

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

JUAN MANUEL ESCALLÓN ARANGO

Asesor:
Ing. JUAN GUILLERMO SALDARRIAGA VALDERRAMA



**Universidad
de los Andes**

Proyecto de Grado para Optar por el Título de Ingeniero Civil

**DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE REDES DE ALCANTARILLADO
TENIENDO EN CUENTA INSPECCIONES CON CIRCUITO
CERRADO DE TELEVISIÓN (CCTV)**

Bogotá, Junio de 2005

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 3. ANTECEDENTES | 5 |
| 4. CONCEPTOS GENERALES | 7 |
| 4.1. SISTEMAS DE ALCANTARILLADO CONVENCIONALES | 7 |
| 4.1.1. <i>Sistemas de Alcantarillado Separado</i> | 8 |
| 4.1.2. <i>Sistemas de Alcantarillado Combinado</i> | 9 |
| 4.2. MECANISMOS DE FALLA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO | 10 |
| 4.2.1. <i>Características Estructurales</i> | 10 |
| 4.2.2. <i>Capacidad Hidráulica</i> | 12 |
| 4.2.3. <i>Infiltración</i> | 13 |
| 4.2.4. <i>Conexiones Erradas</i> | 14 |
| 4.3. IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL ESTADO DE REDES | 14 |
| 5. MÉTODOS DE INSPECCIÓN DE TUBERÍAS | 19 |
| 5.1. ASPECTOS GENERALES | 19 |
| 5.2. INSPECCIÓN POR MEDIO DE CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN | 20 |
| 5.2.1. <i>Sistemas Básicos</i> | 20 |
| 5.2.2. <i>Equipos Necesarios Durante las Inspecciones</i> | 22 |
| 5.3. MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA INSPECCIONAR LA CONDICIÓN INTERNA DE LA TUBERÍA | 23 |
| 5.3.1. <i>Sistemas de Escáner por Láser</i> | 23 |
| 5.3.2. <i>Sistemas de Escáner por Sonar</i> | 23 |
| 5.4. ESTADO ESTRUCTURAL DE LA TUBERÍA Y EL MEDIO CIRCUNDANTE | 24 |
| 6. METODOLOGÍA PARA LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN INTEGRAL DE REDES DE ALCANTARILLADO | 26 |
| 6.1. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE | 26 |
| 6.2. MONITOREO DE FLUJO | 27 |
| 6.3. PRUEBA CON TRAZADORES | 29 |
| 6.4. PRUEBA DE HUMO | 31 |
| 6.5. INSPECCIÓN DE LA RED | 32 |
| 6.6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y RECOMENDACIONES | 33 |

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 6.6.1. | <i>Relación Beneficio/Costo</i> | 34 |
| 6.6.2. | <i>Automatización de Sistemas de Inspección y Evaluación</i> | 34 |
| 7. | METODOLOGÍA APLICADA POR LA EAAB-ESP PARA LA INSPECCIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO | 37 |
| 7.1. | NORMA TÉCNICA DE SERVICIO NS-058 EAAB-ESP | 37 |
| 7.1.1. | <i>Grados de Obstrucción de la Tubería</i> | 37 |
| 7.1.2. | <i>Aspectos Preliminares para la Inspección de Alcantarillados</i> | 39 |
| 7.1.3. | <i>Inspección Externa</i> | 40 |
| 7.1.4. | <i>Prueba con Trazadores</i> | 41 |
| 7.1.5. | <i>Inspección al Interior de Tuberías</i> | 41 |
| 7.1.6. | <i>Equipo Empleado para las Inspecciones</i> | 42 |
| 7.1.7. | <i>Identificación de Defectos en la Redes</i> | 43 |
| 7.1.8. | <i>Metodología de Análisis y Calificación de las Tuberías</i> | 46 |
| 7.2. | ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA EAAB-ESP | 49 |
| 7.2.1. | <i>Metodología de Inspección</i> | 49 |
| 7.2.2. | <i>Análisis de la Realización de las Inspecciones en Bogotá</i> | 52 |
| 8. | CONCLUSIONES | 54 |
| 9. | REFERENCIAS | 56 |
| ANEXO I | | 59 |

1. INTRODUCCIÓN

El ser humano siempre necesitará recurrir al agua para poder subsistir y esto implica no solo recogerla, almacenarla y consumirla, también implica encontrar mecanismos para disponer el agua residual de manera adecuada, teniendo el menor contacto posible con esta durante el proceso.

Los avances en microbiología llevados a cabo durante la segunda mitad del Siglo XVIII, permitieron descubrir que el agua residual es una importante fuente de enfermedades infecciosas, por lo que tras miles de años de estar disponiendo las aguas residuales con sistemas precarios y prácticamente sin ningún tipo de planeación, se llegó a un mecanismo que no permitiera el contacto de la población con esta agua: sistemas de alcantarillado formados por redes de tuberías bajo tierra. Desde la implementación de este tipo de sistemas, las condiciones sanitarias en las ciudades han mejorado notablemente, al disminuir la cantidad de bacterias y esporas infecciosas en el aire, mejorando la calidad y la expectativa de vida de la población.

Al estar bajo tierra, el principal problema que presentan las redes de alcantarillado es la dificultad que representa la realización de labores de mantenimiento preventivo y correctivo, por lo que en los últimos años una de las principales ramas de investigación ha sido el desarrollo de tecnologías de inspección e intervención sin zanja. Antes de la creación de estas tecnologías alternativas de inspección y mantenimiento, era casi imposible predecir con exactitud el estado de una red, mucho menos cuando había peligro de que se presentara un colapso.

Dentro de estas nuevas tecnologías, la inspección de redes por medio de Circuito Cerrado de Televisión – CCTV, representa un método bastante práctico y

relativamente económico. Puede brindar información valiosa para la determinación del estado estructural de las tuberías e inspeccionar lugares a donde no se puede llegar con los métodos convencionales.

Sin embargo en los últimos 30 años, un nuevo factor ha venido a influenciar las políticas de inversión de las ciudades y las empresas prestadoras de servicios públicos; el costo asociado a la mala operación de las redes y su influencia sobre las plantas de tratamiento y las fuentes de agua donde son dispuestas las aguas residuales. Esto ha obligado a la investigación de tecnologías adicionales y la creación de programas especiales de evaluación, intervención y operación de redes de alcantarillado.

En la Universidad de los Andes a través del Grupo de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA, se han realizado investigaciones sobre métodos de inspección, limpieza y renovación usando tecnologías sin zanja, pero no se ha tenido la oportunidad de evaluar su desempeño y utilización en el país.

Dado que en Colombia recientemente se ha empezado a realizar inspecciones de alcantarillados usando CCTV, gracias a su versatilidad y costo accesible; esta investigación está enfocada a evaluar cómo se ha llevado a cabo la aplicación de estas tecnologías, los resultados que se han obtenido a partir de dichas inspecciones y determinar cuales son los aspectos más importantes a mejorar. Así como evaluar la influencia de estos aspectos, en las decisiones que se han tomado acerca de la intervención de las redes.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Con este proyecto se espera determinar las variables más importantes para tener en cuenta durante la inspección de alcantarillados con Circuito Cerrado de Televisión – CCTV. También las ventajas y desventajas que este método puede tener, frente a otros métodos de inspección empleados para la evaluación del estado de redes de alcantarillado.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las últimas tecnologías desarrolladas a nivel mundial para la inspección de tuberías a través de CCTV, así como métodos complementarios y su aplicación en Colombia, específicamente en la ciudad de Bogotá.
- Determinar la efectividad del método de inspección de alcantarillados con CCTV, como método determinante y único para la toma de decisiones de renovación o rehabilitación de tuberías de alcantarillado.
- Determinar una metodología apropiada para la inspección de redes de alcantarillado usando CCTV, que permita optimizar los equipos, costos y tiempo de ejecución y compararla con la que se está aplicando actualmente en la ciudad de Bogotá.

- Evaluar la aplicación de las inspecciones de alcantarillados con CCTV en la ciudad de Bogotá y las medidas que se están implementando dentro de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP a partir de estas inspecciones.

3. ANTECEDENTES

Desde comienzos de la década de 1970, en algunos países los sistemas de alcantarillado estaban empezando a llegar al final y más allá de su vida útil, sin que se conociera con exactitud su estado físico. No existía un medio confiable para recoger información acerca del estado de las redes, determinar en que puntos existía un peligro inminente de colapso y cual era el plazo en que debían realizarse intervenciones.

Al no existir un sistema de detección de fallas, el mantenimiento periódico que se aplicaba a las redes era muy precario y resultaba insuficiente para evitar la ocurrencia de obstrucciones, rebosamientos y colapsos. Para reducir la incertidumbre y los costos de las intervenciones de emergencia se desarrollaron métodos de inspección como el Circuito Cerrado de Televisión – CCTV, que permiten determinar el estado interno de las redes, facilitando la toma de decisiones acerca de la realización de rehabilitaciones o renovaciones de tuberías.

Al poder inspeccionar el estado interno de las redes de alcantarillado, se dieron cuenta de otro problema, el agua infiltrada dentro de la red a través del suelo y la que entra por conexiones erradas estaba aumentando considerablemente el costo del tratamiento y la calidad del agua depositada en las fuentes de agua. Es así como cambió la concepción acerca de los sistemas de alcantarillado, que dejaron de ser simples medios de transporte de aguas residuales y que no solo el estado estructural de las tuberías es importante.

Las legislaciones y normas cada vez más estrictas en cuanto a la calidad del agua depositada, la planeación y operación eficientes de las plantas de tratamiento han llevado a la creación de nuevas tecnologías de inspección de redes de

alcantarillado, que además del estado estructural proveen información sobre el funcionamiento de la red. Estas tecnologías, además de equipos electrónicos, robots y vehículos especializados, incluyen software que permite la automatización de los procesos y metodologías enfocadas a evaluar cada uno de los aspectos que influyen en el estado de la red y su operación.

En Colombia solo hasta finales de la década anterior se empezaron a implantar los primeros programas de inspección de redes, partiendo del uso de CCTV para realizar dichas inspecciones, empleando software y adaptaciones de metodologías sugeridos por los proveedores de los equipos. Específicamente dentro de la Empresa de Acueducto de Bogotá EAAB-ESP, la toma de decisiones de intervención de redes se basa en el estado estructural de las tuberías, sin llegar aun a mirar aspectos operativos de las redes.

4. CONCEPTOS GENERALES

4.1. SISTEMAS DE ALCANTARILLADO CONVENCIONALES

Como parte de los sistemas de Drenaje Urbano, los alcantarillados corresponden al sistema de recolección y transporte de las aguas residuales domésticas, comerciales e industriales desde su fuente, hacia las plantas de tratamiento o los sitios de disposición.

Dentro de los alcantarillados, el agua corre por gravedad y a flujo libre por la red de tuberías subterráneas, de igual forma que si fueran arroyos interconectados. Los métodos de diseño son los mismos que se emplean para el diseño de canales abiertos fluyendo parcialmente llenos.

En ciudades con pendientes bajas, llega un momento en que para seguir con la pendiente del alcantarillado es necesario colocar las tuberías a gran profundidad; para prevenir este problema y ahorrar costos de construcción y mantenimiento, se incluyen estaciones de bombeo dentro del sistema.

Si las aguas residuales se transportan por aparte de las aguas lluvias, el sistema de alcantarillado es *separado*; por otro lado si las aguas residuales se transportan junto con las aguas lluvias, se habla de sistema de alcantarillado *combinado*.

La selección del tipo de sistema de recolección y transporte de aguas residuales y lluvias para una ciudad, debe hacerse teniendo en cuenta factores económicos y sociales de la zona como: “las proyecciones de población, las densidades, los consumos de agua potable y las curvas de demanda de ésta, aspectos

socioeconómicos y socioculturales, institucionales, aspectos técnicos y tecnológicos y consideraciones económicas y financieras”.¹

4.1.1. Sistemas de Alcantarillado Separado

Como su nombre lo dice, estos sistemas cuentan con dos redes por las que se transportan por separado las aguas residuales (Alcantarillado Sanitario) y las aguas lluvias (Alcantarillado Pluvial).

Cuando las aguas residuales y lluvias recolectadas en una vivienda o edificio se van a verter a un sistema de alcantarillado separado, la red interna de desagüe de la misma vivienda debe ser un sistema separado.

Por un lado debe existir un colector o “caja” de aguas lluvias, a la que lleguen las aguas procedentes de las bajantes de los tejados y los sifones de jardines y patios. Estas aguas recolectadas en la “caja” de aguas lluvias, se vierten a la red de alcantarillado pluvial, que también recoge las aguas procedentes de los sifones ubicados en las calles.

Las aguas residuales procedentes de los baños (sanitarios, duchas, lavamanos), lavaplatos, zonas de lavado y sifones que no recojan aguas lluvias, se transportan al colector o “caja” de aguas residuales, para ser vertidas más tarde al alcantarillado sanitario.

¹ RAS-2000, Título D. Pág. D.17

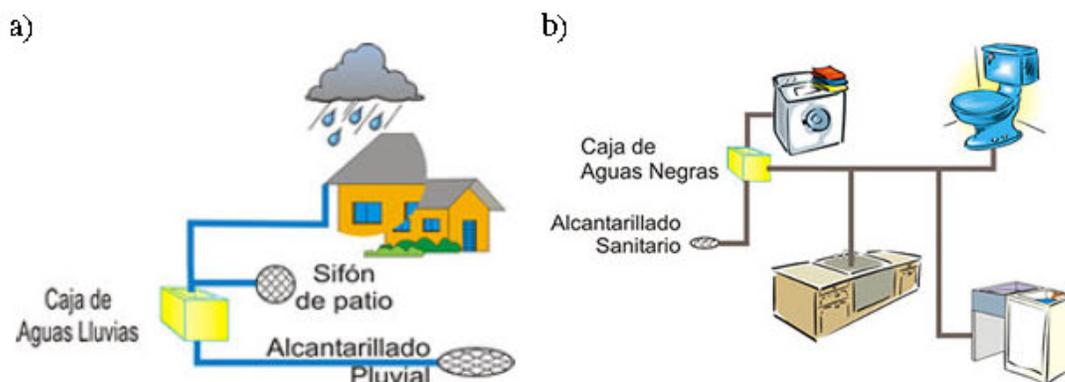


Figura 1. Forma correcta de realizar las conexiones al alcantarillado separado.²

En la Figura 1 se muestra la forma correcta de realizar las conexiones residenciales al sistema de alcantarillado separado, nótese como en la parte a) se muestran las conexiones de drenaje de aguas lluvias a la red pluvial y en la parte b), como se realizan las conexiones de aguas residuales a la red sanitaria. Más adelante se tratarán las conexiones mal hechas a este tipo de sistema, conocidas como “conexiones erradas”.

4.1.2. *Sistemas de Alcantarillado Combinado*

En este tipo de sistema todas las aguas del sistema de drenaje se transportan a través de una única red, que debe tener como destino una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Si bien se necesita una inversión menor para la construcción y mantenimiento de la red, el caudal que se mueve es mayor que en una red de alcantarillado sanitario aumentando los costos y la dificultad de operación.

² Tomado de http://www.cdm.gov.co/conexiones/conexion_errada.htm

En las ciudades que cuentan con sistema combinado se necesita tener una PTAR con mayor capacidad y sistemas de control en tiempo real. El buen funcionamiento de las plantas de tratamiento, en buena medida depende de condiciones cercanas al equilibrio dinámico. Por lo tanto cuando se presentan picos de caudal, el flujo debe desviarse con frecuencia y verterse sin tratar, pues se puede exceder la capacidad de la planta o comprometerse la calidad del efluente.

Este tipo de sistema se encuentra frecuentemente en ciudades con alta densidad de población, donde los picos por tormentas son menores, o con sistemas antiguos, que evolucionaron a partir de redes naturales de drenaje de aguas lluvias; o en ciudades que construyeron sus redes de drenaje antes o a comienzos del Siglo XX, como Nueva York, Boston, París y Londres. En Bogotá existen algunas zonas, cuyo alcantarillado data de la primera mitad del Siglo XX y se desarrolló con este tipo de sistema.

En sistemas combinados, el colector principal normalmente es un río o quebrada existente que con el tiempo debe ser canalizado y cubierto para manejar los malos olores y la apariencia desagradable de sus aguas.

4.2. MECANISMOS DE FALLA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

4.2.1. *Características Estructurales*

Hasta hace pocos años, las tuberías empleadas en la construcción de redes de alcantarillado eran típicamente de Concreto, Mampostería o Ladrillo Vitificado (Gres). Estos materiales tienen una muy buena resistencia ante esfuerzos de compresión, sin embargo ante esfuerzos de tensión raramente alcanzan el 15% de esta resistencia. Las tuberías en Concreto y Gres deben resistir las cargas

verticales por sí mismas; sin embargo esta propiedad depende en gran medida de las condiciones del medio circundante y su homogeneidad, pues pueden presentar fallas o deterioro debido a la falta de confinamiento lateral.

Las fallas tempranas como agrietamientos o juntas en mal estado, pueden presentarse a causa de un mal método constructivo; al almacenar, cargar, transportar y manipular las tuberías antes de su colocación, se pueden generar grietas debido al mal izaje y una deficiente colocación.

Las juntas mal selladas o desalineadas (ver Figura 2) son un foco de falla pues de estas se desprenden grietas, permiten la infiltración y la entrada de raíces que además de obstruir el flujo, ejercen esfuerzos sobre las tuberías causando movimientos y rupturas.

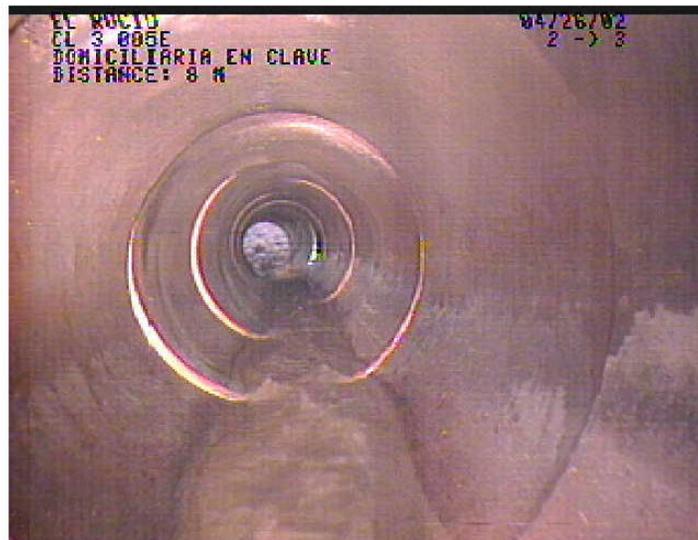


Figura 2. Tubería de Gres desalineada y con juntas mal selladas.

Los colapsos se presentan por el deterioro prolongado de la tubería en lugares donde se han presentado fallas. La entrada de flujo o la salida de este a través de grietas y juntas, causa la erosión del material del medio circundante. Esta erosión

acompañada del deterioro estructural de la tubería, es la principal causa del colapso del sistema tubería-suelo. Estos colapsos son prácticamente imposibles de predecir si las tuberías no se han inspeccionado con anterioridad, y es aquí donde radica la mayor importancia de los métodos de inspección desarrollados recientemente.

La magnitud del colapso depende del material, las condiciones del suelo circundante y el fenómeno que lo propicie, como tormentas, excavaciones, sobrecargas o cualquier evento diferente.

4.2.2. Capacidad Hidráulica

Las fallas en tuberías de alcantarillado también están ligadas a la capacidad hidráulica de la tubería, pues cuando la capacidad hidráulica para la que está diseñada la red es insuficiente, este corre el riesgo de presurizarse. La presurización puede conducir a ciclos de infiltración y exfiltración, causando la entrada de partículas finas de suelo dentro de la tubería con la consecuente pérdida de soporte antes mencionada.

La edad también influye en la capacidad hidráulica de las tuberías de alcantarillado de Concreto y Gres, pues con esta la superficie de la tubería se erosiona y aumenta su rugosidad. Al aumentar la rugosidad la capacidad hidráulica se reduce, aumentando el riesgo de presurización.

4.2.3. Infiltración

La infiltración es agua que entra dentro de la red de alcantarillado desde el suelo a través de tuberías defectuosas, juntas separadas o en mal estado, conexiones laterales defectuosas o por las paredes de los pozos de inspección.

Comúnmente la infiltración se asocia con elevaciones del nivel freático, que generan aumentos en la presión de poros del medio circundante y la tendencia del agua a entrar en las tuberías debido al gradiente de presión.

La tasa de infiltración depende del número de defectos presentes en la tubería, de su magnitud y de la cabeza de presión disponible (cota del nivel freático). Esto implica un aumento de la infiltración con la ocurrencia de lluvias torrenciales o tormentas y que las tuberías más profundas estén más expuestas a este tipo de flujo.³



Figura 3. Tubería de Concreto con raíces e infiltraciones.

³ (ASCE; WEF, 1994)

4.2.4. Conexiones Erradas

Las conexiones erradas corresponden a conexiones fuera de lugar en los sistemas de alcantarillado separado. Una conexión de aguas residuales al alcantarillado pluvial es una conexión errada, así como una conexión de aguas lluvias al alcantarillado sanitario es una conexión errada.

Las conexiones erradas o piratas también juegan un papel importante dentro del deterioro de las tuberías, pues además del daño estructural causado al perforar las tuberías para realizar la conexión, se puede exceder la capacidad hidráulica de estas al no estar diseñadas para transportar esta agua.

Cuando las conexiones erradas se realizan al alcantarillado sanitario, generalmente se presentan rebosamientos, que pueden causar desbordamientos e inundaciones, pues los picos de caudal que puede presentar una tormenta son mucho mayores que el caudal de diseño de este alcantarillado.

Si se presentan conexiones erradas al alcantarillado pluvial, normalmente se tienen problemas como malos olores durante las temporadas secas y se puede ver afectada la calidad del agua de los ríos o quebradas donde son vertidas las aguas, debido a la menor dilución de los contaminantes durante estas temporadas.

4.3. IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL ESTADO DE REDES

Todas las fallas presentes en las redes de alcantarillado, afectan de una forma u otra a algún sector de la comunidad. La presencia de fallas, rupturas,

desbordamientos, inundaciones y la ocurrencia de colapsos tienen altos costos económicos y sociales, tanto para las empresas prestadoras del servicio como para los usuarios y la comunidad en general.

Cuando una tubería no se ha diagnosticado a tiempo y ha llegado hasta el punto de avería en que el colapso del sistema tubería-suelo es inminente, se presentan hundimientos en las vías que afectan el tránsito de vehículos y personas, generando gastos adicionales en la reparación y el mantenimiento de las vías. Si se ha presentado erosión prolongada del material circundante a las tuberías, se puede ver afectada la estabilidad de estructuras vecinas y se pueden presentar accidentes graves como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Hundimiento de una calle debido a la falta de mantenimiento de la red de alcantarillado. Florencia, Caquetá. 02/06/2005.⁴

Cuando se presentan colapsos en las redes de alcantarillado, los costos de reparación se elevan muchísimo, pues la dificultad de la obra y su magnitud son

⁴ Tomado de <http://eltiempo.terra.com.co/>

mucho mayores que en una reparación preventiva. Hay casos en los que no solo debe repararse la tubería, sino todo un sector, causando el cierre de más calles con la consecuente dificultad del manejo del tráfico, es necesario mover mucho más material, contar con más maquinaria y personal, lo que eleva los costos y tiempos de trabajo.

Los habitantes y personas que concurren al sector debido a su trabajo, en muchos casos se ven afectados económicamente por el cierre de las vías de acceso; también ocurre la disminución de las ventas en establecimientos comerciales que dependen de sus vitrinas y del público, y la disminución en la productividad de empresas por la dificultad en el transporte de sus productos y el desplazamiento de sus empleados.

Además de todos los inconvenientes que puede causar el colapso de una tubería, el material erosionado del suelo que entra dentro de la red de alcantarillado, afecta la calidad del agua haciendo más difícil y costoso su tratamiento, debido a la mayor cantidad de sólidos que deben ser removidos.

El mayor impacto de la presencia de infiltraciones y conexiones erradas dentro de la red de alcantarillado sanitario, es el costo del transporte y tratamiento de las aguas residuales, causado por el aumento desmedido en los caudales de aguas lluvias provenientes de bajantes de tejados y patios.

Mientras que el caudal que entra por la presencia de conexiones erradas a una red pluvial, puede afectar de gran manera la calidad del agua dentro de la red y puede acarrear problemas en los cuerpos de agua donde son descargadas las aguas. Si el caudal proveniente de conexiones erradas afecta de manera considerable la calidad del agua de la red y de los cuerpos de disposición, la

empresa prestadora del servicio puede ser sancionada; o lo que es peor puede llegar a incurrirse en la construcción de una planta de tratamiento que realmente no sea necesaria, pues el problema puede corregirse desde su fuente con una inversión mucho menor.

Sea de una u otra forma, la presencia de conexiones erradas e infiltraciones desmedidas, afecta considerablemente los costos de operación de las redes y plantas de tratamiento, sobrecostos que en la mayoría de los casos son transferidos a los usuarios de los sistemas. Se crea entonces un círculo vicioso, pues si los usuarios realizaran bien sus conexiones desde el principio, las empresas prestadoras del servicio de alcantarillado solo tendrían que preocuparse por detectar y corregir las infiltraciones, que es mucho más sencillo desde el punto de vista técnico y económico.

Teniendo en cuenta los avances que ha tenido la normatividad en torno al sector de saneamiento en Colombia, cada vez son mayores las exigencias sobre la calidad del agua y ha aumentado la necesidad de operar más eficientemente las plantas de tratamiento existentes y de construir plantas nuevas. Para acatar las disposiciones legales las empresas prestadoras de servicios de alcantarillado normalmente no cuentan con grandes presupuestos de inversión, por lo tanto deben aumentar su eficiencia en el transporte y tratamiento de las aguas residuales de la forma más práctica y económica, que es atacar las deficiencias desde la fuente.

Para lograr lo anterior, deben implantarse planes integrales de inspección, evaluación y mantenimiento de redes. También se debe ejercer un mejor control por parte de las empresas, sobre la forma en que se están realizando las conexiones a las redes y los criterios o normas que deben seguir los particulares

para realizar dichas conexiones, ofrecer una mejor información detallada y actualizada sobre la ubicación de las redes.

5. MÉTODOS DE INSPECCIÓN DE TUBERÍAS

5.1. ASPECTOS GENERALES

En una inspección típica de redes de alcantarillado, principalmente se buscan las siguientes fallas estructurales:

- **Presencia de Grietas:** Las tuberías de Gres, Concreto, u otros materiales rígidos normalmente se agrietan con el paso del tiempo, debido a la poca capacidad del material para soportar esfuerzos cortantes o de tensión.
- **Juntas Abiertas o Desalineadas:** El mortero empleado para el sellado de juntas se erosiona por acción del flujo de agua residual agua, combinado con el movimiento relativo entre tuberías por asentamientos diferenciales del terreno.
- **Deterioro o Corrosión Interna:** Tras llevar varios años en servicio las tuberías presentan corrosión y deterioro causado por el flujo. Este deterioro puede degenerarse en grietas o generar zonas débiles dentro de la tubería susceptibles a fallar.
- **Tuberías Subdimensionadas:** Nuevas conexiones o conexiones erradas pueden ocasionar la sobrecarga de las redes de alcantarillado, lo que genera la elevación de costos de tratamiento y disposición de las aguas residuales.
- **Fallas en Pozos de Inspección:** Los pozos de inspección hechos en mampostería presentan fallas tales como ladrillos sueltos o faltantes, falta de cañuelas, etc.

5.2. INSPECCIÓN POR MEDIO DE CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN

Los métodos más sencillos para determinar el estado de redes de alcantarillado, se basan en la inspección interna de las tuberías que conforman el sistema, como herramienta fundamental para determinar la necesidad de tomar medidas preventivas o correctivas.

La inspección de redes de alcantarillado por medio de CCTV ofrece muy buenos resultados a un costo relativamente bajo, previniendo los peligros que se pueden presentar durante una inspección directa y resulta ser uno de los métodos más adecuados para la inspección de tuberías con diámetros menores a 32", donde no es conveniente que entren los operarios por razones de seguridad.

Existen una gran cantidad de sistemas de inspección por medio de CCTV, tantos como fabricantes puede haber en el mercado mundial y cada uno con diferentes características, que en general se pueden adaptar o variar para acomodarse a las necesidades de los clientes y las características de la red a inspeccionar.

5.2.1. *Sistemas Básicos*

Hay dos tipos sistemas básicos para realizar inspecciones con CCTV; el primero corresponde sistemas estacionarios a cámaras con muy buena capacidad de acercamiento (zoom), que se colocan en los pozos de inspección para tomar imágenes desde allí. Este tipo de sistemas solo proveen información sobre el estado cualitativo de las fallas dentro de la tubería, pues es muy difícil cuantificar las fallas alejadas de la cámara. Puede emplearse como un sistema de inspección

preliminar, para determinar en cuales zonas se necesita de información adicional que se puede obtener con un sistema móvil.

El segundo tipo es el sistema móvil de inspección con CCTV, que está compuesto por una cámara acondicionada con un sistema de propulsión o que puede estar montada sobre un carro transportador. Las cámaras poseen mecanismos de rotación y zoom, que son muy útiles para tomar de cerca los defectos encontrados. Los transportadores son carros o robots sobre llantas u orugas que poseen mecanismos que permiten moverlos en varias direcciones y controlar la velocidad de avance del sistema; esto es una ventaja para los operadores del sistema que pueden realizar la inspección a su propio ritmo dependiendo de su experiencia. Los fabricantes generalmente ofrecen paquetes con varios tipos de transportadores y cámaras, que se pueden intercambiar para poder inspeccionar un amplio rango de diámetros.



Figura 5. Cámaras montadas sobre transportadores de diferentes tamaños.⁵

⁵ Tomado de http://www.pearpoint.com/cameras_tractors.htm

5.2.2. *Equipos Necesarios Durante las Inspecciones*

Además de las cámaras de televisión y transportadores, se necesitan otros equipos especiales para completar el sistema de CCTV y recopilar la información adecuadamente. Estos componentes adicionales incluyen:

- **Carretes de Cableado:** En estos se transportan los cables necesarios para brindarle energía al sistema de cámara para su movilización y funcionamiento, además a través de estos cables se transmite la información recopilada por la cámara a la unidad o centro de mando. Normalmente su longitud limita las distancias de inspección.
- **Centro de Mando:** Es desde donde se opera el sistema y recopila la información registrada por la cámara, los equipos básicos que debe contener son un sistema de grabación de video compatible con VHS o DVD, un monitor y un generador de caracteres.



Figura 6. Van acondicionada con los equipos de centro de mando.⁶

⁶ Tomado de <http://www.pearpoint.com/vehicles.htm>

- **Sistemas de Iluminación:** El sistema de iluminación es muy importante, pues debe ser suficiente para poder captar todos los detalles necesarios con nitidez; ya están disponibles en el mercado cámaras que poseen sistemas de iluminación incorporados, simplificando el montaje y la operación de los equipos.

5.3. MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA INSPECCIONAR LA CONDICIÓN INTERNA DE LA TUBERÍA

5.3.1. *Sistemas de Escáner por Láser*

Son sistemas de última tecnología que pueden medir el perfil de las tuberías con una precisión mayor a 1mm, vienen acoplados con procesadores computacionales, lo que permite analizar la información conforme se realiza la inspección.

Son útiles para determinar con exactitud el diámetro real de la tubería, profundidades de flujo, el espesor de capas de sedimentos, deformaciones, erosión, desplazamiento y separación de juntas, depósitos e incrustaciones sobre la pared de la tubería, etc.

Estos sistemas se usan en conjunto a los sistemas de CCTV y proveen una herramienta bastante precisa y práctica para cuantificar las fallas presentes dentro de las tuberías.

5.3.2. *Sistemas de Escáner por Sonar*

Este es un sistema ultrasónico que permite establecer el perfil de la tubería, su principal ventaja frente a los métodos visuales como el CCTV y la inspección por láser, es que captura información por debajo de la superficie del flujo, siendo muy útil en tuberías cuyo caudal no puede ser retenido.

Con este sistema se pueden identificar problemas como sedimentación, capas de grasa, niveles de bloqueo. Mediante software especializado se pueden cuantificar estos problemas, inclusive determinar el espesor de la tubería, usando relaciones geométricas con su diámetro. Algunos programas poseen interfaces gráficas que permiten calcular el cambio en el perfil de la tubería antes y después de su deterioro (ver Figura 7).

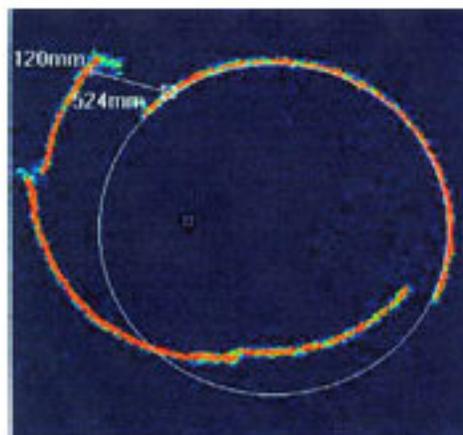


Figura 7. Comparación de la sección real de una tubería deteriorada con su sección teórica.⁷

5.4. ESTADO ESTRUCTURAL DE LA TUBERÍA Y EL MEDIO CIRCUNDANTE

Los métodos para evaluar la condición interna de la tubería arrojan información válida sobre el estado estructural de la tubería, sin embargo en algunos casos es

⁷ Tomado de <http://www.ciesinc.com/>

muy difícil determinar el estado del suelo circundante y que tanto ha avanzado su erosión. Cuando se sospecha que el medio circundante está muy deteriorado o que las fallas dentro de la tubería se deben a esfuerzos externos y se puede presentar un colapso pero la información es insuficiente para cuantificar la amenaza, se recurre a métodos empleados en geología y geotecnia con los que se pueden determinar el estado de la pared de la tubería, las propiedades del suelo y su perfil.

Estos métodos se basan en la emisión y recepción de ondas de radio, ondas sonoras o variaciones de potencial eléctrico. Su aplicación para establecer el estado estructural de las tuberías depende principalmente del tipo de red, del material y el tipo de tubería. Mientras que para establecer el perfil del suelo y sus características el método más empleado es el Ground Penetrating Radar – GPR.

6. METODOLOGÍA PARA LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN INTEGRAL DE REDES DE ALCANTARILLADO

Cada red de alcantarillado posee características que la hacen única y para evaluarla se debe contar con una metodología apropiada y flexible, que se pueda adaptar a cada una de las particularidades y su influencia dentro del comportamiento general de la red.

En este capítulo se presentan los pasos básicos que se deben llevar a cabo para realizar una Evaluación Integral de Redes de Alcantarillado exitosa, cuyo objetivo principal es la toma de decisiones fundamentadas en cuanto a la necesidad de realizar operaciones de renovación o rehabilitación; teniendo en cuenta varios parámetros que pueden afectar el comportamiento de las redes o aumentar los costos de operación y mantenimiento.

6.1. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

La información histórica de cada red provee un punto de partida muy importante para determinar el enfoque que se le debe dar a la Evaluación Integral de Redes de Alcantarillado, el alcance que dicha evaluación debe tener y los recursos tecnológicos que se deben emplear.

La evaluación previa de la red debe arrojar información valiosa sobre el tipo de tecnología que se puede aplicar a cada red y los equipos que son necesarios para realizar inspecciones exitosas, invirtiendo los recursos de manera eficiente y obteniendo los mejores resultados.

Es necesario revisar toda la información existente acerca del estado de las tuberías o redes a inspeccionar, esto incluye planos, diámetros, edades, reparaciones efectuadas, inspecciones anteriores, limpiezas, etc. Con base en estos parámetros se diseña un plan preliminar de inspección y recolección de datos, para llevar a cabo la posterior evaluación. Se puede dividir la red en sectores e identificar características similares entre tuberías o secciones que pueden facilitar la realización de las mediciones, tomas de datos e inspecciones en campo. El uso de Sistemas de Información Geográfica – GIS, es una herramienta que ofrece grandes beneficios a la hora de crear el plan de inspección y para el análisis de la información resultante.

Las empresas prestadoras del servicio de alcantarillado pueden llevar a cabo esta etapa con anterioridad a la contratación de asesores externos, para realizar los procesos de contratación con mayor confianza y conocimiento sobre la idoneidad de las empresas aspirantes para lograr los resultados esperados de la evaluación.

6.2. MONITOREO DE FLUJO

El monitoreo de flujo consiste en tomar mediciones de caudal en dos o más secciones de tubería a lo largo del tiempo y verificar la existencia de discrepancias, existentes entre varios métodos de medición. Antiguamente se usaban estructuras de control como presas o canaletas, entre ellas la canaleta Parshall, que se calibraban para obtener los valores de caudal a partir de mediciones de altura, sin embargo con los avances en electrónica se han desarrollado dispositivos que permiten realizar mediciones más precisas y almacenar datos durante períodos más prolongados.

Instrumentos basados en el Efecto Doppler pueden medir velocidades y alturas de flujo a lo largo del tiempo, para calcular las variaciones de caudal a partir de estos datos y su relación con la geometría de la tubería o canal.

Al realizar monitoreos de flujo principalmente se busca la presencia de infiltraciones, y exfiltraciones en el sistema de alcantarillado, por tanto lo primero que hay que tener en cuenta es ley de conservación de la masa. Dentro de una tubería no debe existir almacenamiento de agua de ningún tipo, es decir que al tomar las entradas de flujo con valor positivo, las salidas con valor negativo y hacer un balance de masa, este debe arrojar 0 como resultado; el caudal que está entrando a la tubería a través colectores o de conexiones debe ser el mismo que sale.

Si existen infiltraciones o conexiones erradas en el caso de alcantarillados separados a lo largo de una tubería, el resultado del balance de masa se convierte en un número negativo, porque hay más agua saliendo de la tubería, que la que teóricamente está entrando en ella a través de colectores o conexiones legales. Dado el caso que existan exfiltraciones o taponamientos que formen remansos a lo largo de la tubería, el balance de masa arroja un valor positivo, pues al final de la tubería está saliendo menos flujo del que entra en ella.

El monitoreo de flujo debe realizarse durante las horas de la noche, que es cuando menos variación hay en la evacuación de aguas residuales, para establecer la variación debido a las infiltraciones; y durante períodos de lluvia, para poder determinar la respuesta del sistema ante tormentas y poder cuantificar las variaciones debido a conexiones erradas.

Si se detecta que la tasa de infiltración es muy grande, se procede a realizar una prueba con trazadores para detectar los puntos donde se está produciendo y su magnitud. Por otro lado si se detecta una alta influencia en el caudal producto de las conexiones erradas, el procedimiento más sencillo para detectar su origen es una prueba de humo.

Los resultados obtenidos con el monitoreo de flujo deben compararse con variaciones históricas del nivel freático y con información histórica de caudales debidos a tormentas y de escorrentía. Estos datos pueden ofrecer información valiosa sobre como esta operando el sistema y que tan considerable es cada uno de los efectos de infiltraciones, exfiltraciones o conexiones erradas.

6.3. PRUEBA CON TRAZADORES

Las pruebas con trazadores, a través de métodos simples, proporcionan información valiosa para la determinación de la calidad del agua y la detección infiltraciones y exfiltraciones.

Existen dos tipos de prueba con trazadores; en la primera se usan colorantes o tintes para observar trayectorias de flujo y determinar puntos donde se presentan fugas. La segunda corresponde a la medición de la concentración de sustancias a lo largo del tiempo en diferentes puntos de un tramo de estudio, con el fin de determinar la variabilidad dentro del tramo.

Para determinar variaciones en el caudal en las tuberías de alcantarillado se inyecta una sustancia en el pozo de inspección aguas arriba y se hacen mediciones en tantos puntos como se pueda hasta llegar al pozo aguas debajo de la tubería. Es conveniente usar sustancias conservativas o no reactivas, para

garantizar la conservación de la masa a lo largo del tiempo, como Cloruro de Sodio o Rodamina. Las concentraciones de estas sustancias se miden con equipos electrónicos especializados para este fin, que pueden medir la concentración de la sustancia directamente o cambios en la conductividad del fluido. Como la concentración de sales en las aguas residuales normalmente es alta, la prueba generalmente se realiza con sustancias detectables directamente.

La concertación del trazador se expresa de la siguiente forma:

$$c = \frac{Mi}{V} \quad (\text{Ec. 6.1})$$

donde c es la concentración en mg/l, Mi es la masa inyectada, V es el volumen del cuerpo en el que se inyecta. Los valores de concentración se grafican en el tiempo, obteniendo una curva que se asimila a la hidrógrafa de una creciente que empieza en el momento de inyección del trazador y termina cuando la concentración estabiliza cerca del valor base registrado antes de la inyección.

Si los valores registrados de caudal aguas abajo son confiables, se puede determinar la masa de trazador que pasó por ese punto, usando la siguiente ecuación:

$$Ms = \int_{i=0}^{i=Tf} Q_i c_i \quad (\text{Ec. 6.2})$$

donde Ms es la masa de trazador que pasa por el punto de medición, Q_i y c_i corresponden al caudal y la concentración en cada instante de tiempo, registrados en ese punto. Si la masa de trazador aguas abajo es mayor que la masa inyectada, se están presentando infiltraciones en la tubería; por otro lado si es menor que la masa inyectada, quiere decir que existen exfiltraciones.

$M_s > M_i \rightarrow$ Infiltraciones

$M_s < M_i \rightarrow$ Exfiltraciones

Las pruebas con trazadores actualmente se graban con simultáneamente CCTV para detectar los puntos donde se presentan las infiltraciones o exfiltraciones y la causa por la que se presenta, como fisuras, grietas, juntas mal selladas o desalineadas y rupturas.

6.4. PRUEBA DE HUMO

La prueba consiste en aislar una tubería de alcantarillado e inyectar humo no tóxico o algún vapor fácilmente detectable, este se filtra por los defectos de la tubería y sale a la superficie a través del suelo. Sirve principalmente para encontrar la ubicación de las conexiones directas a la tubería, también sirve para detectar los puntos donde la tubería se encuentra rota, tiene sellos deficientes y la existencia de conexiones cruzadas entre el alcantarillado sanitario y el pluvial.

Para efectuar la prueba se necesita un equipo inyector de humo, que básicamente es un compresor que inyecta el humo a presión dentro del alcantarillado. Como los extremos de la tubería se sellan previamente, el humo tiende a salir por donde existan fisuras o fallas que lo permitan.

Este tipo de pruebas generalmente se llevan a cabo durante la temporada seca, pues se necesita que el caudal que esté pasando por las tuberías sea mínimo y se pueda retener; además durante la temporada seca, el nivel freático está más bajo, lo que permita que el humo se filtre a través del suelo con mayor facilidad.

Por lo menos 24 horas antes de la prueba se debe informar a los habitantes de la zona la naturaleza del procedimiento y su razón de ser. También se les deben dar

instrucciones acerca de los trabajos que se deben llevar a cabo si se descubre que el humo llega a entrar en sus casas o a salir a través de bajantes o jardines.

6.5. INSPECCIÓN DE LA RED

El método de inspección empleado depende de factores como el tamaño de la red, los recursos, equipos y tiempo disponible; y de las decisiones que se hayan tomado a partir de los resultados de los pasos anteriores de la Evaluación Integral de Redes.

Generalmente se realiza primero una inspección rápida con un sistema estacionario de CCTV, para comprobar el estado general de la tubería. Posteriormente se realiza la inspección con el sistema móvil de CCTV, que es muy flexible y se ofrecen muchas variaciones. Si por ejemplo, se estableció un nivel alto de infiltraciones en la red pueden utilizarse los complementos para sellado de fisuras in situ, que proveen casi todos los fabricantes. También están disponibles mecanismos para clausurar conexiones erradas.

Si existe la necesidad de cuantificar con precisión las fallas presentes en la red, se pueden emplear complementos como sondeos láser o por sonar, obteniendo además los beneficios que ofrecen los paquetes de software que vienen incluidos con estos sistemas, para el análisis de la información recolectada.

Cuando la información arrojada durante los sondeos genere una incertidumbre muy grande sobre el estado del sistema suelo-tubería, se deben realizar las pruebas pertinentes para poder predecir o descartar la ocurrencia de un colapso del sistema.

Otras estructuras que se deben inspeccionar para determinar el estado de la red, son los pozos de inspección, de su buen estado depende buena parte del funcionamiento de la red. Todos los materiales que se pueden desprender del deterioro de los pozos pueden ocasionar obstrucciones y fallas más adelante dentro de las tuberías. La presencia de ladrillos sueltos, mortero desprendido y la ausencia de cañuelas son indicios de la presencia de problemas aguas abajo.

El estado de los pozos de inspección se puede verificar sin la necesidad de contar con equipo especializado, una inspección visual acompañada de registro fotográfico es suficiente. Para esto deben tenerse muy presentes las normas de seguridad industrial y hacer pruebas para evitar realizar las inspecciones en presencia de gases tóxicos.

6.6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y RECOMENDACIONES

Normalmente se establece un sistema numérico de puntuación para clasificar los activos de la red, asignándole una calificación a cada falla dependiendo de su tipo, magnitud y la influencia que pueda tener en el costo operacional de la red. Dentro del sistema de calificación se incluyen categorías especiales para las tuberías que requieren intervención inmediata.

Con base en la información recopilada y su referenciación geográfica, se determinan las tuberías que necesitan rehabilitación o renovación, la magnitud de la intervención necesaria, el plazo en el que debe realizarse y los métodos disponibles para ello.

6.6.1. Relación Beneficio/Costo

Teniendo en cuenta la información sobre las intervenciones necesarias, los métodos disponibles y sus costos aproximados, se realiza la relación beneficio costo para determinar cual es el método óptimo de renovación/rehabilitación para cada tubería, tomando como base una vida útil aproximada de 20 años e incluyendo su efecto en el ahorro del costo de operación de la red.

Una vez establecida toda la información concerniente a la renovación/rehabilitación de la red, se realiza el plan de intervención. Y se hacen las recomendaciones sobre la operación, el mantenimiento y control sobre la red.

6.6.2. Automatización de Sistemas de Inspección y Evaluación

Durante los últimos años, el desarrollo de las nuevas tecnologías para la inspección, evaluación y renovación de redes ha sido tan rápido, que muchas veces la mayor dificultad en su implementación resulta ser el procesamiento y la interpretación de los resultados arrojados por estos. Esta dificultad radica principalmente en que la información contenida sobre los defectos de las redes en imágenes y su magnitud son muchas veces subjetivas, lo que compromete la toma de decisiones relacionadas con su renovación o rehabilitación.

El llamado de atención de la ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles), sobre el mal estado de la infraestructura en Estados Unidos y Canadá, ha generado una preocupación general dentro de los sectores relacionados con esta. Muchos fabricantes de sistemas de inspección de alcantarillados y centros de investigación están buscando desarrollar métodos eficientes de recolección y

análisis de datos, que ahorren tiempo y eviten las inconsistencias que se pueden presentar debido a la subjetividad de las imágenes.

En el desarrollo de programas automatizados, el principal campo de investigación ha sido la implementación de algoritmos de lógica difusa y redes neuronales, para recolectar, procesar, dividir y buscar patrones dentro de las imágenes⁸. Evitando al máximo la subjetividad en los criterios para la clasificación de fallas, consecuentemente la calificación general de las tuberías y la realización de labores de renovación/rehabilitación, con base en esta calificación. Los procesos de recolección y análisis de la información, podrían llevarse a cabo de forma casi simultánea, lo que minimiza el tiempo de estudio y permite la verificación inmediata de los resultados.

Además se espera poder optimizar los análisis de costos, acerca de las decisiones tomadas a partir de los resultados de las inspecciones, para realizar las acciones en el menor plazo posible.

A continuación se presenta en la Figura 8, el resumen de la metodología de Inspección y Evaluación Integral de Redes, mediante un diagrama de flujo que permite aplicar de forma flexible los métodos complementarios al CCTV, para obtener en conjunto los mejores resultados a partir de cada uno de estos.

⁸ (CHAE, et al. 2002)

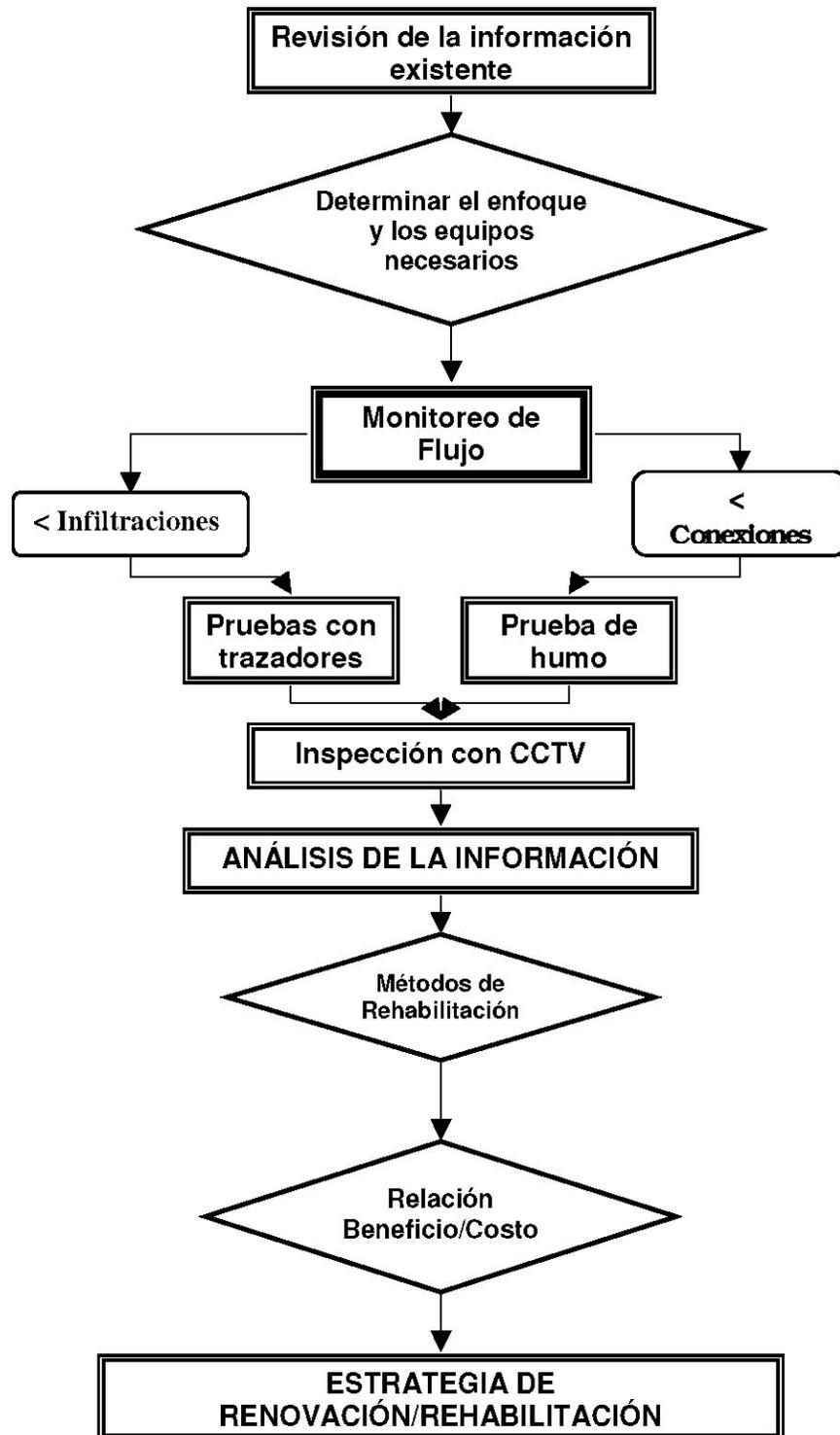


Figura 8. Diagrama de flujo para la Inspección de Redes de Alcantarillado.

7. METODOLOGÍA APLICADA POR LA EAAB-ESP PARA LA INSPECCIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB-ESP comenzó la inspección y reparación de redes de alcantarillado basándose en el sistema de CCTV, en el año 2000. Con el comienzo de la utilización de esta tecnología, la Dirección de Mantenimiento de Alcantarillado redactó el documento: Operación de Equipos de Circuito Cerrado de Televisión de Propiedad de la EAAB-ESP. Este documento dio paso a la creación de la NORMA TÉCNICA DE SERVICIO NS-058: “Aspectos Técnicos para Inspección y Mantenimiento de Redes y Estructuras de Alcantarillado”, que tomó vigencia a mediados del año 2002.

7.1. NORMA TÉCNICA DE SERVICIO NS-058 EAAB-ESP

La NORMA TÉCNICA DE SERVICIO NS-058 reglamenta la inspección y mantenimiento de redes de alcantarillado de forma preventiva y correctiva. En esta el mantenimiento de redes de alcantarillado se define como “la ejecución de labores de limpieza y/o rehabilitación de redes”⁹. Las labores de limpieza consisten en la remoción de cualquier material que obstruya la tubería causando interrupciones parciales o totales al flujo de agua dentro del alcantarillado y dependiendo de las características de la tubería y su grado de obstrucción se puede requerir de recursos humanos o mecánicos para su rehabilitación.

7.1.1. Grados de Obstrucción de la Tubería

⁹ EAAB-ESP, NS-058. Pág. 3

El primer parámetro que se define como daño dentro de una tubería y que se debe tener en cuenta durante las inspecciones, es el grado de obstrucción. Existen tres grados: Puntual, es una obstrucción dentro de un tramo con material ubicado dentro de la tubería; Parcial, es una obstrucción de mayor longitud que la puntual; Total, es la obstrucción del tramo, que imposibilita el flujo. La obstrucción de las tuberías ocasiona represamientos de flujo y puede causar desbordamientos, inundaciones y rebosamientos.



Figura 9. Obstrucción puntual.



Figura 10. Obstrucción parcial.

En el numeral 4.2.8 de la norma NS-058 se definen los métodos de inspección apropiados según el diámetro de las tuberías. Las tuberías con diámetros menores a 36” solo pueden inspeccionarse mediante equipos especializados como CCTV, mientras que las de diámetros a partir de 36” pueden inspeccionarse directamente o con equipos especializados.

7.1.2. Aspectos Preliminares para la Inspección de Alcantarillados

Se define la inspección de una red como: “la revisión del estado constructivo, operativo, hidráulico y estructural de las mismas con el fin de evaluar daños, obstrucciones, conexiones erradas y otras alteraciones en las redes o estructuras”.

La inspección de redes debe realizarse primero externamente y antes de la inspección interna, deben seguirse una serie de pasos para asegurar la seguridad de los operarios y del equipo. También se deben verificar condiciones del clima en el sitio y posibles lluvias en zonas afluentes para evitar la presencia de altos flujos que puedan arrastrar el equipo o a los operarios en el momento de la inspección.

Para esto se toman medidas como desvío de cauces y manejo de aguas, previos a la inspección.

Algunas consideraciones importantes son:

Realizar la limpieza y la verificación de obstrucciones con menos de 72 horas de antelación a la inspección para evitar que se presenten depósitos en el período entre la limpieza y la inspección.

Determinar la composición de las aguas residuales, la presencia de gases tóxicos o piedras y peligros de caída. Para tomar las medidas necesarias antes de la inspección, como equipo de ventilación.

Si se necesita que la red se encuentre libre de aguas residuales pueden desviarse, retenerse temporalmente o bombearse. Estos procedimientos se regulan a través de la norma NS-069 “Manejo de Aguas y Desvío de Cauces”.

Antes y durante la inspección deben tomarse medidas de protección y seguridad industrial para evitar ambientes explosivos dentro de la tubería. La EAAB-ESP regula estos procedimientos con la norma NS-111 “Requisitos Mínimos de Higiene y Seguridad Industrial en Espacios Confinados”.

7.1.3. Inspección Externa

Consiste en un reconocimiento del terreno donde se encuentran las tuberías a inspeccionar, se establecen los siguientes parámetros como mínimo para inspeccionar:

“Nivel y estado de las tapas de los pozos de inspección; Formación de fisuras en el pavimento de las vías; Hundimientos en el eje de las tuberías; Lugares de agua estancada”.¹⁰

Para detectar a simple vista la presencia de conexiones erradas al alcantarillado pluvial se buscan malos olores del agua en época seca, malos olores a través de sifones o sumideros en predios vecinos y el rebosamiento de las tuberías en época de invierno.

7.1.4. Prueba con Trazadores

Para detectar la presencia de conexiones erradas se realizan pruebas con trazadores. La siguiente es la definición que se da para la prueba con trazadores por parte de la EAAB-ESP:

“Esta prueba debe ser realizada incorporando colorantes de diferentes colores en los diversos desagües domiciliarios tales como inodoros, rejillas, sifones, lavamanos, bajantes, etc. o los sitios de los cuales se supone existe una conexión errada y la posterior verificación visual en el sitio afectado de la aparición de aguas del mismo color”.¹¹

7.1.5. Inspección al Interior de Tuberías

Dependiendo del tipo de tubería y su sección transversal, la inspección puede realizarse de diferentes formas, entre ellas con equipo de CCTV. Los principales aspectos a evaluar cualitativamente durante la inspección son: Obstáculos,

¹⁰ EAAB-ESP, NS-058. Pág. 6

¹¹ EAAB-ESP, NS-058. Pág. 6

deterioro, deformaciones, grietas, juntas defectuosas, conexiones erradas, fugas e infiltraciones.

En tuberías de diámetro mayor a 36” se pueden realizar inspecciones directas, observando los aspectos mencionados en el párrafo anterior, también pueden tomarse muestras para medir parámetros de calidad del agua y biológicos. Estas inspecciones deben documentarse a través de fotografías o filmaciones de los daños detectados.

7.1.6. *Equipo Empleado para las Inspecciones*

En el numeral 4.3.3.2 de la norma NS-058 se establece el equipo mínimo con el que se debe contar para la realización de inspecciones con CCTV.

Sistema de Cámaras de Televisión:

“Este sistema debe incluir: iluminación, equipo de transporte y de guiado que permita la observación de las redes a todo lo largo de su diámetro y el recorrido de distancias entre pozos de inspección, cables con rodillos guía y equipo de medición de longitudes. Adicionalmente debe permitir la toma de fotografías detalladas de los daños encontrados y/o flash de estos daños. El equipo debe ser adaptable a todos los materiales, diámetros y secciones de tubería aceptados por la EAAB-ESP”.¹²

Puesto de Observación y Control:

¹² EAAB-ESP, NS-058. Pág. 8

El puesto de Observación y Control debe contar con dispositivos de mando para el sistema de cámaras, monitor para reproducir imágenes, alimentador de corriente y equipo de grabación de video. Estos equipos deben cumplir con las características nombradas a continuación.

“Los equipos electrónicos ubicados en este puesto de observación deben proyectar los datos de referencia más importantes, como fecha, hora y lugar de la inspección, nombre del objeto de inspección, distancia y número de fotografía en la imagen del monitor. Se recomienda proyectar los nombres de las averías, flechas indicadoras y datos del contador del video”.¹³

7.1.7. Identificación de Defectos en la Redes

Los defectos en las redes se clasifican dependiendo de su ubicación y su magnitud. Esta clasificación se hace simultáneamente a la inspección y al final de la inspección se califica la tubería con base en las fallas encontradas. También se tienen en cuenta la edad y el material de las tuberías.

A cada defecto se le asigna una puntuación, a partir de la cual se hace la calificación de las tuberías. A continuación se presentan los diferentes defectos que se establecen en la Norma NS-058.

¹³ EAAB-ESP, NS-058. Pág. 8

Tabla 1. Defectos internos que se deben detectar durante los sondeos.

| CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL INTERNA | | |
|----------------------------------|---|---------|
| | Defecto | Puntaje |
| 1 | Grieta longitudinal | 2 |
| 2 | Grieta circular | 2 |
| 3 | Grieta oblicua | 2 |
| 4 | Mas de una grieta longitudinal (en 1 metro) | 3 |
| 5 | Mas de una grieta circular (en 1 metro) | 3 |
| 6 | Mas de una grieta oblicua (en 1 metro) | 3 |
| 7 | Fractura longitudinal | 3 |
| 8 | Fractura circular | 3 |
| 9 | Fractura oblicua | 3 |
| 10 | Mas de una fractura longitudinal (en 1 metro) | 4 |
| 11 | Mas de una fractura circular (en 1 metro) | 4 |
| 12 | Mas de una fractura oblicua (en 1 metro) | 4 |
| 13 | Juntas abiertas | 2 |
| 14 | Juntas desplazadas | 2 |
| 15 | Juntas destruidas | 3 |
| 16 | Sello de caucho destruido mal colocado | 1 |
| 17 | Tubería desgastada con hierros a la vista | 3 |
| 18 | Tubería desgastada sin hierros a la vista | 2 |
| 19 | Hueco – grande | 4 |
| 20 | Hueco – medio | 3 |
| 21 | Hueco – pequeño | 2 |
| 22 | Rotura tubería | 40 |
| 23 | Ladrillos quebrados | 2 |
| 24 | Ladrillos desplazados | 2 |
| 25 | Ladrillos sueltos | 2 |
| 26 | Ladrillos perdidos- Estructura en peligro | 4 |
| 27 | Ladrillos perdidos- Estructura aflojada | 3 |
| 28 | Ladrillos perdidos- no efecto estructural | 2 |
| 29 | Pérdida de mortero, estructura muy aflojada | 3 |
| 30 | Pérdida de mortero estructura aflojada | 2 |
| 31 | Pérdida de mortero- no efecto estructural | 1 |
| 32 | Perfil deformado transversalmente. | 3 |
| 33 | Raíces, estructura en peligro | 3 |
| 34 | Raíces, estructura aflojada | 2 |
| 35 | Raíces, no efecto estructural | 1 |
| 36 | Acometida mal montada, estructura en peligro | 3 |
| 37 | Acometida mal montada, estructura aflojada | 2 |
| 38 | Acometida mal montada, no efecto estructural | 1 |

Tabla 2. Defectos externos que deben detectarse.

| CLASIFICACIÓN ESTRUCTURAL EXTERNA | | |
|--|---|---------|
| | Defecto | Puntaje |
| 1 | Arcillas de baja plasticidad | 1 |
| 2 | Arcillas de plasticidad media o alta | 2 |
| 3 | Material de relleno de la tubería | 5 |
| 4 | Subsistencia o vacíos | 1 |
| 5 | Nivel freático por encima de la batea | 1 |
| 6 | Nivel freático por debajo de la batea | 0 |
| 7 | Profundidad de cobertura de tubería mas de un metro | 0 |
| 8 | Profundidad de cobertura de tubería menos de un metro | 1 |
| 9 | Cargas externas arriba de la tubería: canales o ríos | 3 |
| 10 | Cargas externas arriba de la tubería: Ferrocarriles | 4 |
| 11 | Calle deformada | 40 |

Tabla 3. Fallas que afectan el comportamiento hidráulico.

| CALIFICACIÓN HIDRÁULICA | | |
|--------------------------------|--|---------|
| | Defecto | Puntaje |
| 1 | Sedimentos y/o depósitos : mas de 50% área bloqueada | 40 |
| 2 | Sedimentos y/o depósitos : entre 25 y 49% área bloqueada | 3 |
| 3 | Sedimentos y/o depósitos : menos de 25% área bloqueada | 2 |
| 4 | Raíces : mas de 50% área bloqueada | 40 |
| 5 | Raíces : entre 25 y 49% área bloqueada | 3 |
| 6 | Raíces : menos de 25% área bloqueada | 2 |
| 7 | Grasa | 3 |
| 8 | Bloqueo (piedra, etc): mas de 50% área bloqueada | 40 |
| 9 | Bloqueo (piedra, etc): entre 25 y 49% área bloqueada | 3 |
| 10 | Bloqueo (piedra, etc): menos de 25% área bloqueada | 2 |
| 11 | Capacidad hidráulica insuficiente, perfil hidráulico arriba del suelo | 40 |
| 12 | Capacidad hidráulica insuficiente, perfil hidráulico arriba de la clave | 3 |
| 13 | Capacidad hidráulica insuficiente, nivel de agua más de 75% del diámetro | 2 |
| 14 | Aguas lluvias en tubería sanitaria | 40 |
| 15 | Aliviadero de aguas negras hasta alcantarillado de aguas lluvias o canal | 40 |
| 16 | Depresión en perfil de la tubería | 3 |
| 17 | Acometida penetrando dentro del tubo | 2 |
| 18 | Frecuentes inundaciones | 40 |
| 19 | Conexión errada (contaminación) | 2 |

Tabla 4. Infiltraciones presentes en las tuberías inspeccionadas.

| INFILTRACIÓN | | |
|--------------|-----------------------------|---------|
| | Defecto | Puntaje |
| 1 | Infiltración chorro de agua | 4 |
| 2 | Infiltración hilo de agua | 3 |
| 3 | Infiltración área mojada | 2 |
| 4 | Indicio de humedad | 1 |

7.1.8. Metodología de Análisis y Calificación de las Tuberías

En las Tablas 1, 2, 3 y 4 se presentan los puntajes que se les dan a cada uno de las fallas allí descritas, estos puntajes varían entre 0 y 4, siendo 0 la ausencia de problemas y 4 un problema mayor. También existe un puntaje excepcional de 40 para algunas fallas, que de inmediato pone en evidencia la necesidad de rehabilitación urgente de la tubería.

Evaluación Estructural

La evaluación estructural interna tiene en cuenta los defectos presentes dentro de las tuberías de ladrillo, concreto y gres. Los puntajes de cada una de las fallas encontradas en un tramo, se multiplican por los puntajes asignados de acuerdo con la edad y el material de la tubería en el tramo, tomando gres como el material más sensible hasta la caja de concreto que se supone más resistente. Estos resultados se suman para obtener el puntaje estructural interno del tramo. Lo mismo ocurre con los puntajes asociados a fallas estructurales externas. El puntaje estructural interno y el puntaje estructural externo de la tubería se suman para obtener el Puntaje Estructural Total.

Evaluación Hidráulica

Esta evaluación agrupa las obstrucciones del flujo debido a sedimentación, presencia de raíces, bloqueos, presencia de grasa, bloqueos y conexiones

erradas. La Calificación Hidráulica del tramo de tubería, se obtiene a partir del puntaje de la falla más grave presente dentro del tramo.

Evaluación de Infiltración

La Calificación Total de Infiltración se obtiene sumando los puntajes de todas las fallas donde se encontraron infiltraciones a lo largo del tramo, ya sea a través de grietas o juntas separadas o mal selladas.

A partir de las calificaciones anteriores (Estructural, Hidráulica e Infiltración) se calculan: Estado Crítico, Necesidad de Rehabilitación y Estado Estructural. Con estos se determina el grado de deterioro de la tubería, que corresponde a una escala de 1 a 5 donde se prioriza la necesidad de tomar medidas de renovación/rehabilitación a cada tramo. Así se concluye la calificación de los tramos de tubería de alcantarillado teniendo en cuenta: la longitud total del tramo, su edad, material, diámetro, tipo de sistema al que corresponde la tubería y el tipo de suelo en el que se encuentra.

Los grados definidos por la EAAB-ESP son:

- GRADO 1

No se encontraron defectos o los pequeños defectos encontrados no son importantes para la estabilidad estructural del sistema.

Se recomienda realizar nuevas inspecciones en un plazo de 3 a 5 años para verificar el estado estructural e hidráulico.

- GRADO 2

Los defectos encontrados presentan una mayor importancia.

Se recomienda realizar nuevas inspecciones en un plazo de 2 a 3 años para verificar el estado estructural e hidráulico.

- GRADO 3

Los defectos encontrados pueden generar problemas de tipo estructural e hidráulico.

Se recomienda realizar nuevas inspecciones y verificar las fallas más importantes en un plazo de 1 a 3 años para verificar que la probabilidad de colapso no ha aumentado.

- GRADO 4

Los defectos encontrados son de gran importancia y pueden generar problemas de tipo estructural e hidráulico.

- GRADO 5

La tubería está colapsada o a punto de colapsar.

Se deben tomar medidas de emergencia y ejecutar los saneamientos y la rehabilitación necesaria de inmediato según el caso, para evitar daños adicionales y poder poner en funcionamiento normal el sistema.¹⁴

¹⁴ EAAB-ESP, NS-058. Pág. 20

7.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA EAAB-ESP

7.2.1. *Metodología de Inspección*

La EAAB-ESP realiza las inspecciones de alcantarillado con Circuito Cerrado de Televisión como método determinante para la evaluación del estado de las redes, limitándose a revisar simplemente el estado estructural de las tuberías. Por lo tanto la metodología contenida en las normas y manuales estudiados, es apropiada para este tipo de inspección, pero no se contemplan métodos alternativos o complementarios.

Los aspectos preliminares contemplados por la EAAB-ESP, son los aspectos básicos que se tienen en cuenta para una inspección de cualquier tipo y su buen seguimiento, asegura que en esta se obtengan buenos resultados. No se hace énfasis a la revisión de la información existente sobre inspecciones anteriores, mantenimientos y reparaciones hechas a la red, pues se da por hecho que dentro de la EAAB-ESP ya se ha hecho dicha revisión.

La realización de la visita previa al sitio y la inspección externa, son muy importantes, porque a partir de estas se determinan problemas que pueden llegar a presentarse durante la inspección y sus posibles soluciones. Durante la visita se puede hacer una inspección con equipo estacionario de CCTV, que ofrece mejores resultados que la inspección visual desde el pozo de inspección. La visita previa debe planearse de acuerdo con el tipo de sistema al que pertenezca la tubería y si su principal fin es detectar las conexiones erradas, es importante tener en cuenta la época del año en que se va a realizar. En épocas secas es más fácil detectar malos olores provenientes de conexiones erradas en un sistema pluvial; mientras que en épocas lluviosas, pueden detectarse aumentos súbitos del caudal

del sistema sanitario con mayor facilidad. La limpieza preliminar de la tubería, garantiza que se pueda realizar la inspección completa de la tubería y no se tenga que interrumpir o demorar.

Cuando se realiza una inspección interna con CCTV, pueden presentarse subjetividades, omisiones y sub-valoración de algunas fallas, pues la efectividad del sistema va de la mano con la experiencia e idoneidad de los operarios. Las normas de la EAAB-ESP, no le dan el alcance suficiente a la definición de las fallas y no se hace referencia a la experiencia de los operarios o la capacitación que deben recibir para la utilización de los equipos. Tampoco se hace mención al uso del software de análisis, que puede llegar a ser una herramienta muy valiosa para ir analizando cada falla a medida que se realiza la inspección; así se ahorra mucho tiempo en el análisis de la información y se pueden hacer las tomas que sean necesarias para determinar con exactitud la naturaleza de cada falla encontrada.

El sistema de calificación es apropiado, sin embargo no se valora la operación de la red, pues las infiltraciones, conexiones erradas y defectos hidráulicos no están muy bien definidos.

Las infiltraciones tienen un criterio de calificación independiente, pero al momento de la calificación final simplemente se toman como parte del estado estructural de la tubería; olvidando su importancia, como una de las principales causas del aumento de los caudales por encima de la capacidad hidráulica. La prueba con trazadores “de colores” enunciada en la norma NS-058, es poco precisa y difícil de realizar, pues se necesita de varios operarios que estén pendientes de la aparición de cada color en el agua de la tubería; usar sustancias no reactivas como Cloruro

de Sodio o Rodamina, permite obtener resultados más precisos para cuantificar la magnitud de las infiltraciones o exfiltraciones, además de su efecto y procedencia.

Las conexiones erradas se toman como un defecto hidráulico, sin importar su tamaño, procedencia o el caudal que puedan aportar a la red. Esta falencia no solo se presenta en las normas de la EAAB-ESP, pues en el título D del RAS-2000 simplemente se limita su presencia a un porcentaje del caudal que puede ser transportado por la tubería, sin una forma clara de cuantificar su aporte y medir el impacto que pueden causar. La mejor forma de cuantificar la magnitud y el impacto generado por las conexiones erradas es realizar monitoreos de flujo; además pueden llevarse a cabo pruebas de humo para determinar su procedencia con facilidad.

De las fallas que afectan el comportamiento hidráulico (dentro de las cuales se contemplan las obstrucciones), solo se toma en cuenta la de mayor magnitud para la calificación final del tramo; es decir que puede haber sedimentos o rocas a todo lo largo de un tramo, sin embargo si ninguna de ellas es lo suficientemente grande, este tramo puede ser calificado con Grado 1, es decir que se realizará una nueva inspección en los próximos 5 años, durante los cuales la acumulación de sedimentos puede llegar a causar obstrucciones importantes y/o colapsos.

Las metodologías de inspección aplicadas por la EAAB-ESP y las normas establecidas para este tipo de trabajos, corresponden a adaptaciones de metodologías internacionales o sugeridas por los fabricantes o proveedores de los equipos. Por consiguiente, los procedimientos que se pueden aplicar están sujetos al acceso que tenga la EAAB-ESP a cada tecnología, o el ofrecimiento por parte de consultores externos, pero no existe una clara evidencia de que se esté innovando en el uso de equipos y tecnologías.

7.2.2. *Análisis de la Realización de las Inspecciones en Bogotá*

Dentro de la información obtenida para la realización de esta investigación, se encuentran fotografías correspondientes a inspecciones hechas en diferentes sectores de Bogotá. Estas fotografías corresponden a tramos de tubería con diferentes edades y materiales, entre ellos Concreto, Gres, Mampostería, PVC-Novafort y Cajas de Concreto, con diámetros entre 8" y 30". Cada uno de estos tramos fue calificado con base en los criterios presentados en el numeral 7.1.8, teniendo en cuenta las fallas encontradas. En la Tabla 5 se presentan los resultados generales del estado de los tramos.

Tabla 5. Resultados Generales de las Inspecciones.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Total |
|-----------------------------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| Estado Crítico | 64.13 | 11.21 | 9.42 | 0.45 | 14.80 | 100.00 |
| Necesidad de Rehabilitación | 70.40 | 9.87 | 5.83 | 1.79 | 12.11 | 100.00 |
| Estado Estructural | 71.30 | 7.17 | 3.59 | 1.35 | 16.59 | 100.00 |

Como se puede observar la mayoría de los tramos inspeccionados solo requiere de nuevas inspecciones en el lapso de 3 a 5 años, esto significa que alrededor de las dos terceras partes de las redes de alcantarillado en Bogotá se encuentran en "perfecto" estado estructural. Sin embargo el análisis de la información posee innumerables fallas que fueron tenidas en cuenta durante la inspección, pero fueron omitidas durante el análisis, además hay sub-valoración de muchas fallas que en poco tiempo pueden desencadenar problemas mayores. También hay evidencia de que en casi ninguna tubería se realizó la limpieza previa 72 horas antes de las inspecciones, pues la presencia de materiales y sedimentos es muy grande.

Dentro de las fallas omitidas se destacan las infiltraciones, la presencia de raíces, obstrucciones, la erosión de la pared interna y depósitos de sedimentos. El criterio principal para decidir que tuberías son inspeccionadas parece ser la edad, sin embargo se encuentran tuberías nuevas de PVC-Novafort, que necesitan intervención inmediata, lo que sugiere que además del deterioro normal que presentan las tuberías debido al uso, es necesario reevaluar las prácticas constructivas y ejercer un mejor control sobre estas.

En el ANEXO I se presentan las fallas más comunes omitidas durante el análisis y otras fallas que no se deben al deterioro normal de la red, sino a efectos externos como erosión del terreno circundante y malas prácticas constructivas.

8. CONCLUSIONES

- Las metodologías y normas aplicadas por la EAAB-ESP, son poco flexibles a la adaptación de métodos complementarios de inspección y evaluación, lo cual es contradictorio; pues al depender de los ofrecimientos de consultores externos y con el rápido avance de la tecnología, debería contemplarse la posibilidad de aplicar métodos alternos y novedosos, sin dejar de lado los tradicionales.
- Los equipos contemplados por la EAAB-ESP, con los que se debe contar en el momento de la inspección son adecuados y suficientes, sin embargo hay que tener en cuenta que la tecnología de recolección y análisis de la información avanza muy rápido. Por este motivo la vida útil de los equipos es muy corta y en poco tiempo pueden convertirse en obsoletos. Para evitar inconsistencias, es necesario actualizar las normas a la par del avance tecnológico de los equipos.
- Dentro de la EAAB-ESP hace falta una mayor capacitación de los empleados en el uso tecnologías alternativas, pues por falta de información se están dejando de lado métodos y procedimientos complementarios que pueden optimizar el uso de estas nuevas tecnologías.
- La sub-valoración de algunas fallas presentes en las redes, puede acarrear problemas severos como obstrucciones, deterioro estructural y colapsos en el corto o mediano plazo. Es necesaria una mejor capacitación de los operadores de los equipos para evitar al máximo la subjetividad y la omisión de fallas en el análisis de la información.

- Como en Colombia, la necesidad de tratamiento de las aguas residuales no se ha generalizado, las decisiones respecto a la rehabilitación o renovación de tuberías, simplemente se están tomando teniendo en cuenta su estado estructural, dejando de lado la operación de la red.
- La influencia de problemas como infiltración y la presencia de un alto número de conexiones erradas en el sistema de alcantarillado, puede llegar a ser determinante en el aumento de los costos de construcción y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. Esto ha llevado a que en Estados Unidos y Europa, las decisiones acerca de las intervenciones a las redes se tomen con base en planes de Evaluación Integral de Redes, contemplando un panorama mucho más amplio que el estado estructural.
- El rumbo que está tomando la inspección y evaluación de redes, comprende además de la evaluación integral, la automatización de los procesos de recolección y análisis de la información, buscando evitar la subjetividad en el reconocimiento de fallas por parte de los operarios, optimizando los recursos y disminuyendo el tiempo y los costos.

9. REFERENCIAS

ASCE; Water Environment Federation. Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation, Second Edition. 1994.

CHAE, Myung Jin; ABRAHAM, Dulcy M. Neuro-Fuzzy Approaches for Sanitary Sewer Pipeline Condition Assessment. Journal of Computing In Civil Engineering. January 2001.

CHAE, Myung Jin; ABRAHAM, Dulcy M; ISELEY, Tom. Automated Defect Assessment for Sanitary Sewer Pipelines. Purdue University. 2002.

CHAPRA, Steven. Surface Water-quality Modeling. McGraw-Hill, Series in Water Resources and Environmental Engineering. 1997.

EAAB-ESP. Norma Técnica de Servicio NS-058: Aspectos Técnicos para Inspección y Mantenimiento de Redes y Estructuras de Alcantarillado. 2002

EAAB-ESP. Operación de Equipos de Circuito Cerrado de Televisión de Propiedad de la EAAB-ESP. Dirección Mantenimiento Alcantarillado. 2000.

FAIR, Gordon C; GEYER, John C; OKUN, Daniel A. Water and Wastewater Engineering, *Volume 1: Water Supply and Wastewater Removal*. Wiley International Edition. 1966.

GARCÍA R, Camilo. Factibilidad Económica de la Renovación de Sistemas de Alcantarillado. Proyecto de Grado, Universidad de Los Andes. 2004.

MAKAR, J. M. Diagnostic techniques for sewer systems. National Research Council Canada. Journal of Infrastructure Systems, v. 5, no. 2, June 1999, pp. 69-78

MILLER, Robert; FORBES, James H. Jr; FAVRE, Tracy. Proper Execution Key to Success of Maintenance Programs. Water World Magazine, June 2002.

REPÚBLICA DE COLOMBIA, Ministerio de Desarrollo Económico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS-2000.

SERNA, Manuel Antonio. Estado del Arte en Nuevas Tecnologías de Inspección y Limpieza de Sistemas de Alcantarillado y su Efecto en el Diseño y la Normatividad de Pozos de Inspección. Proyecto de Grado, Universidad de Los Andes. 2003.

SHEHAB-ELDEEN, T; MOSELHI, O. Automated Inspection of Utility Pipes: A Solution Strategy for Data Management. International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 19th (ISARC). Proceedings. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. September 23-25, 2002, 531-536 pp, 2002.

SIRNA, Norman A; FAVRE, Tracy. Pipe Repair Systems – Choosing the Right Rehabilitation Method. Water World Magazine, April 2001.

PÁGINAS DE INTERNET

<http://ebiz.diamondpower.com/DP/DiamondElectronics/profile/> fecha de consulta 15 de marzo de 2005.

http://eltiempo.terra.com.co/naci/2005-06-02/ARTICULO-WEB-_NOTA_INTERIOR-2090485.html fecha de consulta 3 de junio de 2005.

<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/apwa/apwasewers3.pdf> fecha de consulta 11 de abril de 2005.

<http://trenchless-technology.org/canguide.html> fecha de consulta 28 de marzo de 2005.

http://www.aegis.net.au/AMS4_body.html fecha de consulta 29 de marzo de 2005.

<http://www.asce.org/reportcard/2005/index.cfm> fecha de consulta 16 de marzo de 2005.

http://www.cdmb.gov.co/conexiones/conexion_errada.htm fecha de consulta 15 de marzo de 2005.

<http://www.ci.berkeley.ca.us/pw/sewers/sewinfo.html> fecha de consulta 21 de febrero de 2005.

<http://www.ci.fullerton.ca.us/engineering/pdd/sewers.html> fecha de consulta 11 de abril de 2005.

<http://www.cobratec.com/> fecha de consulta 2 de febrero de 2005.

<http://www.cuesinc.com/Default.htm> fecha de consulta 3 de mayo de 2005.

<http://www.esri.com/news/arcnews/winter0304articles/fenton-township.html> fecha de consulta 29 de marzo de 2005.

<http://www.gisdevelopment.net/proceedings/gita/2002/apptool/gita2002008.shtml> fecha de consulta 28 de marzo de 2005.

<http://www.gocolumbiamo.com/PublicWorks/Sewer/sewmnt10.html> fecha de consulta 22 de febrero de 2005.

http://www.obg.com/infocenter/whitepapers/whitepaper_sewer_eval.asp fecha de consulta 21 de febrero de 2005.

<http://www.pearpoint.com/> fecha de consulta 1 de febrero de 2005.

<http://www.pearpoint.com/san%20diego%20canyon%20project.pdf> fecha de consulta 11 de abril de 2005.

<http://www.rjn.com/Arlington/joescreekpj.html> fecha de consulta 16 de marzo de 2005.

<http://www.severntrentservices.com/> fecha de consulta 15 de marzo de 2005.

<http://www.sewercenter.co.uk/> fecha de consulta 2 de febrero de 2005.

ANEXO I



Figura 11. Presencia de Raíces dentro de la tubería.



Figura 12. Obstrucción puntual debido a una piedra, no se realizó limpieza previa.



Figura 13. Presencia de Raíces e infiltraciones en una junta.



Figura 14. Erosión en la parte superior de la tubería, debido a la acumulación de gases.

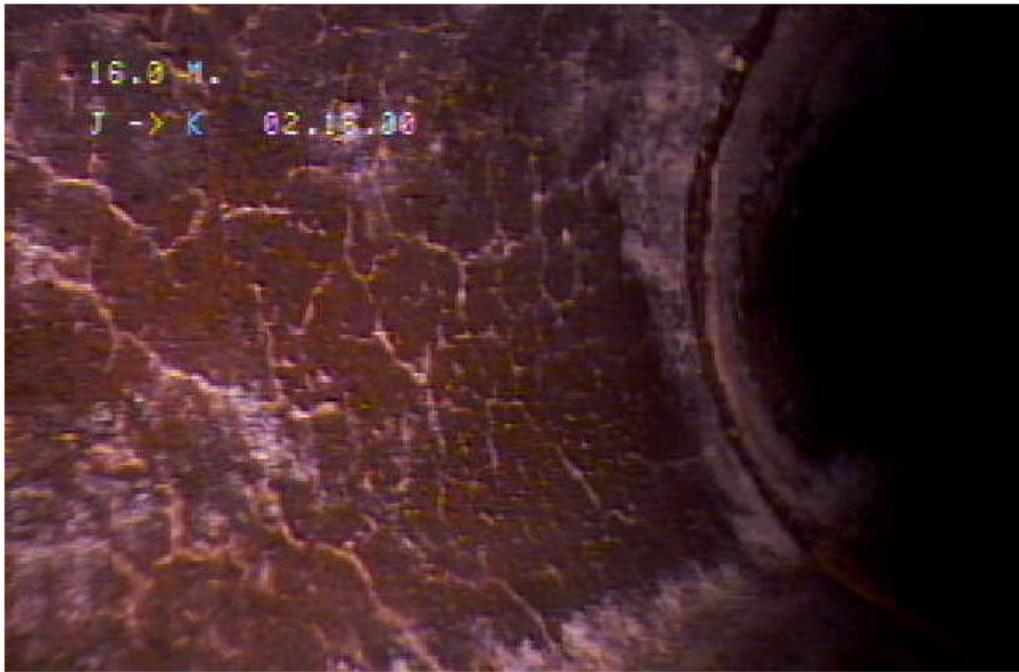


Figura 15. Grietas causadas por el deterioro de la tubería debido a la acumulación de gases.



Figura 16. Junta rota en tubería de PVC.



Figura 17. Reparación mal efectuada a una tubería de PVC.