

¿Por qué dejar capa de aire en tuberías de alcantarillado?

Rodríguez, Daniel

Ingeniero Civil, MSc.

Investigador Centro de Investigación en Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA). E-mail: d.rodriguez49 @egresados.uniandes.edu.co

Morales, Juan Fernando

Ingeniero Sanitario, MSc.

Investigador Centro de Investigación en Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA). E-mail: jf.morales45@egresados.uniandes.edu.co

Acero, Maria Fernanda

Ingeniera Civil.

Asistente graduada Centro de Investigación en Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA). E-mail: mf.acero47@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: Con esta investigación se pretendió hacer un análisis teórico de las ventajas y desventajas de diseñar los sistemas de alcantarillados a superficie libre y compararlo con aquellos que funcionan a presión. Se realiza una comparación matemática de las ecuaciones que se aplican para cada tipo de flujo, es decir, ecuación de Manning para sistemas a flujo libre y Hazen – Williams para el caso de flujo a presión. Se realiza además la comparación desde el punto de vista constructivo y de mantenimiento de las distintas redes con su respectivo análisis económico. A manera de conclusión se obtuvieron razones por las cuales es conveniente diseñar los sistemas de alcantarillado a flujo libre. En el caso de los sistemas que funcionan a baja presión, éstos son aplicables únicamente en alcantarillados sanitarios. Se encontró como inconveniente de los sistemas a presión el requerimiento de energía eléctrica para el buen funcionamiento de la red.

Palabras clave: Alcantarillados, Hidráulica de Tuberías, Presión.

1 Introducción

En la actualidad los sistemas de drenaje urbano han alcanzado la misma importancia que se le ha dado tradicionalmente a los sistemas de distribución de agua potable, ya que son parte fundamental del ciclo de agua urbano, especialmente bajo condiciones de invierno, y por lo tanto su diseño y construcción deben garantizar su correcto funcionamiento y así, evitarle problemas a la sociedad, tales como inundaciones, malos olores, drenaje inadecuado o lento, contaminación ambiental, enfermedades y hasta la ocurrencia de explosiones.

El mal funcionamiento hidráulico de estos sistemas puede acarrear problemas tales como corrosión, estancamiento, infiltración, fugas, ingreso de agua superficial, entre otros.

En nuestro país, la gran mayoría de los sistemas de alcantarillado de las ciudades y municipios, han sido técnicamente diseñados con principios hidráulicos básicos, que se han utilizado tradicionalmente desde hace muchos años. A la luz de las nuevas tecnologías y del desarrollo generado por los grandes cambios que ha originado el avance tecnológico en el campo de la hidráulica, no es recomendable continuar diseñando con las antiguas metodologías. Estas viejas metodologías de diseño implican mayores costos desde el punto de vista constructivo debido al sobre-dimensionamiento y sub-utilización de las estructuras que conforman los sistemas de alcantarillado.

El objetivo principal de esta investigación es dar un diagnóstico de la forma actual de diseño de alcantarillados, concentrándose en la profundidad hidráulica máxima de flujo para evaluar la necesidad de diseñar conservando la capa de aire en las tuberías y tratar de predecir si en el futuro van a cambiar las actuales tendencias de diseño. Para este fin, se evaluaron las ventajas y desventajas de trabajar con alcantarillados de baja presión y se determinó la factibilidad de que, con las actuales condiciones del país, se pudiera trabajar con este tipo de sistemas.

2 Comparación Hidráulica de los sistemas a presión y a flujo libre

Desde el punto de vista hidráulico los sistemas de alcantarillado pueden ser diseñados como canales abiertos, donde hay una superficie libre del agua expuesta a la atmósfera, ó como flujo a presión donde las tuberías trabajan bajo condiciones sobrecargadas.

Cuando el sistema de alcantarillado se diseña como flujo a presión, se debe asegurar que la línea de gradiente hidráulico no exceda el nivel del piso de ninguno de los sótanos de las casas adyacentes, ni alcance niveles en los cuales supere las rejillas del sistema de recolección de aguas lluvias, donde las condiciones de la sobrecarga pueden generar inundaciones y/ó daños estructurales. Debido a esto se debe hacer un análisis hidráulico cuidadoso para asegurar que el sistema funcione eficientemente.

2.1 La Ecuación de Bernoulli

La conservación de energía que se expresa en el teorema de Bernoulli, indica, para caudal constante, que la cabeza de energía en cualquier sección del conducto debe ser igual a la de otra sección, restando ó sumando las pérdidas de energía entre ambas secciones. Cabe resaltar que las fuerzas que tratan de acelerar el flujo en los dos casos son distintas: fuerzas gravitacionales en el caso de flujo en canales abiertos y fuerzas de presión en el caso de flujo en tuberías a presión.

Debido a la naturaleza de las pérdidas de energía, estas son iguales para los flujos a superficie libre y para los flujos a presión, de allí que todas las fórmulas de pérdidas debidas a la fricción como la de Manning, Hazen-Williams, Chézy ó Darcy-Weisbach, etc. pueden servir para expresar la disipación de energía, en conjunto con la ecuación de Bernoulli.

Para el caso de flujos a superficie libre la ecuación de Bernoulli (Ver la Figura 1) se convierte en:

$$H = y + \frac{v^2}{2 \cdot g} + Z + h_f \tag{Ecuación 1}$$

donde:

H = Cabeza total de velocidad.

y = Profundidad de la lámina de agua.

$\frac{V^2}{2g}$ = Cabeza de velocidad.

EGL = Línea de gradiente hidráulico.

HGL = Línea de la superficie del agua.

S_w = Pendiente de la superficie de agua.

S_o = Pendiente del fondo del canal.

S_f = Pendiente de fricción.

h_f = Pérdidas de energía.

V = Velocidad media del flujo.

Z = Altura sobre el Datum o nivel de referencia.

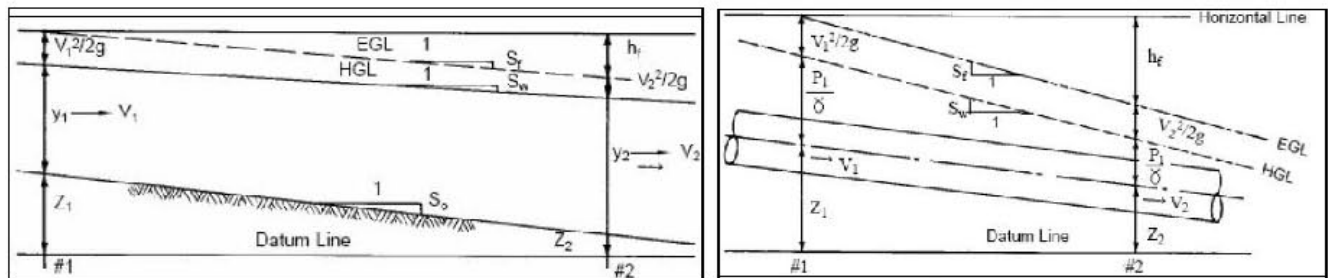


Figura 1. Líneas de energía en canales a flujo libre y en tuberías a presión. (Saldarriaga, 2001)

Según la ecuación de Bernoulli, la energía en la sección 1 debe ser igual a la energía en la sección 2 más las pérdidas, entonces:

Para el caso de flujo libre:

$$y_1 + Z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = y_2 + Z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_f \tag{Ecuación 2}$$

Para el caso de flujo a presión (ver la Figura 1), se plantea el balance de energía en la ecuación 3:

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + h_f \tag{Ecuación 3}$$

donde:

P = Presión en cada sección.

γ = Peso específico del fluido.

Como se puede observar en las dos ecuaciones anteriores, la única diferencia apreciable consiste en la aparición de la presión en lugar de la altura de la lámina de agua en el caso de flujo en conductos cerrados. Esta diferencia está basada en el hecho de que para el caso de éstos sistemas son las fuerzas de presión en lugar de las fuerzas gravitacionales las que tienen mayor relevancia.

También se puede concluir, que al comparar las dos ecuaciones, es muy difícil deducir que tipo de sistema de flujo es más eficiente para transportar agua, debido a que esta eficiencia depende de las diferencias que existan en el caso de flujo libre entre $y_1 - y_2$ y en el caso de flujo a presión de $\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}$.

2.2 Comparación entre las ecuaciones de Manning y de Hazen – Williams

Las ecuaciones 4 y 5 son las expresiones de Manning y Hazen – Williams para el cálculo de caudal en tuberías. Cabe resaltar que dichas ecuaciones fueron obtenidas a partir de datos empíricos, es decir, no son ecuaciones físicamente basadas.

$$Q = \frac{A}{n} \cdot R^{0.67} \cdot S^{0.50} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$Q = 0.849 \cdot A \cdot C_{HW} \cdot R^{0.63} \cdot S^{0.54} \quad \text{Ecuación 5}$$

Haciendo un análisis matemático de estas ecuaciones, se observa que no hay una diferencia considerable al realizar diseños en condiciones similares, es así como al hacer cálculos de caudal con ambas ecuaciones y, utilizando una tubería de concreto ($n = 0.013$ y $C_{HW} = 120$) con diámetro real interno de 0.5 m, se obtienen los siguientes resultados, los cuales se diferencian en un poco más de 1 L/s (2%).

	Manning	Hazen-Williams
Caudal Calculado (m ³ /s)	0.053031174	0.054291061

2.3 Características de flujo a superficie libre en conductos circulares

En la figura 2 se muestran las relaciones adimensionales para el flujo parcialmente lleno y flujo lleno, suponiendo un n de Manning constante sin importar el valor de la profundidad de flujo.

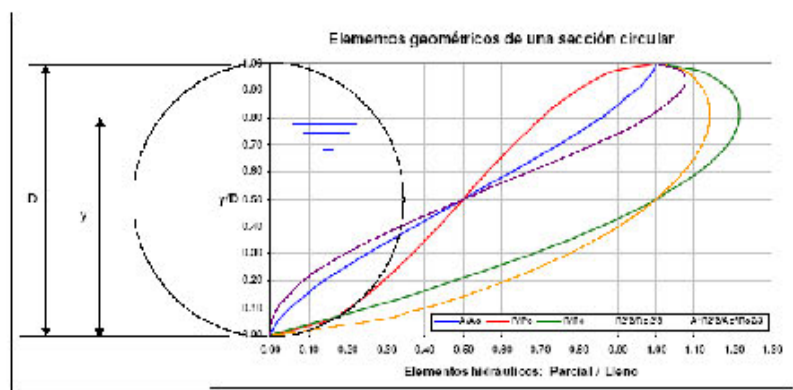


Figura 2. Características de flujo en una sección circular a superficie libre.

Tanto la curva de caudal como la velocidad muestran valores máximos cercanos a 0.94 D y 0.81 D respectivamente. Se puede concluir entonces que cuando la profundidad es mayor que alrededor de 0.82 D, es posible tener dos profundidades diferentes para el mismo caudal, una por encima y otra por debajo de 0.94 D. y se podría concluir lo mismo para la velocidad solo que en este caso es por encima y por debajo de 0.82 D. (Chow 1956).

2.4 Corrección de Thomann

Con las ecuaciones de Manning y Hazen se puede deducir que la máxima descarga ocurre cuando el tubo esta parcialmente lleno, al 95 % de su capacidad. Muchos investigadores han llevado a cabo experimentos sobre el flujo en líneas de tuberías parcialmente llenas, con el objetivo de corroborar esta

afirmación. Sin embargo, Thormann llegó a la conclusión de que la máxima descarga ocurre a tubo lleno; esto se podría explicar por la fricción que existe entre la frontera del aire y del agua. Thormann desarrolló una ecuación para corregir los valores de los caudales, válida sólo para láminas de agua mayores del 50 % del diámetro de la tubería. La modificación se expresa a continuación en la Ecuación 5-16. (Productos Nacobre, 2003).

$$P_m' = P_m + w \cdot S \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

P_m' = Perímetro mojado corregido de acuerdo a Thormann (m).

P_m = Perímetro mojado (m).

w = Factor de corrección.

S = Ancho del nivel del agua T (m).

El valor de w es calculado como sigue:

$$w = \frac{\left(10 \frac{y}{D} - 5\right)^3 - 5 \cdot \left(10 \frac{y}{D} - 5\right)}{150} \quad \text{Ecuación 7}$$

La Figura 3 muestra la relación existente entre la profundidad, caudal y velocidad relativa usando la ecuación de Manning en condiciones normales y utilizando la corrección de Thormann. (Productos Nacobre, 2003).

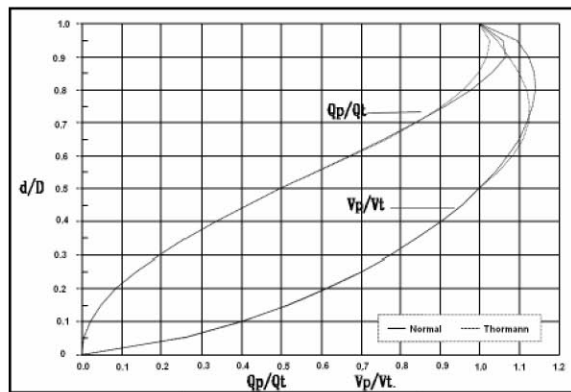


Figura 3. Relación d/D , Q_p/Q_t y v_p/v_t normal y con la corrección de Thormann.

3 Química y Bioquímica de los Sistemas de Alcantarillado

Diversos procesos físicos, químicos y biológicos ocurren en los alcantarillados durante el transporte del agua como consecuencia del desarrollo de condiciones anaeróbicas, aeróbicas y anóxicas dentro de las tuberías. Dependiendo de las condiciones bajo las cuales se desarrollan los procesos, se tienen diferentes tipos de receptores de electrones.

Tabla 1. Receptores de electrones dependiendo de la condición del proceso que se desarrolle.

Condición del Proceso	Receptores de Electrones	Características del Sistema de Alcantarillado Típico
Aeróbica	+ oxígeno	Alcantarillados de gravedad parcialmente llenos
Anóxica	- oxígeno + nitrato	Alcantarillados presurizados aireados Alcantarillados presurizados con adición de nitrato
Anaeróbica	- oxígeno - nitrato + sulfato (+ CO ₂)	Alcantarillados presurizados Alcantarillados de gravedad a flujo lleno Alcantarillados de gravedad con baja pendiente

Los procesos anaeróbicos favorecen el crecimiento de bacterias, las cuales contribuyen a la formación del ácido sulfhídrico (H_2S) y a los malos olores en el sistema. El H_2S es el responsable de generar corrosión en las tuberías y toxicidad en las aguas. Este problema se puede prevenir mediante la reducción del contenido orgánico de azufre en el sistema por medio de la oxidación, utilizando el oxígeno como aceptor de electrones de los sulfatos que están presentes en las aguas residuales, garantizando de esta manera condiciones aeróbicas en la red.

4 Ventajas y Desventajas desde el Punto de Vista Constructivo y de Mantenimiento de Ambos Sistemas

Los sistemas de alcantarillado convencional se utilizan típicamente en áreas urbanas con pendiente inclinada debido a la facilidad de seguir, en las excavaciones, la línea del terreno y no tener que recurrir a las excavaciones excesivamente grandes que se deben realizar en las zonas planas (con pendiente muy baja o nula), en donde las excavaciones incrementan los costos de construcción.

De otro lado los sistemas de alcantarillado a baja presión han surgido en los lugares donde los sistemas de alcantarillado convencional son imprácticos, poco económicos, o irrealizables por cualquier otro motivo. Estos sistemas a presión han emergido como la más popular y acertada alternativa para el transporte de aguas residuales domésticas, en los Estados Unidos y algunos países Europeos (Ver figura 4).

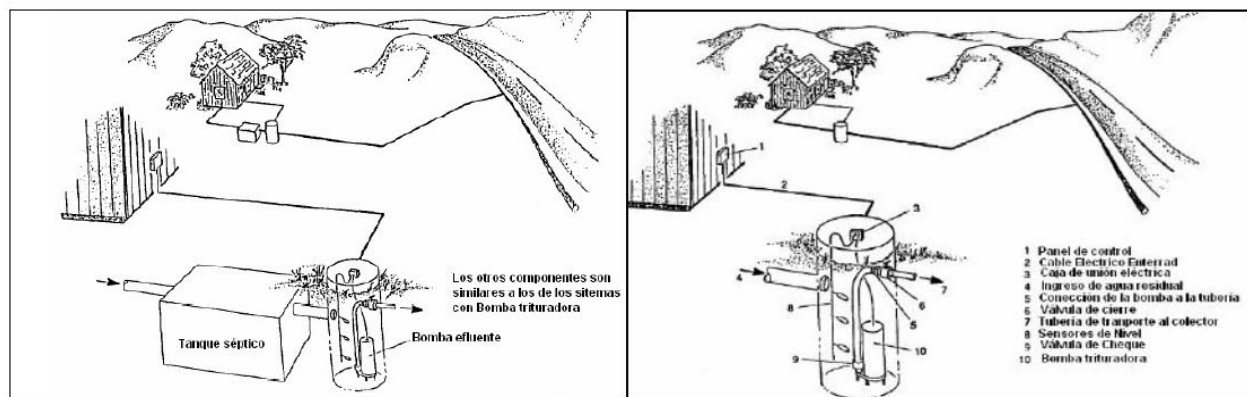


Figura 4. Esquema de sistema de alcantarillado con bomba simple y bomba trituradora¹.

En la figura 5 puede apreciarse las diferencias en la instalación de los dos tipos de sistemas.

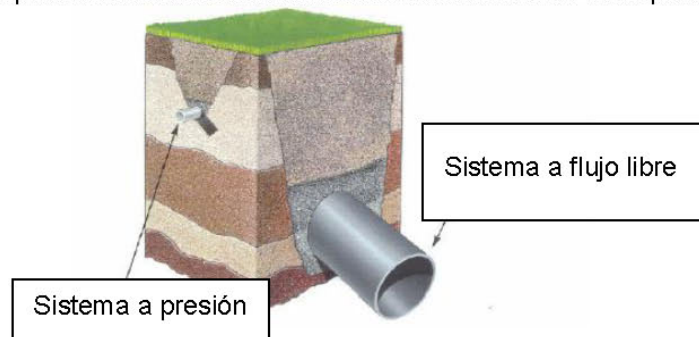


Figura 5. Diferencias desde el punto de vista constructivo de los sistemas de alcantarillado²

¹ Adaptado de: EPA Manual; Office of water; Alternative Wastewater Collection systems.

² Adaptado de: The E/ONE low pressure sewers systems manual

En la tabla 2 se listan las ventajas y desventajas para cada tipo de sistema.

Tabla 2. Ventajas y desventajas para cada tipo de sistema.

SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CONVENCIONAL	Buena tolerancia para transportar sólidos suspendidos.	Requisitos de pendiente que pueden aumentar los costos por excavaciones
	Sistema bien ventilado, lo cual reduce la producción de sulfuros y metanos	Se pueden requerir bombeo para lograr la descarga a la Planta de tratamiento o la fuente receptora
	En zonas de pendiente considerable, su construcción es más económica que los sistemas a presión	Los pozos de inspección pueden ser fuente de infiltración.
	No requiere energía adicional a la gravedad	
	Fácil mantenimiento	
BAJA PRESIÓN	Los costos de bombeo domiciliario pueden ser divididos entre sus usuarios, lo que puede ser más económico.	Requieren más presencia institucional debido a que hay sistemas mecánicos ubicados en predios privados.
	El trazado de la tubería puede seguir el contorno del terreno	La educación pública debe ser más intensa
	No cuentan con pozos de inspección, por tanto son sistemas muy herméticos.	Las interrupciones en el fluido eléctrico pueden causar problemas
	Debido a su hermeticidad no presenta exfiltración	La vida útil es menor que los sistemas convencionales
	La operación de las bombas es por cuenta de los usuarios	Los costos de reposiciones pueden ser más altos
	En los sistemas que usan pozos sépticos el costo de tratamiento al final se disminuye	Poco tolerables al transporte de basuras.
	La ubicación de la planta de tratamiento es flexible debido a las características del sistema	Debido a las condiciones anóxicas los olores y la corrosión son problemas potenciales
	Costos de excavación y materiales son muy reducidos	
Los costos de limpieza se reducen debido a las velocidades que manejan		

5 Recopilación de la Normatividad para Ambos Sistemas de Alcantarillado

5.1 Sistemas de Alcantarillado a Flujo Libre

En general, se encontró que para que exista una correcta aireación en las tuberías y no llegue a presurizarse, se debe diseñar con una profundidad hidráulica que no supere entre el 70% y el 85% del diámetro real interno de la tubería.

Según el manual "Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers" de la ASCE, los sistemas de alcantarillado sanitario se deben diseñar para transportar el caudal pico con una profundidad de entre la mitad y toda la tubería fluyendo completamente llena, sin especificar muy bien cual profundidad debe ser ésta. También, dice que la capacidad de la tubería para flujo lleno debe estar entre un 100 y un 200 % del caudal pico de diseño. Así mismo, establece que por razones de la ventilación, y para evitar particularmente la generación del sulfuro, es indeseable para que las alcantarillas sanitarias fluyan completamente llenas.

Para alcantarillados pluviales, la ASCE recomienda diseñar las tuberías con una profundidad hidráulica un poco mayor al diámetro total de la tubería, en los casos que se requiera transportar las mayores crecientes de diseño. En los sistemas de tuberías a flujo libre, se tienen normas de pendiente mínima y máxima, normas de velocidad mínima y máxima, diámetros mínimos, diferente a lo que ocurren en los sistemas de alcantarillado a presión.

5.2 Sistemas de Alcantarillado a Presión

En general, se recomienda el uso de tuberías con diámetros entre 2 y 6 pulgadas, que soporten presiones entre 70 y 280 Metros de Columna de Agua (MCA). La EPA recomienda que en los diseños no se tenga en cuenta flujos adicionales debidos a infiltración y que tampoco se tengan limitaciones de velocidades

de flujo mínimas. Para el cálculo hidráulico, la EPA recomienda utilizar un coeficiente CHW de Hazen-Williams entre 130 y 140 (ver Ecuación 4).

La presiones principales, generalmente para tuberías de 2 pulgadas ó mayores, están entre 0.91 y 1.5 MCA. Y en los casos en que se usen bombas trituradoras, se recomienda que los sólidos que transporte el sistema no sobrepasen los 130 mm para evitar obstrucciones en las tuberías.

No se tienen restricciones en cuanto al tamaño mínimo de las tuberías, ni en cuanto a velocidades ni pendientes mínimas o máximas; lo que hace a este sistema bastante más flexible que los sistemas a flujo libre.

6 Seis Razones Básicas para Diseñar con Sistemas de Alcantarillado a Flujo Libre

6.1 Mayor capacidad para el tránsito del agua

Es claro que al diseñar con las ecuaciones de Manning ó Hazen-Williams se obtiene un mayor caudal con la tubería en un 85% de su capacidad total. Sin embargo, con la corrección de Thormman se corrige esta hipótesis. Esto quiere decir, como han mostrado innumerables trabajos experimentales, que se transporta mayor caudal cuando la tubería viaja a flujo lleno que cuando esta viaja a flujo parcialmente lleno. Por lo tanto se puede descartar la posibilidad de que se han tradicionalmente diseñado los sistemas de alcantarillado con una capa de aire por este motivo.

6.2 No generación de gases que originan malos olores y problemas de corrosión en la tuberías

La generación de olores y de gases que generan corrosión, no sólo se da en los sistemas de alcantarillado a presión sino también en los sistemas a flujo libre. Aunque si es posible que en los sistemas a presión los problemas sean más graves por la poca ventilación. Sin embargo, esto puede minimizarse con la utilización de válvulas de ventosa ubicadas en algunos codos de la red, y la utilización de materiales plásticos menos susceptibles de corrosión.

6.3 Menor probabilidad de exfiltración de agua residual al suelo

Debido a la hermeticidad de los sistemas a presión, por tanto tienen una baja probabilidad de que ocurran exfiltraciones o más aún infiltraciones de agua del nivel freático al sistema. Es por esto que esta ya no es una razón por la cual se requiera seguir diseñando los sistemas de alcantarillado a flujo libre.

6.4 Menor probabilidad de contra flujos que puedan llegar a las viviendas

Esto ya no es del todo cierto, ya que deben utilizarse varios dispositivos como válvulas de cheque que sirven para evitar la ocurrencia de contraflujos. En los casos en que se utilicen bombas con previo tanque séptico, éste sirve como estructura de regulación para evitar estos problemas. Por esto, no se puede decir que esta sea la razón por la cual se sigan diseñando sistemas de alcantarillado a flujo libre.

6.5 Menor costo operativo y de mantenimiento de la red

Este es un motivo importante, ya que la utilización de bombas para movilizar el agua residual incrementa los costos operativos, debido al requerimiento de energía eléctrica adicional. Sin embargo, en numerosos estudios se ha comprobado que estos costos no sobrepasan un dólar por mes y, además, éstos se pueden compensar si se comparan con los altos costos constructivos de los sistemas convencionales. En cuanto al mantenimiento, como se vio en la comparación de ventajas y desventajas, no necesariamente los

sistemas a presión requieren mayor mantenimiento que los sistemas convencionales, aunque se sabe que estos sistemas son menos tolerables a la falta de mantenimiento.

6.6 Menor Probabilidad de Taponamiento y Obstrucciones

Debido a que no se tiene un control estricto de los desechos que se arrojan en los hogares a los alcantarillados sanitarios, se puede concluir que el motivo más importante por el cual se diseñan los sistemas de alcantarillado a flujo libre es dejar un espacio libre en la tubería que sirva de factor de seguridad con el cual se puedan sortear satisfactoriamente los casos en los cuales basuras, raíces ú otros materiales obstruyan una parte de la tubería. Esto se evidencia en la necesidad de utilizar bombas trituradoras ó tanques sépticos en los casos que se trabajan sistemas de alcantarillado a presión y/ó pequeño diámetro.

7 Conclusiones

Los sistemas de alcantarillado a baja presión, son una alternativa de recolección y transporte de aguas residuales de aplicación únicamente sanitaria y no pluvial, por tanto la utilización de bombas trituradoras o tanques sépticos son de uso común. Con estos sistemas se puede llegar a disminuir los costos de construcción, mantenimiento, renovación y rehabilitación de tuberías de alcantarillado

Hasta ahora no está claro si los costos de operación de la red a presión sean más económicos que la red de alcantarillado convencional; sin embargo en algunos casos prácticos se ha encontrado costos de operación muy bajos, llegando incluso a valores menores a un dólar mensual por casa.

Los sistemas a presión presentan alta vulnerabilidad debido la utilización de energía eléctrica para el correcto funcionamiento de las bombas trituradoras, ya que al presentarse suspensiones en el fluido eléctrico se pueden generar problemas, tanto hidráulicos como de salud pública.

En cuanto al diseño de sistemas de alcantarillado con capa de aire, las razones planteadas, parecen no tener importancia en la actualidad, excepto la posibilidad de las obstrucciones. Esto quiere decir que en los futuros diseños de sistemas de alcantarillado separados, se podría ó no tener en cuenta éste precepto.

Debido a que en la práctica es difícil controlar la entrada de basuras ú otros materiales, el diseño e instalación de sistemas de alcantarillado sin capa de aire, no es posible para los sistemas de alcantarillado pluviales, debido a que no se tiene una completa hermeticidad del sistema que podrían presentar salidas de flujo por las rejillas de captación de agua lluvia, lo cual, en ningún caso es deseable.

Como recomendación final, se puede decir que los sistemas de alcantarillados a presión en Colombia y otros países en desarrollo, puede estar un poco alejada de la realidad, debido a que el acceso a algunos de los materiales que se requieren en la instalación, como las bombas de trituración, puede ser complicada y resultar en mayores costos en pequeñas y medianas poblaciones.

8 Bibliografía

American Society of Civil Engineers (2003). Water Pollution Control Federation. Gravity Sanitary Sewer Design and Construction; Washington, D.C.

Carcich, Italo G.; Farrell, R. Paul and Hetling, LEO (1972). "A Pressure Sewer System Demonstration", EPA R2-72-091, 218p, November.

Chow, V T. Open Channel Hydraulics. Mc Graw Hill. 1956.

Eblen, J.B. and Clark, L.K (1978) "Pressure and Vacuum Sewer Demonstration Project - Bend, Oregon", EPA 600/2-78-166.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (1985). Normas de Diseño, Construcción y Materiales para Alcantarillado; Bogota.

George A. Earle, iii, P.E. R. Paul Farrell Jr (1997). Low-Pressure Sewer Systems: Economic Advantages from Construction through Operation and Maintenance. Presented at the Hawaii Water Environment Association 19th Annual Conference Ala Moana, Hawaii.

González, Maria Fernanda (2004). La aireación en sistemas de alcantarillado: Efecto sobre la capacidad hidráulica de las tuberías. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

Head, A. L. et al (1998). "Low Pressure Sewer System Replaces Septic System in Lake Community", <http://towtrc.tamu.edu/sewer.html>, 8p, 1998.

Hvitved-Jacobsen, T (2002). Sewer processes: Microbial and chemical process engineering of sewer networks. CRC Press, Boca Raton.

Mekosh, G. and Ramos, D (1973). "Pressure Sewer Demonstration at the Borough of Phoenixville, PA", EPA-R2-73-270 (NTIS PB-224456/4).

Productos Nacobre S.A (2003). Criterios de diseño para redes de alcantarillado empleando tuberías de PVC. Manual Alcantarillados Capítulo 0.PDF. México.

R. Paul Farrell (2000). The "Secret" Life of Pressure Sewers. Presented at the Small Drinking Water and Wastewater Systems Conference, PHoenix, AZ..

Saldarriaga, Juan Guillermo (2001). Hidráulica de Tuberías. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. McGraw-Hill Interamericana.

Saldarriaga, Juan Guillermo; Camacho, Luís Alejandro (2002). Diseño de Alcantarillados de Alta Tecnología. Memorias. Curso de Educación continuada. Cátedra PAVCO. Universidad de los Andes; Bogota.

Sanson, R.I. (1973). "Design Procedure for a Rural Pressure Sewer System", Public Works, (104)10, pp86-87.

Wetsel, David (1995). "The O&M History of the Low Pressure Sewer Systems for the Towns of Parish, West Monroe, and Cleveland, New York", at NYWEA Environmental Technical Conference, Saratoga Springs.

Referencias de Internet:

Round Rock Texas. Drainage Criteria Manual.

<http://search.blossom.com/query/268?key2=Drainage+Criteria+Manual&submi>

Sewerage Rehabilitation Manual.

<http://www.wrcplc.co.uk/srm/volume1/vol1index.htm>

Urban design standards manual. Iowa Statewide Urban Design Standards Manual.

<http://www.iowasudas.org/design.cfm#chap2>

US. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/>

<http://www.sewer.dk/TransformationsInSewers.htm>