad; en segundo lugar el conducto vertical y en tercer lugar el conducto de salida. La cámara de vorticidad puede ser tangencial o espiral; en cuanto a su alineamiento vertical pueden ser planas o inclinadas; las cámaras espirales de fondo inclinado se emplean para flujos supercríticos. No obstante, en estudios recientes se demostró que diferencia entre las cámaras de vórtice horizontales e inclinadas es despreciable (Motzet 2002).

3.4.1. Análisis hidráulico

Según Zhao (2006), los patrones de flujo son similares en todas las cámaras de este tipo. Primero se presenta un aumento del espesor del flujo, por la incorporación de aire; posteriormente el flujo desciende por las paredes del pozo en forma de espiral, formando un cono; en el fondo de la cámara ocurre un resalto anular. Jain (1984), clasifica el flujo dentro estas cámaras en tres zonas: chorro anular, es el flujo que ocurre en las paredes del pozo, cuando se presenta fricción contra la pared de la estructura; zona de transición, en donde el flujo se llena de aire y se separa de las paredes y allí es donde ocurre el resalto anular; cojín de agua, el cual ocurre luego de la zona de transición y hay un proceso de aquietamiento del flujo, con una importante presencia de aire.

En las cámaras de quiebre de vórtice, el fenómeno de disipación de energía ocurre debido a la constante fricción del flujo con la pared de la estructura, entre más alta es la relación de la longitud con respecto al diámetro se disipa más energía.

3.5. Cámaras Escalonadas

Este tipo de estructura escalonada fue empleada por los romanos y ha sido documentada e investigada en diversos estudios. Chanson ha desarrollado investigaciones referentes a este tipo de estructuras con respecto al comportamiento del flujo, los mecanismos de disipación de energía (2000) y los fenómenos de entrapamiento de aire (2002), entre otros. En la figura 4, se observa el modelo de cámara escalonada planteada en la norma alemana ATV A 241. Se observa que la cámara está conformada por dos cámaras de inspección unidas por la rápida escalonada.

La pendiente longitudinal máxima para este tipo de estructuras es de 67° según Chanson (2002), lo cual limita su uso para cámaras de quiebre. La pendiente máxima es grande, no obstante entre menor es la

pendiente que se puede aplicar en la estructura se requiere mayor espacio y proporcionalmente aumenta el costo.

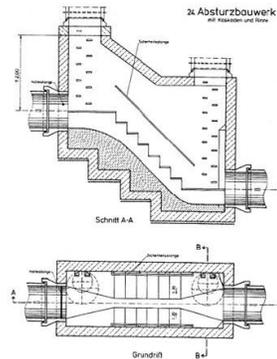


Figura 4. Cámara de caída escalonada. Norma ATV A 241 (1994).

3.5.1. Análisis hidráulico

Las cámaras de quiebre escalonadas están compuestas por una serie de escalones, equivalentes a una serie de cascadas; en estas cascadas ocurren fenómenos de aireación y disipación de energía. Estos fenómenos varían dependiendo del caudal que transita por la estructura. Cuando hay un caudal pequeño sobre la estructura, el flujo corre de un escalón a otro como una sucesión de cascadas pequeñas; esta condición se denomina flujo saltante Chanson (2002). Cuando se presentan caudales altos sobre la estructura, el flujo se desarrolla como una capa uniforme que se desplaza sobre las esquinas de los escalones. Debajo de la capa principal se encuentran flujos recirculantes, que se alojan en las cavidades de los escalones; estos flujos recirculantes son importantes para el fenómeno de disipación de energía. Este tipo de flujo se denomina flujo rasante.

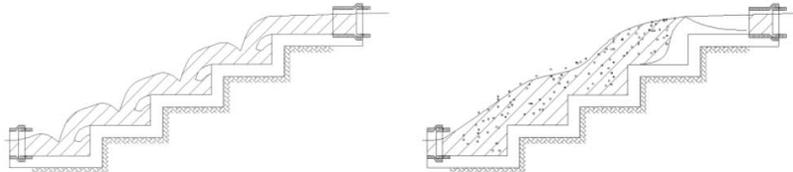


Figura 5. Cámara de Caída Escalonada. (a) Flujo Saltante. (b) Flujo Rasante.

3.6. Cámaras de Gradas Alternantes

En la figura 6, se observa una cámara de quiebre de gradas alternantes. Las cámaras de gradas alternantes son estructuras de disipación de energía, en las cuales una serie de caídas libres en forma de cascada; estas estructuras tienen una sola cámara dividida en dos, en una parte se instalan láminas internas escalonadas, que las hacen funcionar como una serie de cámaras de caída libre; en la otra parte de la cámara se deja un conducto para realizar mantenimiento, este conducto también permite airear el flujo.

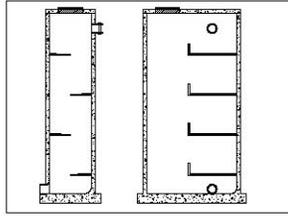


Figura 6. Cámara de quiebre tipo laberinto.

3.6.1. Análisis hidráulico

Las cámaras de gradas alternantes funcionan como una serie de caídas escalonadas. Según Kleinschroth (1999), el flujo al interior de las cámaras de gradas alternantes se puede clasificar en cuatro tipos, similares a los flujos al interior de cámaras de caída libre, dependiendo del caudal que pasa por la estructura y el lugar de impacto. Cuando el caudal es pequeño el flujo impacta en la grada más cercana al ducto de entrada; a medida que el caudal aumenta el flujo va impactando más lejos, en dirección a la pared opuesta al conducto de entrada.

En este tipo de cámara el fenómeno de entrapamiento de aire ocurre entre escalones. No obstante a medida que el caudal aumenta este proceso se complica; por lo tanto es importante la construcción de la cámara lateral, dado que desde ella el flujo puede arrastrar el caudal de aire necesario.

4. Análisis Comparativo

4.1. Factores Hidráulicos

Los factores hidráulicos de selección más importantes son cuatro: rango de caudal, rango de altura, condiciones de flujo y eficiencia de disipación de energía. Estos factores deben ser evaluados por el diseñador, quien determina cual es más importante para el caso particular al que se está enfrentando. No obstante, las siguientes son observaciones que pueden orientar esta decisión:

Rango de caudal: dependiendo del tipo de cámara de quiebre el rango de caudal varía, por ejemplo, las cámaras de caída libre operan para caudales de hasta $10 \text{ m}^3/\text{s}$; no obstante, es necesario revisar los daños que puedan presentar caudales tan altos sobre la estructura. Las cámaras de vórtice tienen un límite caudal mayor a $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, dado que se asemejan a un rebosadero tipo tulipán, siempre y cuando cumplan con la relación de altura contra diámetro del conducto vertical; para caudales mayores a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, se recomienda construir un modelo físico. Las cámaras escalonadas funcionan también para diversos caudales, dado que se asemejan a rápidas escalonadas, pero hay que tener en cuenta que para la relación entre caudal y altura del escalón, dado que caudales mayores a $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$, requieren alturas importantes de escalón para mantener un flujo saltante; este límite debe ser considerado dado que al pasar de flujos saltantes a rasantes, el caudal que transporta la estructura es mayor pero el efecto de disipación de energía disminuye. Para caudales mayores a $10 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, se recomienda construir un modelo físico. Las cámaras tipo laberinto o de gradas alternantes han sido probadas para caudales próximos a los $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, no hay mucha literatura al respecto.

Rango de altura: es necesario tener en cuenta que las cámaras de quiebre parten de una altura de 0.8 m. entre bateas aproximadamente. Las cámaras de caída libre son recomendadas para alturas menores a 8 m.

Las cámaras de vórtice funcionan apropiadamente a partir de 2.0 m, siempre y cuando estas cumplan con la relación entre diámetro y altura, que se asocia con el caudal. Se han construido cámaras de vórtice de hasta de 190 m de altura. Las cámaras escalonadas pueden operar para cualquier rango de altura, siempre y cuando la pendiente de la cámara no exceda 60°. En las cámaras tipo laberinto no hay información sobre los rangos de altura máxima.

Condiciones de flujo: todas las cámaras documentadas en esta investigación funcionan para flujos subcríticos y supercríticos; no obstante, se recomienda que el flujo en el conducto de entrada a las cámaras sea subcrítico, para tener un punto de control en el ingreso.

Eficiencia: en el proceso de disipación de energía radica el éxito de la cámara de caída y esto a su vez depende de que la cámara funcione en su rango de operación de caudal, altura y condición de flujo simultáneamente. Por ejemplo las cámaras tipo vórtice tienen una eficiencia mayor cuando la relación entre el caudal y la altura se aproxima a un valor límite; en el caso de una cámara escalonada la máxima eficiencia ocurre cuando el flujo es saltante. No obstante, todos los criterios combinados afectan la eficiencia de la cámara.

4.2. Relación costo eficiencia

Los costos constructivos de una cámara de quiebre corresponden a la ejecución de la obra. En general estos costos se asocian al proceso constructivo y se pueden dividir en dos grandes grupos. En primer lugar las obras preliminares como localización, replanteo, nivelación, demoliciones y excavaciones; en segundo lugar la construcción de la estructura propiamente dicha, cimentaciones, estructuras y recubrimientos en concreto, estructuras en ladrillo, incorporación de tuberías y accesorios, entre otros. No obstante, cuando se diseña una estructura es necesario relacionar el costo constructivo con la eficiencia de la misma. La estructura que se debe emplear en un proyecto debe ser la más económica, pero a la vez la más eficiente.

Para comparar las cámaras estudiadas, se realizaron diseños de cámaras de quiebre tipo caída libre, vórtice con cámara espiral y escalonada con flujo saltante, con un caudal de entrada de $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ para una diferencia de altura entre bateas de 1.0, 2.0, 5.0 y 10.0 m. Con los diseños obtenidos, se hizo una evaluación de costos (figura 7a) y de eficiencia (figura 7b) con respecto a la profundidad de la cámara. Para tal fin se calculó el porcentaje del costo de cada caso particular contra el costo promedio y este porcentaje se graficó contra la diferencia de altura entre bateas de cada cámara.

En la figura 7b, se observa que el costo por metro lineal de las estructuras de vórtice y escalonada decrece hasta los 5 m de profundidad, mientras que la cámara de caída libre tiene un crecimiento constante; esto se debe a que las estructuras de vórtice y escalonada, tienen estructuras complementarias cuyo costo es fijo y se amortigua en la medida que la cámara aumenta de profundidad. No obstante, al pasar a profundidades mayores a 5 m el costo por metro lineal de todas las estructuras aumenta; esto se debe al aumento del costo de excavación a partir de esta profundidad.

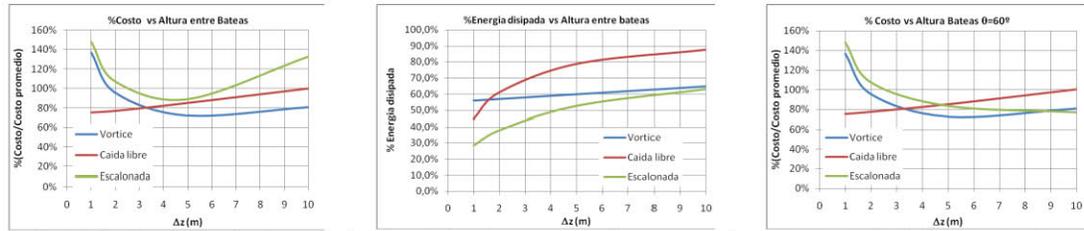


Figura 7. (a) Costo porcentual por metro lineal de cámara para diversas profundidades. (b) Eficiencia de cámaras de caída para diversas profundidades. (c) Costo porcentual por metro lineal de cámara para diversas profundidades con una pendiente del terreno de 60°.

5. Conclusiones

Luego de evaluar la información obtenida, se concluye que es posible diseñar cámaras de caída con información física y garantizando condiciones de operación. Para diseñar estas cámaras es necesario tener en cuenta la información acerca de topografía, caudales, diferencia de altura entre los conductos de entrada y salida y geometría de los conductos; también es necesario conocer los fenómenos físicos que ocurren al interior de la estructura, principalmente los procesos de disipación de energía y entrapamiento de aire. Para cada tipo de estructura en particular se puede concluir lo siguiente:

Cámaras de caída libre: su rango de operación es desde 1.0 hasta 8.0 m. de altura entre bateas de los conductos de entrada y salida, y caudales de inferiores a $10 \text{ m}^3/\text{s}$; no obstante, la eficiencia máxima de estas cámaras ocurre cuando el caudal es de aproximadamente $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ y la altura es de 8.0 m. Para favorecer el proceso de entrapamiento de aire, se debe construir el conducto de entrada con una curva de radio igual a 0.5 veces el diámetro del conducto de entrada y dotar la cámara de una piscina en el fondo. La piscina debe tener como profundidad al menos la diferencia entre la profundidad normal del conducto aguas abajo y la profundidad del flujo luego de resalto ocurrido en la cámara. Se debe garantizar que el resalto hidráulico ocurra al interior de la cámara. El mecanismo de disipación de energía es el impacto y resalto ocurridos en la piscina.

Cámaras tipo vórtice: su rango de operación es desde 2.0 m hasta 200 m de altura entre bateas de conductos y caudales mayores a $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$. La eficiencia máxima ocurre cuando la relación entre la altura y el diámetro interno k es aproximadamente 100; no obstante, la cámara opera apropiadamente para k superiores a 10; dado que las excavaciones del conducto vertical se hacen muy costosas para profundidades mayores a 10 m el caudal máximo recomendado es de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$. En la cámara de vorticidad ocurre el proceso de aceleración del flujo que genera el vórtice; cuando el diámetro interno de la cámara sea menor de 1.0m es necesario construir una cámara de inspección adjunta. El mecanismo de disipación de energía es la fricción contra la pared y el resalto anular que ocurre al fondo de la cámara, formando un cojín de agua.

Cámaras Escalonadas: Su rango de operación parte desde 1.0 m y no tiene un límite de altura; en cuanto al caudal, este tipo de cámara funciona para caudales mayores a $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$. La disipación de energía máxima ocurre cuando el flujo es saltante y el resalto ocurre al interior de cada escalón; no obstante, la condición de flujo saltante requiere grandes tamaños de escalón, para caudales mayores a $1.0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ el tamaño mínimo de escalón es de aproximadamente 1.9 m, sin embargo se puede aumentar el ancho de la estructura. Para caudales mayores a $1.0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ se recomienda diseñar para flujo rasante y verificar si es necesario construir

una estructura complementaria para disipar la energía al final de la cámara. Cuando la pendiente del terreno es similar a la pendiente de la cámara el costo de la estructura es mínimo, en caso contrario no es recomendable su uso dado que los costo de excavación son altos. Es necesario analizar el entrapamiento de aire ocurrido en la estructura.

Cámaras tipo laberinto: la información disponible es limitada, no obstante este tipo de cámara presenta una alternativa interesante, dado que funciona simultáneamente con los mecanismos de disipación de energía de las cámaras de caída libre y cámaras escalonadas.

6. Referencias

Chanson, H. 2000. Hydraulics of roman aqueducts: steep chutes, cascades and dropshafts. *American Journal of Archaeology* No 102: 47-72.

Chanson, H. 2002. *Hidráulica del flujo en canales abiertos*. Bogotá. McGraw Hill.

Chanson, H. 2004. Hydraulics of Rectangular Dropshafts. *Journal of irrigation and drainage engineering*: 523-529.

Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W. 2000. *Hidrología Aplicada*. Bogotá. McGraw Hill.

Chow V.T. 1998. *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá. McGraw Hill.

Federal Highway Institute NHI. 2006. *Hydraulic design of energy dissipators for culverts and channels*, Third Edition. US Department of Transportation.

González C., Chanson H. 2007. Diseño hidráulico de vertederos escalonados con pendientes moderadas: metodología basada en un estudio experimental. *Ingeniería hidráulica en México Volumen XXIII No 2 (Abril/Junio)*: 5-20.

Jain S.C. 1984. Tangential vortex-inlet. *Journal of Hydraulic Engineering*. No 110-12: 1693–1699

Kleinschroth A. 1999. Untersuchung eines absturzbauwerks für mischwasser mit versetzt angeordneten zwischenböden. *Mitterilung. Lehrstuls für hydraulik und Gewasserkunde. Technischen Universität München* No 66: 93 – 118.

Merlein J. 2000. Flow in submerged sewers with manholes. *Urban Water* No. 2: 251-255.

Merlein J, Valentin F, Kleinschroth A. Systematisierung von absturzbauwerken. *Mitterilung, Lehrstuls für hydraulik und Gewasserkunde. Technischen Universität München*. No 69.

Motzet K, Valentin F. 2002. Efficiency of a Vortex Chamber with Horizontal Bottom under Supercritical Flow. *Global Solutions for Urban Drainage: 9ICUD 2002*. American Society of Civil Engineers.

Rajaratnam N. 1997. Observations on flow in vertical dropshafts in urban drainage systems. *Journal of Environmental Engineering*: 486 – 491.

Simon E.L., Sarikelle S., Korom, S.F. 1987. Internal Energy Dissipators For Culverts On Steep Slopes With Inlet Control. *Transportation Research Record. Transportation Research Board*. No. 1151: 25 – 31.

Tchobanoglous G. 1994. *Ingeniería Sanitaria, redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales*. Bogotá. Editorial Labor S.A.

Zhao C.H., Zhu D., Sun S. K., Liu Z.P. 2006. Experimental study of flow in a vortex chamber dropshaft. *Journal of hydraulic engineering ASCE*: 61 – 68.