

# Instrumentación de redes troncales de alcantarillado. Componente hidráulico

## Instrumentation of sewage backbone networks. Hydraulic component

HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ<sup>1</sup> - JENNY NATHALIA BECERRA MELO<sup>2</sup>

1. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. M.sc. en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

alfonso.rodriguez@escuelaing.edu.co - jennynta@hotmail.com

Recibido: 22/10/2013 Aceptado: 10/11/2013

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

### Resumen

Los modelos de gestión para la rehabilitación de redes troncales de alcantarillado tienen un apoyo fundamental en su instrumentación.

En este artículo se presenta un esquema metodológico para la instrumentación de redes troncales de alcantarillado desde el punto de vista hidráulico. Esta metodología se ha desarrollado con base en la experiencia obtenida en el proyecto de investigación “Modelo de gestión para la rehabilitación de las redes troncales de alcantarillado”, realizado por el Centro de Estudios Hidráulicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería para la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá ESP.

**Palabras claves:** instrumentación, redes troncales de alcantarillado, mantenimiento y rehabilitación de alcantarillado troncal.

### Abstract

Management models for rehabilitating sewage backbone networks have key support in their instrumentation.

This article presents a methodological framework for the instrumentation of sewage backbone networks from the hydraulic point of view. This methodology has been developed based on the experience gained in the research project “Management model for rehabilitating sewage backbone networks”, developed by the *Centro de Estudios Hidráulicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería* for the *Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá ESP*.

**Keywords:** instrumentation, sewage backbone networks, sewer backbone maintenance and rehabilitation.

## INTRODUCCIÓN

Una red de alcantarillado corresponde a un sistema de recolección que transporta y evacúa aguas lluvias y servidas de manera separada o combinada; las aguas lluvias son el resultado de la escorrentía derivada de la precipitación atmosférica, en tanto que las aguas servidas corresponden al transporte de los residuos sólidos y líquidos que produce una comunidad.

Las redes de alcantarillado son sistemas dinámicos, debido a que con el crecimiento de la población se presentan cambios en los usos del suelo y, por lo tanto, se generan solicitudes diferentes de las que se previeron inicialmente. Además, se aumenta la impermeabilidad de los suelos y, en consecuencia, se disminuye la infiltración y se incrementa el escurrimiento. Considerando las características de estos sistemas, se deben operar, controlar, mantener y rehabilitar de manera permanente; por consiguiente, es necesario conocer las redes, es decir, los caudales, los niveles y las estructuras de control.

Si bien la tecnología dispone de numerosos aparatos para medir niveles y caudales, el trabajo de instalación, ubicación, disposición y mantenimiento se debe realizar para condiciones particulares, teniendo en cuenta los objetivos de la instrumentación.

La instrumentación de redes troncales de alcantarillado es fundamental para su mantenimiento y rehabilitación, operación y control, gracias a los dispositivos electrónicos de medida y a los sistemas de captura de datos en tiempo real.

Por último, la calidad de la información, su procesamiento y los análisis están directamente relacionados con la calidad de la instrumentación del sistema, donde hay que considerar los criterios de selección de sitios de medición, de dispositivos o aparatos de medición, instalación, operación y mantenimiento de equipos de medición y puntos de instalación. En este trabajo se propone un esquema para la instrumentación de redes troncales de alcantarillado, que permita monitorear, verificar y calibrar, simular eventos, controlar y operar la red espacial y temporalmente.

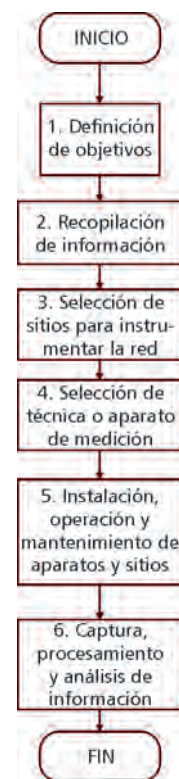
## INSTRUMENTACIÓN DE REDES TRONCALES DE ALCANTARILLADO

La medición de variables hidráulicas como el nivel y el caudal es esencial para proyectar o evaluar condiciones de un determinado sistema de alcantarillado.

En la instrumentación de una red se deben precisar los sitios y las técnicas de medición, si la instalación de los dispositivos de medición se hará en forma temporal o fija, si el registro de información se realizará de manera continua o discontinua y cómo se dispondrá y almacenará la información registrada. Más adelante se presenta el procedimiento general para la instrumentación de una red troncal de alcantarillado. Componente hidráulico (figura 1).

La instrumentación debe involucrar los aspectos hidráulicos, estructurales, geotécnicos, ambientales y económicos. En el caso particular de la instrumentación para la evaluación de los parámetros hidráulicos, ésta tiene los siguientes objetivos:

- Monitorear la red.
- Verificar o calibrar el sistema de alcantarillado.
- Simular eventos.
- Hacer control y operación predictiva del sistema.
- Establecer programas de mantenimiento o rehabilitación del sistema.



Fuente: El autor.

**Figura 1.** Esquema general para la instrumentación de una red troncal de alcantarillado. Componente hidráulico.

- Definir nuevas obras y la expansión de la red de alcantarillado.
- Verificar o calibrar los aparatos y dispositivos.

### Monitoreo de la red

El conocimiento del comportamiento de una red de alcantarillado exige conformar y disponer una base de datos histórica, obtenida a partir de las mediciones de campo.

El monitoreo consiste en registrar el comportamiento del flujo mediante captura de datos, como niveles y caudales en diferentes puntos de la red; además, permite identificar áreas que necesitan atención y, a partir de ello, establecer prioridades.

### Verificación o calibración del sistema de alcantarillado

La modelación hidráulica es la representación de fenómenos observables, como el transporte de aguas lluvias y aguas residuales. Esta modelación puede ser física o matemática, pero la matemática es totalmente dependiente de la física.

Los modelos matemáticos hidráulicos permiten analizar sistemas de transporte de fluidos. En el caso de los sistemas de alcantarillado, cuando se utilizan los modelos numéricos, generalmente se cuenta con los caudales y las características geométricas del sistema (diámetros, pendientes) y el modelo genera profundidades de lámina de agua. En esta modelación es posible hacer modificaciones sobre los parámetros geométricos.

Cabe anotar que en sistemas de alcantarillado la modelación física se hace a escala 1 a 1, con la toma de datos en campo, y permite realizar la calibración del modelo matemático. La calibración del modelo numérico se efectúa ajustando algunos parámetros, como la rugosidad y los coeficientes de descarga, con base en las mediciones de campo, de modo que con el modelo matemático se reproduzcan las características del modelo físico.

### Simulación de eventos

Con base en el modelo numérico, que se encuentra disponible mediante su correspondiente aplicativo (*software*), y hecha la calibración de los tramos que se van a analizar, con fines predictivos, es posible simular

diferentes escenarios para evaluar el comportamiento de la red ante la presencia de eventos extraordinarios.

Los resultados de esta modelación permiten confirmar las condiciones del sistema y establecer las acciones pertinentes para su control y operación o en su defecto, para definir un programa de mantenimiento o rehabilitación, nuevas obras o expansión de la red de alcantarillado.

### Control y operación predictiva del sistema

Una red de alcantarillado se puede controlar y operar mediante dispositivos de control para aprovechar la capacidad del sistema, con el fin de optimizar el funcionamiento diario de la red existente y reducir el riesgo de inundaciones ante la presencia de eventos extraordinarios.

El control y la operación hidráulica del sistema contemplan la medición de variables (caudales y niveles) en distintos puntos de la red, adquisición y envío de datos a un centro de control, proceso y análisis de datos, modelación matemática y, finalmente, la decisión de la acción que se debe ejecutar.

### Programa de mantenimiento o rehabilitación del sistema

El seguimiento, monitoreo y simulación hidráulica de las redes de alcantarillado permite establecer las condiciones de funcionamiento hidráulico del sistema. Con base en el análisis de esta información, y de acuerdo con las necesidades de transporte actuales y proyectadas, deben plantearse opciones de mejoramiento de su desempeño, es decir, definirse el programa de mantenimiento o rehabilitación del sistema.

### Definición de nuevas obras y expansión de la red de alcantarillado

Las redes de alcantarillado son sistemas dinámicos, ya que con el crecimiento de la población se presentan cambios en los usos del suelo y, por lo tanto, se generan solicitudes diferentes de las que se previeron inicialmente. La evaluación presente y futura de estas condiciones y el análisis del funcionamiento de la red para las nuevas solicitudes permiten el planteamiento y diseño de nuevas obras y la expansión de la red, lo que asegurará su funcionamiento adecuado en el futuro.

### Verificación o calibración de aparatos y dispositivos

Parte del éxito de las mediciones está en la verificación o calibración de los aparatos y dispositivos usados para la instrumentación de la red troncal. Puede realizarse la verificación empleando equipos que permitan corroborar las medidas.

Por otro lado, cuando se va a dar inicio a una determinada medición pueden instalarse temporalmente aparatos que permitan dar un indicativo de las especificaciones técnicas y de funcionamiento de un dispositivo que va a instalarse permanentemente en un punto.

### CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SITIOS QUE HAY QUE INSTRUMENTAR

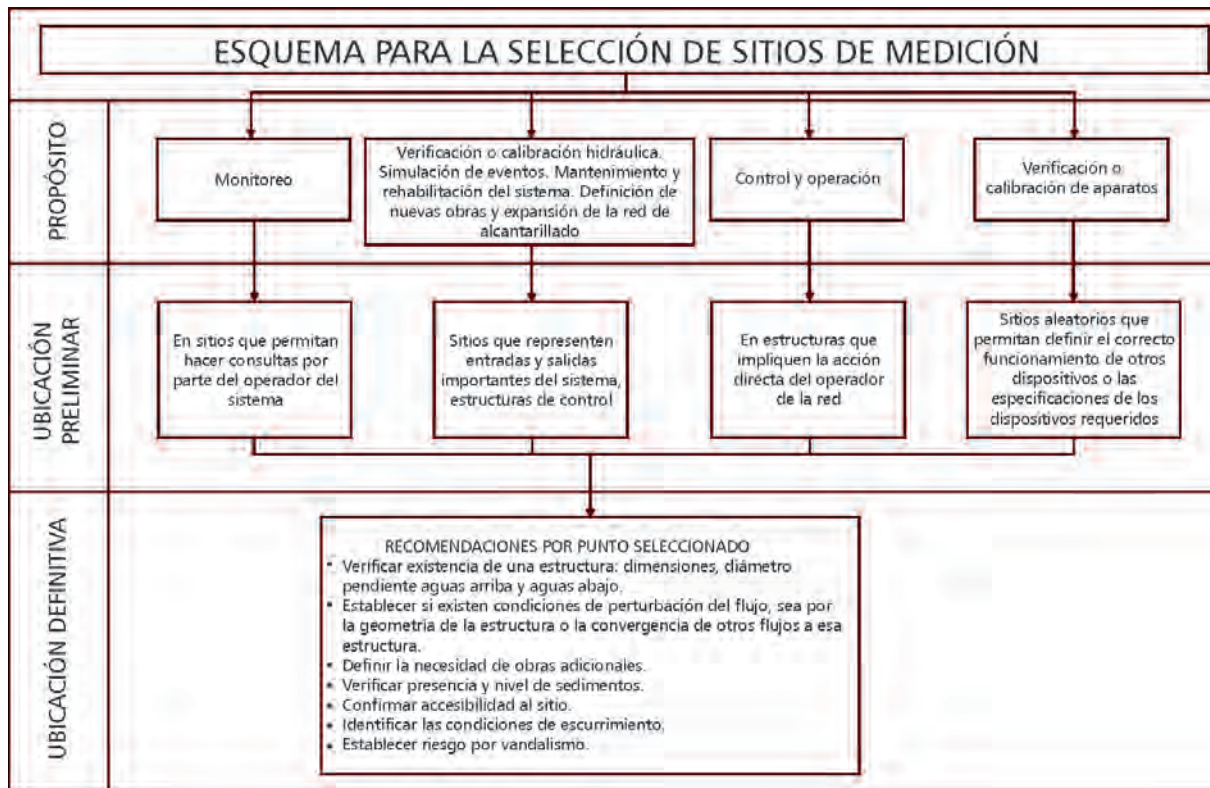
La selección de sitios se hace básicamente en dos etapas: ubicación preliminar y ubicación definitiva. En la primera se seleccionan sitios sobre una planimetría general considerando los objetivos de la instrumentación y en la segunda se corroboran las características de los sitios

seleccionados en forma preliminar. Posteriormente, se presenta el esquema para selección de sitios de medición (figura 2).

### CRITERIOS DE SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS O APARATOS

A causa de la variedad de tecnologías disponibles y a los factores que intervienen en su elección, el éxito obedece a la determinación previa de parámetros de medida y de aplicación (objetivo de la medición). Para la selección del dispositivo de medición se deben tener en cuenta, como mínimo, las propiedades del fluido, los requisitos de funcionamiento, la precisión, el tipo de instalación (fija o móvil), el registro de la información (eventual, continuo a corto plazo o continuo a largo plazo), los costos de adquisición e instalación y la probabilidad de vandalismo.

Una vez analizados los factores que intervienen en la selección de los dispositivos de medición, ésta se puede realizar como sigue:



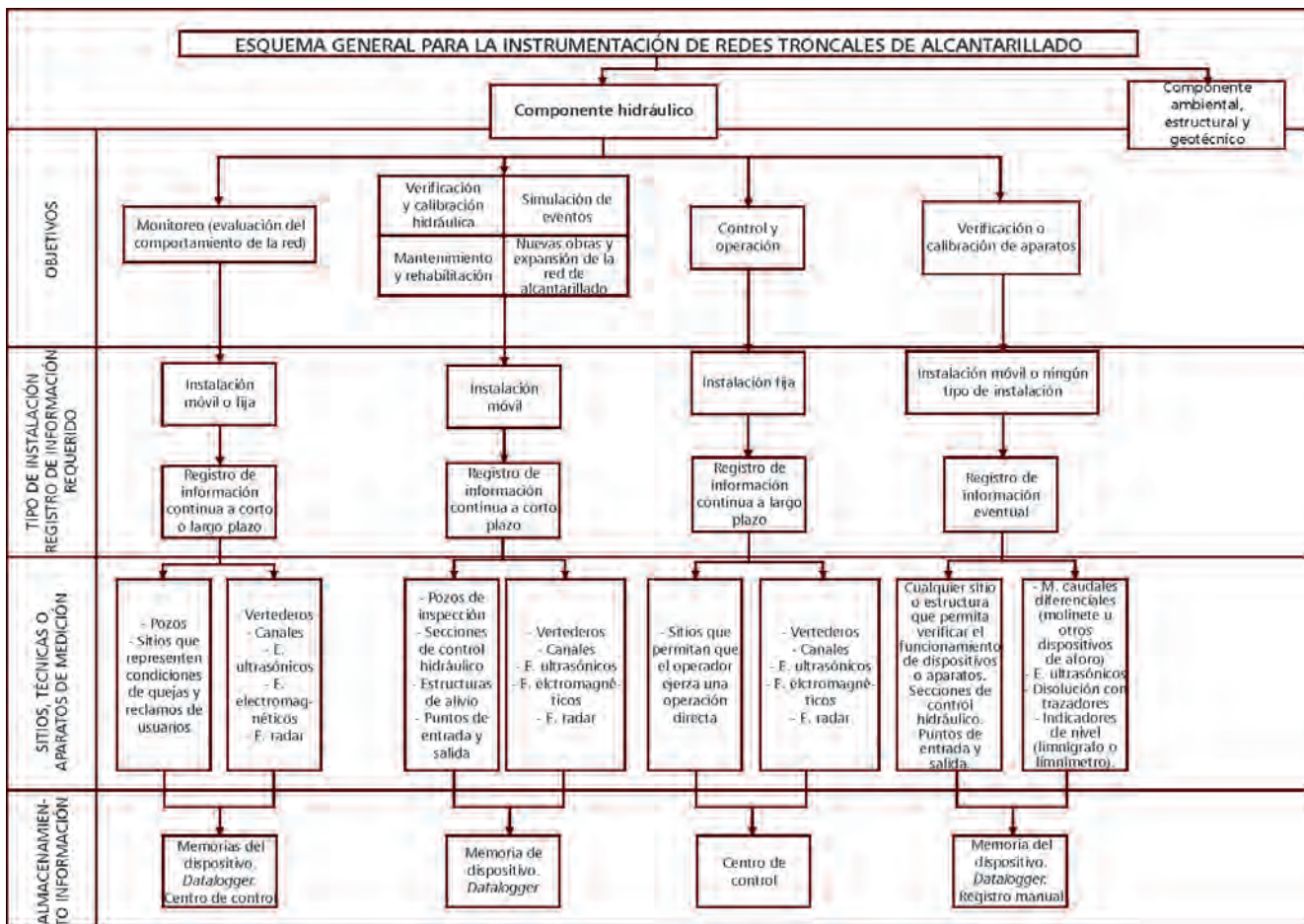
Fuente: El autor.

Figura 2. Esquema general para la selección de sitios de medición.

- Cuando en el diseño y construcción de una red de alcantarillado se ha establecido una sección de control hidráulico puede medirse únicamente el nivel para determinar el caudal. En este caso, para hacer mediciones de tipo manual los dispositivos que más se utilizan son el indicador de nivel (limnómetro) y el flotador mecánico (limnógrafo). En cuanto a tecnologías automáticas, los dispositivos más comunes son el sensor ultrasónico, el transductor de presión y los *bubblers*.
- Cuando la instrumentación no se puede realizar en una sección de control hidráulico o el objetivo exige que la localización del sitio de medición no sea una sección de control, hay dos posibilidades: efectuar la medición de caudal por métodos directos o por métodos indirectos. La primera posibilidad requiere que se cree una sección de control por medio de estructuras, como vertederos y canales que, una

vez calibrados y las condiciones particulares del sitio así lo permitan, se pueden hacer mediciones de nivel para obtener los valores de caudal. La segunda posibilidad exige que el caudal se determine a partir de la medición de dos variables hidráulicas: nivel y velocidad. Entre los métodos indirectos más comunes para determinar el caudal se encuentran el método de caudales diferenciales, la medición con equipos electromagnéticos, la medición con equipos ultrasónicos, la medición con tecnología de radar y el método de disolución con trazadores.

Mencionados los aspectos que se deben considerar para seleccionar los dispositivos de medición, a continuación se presenta un esquema en el que se relacionan objetivos de la instrumentación, tipo de instalación, registro de información, sitios y técnicas de medición y tipo de almacenamiento de información requerido (figura 3).



Fuente: El autor.

Figura 3. Esquema detallado para la instrumentación de redes troncales de alcantarillado.

## RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE MEDICIÓN Y SITIOS DE INSTALACIÓN

Una vez determinada la ubicación del punto de medición, se procede a instalar y a operar los instrumentos para obtener los datos requeridos. Debido a que una red de alcantarillado se proyecta para un funcionamiento a superficie libre, el conocimiento de la profundidad de la lámina de agua dentro del conducto permitirá evaluar el área mojada y, posteriormente, calcular el caudal.

Es importante tener en cuenta las condiciones de funcionamiento de la red de alcantarillado aguas arriba y aguas abajo del punto de medición, ya que pueden afectar el resultado de la medición. Por ejemplo, si aguas abajo del punto de medición el interceptor presenta una estructura de control o éste vierte sus efluentes a otro interceptor que normalmente opera en carga, la medición se verá afectada.

Cuando la medición de caudal y nivel se realiza con equipos de tipo automático, antes, durante y después de la instalación de los dispositivos se deben considerar las siguientes recomendaciones, ya que de éstas depende la efectividad de la información obtenida:

- Verificar las dimensiones internas del conducto que se va a medir, tanto al ingreso como a la salida del pozo, y medir la altura de la lámina líquida del efluente.
- Efectuar una inspección visual para verificar la existencia o no de sedimentos en el sitio. Esto resulta de suma importancia porque la existencia de sedimentos modifica el área útil de paso del efluente y, consecuentemente, su velocidad. En caso de detectarse sedimentos, es recomendable realizar inspección con CCTV si el conducto se encuentra operando a superficie libre o bien pasar el sonar si se encuentra operando en carga, para determinar el nivel de sedimentos existente y definir las medidas que se deben implementar para hacer la medición.
- Verificar las condiciones de funcionamiento que presenta el conducto, indicando si se observa un escurrimiento a superficie libre o en carga. En este punto es clave tomar nota sobre marcas dentro del pozo, que pueden indicar niveles máximos alcanzados por el líquido dentro de éste.
- Es recomendable realizar una medición puntual de la velocidad, garantizando que el sensor del instru-

mento se coloque lo más adentro posible del interior del conducto y en diferentes posiciones sobre una misma línea perpendicular al escurrimiento, para obtener un perfil de velocidades aproximado del sector. Esta medición se debe hacer para control y conocimiento inicial del funcionamiento del sistema.

- Una vez conocido el funcionamiento del sitio que se va a instrumentar, se procede a instalar un instrumento de medición de caudal del tipo área - velocidad. Este instrumento mide velocidad del efluente y altura de la lámina líquida, los que en conjunto con el dato del diámetro interior del conducto permitirán conocer el caudal de escurrimiento durante el tiempo que se requiera, de acuerdo con el objetivo de la medición.
- Hay que tener en cuenta que el sensor del instrumento debe colocarse en el interior del conducto, lo más adentro posible, evitando la interferencia que puede provocar la estructura abierta del pozo.
- Puesto en funcionamiento el equipo, se debe verificar que la altura de la lámina líquida se encuentre en el entorno que la medida manualmente y que la velocidad sea del orden de la obtenida con el perfil de velocidades realizado. En caso contrario, deberán hacerse las correcciones pertinentes sobre el instrumento hasta lograr la aproximación deseada.
- Si es posible encontrar una estructura de control de flujo en la red, puede instalarse un sensor de medición de nivel en el punto de medición. Si tal estructura está calibrada permitirá hallar el caudal asociado a un determinado nivel; de lo contrario, dicha estructura se deberá calibrar.

En general, la frecuencia del mantenimiento se debe determinar considerando dos aspectos: el primero es el conocimiento sobre cómo funciona el dispositivo de medición, y el segundo, corresponde a las particularidades del sitio. Este conocimiento puede gestionarse mediante un registro que permita establecer rutinas para el personal encargado de la operación y mantenimiento de los dispositivos. Con esta información empírica obtenida en campo se pueden ajustar los intervalos de mantenimiento, con el fin de prescindir de ciertos procedimientos y, de esta manera, optimizar la relación costo-mantenimiento.

Si se hace poco mantenimiento pueden resultar costos altos a largo plazo, pues se puede comprometer la

integridad del dispositivo y la confiabilidad de la información obtenida, en cuanto a caudales y niveles, además de extender mediciones temporales. Sin embargo, si se hace mucho mantenimiento se pueden incrementar los costos operativos de la instrumentación, ya que posiblemente se empleará más personal del requerido y se efectuarán cambios de dispositivos y piezas que tal vez no eran necesarios.

Para establecer la frecuencia del mantenimiento se debe tener en cuenta lo siguiente:

- *Edad, condiciones y valores.* Los dispositivos más antiguos son los que necesitan más servicios de mantenimiento.
- *Requerimientos de seguridad.* Los dispositivos con un alto potencial de riesgo de accidentes requieren altas frecuencias de inspección.
- *Susceptibilidad al desgaste.* Es necesario considerar la exposición a sedimentos y basura, fricción y corrosión. Una vez evaluados estos factores, se debe estimar el tiempo de vida útil.

## CAPTURA, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

La captura de la información depende de los aparatos o dispositivos utilizados, y entendiendo que ésta puede ser manual o automática, aquí se hace referencia al manejo de la información, cuando los dispositivos electrónicos permiten la automatización de los procesos.

Considerando el tipo de tecnología que se utilice, los equipos automáticos pueden comunicarse de manera directa con un centro de control, para lo cual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Adquisición de datos.
- Transmisión de datos y sistemas de comunicación.
- Almacenamiento de datos.

Una vez capturada y almacenada la información, se debe procesar y analizar, considerando las siguientes recomendaciones:

- Los expertos en el transporte y almacenamiento de los datos deben tener como premisa no descartar ningún dato *a priori*. Luego, debe depurarse la in-

formación correspondiente para la interpretación de los resultados.

- La información se puede depurar con métodos manuales, estadísticos o con un *software* especializado, dependiendo de la cantidad de datos captados y de los recursos con los que se cuente. La depuración y el análisis inmediato de la información captada permiten hallar inconsistencias en las mediciones realizadas con dispositivos automáticos, para tomar los correctivos necesarios.
- Una vez depurada la información obtenida de las mediciones, es posible iniciar la simulación hidráulica de las redes de alcantarillado para establecer las condiciones de funcionamiento hidráulico del sistema. Con base en el análisis de esta información, y de acuerdo con las necesidades de transporte actuales y proyectadas, se podrá definir el programa de mantenimiento o rehabilitación del sistema.
- Así mismo, la evaluación y el análisis del funcionamiento de la red para nuevas solicitudes permitirán el planteamiento y el diseño de nuevas obras, así como la expansión de la red que asegure su funcionamiento adecuado en el futuro.

## CONCLUSIONES

En el esquema metodológico propuesto se plantean parámetros esenciales para la concepción e implementación de la instrumentación de redes troncales de alcantarillado. Además, se pueden establecer físicamente las variables hidráulicas (caudales y niveles) en el tiempo y en el espacio, con el propósito de monitorear la red, verificar o calibrar el sistema de alcantarillado, simular eventos, hacer control y operación predictiva del sistema, establecer programas de mantenimiento o rehabilitación del sistema, definir nuevas obras, expandir la red de alcantarillado y, finalmente, verificar o calibrar los aparatos y dispositivos de medición.

La instrumentación de redes troncales de alcantarillado, en general, es compleja por los inconvenientes que se presentan en campo durante la instalación, mantenimiento, operación, limpieza y remplazo de los dispositivos o aparatos. La medición de variables del flujo en condiciones no permanentes exige que la supervisión de la instrumentación se realice durante periodos de tiempo prolongados.

La electrónica ha revolucionado el concepto de las mediciones y el uso de dispositivos electrónicos permite

captar gran cantidad de datos en tiempo real. Sin embargo, sobre una red troncal de alcantarillado se tienen variables (obstrucción por sedimentos, accesibilidad al sitio, vandalismo, características físico-químicas del fluido) que hacen difícil la ejecución de las mediciones y asegurar la calidad de sus datos. Estas condiciones exigen adicionalmente mediciones directas, que a partir de la inspección y la observación sobre las redes permiten verificar y confirmar la calidad de la información capturada con los dispositivos electrónicos. Por tal razón, las mediciones directas seguirán siendo útiles.

El mantenimiento de los dispositivos de medición de nivel y caudal puede ser correctivo y preventivo para hacer seguimiento continuo a la vida útil del dispositivo, garantizando una operación permanente y confiable.

En la actualidad, para la adquisición, transmisión y almacenamiento de datos se cuenta con dispositivos y aparatos de medición electrónicos de múltiples tecnologías; no obstante, la depuración y el análisis inmediato de la información capturada permiten encontrar inconsistencias en las mediciones realizadas con dispositivos automáticos, para tomar los correctivos necesarios en cuanto a sitios y dispositivos seleccionados.

## REFERENCIAS

- Altendorf, M. et al. (2005). *Medición de caudal*. Barcelona: Endress + Hauser.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Acodal) (2013). *Hidrometría en sistemas de acueducto y alcantarillado: micromedición y macromedición*. Memorias del seminario. Bogotá, D.C.
- Baker, R.C. (2000). *Flow measurement handbook*. R.U.: Cambridge University Press.
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (2011). *Consultoría para la investigación, estudios y diseños de ingeniería básica para la rehabilitación de las redes troncales en los sectores de expansión y redensificación-subcuenca San Francisco*. Subproducto 3.1. Capítulo I y II. Bogotá, D.C.
- Glasgow, D.L. et al. (1983). *Existing sewer evaluation & rehabilitation*. Lancaster: American Society of Civil Engineers and Water Pollution Control Federation.
- Lipták, B.G. (2003). *Instrument engineer's handbook. Process measurement and analysis* (4.ª ed., vol. I). Washington, D. C.: CRC Press.
- Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Redes de alcantarillado y bombeo* (2.ª ed.). Madrid: McGraw Hill.
- Ministerio de Desarrollo Económico (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS-2000. Título D*. Bogotá, D.C.
- Thel-Mar Company (s.f.). Recuperado el 28 de noviembre de 2012, del sitio web de Thel-Mar Company: [http://www.thel-mar.com/Page\\_2\\_CRMU.html](http://www.thel-mar.com/Page_2_CRMU.html).