

Universidad de los Andes
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Centro de Investigación en Acueductos y
Alcantarillados
CIACUA



CÁTEDRA PAVCO

**INFILTRACIÓN Y CAUDALES
INCONTROLADOS EN SISTEMAS DE
ALCANTARILLADO**

Informe Final

Bogotá, Junio de 2008

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1	ANTECEDENTES	5
1.2	OBJETIVOS	6
1.2.1	<i>Objetivo General</i>	6
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	6
1.3	CONTENIDO DEL INFORME.....	7
1.4	EQUIPO DE TRABAJO	8
1.4.1	PAVCO S.A.	8
1.4.2	Universidad del Los Andes.....	8
2	MARCO TEÓRICO.....	9
2.1	DEFINICIONES	9
2.2	GENERALIDADES	9
2.2.1	<i>Problemas generados por la infiltración y los caudales incontrolados</i>	11
2.2.1.1	Problemas estructurales	11
2.2.1.2	Problemas hidráulicos y ambientales	16
3	VALORACIÓN DEL PROBLEMA	19
3.1	METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA INFILTRACIÓN Y LOS CAUDALES INCONTROLADOS.....	19
3.1.1	<i>Metodología basada en el uso de SIG</i>	19
3.1.2	<i>Metodología de evaluación basada en la cantidad y la calidad de las aguas residuales</i>	23
3.2	IDENTIFICACIÓN DE FUENTES.....	25
3.2.1	<i>Inspección visual de cámaras y tuberías</i>	26
3.2.2	<i>Prueba de inyección de humo</i>	28
4	TÉCNICAS DE MITIGACIÓN Y CORRECCIÓN DEL PROBLEMA DE LA INFILTRACIÓN Y LOS CAUDALES INCONTROLADOS	33
4.1	ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE AGUAS DE DRENAJE URBANO	33
4.1.1	<i>Almacenamiento temporal subterráneo</i>	34
4.1.1.1	Tanques en concreto	35
4.1.1.2	Módulos plásticos.....	36
4.1.2	<i>Consideraciones generales de diseño</i>	37
4.1.2.1	Ubicación del sistema.....	37
4.1.2.2	Infiltración a través del suelo	37
4.1.2.3	Atenuación.....	38
4.2	TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN Y RENOVACIÓN DE TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO	42
4.2.1	<i>Renovación con zanja</i>	42
4.2.1.1	Renovación con zanja estrecha.....	43
4.2.1.2	Renovación con zanja abierta.....	43
4.2.1.3	Rompimiento de la Tubería (Pipe Bursting).....	43
4.2.2	<i>Rehabilitación</i>	44
4.2.2.1	Inserción de revestimiento (sliplining).....	45
4.2.2.2	Inserción de revestimiento en espiral (Spiral Wound Lining).....	45
4.2.2.3	Inserción de revestimiento con sección transversal modificada (U Lining).....	46
4.2.2.4	Inserción de revestimiento con sección transversal modificada por reducción simétrica del diámetro (Swagelining).....	47
4.2.2.5	Inserción de revestimiento con sección transversal modificada por reducción simétrica del diámetro (Rolldown).....	48
4.2.2.6	Tuberías curadas en el sitio (Cured in Place Pipe).....	48
4.3	REHABILITACIÓN Y RENOVACIÓN DE CÁMARAS DE INSPECCIÓN	49
4.3.1	<i>Mejoramiento de la superficie interna de las cámaras de inspección</i>	49
4.3.1.1	Aplicación de morteros.....	50

4.3.1.2	Aplicación de epóxicos	50
4.3.1.3	Instalación de bolsas de polietileno	50
4.3.2	<i>Instalación y reemplazo por cámaras de inspección de materiales plásticos</i>	51
4.4	SELLADO DE DEFECTOS QUE PERMITEN INFILTRACIÓN	52
4.4.1	<i>Lechado, Sellado y Aplicación con Rocío</i>	52
4.4.2	<i>Reparación con Robots</i>	54
4.4.3	<i>Sellado con Articulaciones (LINK PIPE)</i>	54
4.4.4	<i>Tubería Endurecida en el Punto de Aplicación</i>	56
5	CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN LA ETAPA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	57
5.1	COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES UTILIZADOS EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO	57
5.2	NORMAS Y ESPECIFICACIONES QUE DEBEN SER TENIDAS EN CUENTA EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA	59
6	PLANES DE MANEJO DE INFILTRACIÓN Y CAUDALES INCONTROLADOS EN ALCANTARILLADOS	63
6.1	PROCESOS DE MANEJO DE LA INFILTRACIÓN Y LOS CAUDALES INCONTROLADOS	63
6.1.1	<i>Evaluación del sistema de alcantarillado de agua residual</i>	63
6.1.2	<i>Mediciones de flujo y análisis</i>	64
6.1.3	<i>Detección de fuentes</i>	64
6.1.4	<i>Evaluación</i>	65
6.1.5	<i>Consulta y educación a la comunidad</i>	65
7	CONCLUSIONES	66
8	RECOMENDACIONES	67
9	REFERENCIAS	68

Índice de Figuras

FIGURA 2-1 RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL Y SANITARIO.....	10
FIGURA 2-2 PRINCIPALES FUENTES DE INFILTRACIÓN Y CAUDALES INCONTROLADOS EN LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO.	11
FIGURA 2-3 ACCIÓN DEL SUELO SOBRE EL TUBO.	12
FIGURA 2-4 DEFORMACIÓN DE TUBERÍAS CON GRIETAS.	13
FIGURA 2-5 COLAPSO DE UNA RED DE ALCANTARILLADO.....	14
FIGURA 2-6 FALLA INICIAL DE LA TUBERÍA AUMENTANDO EL PROCESO DE INFILTRACIÓN.	15
FIGURA 2-7 COLAPSO TOTAL DE UNA VÍA DEBIDO AL PROCESO DE INFILTRACIÓN.	15
FIGURA 2-8 CICLO HIDROLÓGICO EN ZONAS QUE NO HAN SIDO URBANIZADAS.	16
FIGURA 2-9 CICLO HIDROLÓGICO EN ZONAS QUE HAN SIDO URBANIZADAS.....	17
FIGURA 2-10 COMPARACIÓN DE HIDROGRAMAS ANTES Y DESPUÉS DEL PROCESO DE URBANIZACIÓN.	17
FIGURA 2-11 SOBRECARGA DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO.	18
FIGURA 3-1 USO DE SIG EN LA VALORACIÓN DEL PROBLEMA DE INFILTRACIÓN Y CONEXIONES ERRADAS.....	20
FIGURA 3-2 EJEMPLO TÍPICO DE UNA HIDRÓGRAFA CON PROBLEMAS DE INFILTRACIÓN Y CAUDALES INCONTROLADOS (I/I).....	21
FIGURA 3-3 REGRESIONES ELABORADAS CON LOS CAUDALES Y LA INTENSIDAD DE LA LLUVIA CORRESPONDIENTE.	22
FIGURA 3-4 FLUJOGRAMA DE PROCESOS DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD Y LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES.	25
FIGURA 3-5 TAPA DE CÁMARA DE INSPECCIÓN.....	26
FIGURA 3-6 PRINCIPALES PROBLEMAS EN CÁMARAS DE INSPECCIÓN.....	27
FIGURA 3-7 INSPECCIÓN CON INYECCIÓN DE HUMO.....	29
FIGURA 3-8 UBICACIÓN DE PUNTOS DE FUGA DE HUMO.....	31
FIGURA 3-9 MODELO DE COMUNICADO QUE INFORMA SOBRE LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE HUMO.....	32
FIGURA 4-1 HIDROGRAMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL.....	34
FIGURA 4-2 HIDROGRAMA CON ÚNICO CAUDAL DE SALIDA.	34
FIGURA 4-3 TANQUE DE ALMACENAMIENTO PREFABRICADO.	35
FIGURA 4-4 ESQUEMA DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO.....	36
FIGURA 4-5 SISTEMA DE MÓDULOS PLÁSTICOS.	36
FIGURA 4-6 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ATENUACIÓN	38
FIGURA 4-7 MÉTODO DEL HIDROGRAMA.	39
FIGURA 4-8 MÉTODO DEL HIDROGRAMA TRIANGULAR.....	39
FIGURA 4-9 GRÁFICA DEL MÉTODO DEL SCS.....	40
FIGURA 4-10 INSTALACIÓN DE PIPE BURSTING LOGRANDO RENOVACIÓN CON MAYOR DIÁMETRO.....	44
FIGURA 4-11 ANTES Y DESPUÉS DEL PROCESO DE REHABILITACIÓN DE UNA TUBERÍA.....	45

FIGURA 4-12 TÉCNICA DE HALADO PARA EL DESLIZAMIENTO DE TUBERÍA.	45
FIGURA 4-13 MAQUINA ROTATORIA DE REVESTIMIENTO EN ESPIRAL.	46
FIGURA 4-14 INSERCIÓN POR EL MÉTODO SUBLINE. (URBAN UTILITY CENTER).....	47
FIGURA 4-15 ALGUNOS EQUIPOS APLICADOS EN SWAGELINING. (SWAGELINING TM).	47
FIGURA 4-16 PROCESO DE REDUCCIÓN SIMÉTRICA DEL DIÁMETRO TÉCNICA DE ROLLDOWN.	48
FIGURA 4-17 PRINCIPIO DE LA INSERCIÓN DE CIPP.....	49
FIGURA 4-18 APLICACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO PARA REHABILITACIÓN DE CÁMARAS DE INSPECCIÓN. .	50
FIGURA 4-19 ANTES Y DESPUÉS DE INSTALAR LA BOLSA DE POLIETILENO.	51
FIGURA 4-20 JUNTA SELLADA QUÍMICAMENTE.	52
FIGURA 4-21 PROCESO DE LECHADO SELLADO Y APLICACIÓN POR ROCÍO.....	53
FIGURA 4-22 SELLADO DE FUGAS LOGRADO A PARTIR DE RESINAS DE PENETRACIÓN INSERTADAS MANUALMENTE.	53
FIGURA 4-23 REHABILITACIÓN CON MÉTODOS ROBÓTICOS.	54
FIGURA 4-24 LINK PIPE FASE 2.	55
FIGURA 4-25 LINK PIPE FASE 3.	55
FIGURA 4-26 LINK PIPE FASE 5.	56
FIGURA 4-27 ESQUEMA DEL SISTEMA DE REPARACIÓN PUNTUAL INTERNA POR CIPP.....	56
FIGURA 5-1 EVOLUCIÓN DE LOS LÍMITES PERMISIBLES DE INFILTRACIÓN EN LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO EN ESTADOS UNIDOS.....	59
FIGURA 5-2 MEDICIÓN DE LA INFILTRACIÓN EN CAMPO.	61
FIGURA 5-3 INSTALACIÓN DEL VERTEDERO Y DETALLES	61
FIGURA 6-1 PLAN DE MANEJO DE LA INFILTRACIÓN Y LOS CAUDALES INCONTROLADOS	64

Índice de Tablas

TABLA 3-1 CLASIFICACIÓN DE LAS CUENCAS SEGÚN ESTADO Y SU OPCIÓN DE REHABILITACIÓN.	22
TABLA 5-1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES MATERIALES.....	58
TABLA 5-2 VALORES DE INFILTRACIÓN DEPENDIENDO DEL MATERIAL DE LA TUBERÍA.	59
TABLA 5-3 PRUEBAS DE HERMETICIDAD PARA ACEPTACIÓN DE TRAMOS NUEVOS DE ALCANTARILLADO.	62

1 Introducción

En las redes de alcantarillado la infiltración generalmente es síntoma de alguna falla, generalmente estructural, en los componentes del sistema de alcantarillado; tuberías que por errores técnicos en la instalación o por cumplimiento de su vida útil se encuentran defectuosas o en mal estado, juntas de tubería inadecuadas, conexiones domiciliarias mal construidas, cámaras de inspección sin tapa o mal construidas.

Por medio de la infiltración y las conexiones erradas ingresa a las redes de alcantarillado agua lluvia o subterránea que incrementa la carga hidráulica que estas pueden soportar. Cuando esto sucede el agua sale del sistema hacia las calles provocando en los casos más extremos inundaciones.

Dicho desbordamiento de los sistemas de alcantarillado de agua residual tiene un efecto económico negativo, ya que incrementa los costos en limpieza urbana y en reparación de las tuberías averiadas de las redes de alcantarillado. Además, se presenta un problema ambiental, ya que al desbordarse el sistema de alcantarillado se exponen al ambiente agentes patógenos que, de llegar a fuentes de agua las puede contaminar provocando graves problemas en la salud pública.

Adicionalmente la infiltración reduce la carga orgánica transportada hacia las plantas de tratamiento, las cuales a su vez disminuyen su eficiencia sustancialmente debido a la dilución de la dicha carga contenida en las aguas residuales, lo que probablemente puede generar un aumento en el pago de la tasa retributiva por parte del ente prestador del servicio.

De otro lado los caudales incontrolados generados por las llamadas Conexiones Erradas, son todas aquellas contribuciones adicionales de caudal debido al aporte de aguas pluviales en la red de alcantarillado de aguas residuales, a través de diferentes puntos en la red, especialmente en conexiones domiciliarias mal construidas.

Por lo mencionado anteriormente en la presente investigación, se pretende dar recomendaciones claras y precisas en cuanto al diseño, construcción y operación de los sistemas de alcantarillado, de tal manera que se minimicen los problemas generados por la infiltración y los caudales incontrolados.

1.1 Antecedentes

La investigación sobre la infiltración en sistemas de alcantarillados forma parte de los proyectos de investigación que desarrolla el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados (CIACUA) de la Universidad de los Andes a través de la “Cátedra PAVCO”, para el año 2008.



Las siguientes tesis, realizadas en la Universidad de los Andes, son algunas referencias que se pueden tomar como antecedentes relacionados con el problema de infiltración en sistemas de alcantarillado.

- *En el 2007:* Se desarrolló la Tesis “*Determinación del estado de redes de alcantarillado y su necesidad o no de ser sometidas a renovación/rehabilitación teniendo en cuenta su comportamiento hidráulico. Caso de estudio ciudad de Tunja*”; este trabajo evaluó la posibilidad de que la toma de decisiones relacionada con el mantenimiento correctivo anticipado o reposición total de tramos de la red de alcantarillado de la ciudad se haga con metodologías económicas. La metodología usada se basó en mediciones de calidad y cantidad de agua como indicadores del estado de las redes, ya que las prácticas de ingeniería han llevado a relacionar los aumentos rápidos y excesivos de los caudales de infiltración con el momento de ejecutar actividades tendientes al mantenimiento correctivo (rehabilitación) o al cambio total (renovación) de las redes de alcantarillado.
- *En el 2007:* Se desarrolló la Tesis “*Determinación de la viabilidad técnica y económica de un sistema de almacenamiento temporal de aguas de drenaje urbano para la ciudad de Bogotá*”, en este trabajo se estudió una de las tecnologías utilizadas para disminuir los riesgos de inundación, las cuales hacen referencia al almacenamiento del agua lluvia en depresiones y su posterior disminución a través de infiltración o evaporación. De esta manera, se logra la reducción de los caudales pico y la mejora en la calidad del agua.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar una revisión a las técnicas de control de los caudales generados por la infiltración y caudales incontrolados en los sistemas de alcantarillado con el fin de generar un documento que sirva como guía para la operación y mantenimiento, tanto preventivo como correctivo de dichos sistemas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Presentar los problemas potenciales que puede generar el proceso de infiltración y caudales incontrolados.
- Presentar diferentes metodologías de evaluación del problema de la infiltración y los caudales incontrolados.
- Recomendar técnicas de manejo preventivo y correctivo para controlar el problema.

- Recomendar las mejores técnicas de diseño y construcción teniendo en cuenta materiales y procedimientos constructivos para evitar la presencia de infiltración y caudales incontrolados.

1.3 Contenido del Informe

El presente informe contiene los resultados de la investigación “*Infiltración y caudales incontrolados en sistemas de alcantarillado*”, realizado por la Universidad de los Andes y PAVCO S.A.

En este numeral se describe el contenido particular de cada uno de los capítulos que conforman el informe final de la investigación.

En el Capítulo 1 se realiza una descripción general del contenido del informe, los antecedentes, y los objetivos de la investigación, así como el personal involucrado durante la misma.

En el Capítulo 2 se hace una descripción general del problema de la infiltración y los caudales incontrolados, presentando los diferentes errores, tanto constructivos como de operación, que pueden generar dicho problema y además los diferentes consecuencias y problemas generados por este problema.

En el Capítulo 3 se explican de manera detallada los procedimientos tecnología utilizados con el fin de valorar el problema e identificar las fuentes de ingreso de estos caudales al sistema.

En el Capítulo 4 se muestran las técnicas que pueden ser utilizadas para mitigar y corregir el problema, tales como almacenamientos temporales y técnicas de rehabilitación y renovación de tuberías y cámaras de inspección.

En el Capítulo 5 se describen algunas de las consideraciones a tener en cuenta, tanto en la etapa de diseño como construcción, tales como la escogencia de materiales que minimicen la vulnerabilidad del sistema a presentar el problema de la infiltración. Además se presentan algunas de las normas aplicables en algunos países, incluyendo Colombia, que regulan tanto la etapa diseño como constructiva.

En el Capítulo 6 se presenta una herramienta de gestión que puede ser utilizada por las empresas prestadoras del servicio, con el fin de manejar y controlar el problema de la infiltración y los caudales incontrolados.

En el Capítulo 7 se exponen las conclusiones y recomendaciones encontradas durante el desarrollo de la investigación.



1.4 Equipo de Trabajo

El equipo de trabajo del proyecto *“Infiltración y caudales incontrolados en sistemas de alcantarillado”* estuvo conformado por personal de PAVCO S.A. y un equipo de trabajo de la Universidad de los Andes. Las personas vinculadas al proyecto se mencionan a continuación.

1.4.1 PAVCO S.A.

Gerente General Tubosistemas AMANCO Colombia

Carlos M. González Vega

Director Comercial y de Mercadeo

Ernesto Guerrero Molina

Gerente Técnico Infraestructura

Enrique Gonzáles.

Gerente de Producto

Inés Elvira Wills.

Asistente de Mercadeo

Zoraida Castro.

1.4.2 Universidad del Los Andes

El equipo de trabajo conformado por parte de la Universidad de los Andes estuvo conformado por Asistentes Graduados (Ingenieros Estudiantes de Maestría en Ingeniería Civil y Maestría en Ingeniería Ambiental) y monitores de investigación (estudiantes de pregrado en Ingeniería Civil y en Ingeniería Ambiental).

Director del Proyecto

Ing. Juan G. Saldarriaga.

Investigadores

Ing. Fabio Amador Berrio.

Coordinadora de Operaciones

Mireya Perafán.

Asistentes Graduados

Ing. Julián Arbelaez Salazar.

Ing. María Fernanda Acero.

Ing. Ivonne Navarro Pérez.

Monitores de Investigación

Juan Camilo Rueda Ariza.

2 Marco Teórico

En este capítulo se hace una descripción general del problema de la infiltración y los caudales incontrolados, presentando los diferentes errores, tanto constructivos como de operación, que pueden generar dicho problema y además las diferentes consecuencias de tener un sistema de alcantarillado que presente incremento en la carga hidráulica transportada debido al incremento de caudal generado por la infiltración y los caudales incontrolados.

2.1 Definiciones

- **Infiltración:** Se denomina infiltración en los sistemas alcantarillado al proceso por el cual ingresa agua a la red a través de las uniones de las tuberías, o rupturas que no son reparadas a tiempo generando una sobrecarga del sistema.
- **Caudal de infiltración (Q_i):** Volumen de agua por unidad tiempo que entra en las tuberías de alcantarillado debido a imperfecciones en el material o problemas en las uniones de los diferentes elementos del sistema.
- **Caudales incontrolados:** Son los caudales generados por las llamadas Conexiones Erradas, los cuales son todas aquellas contribuciones adicionales de caudal debido al aporte de aguas pluviales en la red de aguas sanitarias y viceversa, a través de diferentes puntos en la red, especialmente en conexiones domiciliarias mal construidas.
- **Caudal de saturación** Caudal que corresponde a las condiciones máximas de desarrollo.

2.2 Generalidades

Los sistemas de alcantarillado son diseñados para transportar una cantidad de agua, ya sea residual o lluvias, hacia los sitios de tratamiento y disposición final, a través de sus diferentes componentes, los cuales se pueden apreciar en la Figura 2-1, en donde se muestra un sistema correctamente construido.

En la etapa de construcción pueden existir ciertos errores, tales como conexiones erradas, juntas mal elaboradas, tanto entre tuberías como entre tuberías y cámaras de inspección, domiciliarias mal elaboradas y grietas o juntas no herméticas en las cámaras de inspección. (Ver Figura 2-2). Estos defectos en el sistema son fuentes potenciales de contribuciones de caudal por infiltración y caudales incontrolados, debido al ingreso de aguas lluvias y freáticas respectivamente. Este proceso es mundialmente conocido como I/I (Infiltration and inflow) por sus siglas en inglés.

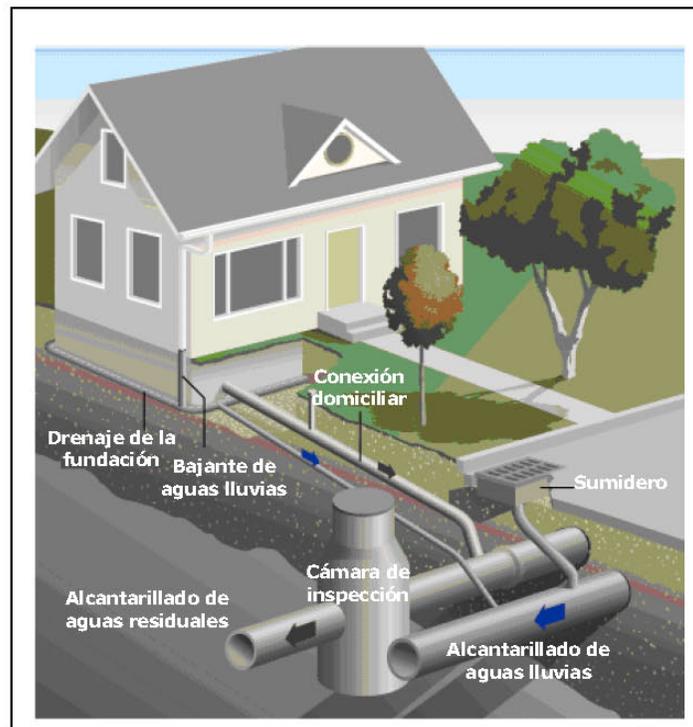


Figura 2-1 Red de alcantarillado pluvial y sanitario².

La cantidad de agua que ingresa al sistema debido a estos errores depende de una gran cantidad de características físicas de este como del lugar donde está instalado, es decir, tipos de suelos, profundidades y longitudes de las tuberías de alcantarillado.

Los problemas asociados con la infiltración y los caudales incontrolados incluyen uno o más de los siguientes:

- Sobrecargas incontroladas.
- Levantamiento de cimientos.
- Impactos hidráulicos a unidades de tratamiento.
- Deterioro del sistema.

Por tanto la necesidad de reducir, controlar y manejar este problema en sistemas de recolección de aguas residuales se está convirtiendo en una prioridad para muchas ciudades, municipios y empresas prestadoras del servicio a nivel mundial.

² Modificada de http://www.crd.bc.ca/wastewater/documents/sources_000.pdf

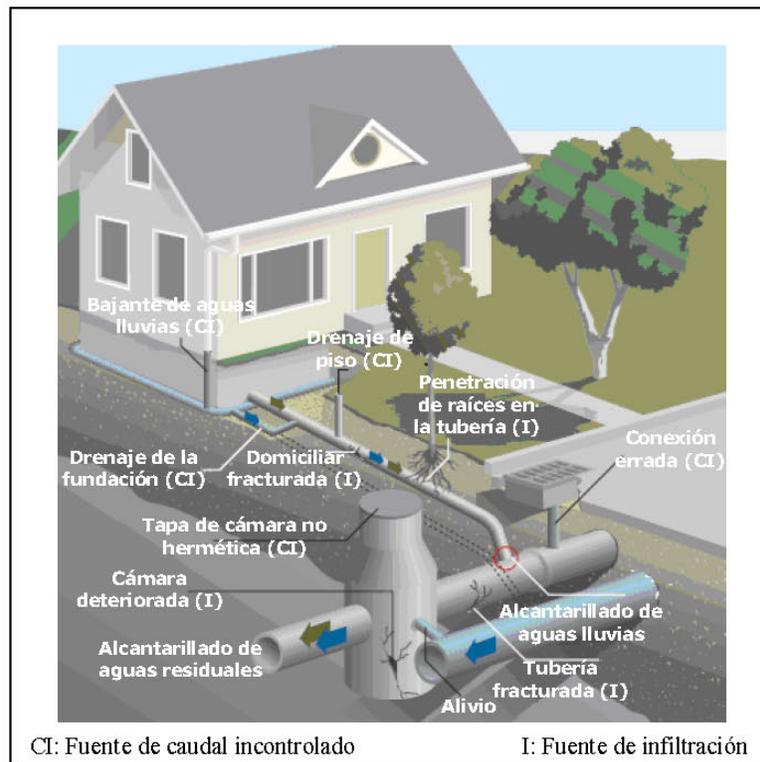


Figura 2-2 Principales fuentes de infiltración y caudales incontrolados en los sistemas de alcantarillado³.

2.2.1 Problemas generados por la infiltración y los caudales incontrolados

2.2.1.1 Problemas estructurales

En el pasado los sistemas de alcantarillado eran construidos de materiales tales como arcilla vitrificada y concreto. Actualmente se están construyendo con materiales que incluyen materiales plásticos, hierro dúctil, acero y concreto reforzado, estos materiales tienen una adecuada resistencia a la compresión y poco a la tracción, por tanto están usualmente diseñadas para resistir la carga vertical soportada sobre ellas, tal como se muestra en la Figura 2-3 .

³ Modificada de http://www.crd.bc.ca/wastewater/documents/sources_000.pdf

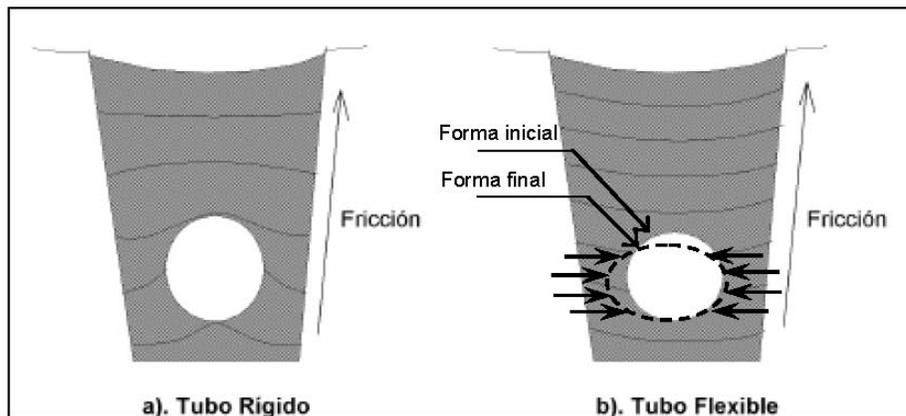


Figura 2-3 Acción del suelo sobre el tubo⁴.

La interacción entre el alcantarillado y el suelo circundante es importante para las condiciones estructurales de la tubería. La estabilidad de un alcantarillado deteriorado depende del soporte lateral provisto por las condiciones del suelo adyacente. Además, dependiendo del tamaño de la fractura y del tipo de suelo adyacente, las partículas del suelo pueden traspasar a través de los defectos de la tubería.

- **Mecanismos de colapso**

Los factores que pueden contribuir al deterioro y falla estructural de la tubería, incluye el tamaño del defecto, el tipo de suelo, régimen hidráulico, nivel freático y su correspondiente fluctuación, corrosión, métodos constructivos y carga sobre el alcantarillado. El colapso normalmente se presenta en un punto donde existía inicialmente un defecto inicial.

Estos defectos iniciales usualmente son el resultado de una mala construcción, cargas excesivas, juntas mal instaladas, conexiones inadecuadas, o la conjunción de todos estos factores.

Por ejemplo con el asentamiento de un tubo de alcantarillado, se presentan problemas en las uniones de los tubos, permitiendo de esta manera la infiltración de agua a la red, ya sea por la presencia de niveles freáticos o de aguas subsuperficiales, que se encuentren por encima del defecto que se presente.

Cuando se presenta lo anterior comienza un deterioro progresivo que involucra el suelo adyacente, ya que el agua subterránea penetra la tubería llevando consigo partículas de suelo, generando así una pérdida de suelo y por ende una reducción del soporte lateral de la tubería, lo cual puede posteriormente llevar al colapso.

⁴ Tomada: <http://www.nacobre.com.mx>

Los escenarios de colapso dependen del material del tubo y de las condiciones del suelo adyacente. Algunos ejemplos de daños típicos iniciales, detrimento y mecanismos de colapso se pueden ver en las Figuras 2-4 y 2-5.

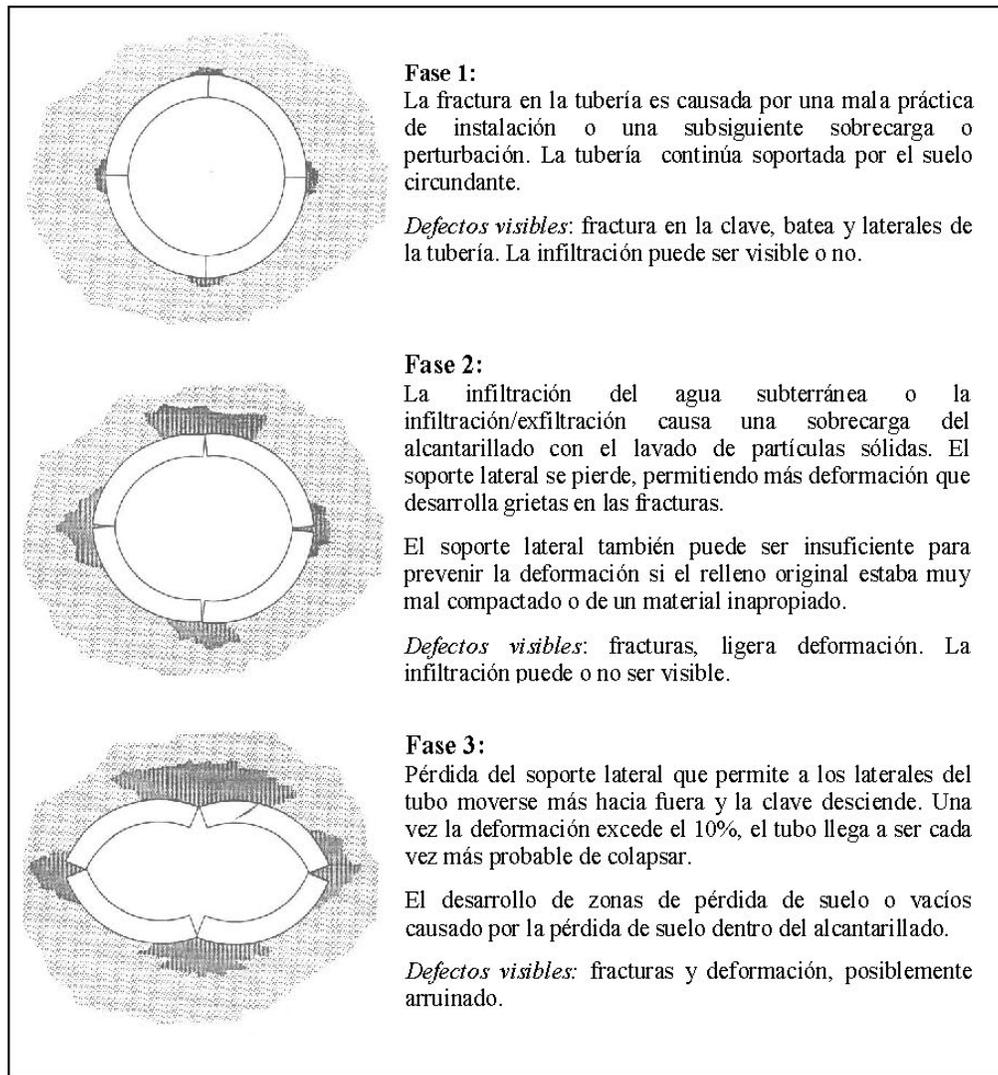


Figura 2-4 Deformación de tuberías con grietas⁵.

⁵ Modificada de Existing Sewer Evaluation & Rehabilitation. Water Environment Federation (1994).

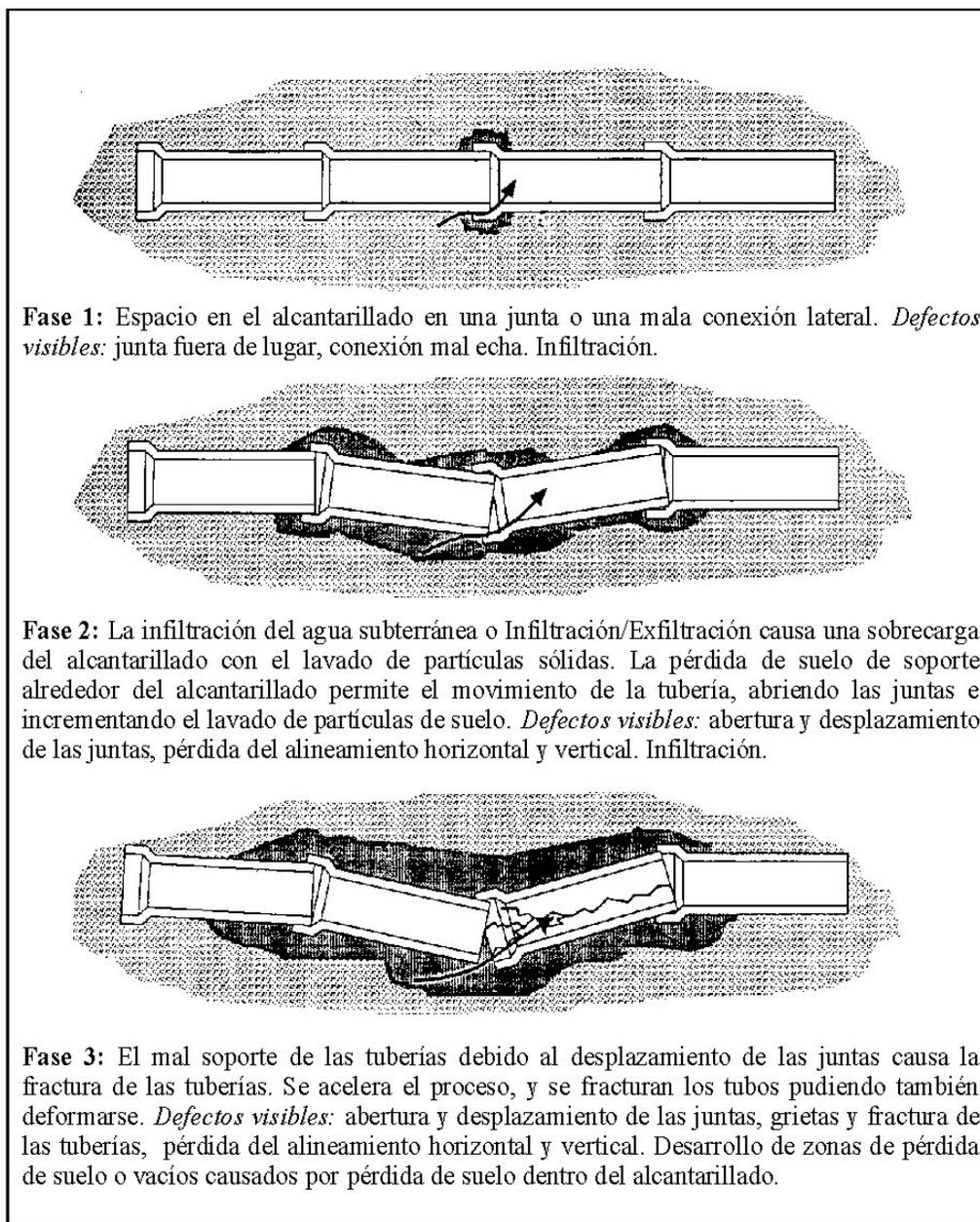


Figura 2-5 Colapso de una red de alcantarillado⁶.

El colapso aunque es un proceso que puede ser gradual, iniciando con una pequeña grieta, tal como muestra la Figura 2-6, es un daño inminente y puede ser desencadenado por una variedad de eventos aleatorios adyacentes al área, por tanto es difícil predecir el momento en el que se presentará.

⁶ Tomada y Modificada de Existing Sewer Evaluation & Rehabilitation. Water Environment Federation (1994).

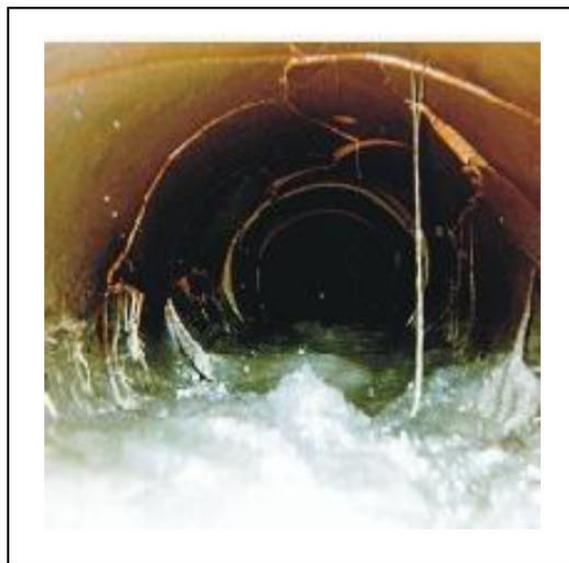


Figura 2-6 Falla inicial de la tubería aumentando el proceso de infiltración⁷.

A medida que el diámetro de las tuberías sea mayor la posibilidad de infiltración aumenta debido al mayor perímetro posible de ingreso de agua por infiltración, o en otras palabras la mayor longitud de la junta respectiva. De aquí que puedan ocurrir daños tan graves como el que se muestra en la Figura 2-7, en donde se produjo un colapso total de la vía.



Figura 2-7 Colapso total de una vía debido al proceso de infiltración⁸.

⁷ Fuente: <http://www.wadeprojects.com/index.html>

⁸ Fuente: <http://www.sewerhistory.org>

2.2.1.2 Problemas hidráulicos y ambientales

En el ciclo hidrológico natural existen diversos procesos que permiten disminuir la escorrentía producida por un evento de precipitación. Estos incluyen la interceptación por parte de la vegetación, los procesos de evapotranspiración, y la recarga de acuíferos por medio del agua que se infiltra al suelo. Esto puede verse en la Figura 2-8, la cual muestra el ciclo hidrológico natural en zonas que aun no han sido urbanizadas.

Lo anterior es equivalente a un sistema en donde se acumulan volúmenes pequeños que de manera agregada, disminuyen los picos de caudal que se presentan en una cuenca de drenaje.

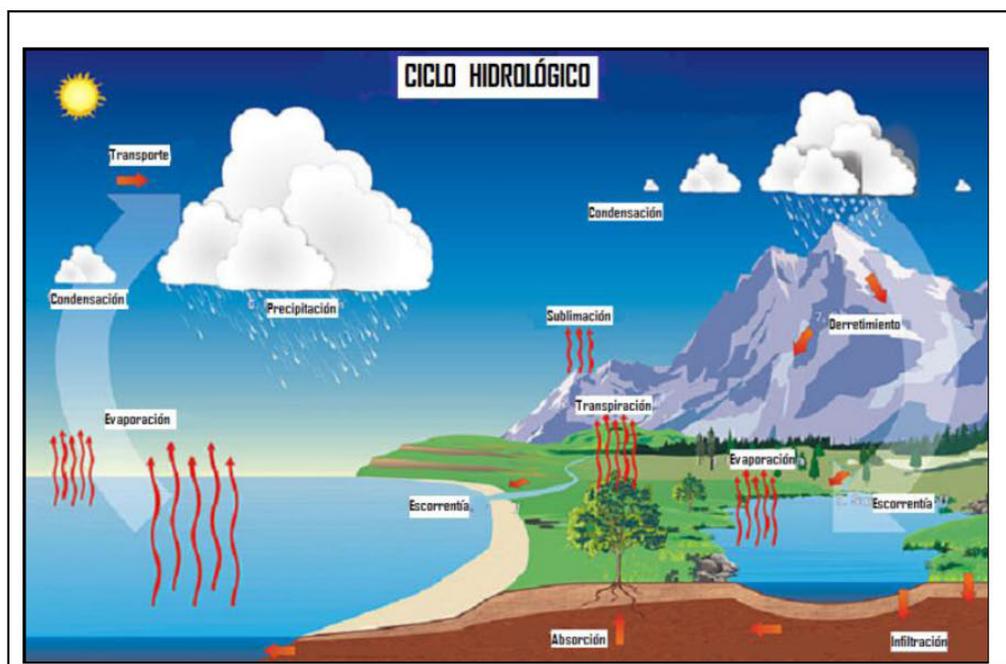


Figura 2-8 Ciclo hidrológico en zonas que no han sido urbanizadas⁹.

En el momento en el que el área comienza a ser urbanizada, se genera una afectación en los procesos descritos anteriormente (Ver Figura 2-9), ya que se presenta una pérdida de la vegetación, se aumenta la compactación de los suelos, y se disminuye la cantidad de áreas permeables o las depresiones que de forma natural permiten el almacenamiento y posterior evaporación o infiltración de un porcentaje de las aguas lluvias. Adicionalmente, se construyen nuevas estructuras como tuberías, canales o cámaras de inspección, las cuales contribuyen a aumentar la eficiencia hidráulica de la cuenca.

⁹ National Weather Service, (2007). Hydrologic Cycle Diagramm. Tomado de: http://www.srh.noaa.gov/jetstream/atmos/hydro_cycle.htm

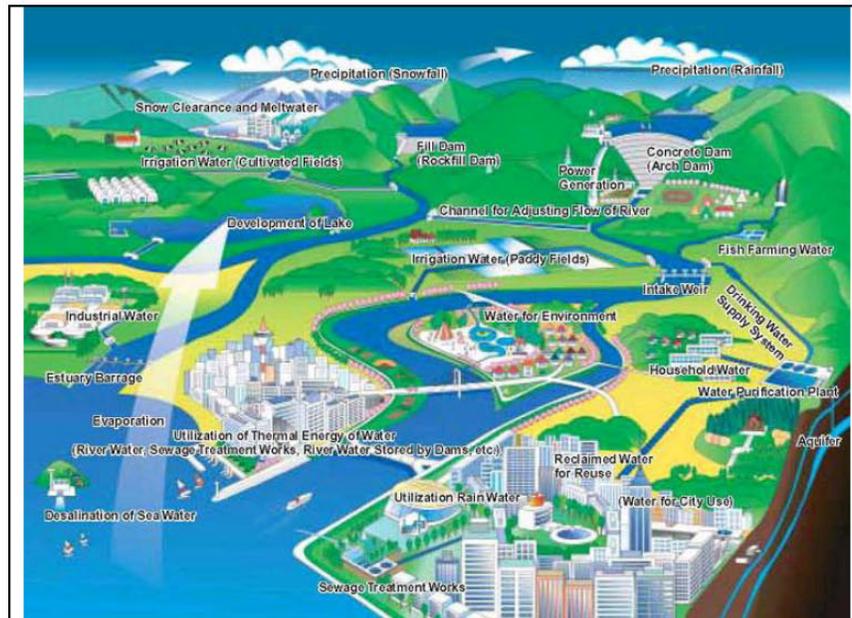


Figura 2-9 Ciclo hidrológico en zonas que han sido urbanizadas¹⁰.

Los procesos descritos anteriormente generan un aumento en los volúmenes del agua drenada, un incremento en el caudal pico descargado y una disminución en el tiempo en el que todo esto sucede. Estos cambios se ilustran en la Figura 2-10.

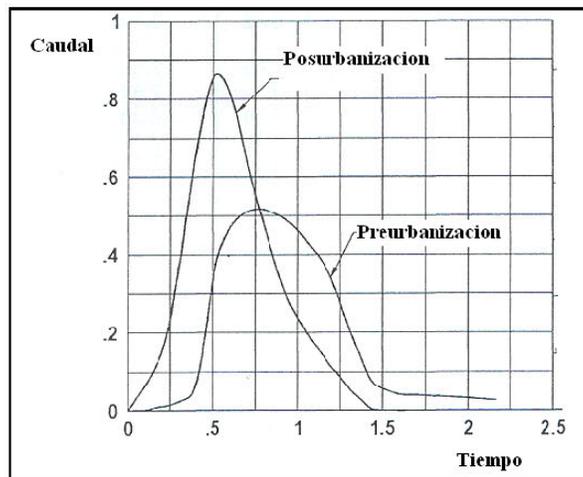


Figura 2-10 Comparación de hidrogramas antes y después del proceso de urbanización¹¹.

Cuando se presentan grandes eventos de precipitación estos procesos pueden contribuir a generar caudales que sobrepasen la capacidad de las tuberías o de los cuerpos receptores

¹⁰ http://www.technopure.com/images/hydrological_cycle.jpg.

¹¹ Federal Highway Administration (2005) Urban Drainage Design Manual. University Press of the Pacific. Honolulu, Hawaii.

que se encuentran aguas abajo. En ambos casos se generan inundaciones que pueden tener múltiples impactos negativos; especialmente donde existen alcantarillados combinados, tales como: el incremento en los procesos de erosión del sistema de drenaje urbano, el aumento de la contaminación (especialmente por sedimentos), daños en viviendas e infraestructura, o problemas de salud pública y olores. Lo mencionado anteriormente se presenta principalmente en sistemas de drenaje urbano combinados debido a la presencia de aguas residuales.



Figura 2-11 Sobrecarga de un sistema de alcantarillado¹².

Por otra parte, la pérdida del agua infiltrada genera una disminución en la recarga de acuíferos; lo que a su vez, afecta el flujo base de los ríos o las actividades realizadas en áreas en las que éstos son utilizados como fuente de agua. Además, se genera una mayor cantidad de agua lluvia que entra en contacto con superficies impermeables y los distintos contaminantes que se encuentran en las mismas.

Este desbordamiento de los sistemas de alcantarillado también tiene un efecto económico negativo, ya que incrementa los costos en limpieza urbana, reparación de vías y de las tuberías defectuosas de las redes de alcantarillado, además que la dilución de la carga orgánica en los sistemas de alcantarillado de agua residual debido a la infiltración, genera una disminución sustancial en la eficiencia de los sistemas de tratamiento.

¹² Fuente: <http://www.wadeprojects.com/index.html>

3 Valoración del problema

Para lograr el control del problema de la infiltración y las conexiones erradas en sistemas de recolección de agua, debe cuantificarse la magnitud del problema, ya que no se puede pensar en dar solución al problema si este no ha sido cuantificado y priorizado.

La valoración del problema debe ser siempre el primer paso a realizar, en donde los propósitos de dicha evaluación son: cuantificar el problema, identificar las fuentes y evaluar la relación costo/beneficio del plan de corrección.

3.1 Metodologías de evaluación de la infiltración y los caudales incontrolados

Para la cuantificación del problema se presentarán a continuación dos metodologías. La primera desarrollada por la empresa WADE & Associates Inc. y la metodología desarrollada en la tesis de grado en la Universidad de los Andes denominada “*Determinación del estado de redes de alcantarillado y su necesidad o no de ser sometidas a renovación/rehabilitación teniendo en cuenta su comportamiento hidráulico*”, en la cual se evalúa la red tanto en términos hidráulicos como de calidad de las aguas residuales.

3.1.1 Metodología basada en el uso de SIG¹³

En esta etapa se inicia midiendo la extensión del problema, es decir, localizar problemas relacionados con sobrecargas, quejas de usuarios y actividades de mantenimiento y reparación que se realizan muy frecuentemente sobre algunos tramos específicos.

Dicha información debe ser recolectada en varios lugares y en diferentes formas, tales como planes de mantenimiento, ordenes de trabajo y reparación, estudios anteriores, reportes de ingeniería, planos de los alcantarillados, registro de quejas, diferentes archivos municipales y entrevistas de personal responsable de la operación y mantenimiento de la red.

Una vez se recolecta la información esta debe ser registrada de tal manera que permita observar correlaciones entre los desbordamientos con la capacidad de las tuberías, los registros de precipitaciones y las actividades de mantenimiento. Esto puede resumirse muy bien, si se cuenta con el modelo de la red digitalizado en SIG, el cual es una herramienta visual que permitiría identificar los problemas y las fuentes mucho más fácilmente, tal como lo muestra la Figura 3-1.

Con el fin de medir el flujo de aguas en un sistema de alcantarillado y su respuesta a las precipitaciones, es importante seleccionar un medidor de caudal que registrará tanto la profundidad como la velocidad de flujo.

¹³ Fuente: Controlling Inflow and Infiltration in Wastewater Collection Systems

La ubicación del equipo de medición del flujo es un paso crítico que depende del tipo de datos deseados, para lo cual pueden seguirse las siguientes recomendaciones. Por supuesto, cabe aclarar que dichas recomendaciones pueden variar en función de los objetivos generales del programa.

- Ubicar un medidor cada 9 a 15 Km de red de alcantarillado.
- Realizar la toma de datos cada 15 minutos.
- Utilizar 2 a 4 medidores de lluvia.
- Período de medición de mínimo 42 días con un óptimo de 60 días.
- Realizar las mediciones en el tiempo en el que el agua subterránea presente niveles altos.

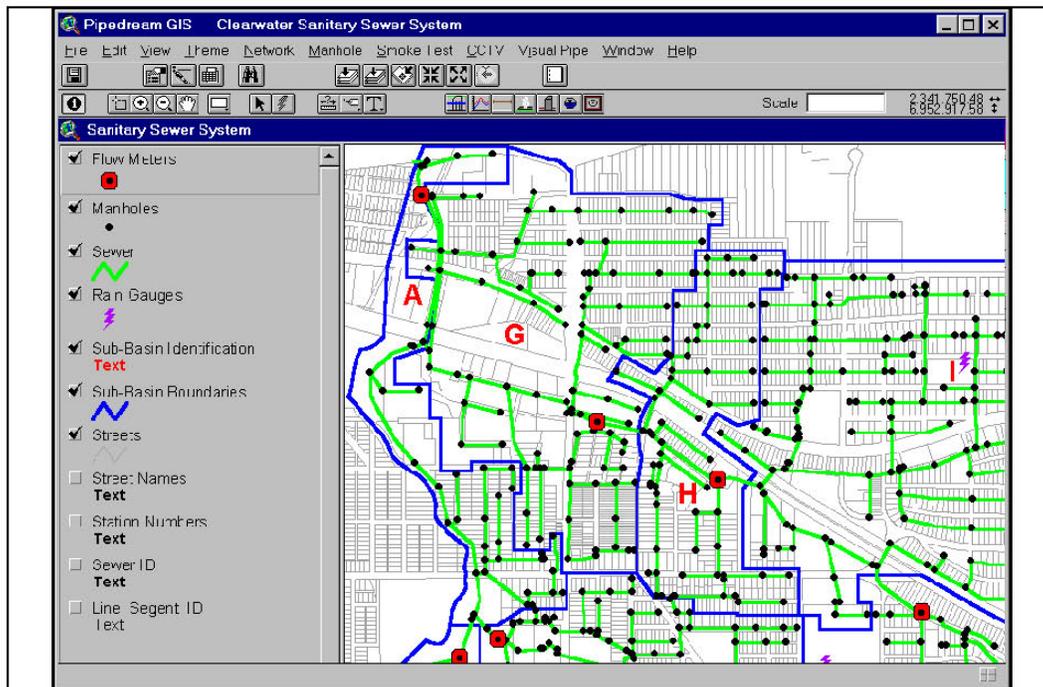


Figura 3-1 Uso de SIG en la valoración del problema de Infiltración y conexiones erradas¹⁴.

Los datos resultantes deben evaluarse cuidadosamente, lo cual incluye el tener en cuenta los perfiles de velocidad del flujo, anomalías asociadas con depósitos de grasa y los tiempos asociados con el mal funcionamiento de los medidores.

¹⁴ Fuente: Controlling Inflow and Infiltration in wastewater collection systems.

En la Figura 3-2 se muestra un ejemplo típico de registro de caudal en un día lluvioso y en un día seco para el mismo sistema de alcantarillado, en donde se resalta el incremento de caudal en la tubería debido al problema de la infiltración y los caudales incontrolados.

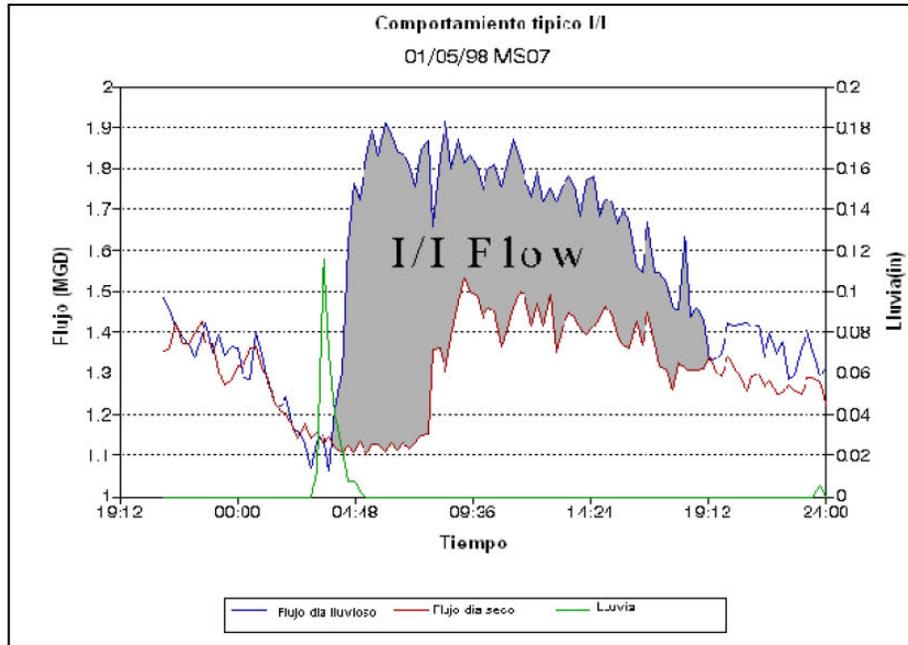


Figura 3-2 Ejemplo típico de una hidrógrafa con problemas de infiltración y caudales incontrolados (I/I)¹⁵.

Una vez que se ha realizado la depuración de los datos, se pueden crear tablas resumen que indiquen, para cada cuenca por ejemplo, algunos parámetros tales como: caudal medio diario en tiempo seco y lluvioso, infiltración máxima e infiltración mínima, etc.

Luego de tener todos los datos tabulados pueden realizarse regresiones, con el fin de comparar las mediciones de infiltración y la correspondiente intensidad de precipitación.

Dicho análisis de regresión proporcionará dos de los principales parámetros que se utilizarán en la cuantificación del problema. En primer lugar, permite hacer una comparación entre cuencas, con el fin de determinar las cuencas de máxima prioridad, y de esta manera facilitar el estudio en la reducción de los caudales generados por infiltración y los caudales incontrolados.

En segundo lugar el análisis proporciona información útil de diseño en caso de que se necesite reemplazar la red de alcantarillado con el fin de reducir o eliminar las sobrecargas generadas por la infiltración y los caudales incontrolados. Posteriormente se puede elaborar la misma gráfica luego de tomar las medidas de renovación o rehabilitación y observar el

¹⁵ Fuente: Controlling Inflow and Infiltration in wastewater collection systems

estado antes y después de la intervención, esto con el fin de observar los beneficios que trae solucionar dicho problema, y si este ha sido solucionado totalmente.

Los resultados de un análisis de regresión lineal típica de entrada se muestran en la Figura 3-3, en donde cada punto representa los datos medidos para un único evento de lluvia.

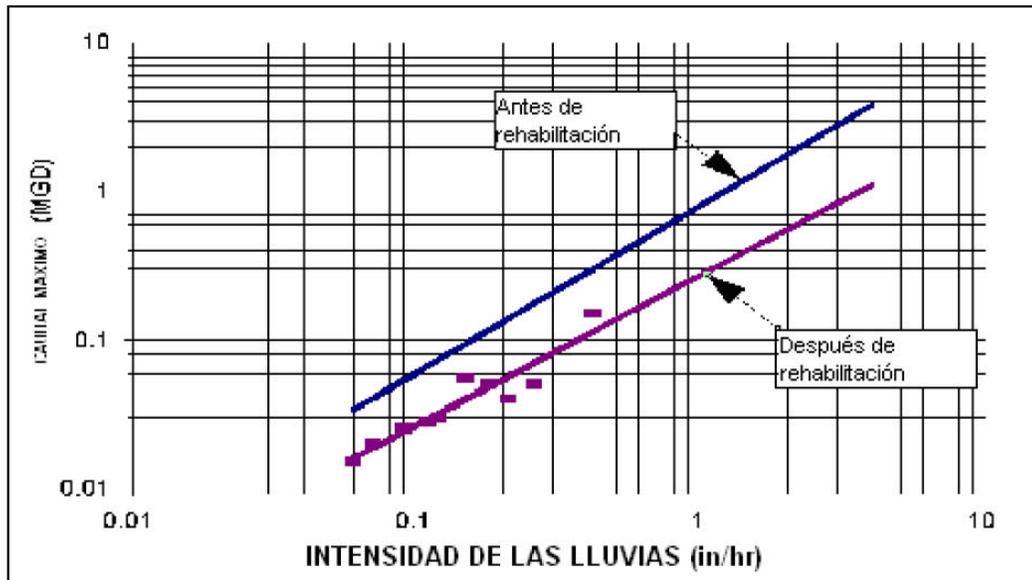


Figura 3-3 Regresiones elaboradas con los caudales y la intensidad de la lluvia correspondiente¹⁶.

Las cuencas pueden también clasificarse por características como: edad del sistema, frecuencia de sobrecargas reportadas, etc., tal como se muestra en la Tabla 3-1, la cual es un ejemplo, en donde se determina la posibilidad de rehabilitación y además puede priorizarse dependiendo de que tan crítica se presente el problema al interior de esta.

Tabla 3-1 Clasificación de las cuencas según estado y su opción de rehabilitación.

Cuenca	Tamaño cuenca	Edad del sistema	Salidas de agua observadas	O & M crítica	Limitaciones de capacidad (Clima húmedo)	Tasa unitaria de I/I (gpd/lf)	Opción de rehabilitación
A-1	239,000	Moderado	Si	Si	Si	61	Si
A-2	347,000	Moderado	No	No	Si	21	No
A-3	6,000	Nuevo	No	No	No	15	No
B-1	53,000	Viejo	Si	Si	Si	75	Si
B-2	32,000	Viejo	No	Si	No	22	No
C-1	180,000	Viejo	No	No	No	32	No
C-2	296,000	Moderado	Si	Si	Si	68	Si
C-3	38,000	Moderado	No	No	Si	57	Si

¹⁶ Fuente: Controlling Inflow and Infiltration in wastewater collection systems

3.1.2 Metodología de evaluación basada en la cantidad y la calidad de las aguas residuales¹⁷

La siguiente metodología permite a la empresa prestadora del servicio que la toma de decisiones relacionada con el mantenimiento correctivo anticipado o reposición total de tramos de la red de alcantarillado de la ciudad se haga con metodologías económicas. La metodología usada se basa en mediciones de calidad y cantidad de agua como indicadores del estado de las redes con el fin de determinar el momento de ejecutar actividades tendientes al mantenimiento correctivo (rehabilitación) o al cambio total (renovación) de las redes de alcantarillado.

Esta metodología tiene criterios frente a los cuales se pueda hacer análisis de la información producto de su aplicación, los cuales están relacionados con:

- Técnicas de medición de caudal
- Modelación hidráulica de la red a estudiar
- Coeficiente de retorno de aguas residuales a la red de alcantarillado
- Límites permitidos de infiltración en la red
- Evaluación de la calidad del agua residual
- Técnicas de verificación del estado de las redes

Para la definición de criterios se toma como referente principal lo definido en el RAS 2000.

Los siguientes son los elementos que conforman la metodología para estimar, a partir de mediciones hidráulicas y de calidad, el estado actual de funcionamiento de una red de alcantarillado:

- Definir el sector o tramo de alcantarillado a evaluar, de acuerdo con la existencia de evidencias físicas o por sospechas que se tengan sobre un funcionamiento inadecuado del sector de drenaje. Identificar y adecuar el punto apropiado para llevar a cabo las mediciones de flujo descargado por el sector.
- Instrumentar, de manera temporal o definitiva, el sector de alcantarillado seleccionado, para llevar a cabo la medición de flujo descargado durante un período de siete días continuos. En caso de presencia de lluvias se debe contar por

¹⁷ Tomado de: “Determinación del estado de redes de alcantarillado y su necesidad o no de ser sometidas a renovación o rehabilitación teniendo en cuenta su comportamiento hidráulico”. Uniandes (2007).

lo menos con un período seco de cuatro días continuos para poder establecer la curva real de descarga de aguas residuales (histograma de salida medido).

- Caracterizar el sector midiendo continuamente caudal durante siete días y tomando por lo menos una muestra compuesta de proporción de caudal de 24 horas, para mediciones de DQO y SST. La muestra compuesta es válida siempre y cuando el sistema de alcantarillado haya evacuado totalmente las aguas lluvias que pueden ingresar a este, en caso de ser de tipo combinado.
- Realizar la modelación hidráulica del sector de alcantarillado evaluado, tomando como insumo el promedio de consumos de agua potable del sector durante el último año. Los hidrogramas ingresados en la modelación deben ser calculados afectando la curva de consumo promedio por el valor de coeficiente de retorno establecido por la empresa prestadora del servicio o adoptado por esta según criterios de diseño del RAS 2000.
- Calcular el aporte de infiltración del sector en $L/(s*Ha)$. Dicho cálculo se realiza relacionando el caudal de infiltración determinado, el cual es la diferencia entre el promedio del caudal de agua residual medido y el caudal de agua residual modelado con el coeficiente de retorno definido para la localidad, y el área de drenaje del sector evaluado. Una vez calculada la infiltración, verificar si ésta se encuentra en el rango alto definida por el RAS 2000, caso en el cual se debe programar una inspección del alcantarillado apoyándose en circuito cerrado de televisión.
- Calcular la carga (q) de DQO y SST en g/(hab-día). Comparar el resultado con los valores típicos establecidos por la empresa prestadora del servicio. Si la carga q de cada uno de los parámetros analizados es menor que el 65% de los valores típicos definidos para la localidad, se debe realizar una inspección física del alcantarillado, apoyándose en circuito cerrado de televisión.
- Calcular el coeficiente actual de retorno (R) de aguas residuales al alcantarillado, relacionando el hidrograma medido con el promedio de agua de consumo del sector. Si este coeficiente se encuentra por debajo o por encima del rango establecido por la empresa de servicios como típico para la localidad, se debe programar una inspección al alcantarillado con circuito cerrado de televisión. Si R se encuentra por debajo del límite inferior, se debe programar una prueba de trazadores para identificar la posible afectación del suelo y agua circundante al alcantarillado evaluado, con el fin de confirmar si el déficit de retorno corresponde a la presencia de exfiltraciones de agua residual desde la red.
- En cualquiera de los casos en los que se requiera hacer inspecciones con cámara de televisión, el objetivo será evaluar el estado físico del alcantarillado para posteriormente tomar las decisiones que la empresa prestadora del servicio considere pertinentes.

- Si una vez hechas todas las verificaciones relacionadas con la cantidad y la calidad de las aguas residuales, no se requiere ninguna inspección, la conclusión sería que el sector evaluado presenta unas condiciones apropiadas y que no existe, por el momento, un riesgo potencial de colapso de la red.

Esta metodología se puede apreciar gráficamente en el flujograma de procesos mostrado en la Figura 3-4.

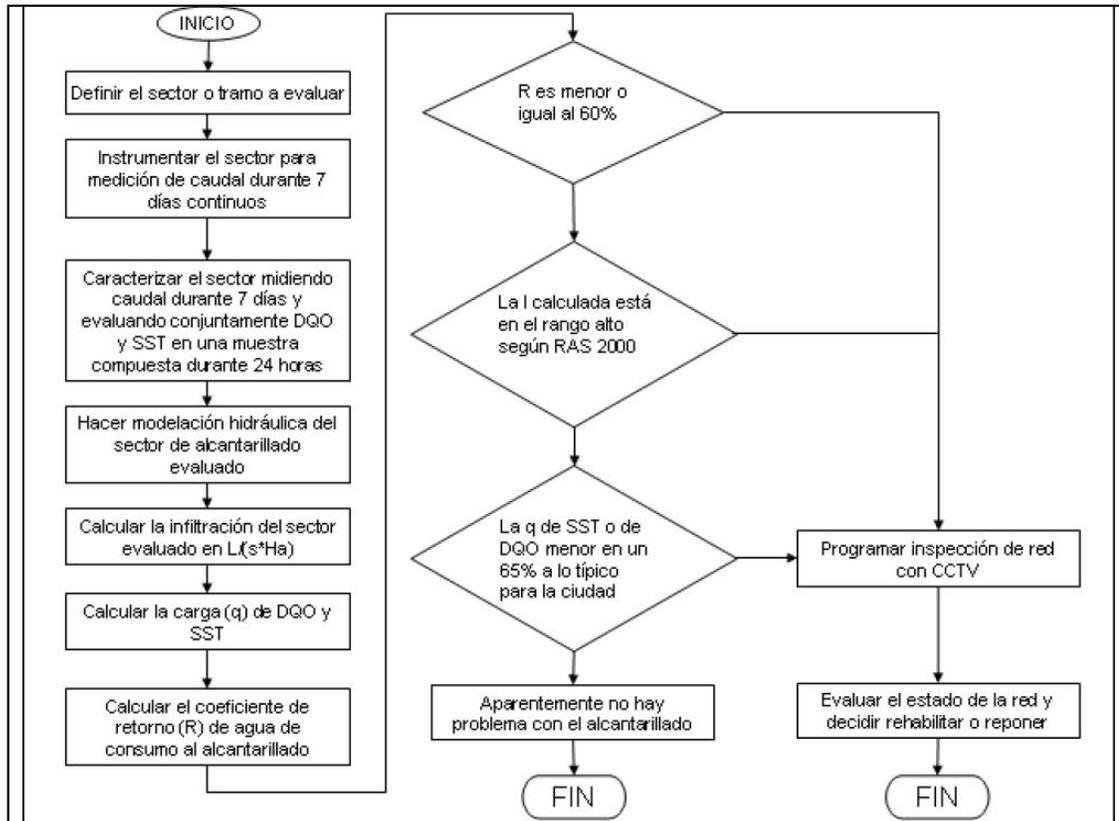


Figura 3-4 Flujograma de procesos de la metodología para evaluación de la red de alcantarillado en función de la cantidad y la calidad de las aguas residuales¹⁸.

3.2 Identificación de fuentes

Una vez que las cuencas o sub-cuencas han sido seleccionadas como áreas prioritarias para la reducción del problema de infiltración y caudales incontrolados, el siguiente paso es poner en marcha un plan para localizar y analizar las diferentes fuentes del problema en el sistema de recolección.

¹⁸ Tomado de: “Determinación del estado de redes de alcantarillado y su necesidad o no de ser sometidas a renovación o rehabilitación teniendo en cuenta su comportamiento hidráulico”.

Esta práctica se conoce como un estudio de evaluación de alcantarillado sanitario (SSES por sus siglas en inglés), el cual involucra una amplia gama de inspecciones sobre el terreno y varios procedimientos que ensayan la operación actual de las redes.

La inspección de las redes de alcantarillado debe incluir una inspección de cada uno de los componentes, para lo cual se deben seguir los procedimientos adecuados de seguridad, dados por las regulaciones de OSHA para espacios confinados.

Se debe utilizar un formato estándar de inspección, complementado con fotografías o grabaciones de vídeo, especialmente si hay defectos o si existen necesidades de rehabilitación que merezcan un mayor análisis.

3.2.1 Inspección visual de cámaras y tuberías

La infiltración que ocurre a través de las cámaras de inspección representa entre 30 y el 50% del total que ocurre en todo el sistema de alcantarillado, debido a que ocurre principalmente alrededor del anillo de la tapa, a través de las perforaciones en las tapas (ver Figura 3-5), mortero flojo, juntas de construcción y prefabricación, alrededor de las conexiones entre los colectores y la cámara de inspección y de toda una variedad de defectos generados tanto en la construcción como en la operación de la red, tal como se muestra en la Figura 3-6.



Figura 3-5 Tapa de cámara de inspección¹⁹.

Los defectos pueden generarse por situaciones tales como hundimiento causado por cargas del tráfico, la acción de suelos expansivos, variaciones de temperatura y la carga del agua subterránea debilitan seriamente las cámaras de inspección. Después de un tiempo, el agua encuentra camino a través de grietas y empalmes averiados produciéndose un

¹⁹ Fuente: Executive's Recommended Regional Infiltration and Inflow Control Program King County, Washington. Diciembre 2005.

debilitamiento de la estructura. Además cuando se presentan desprendimiento de ladrillos y mortero pueden bloquear el flujo en la red y, eventualmente, producir el colapso de la misma, poniendo en serio peligro el adecuado funcionamiento del sistema.

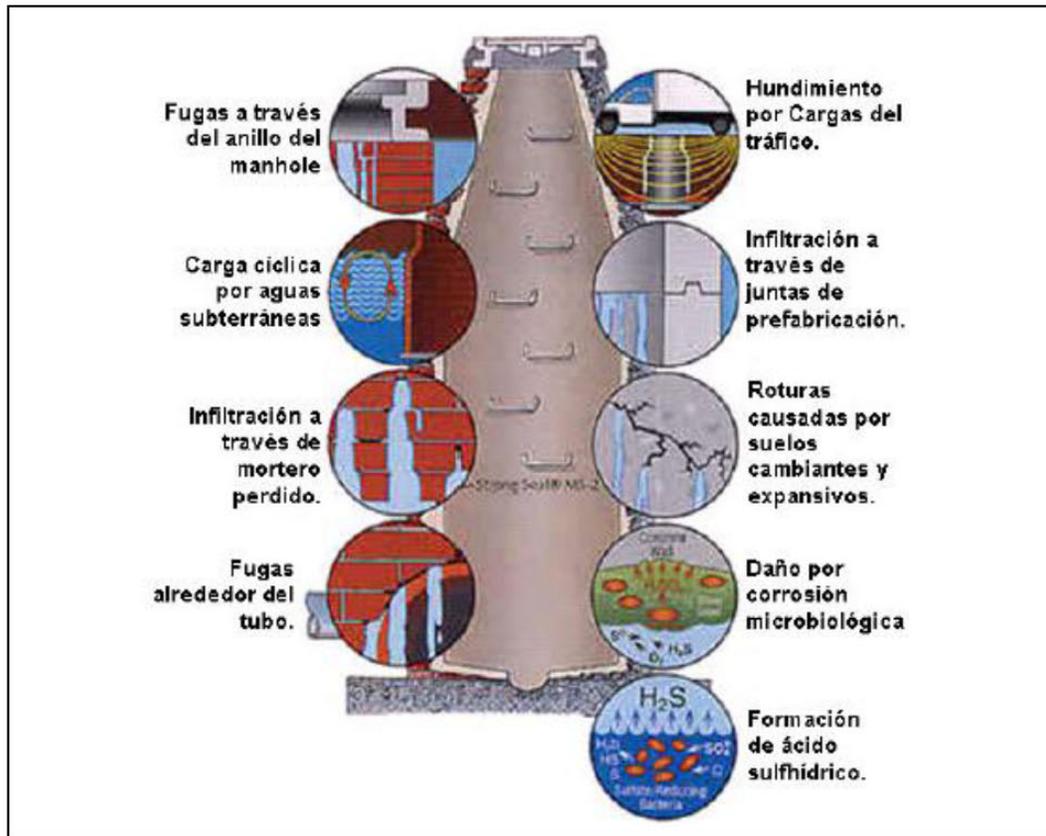


Figura 3-6 Principales problemas en cámaras de inspección²⁰.

Las inspecciones visuales son vitales para tener un conocimiento completo de la condición de los alcantarillados, estas incluyen las de superficie y las internas.

Los operadores deben prestar atención a zonas colapsadas en el suelo sobre las tuberías y terrenos con acumulación de agua, además también deben examinar en detalle la condición física de los cruces de arroyos, las condiciones de las juntas y de las tapas de las cámaras de inspección o de cualquier superficie de ladrillo expuesta, y la visibilidad de los cámaras y otras estructuras.

Para colectores grandes se recomienda una inspección interna o una visita a pie dentro de la tubería. Esta inspección requiere que el operador entre a la cámara de inspección, al canal y

²⁰ Fuente: <http://www.strongseal.com/html/manhole-1.php>

a la tubería, y examine la condición de las juntas, la tapa y la pared de la cámara, así como las paredes de la tubería encima del nivel de flujo.

Cuando se ingresa a una cámara o a una tubería de alcantarillado es muy importante cumplir con las regulaciones actualizadas de la Administración de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial (Occupational Safety and Health Administration) para espacios encerrados.

En caso de no poderse ingresar a una cámara, se pueden utilizar espejos. Generalmente se colocan los espejos en dos cámaras de inspección adyacentes para que la luz se refleje al interior de la tubería.

Las inspecciones de iluminación con lámparas se utilizan para tuberías de baja prioridad, las cuales corresponden generalmente a tuberías de menos de 20 años de antigüedad.

También se usa la iluminación con lámparas en proyectos cuyos recursos financieros son extremadamente limitados. En esta técnica se baja una cámara de video dentro del pozo de mantenimiento y se coloca en el centro del pozo y la tubería, con el fin de obtener imágenes visuales del interior de la tubería.

3.2.2 Prueba de inyección de humo

La prueba de inyección de humo es quizás, el método más eficaz y económico para localizar las principales fuentes de infiltración y caudales incontrolados. Esta prueba no solo detecta las conexiones erradas sino también daños estructurales tales como colapsos, agrietamientos, juntas separadas o deterioradas, ingreso de raíces de árboles y tramos de alcantarillados que han sido anulados. También tiene la posibilidad de detectar exfiltración del sistema de alcantarillado si el agua subterránea se encuentra por debajo de la tubería.

Es decir la prueba se aplica para detectar todos aquellos defectos, ya sean constructivos o de operación, que permitan el ingreso de aguas lluvias o subterráneas a las redes de alcantarillado y domiciliarias o la salida de aguas del alcantarillado hacia el suelo circundante.

Esta prueba consiste en la inyección de humo por medio de una bomba al interior del tramo de alcantarillado evaluado, tal como lo muestra la figura 3-7. Una de las sustancias para generar el humo es el cloruro de zinc hidratado, el cual es un gas inodoro, no tóxico, no produce daños en el alcantarillado ni en las viviendas y no genera riesgo de incendio.

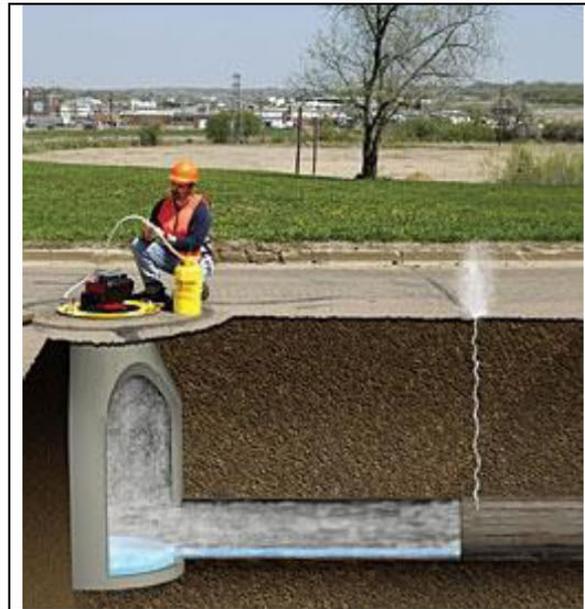


Figura 3-7 Inspección con inyección de humo²¹.

Normalmente son suficientes de tres a cuatro minutos de bombeo del humo en el alcantarillado, aunque existen bombas de gran capacidad y pequeña duración que pueden reducir este tiempo. Cabe resaltar que para este propósito es más conveniente el uso de sopladores que trabajen a gasolina.

Si el sistema se encuentra en buen estado, el humo solo escapará al final del tramo en la cámara de inspección siguiente; en caso contrario, es decir, si el tramo está deteriorado o mal construido, el humo debe escapar a través de todos aquellos defectos descritos anteriormente.

Cuando se presenten resultados negativos, es decir, que no se aprecie la salida de humo a través de los medios anteriormente descritos no quiere decir que no exista el problema de la infiltración y los caudales incontrolados, por tanto cuando sea necesario deben realizarse inspecciones con cámaras de televisión.

Para realizar un programa de pruebas de humo se deben considerar los siguientes procedimientos.

- Usar sopladores de humo con una capacidad mínima de 1500 L/s (53 cfs).
- En lo posible probar los tramos individuales de alcantarillado.
- Hacer los ensayos sólo durante los períodos de clima seco.

²¹ Fuente: www.gousga.com

- Taponar los tramos ensayados y así evitar que el humo escape a través de las cámaras de inspección o tuberías adyacentes que no sean objeto de estudio.
- Usar cámaras de video y fotografías para documentar los escapes de humo.
- Elaborar un documento con todos los defectos identificados (fotografías o videgrabaciones).

La prueba no debe ser aplicada en secciones de alcantarillado que transporten un flujo máximo. Esta prueba tampoco sirve para detectar daños estructurales o juntas mal elaboradas cuando las tuberías se encuentren debajo de suelos saturados de agua o cubiertos de nieve.

El procedimiento que debe seguirse está compuesto por una serie de pasos que se describen a continuación y que deben ejecutarse en ese orden.

- El tramo objeto de prueba debe aislarse con sacos de arena u otro tipo de sistema que garantice hermeticidad, en donde a través de los cuales no debe fluir el humo.
- Prepare un bosquejo de la zona donde se realizará la prueba incluyendo localización.
- Comience la prueba de humo usando un soplador en cada cámara de inspección y suficientes bombas para asegurarse de que el humo viaja a través de toda la sección probada. Los alcantarillados de gran diámetro pueden requerir más bombas o de lo contrario se deben probar tramos más pequeños. El humo debe generarse continuamente mientras las inspecciones visuales y las fotografías están en progreso.
- La inspección visual de toda el área se hace recorriéndola alrededor de los patios traseros y delanteros y de las construcciones. Las fuentes típicas son los desagües de tejados, desagües de vías, cimentación de viviendas, hoyos en el suelo que se encuentran sobre la red de alcantarillado o domiciliarios, áreas alrededor de las cámaras de inspección y sumideros de alcantarillados de aguas lluvias.
- Localizar los escapes en el esquema. Incluir las fotografías numeradas y realizar una descripción del escape, incluyendo dirección (o número de la casa en el esquema); y el tipo de superficie de drenaje del escape.

Las fotografías deben mostrar la máxima cantidad de humo posible de los escapes y de la fuente exacta de humo y debe ser tomada desde una distancia suficiente que permita una referencia física de la localización del escape de humo. Las fotografías deben numerarse consecutivamente para asegurar que después puedan identificarse los escapes.

Los puntos a través de los cuales escapa el humo son marcados y referenciados topográficamente, con el fin de ubicar los sectores en donde se pueden encontrar los defectos en las redes. Esta marcación se realiza con banderines de colores tal como se muestra en la Figura 3-8.



Figura 3-8 Ubicación de puntos de fuga de humo²².

Debido al procedimiento seguido para la realización de la prueba deben tomarse ciertas precauciones que se describen a continuación.

Se pueden generar alertas en la comunidad si esta no conoce sobre el procedimiento a realizar en las redes. Por tanto, con el fin de evitar posibles inconvenientes y falsas alarmas a los departamentos de bomberos o líneas de emergencia se debe informar a la comunidad, a la policía y a los bomberos sobre la realización de la prueba. Esto se puede hacer a través comunicados escritos, avisos televisivos, avisos radiales, anuncios verbales en lugares donde se concentre la población tales como iglesias y centros culturales.

Si los escapes de humo se presentan al interior de las viviendas, deben abrirse las ventanas y puertas para lograr una ventilación adecuada de estas.

Un ejemplo de comunicado escrito se muestra en la Figura 3-9. Aunque este modelo posee mucha información que posiblemente el cliente no va leer, sirve como guía para la elaboración de otro tipo de volantes más resumidos y didácticos.

²² Fuente: <http://www.wadeprojects.com/index.html>

ATENCIÓN

PRUEBA DE HUMO EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

(Nombre de la ciudad)

En las próximas semanas, una comisión de inspección llevará a cabo una investigación física del sistema de alcantarillado. Este estudio involucra la apertura y posterior ingreso en las cámaras de inspección en las calles y servidumbres. Una importante tarea de la investigación es "LA PRUEBA DE HUMO" en las líneas del alcantarillado para localizar fracturas y defectos en el sistema. El humo que verá salir en las casas o en hoyos en el suelo **NO ES TÓXICO, NI DAÑINO, NO POSEE OLOR, Y NO GENERA RIESGO DE INCENDIO. El humo no debe entrar en su vivienda a no ser que posea defectos en los desagües de su sistema de alcantarillado interno.** Si esto ocurre, debe consultar con un plomero calificado. En cualquier caso, si el humo inofensivo puede entrar a través de daños en sus redes internas, es muy posible que gases peligrosos del alcantarillado ingresen a su vivienda. Si el humo ingresara a su vivienda, puede contactar a un miembro del equipo que está realizando la prueba de humo en el área y el tendrá el gusto de chequear con usted por qué y por donde está ingresando el humo a su vivienda. Si usted tiene conexiones erradas, es decir, la red de aguas lluvias está conectada en la red de alcantarillado de aguas residuales, por favor vierta agua en los drenajes hasta llenar el registro, lo cual evitará que los gases u olores del alcantarillado ingresen en la vivienda.

Algunos tramos y cámaras de inspección del alcantarillado están localizados en servidumbres localizadas en zonas verdes de las viviendas. Sin embargo estos tramos requieren investigación, los miembros del equipo requerirán acceder a estas servidumbres con el fin de inspeccionar estos tramos y cámaras de inspección.

Los propietarios no necesitan estar en casa y los trabajadores no necesitan entrar a su casa.

Deben tomarse fotografías donde se localicen los defectos en el sistema. Nosotros prevemos que la prueba de humo requiere aproximadamente ____ semanas en su área. Su cooperación será apreciada. La información adquirida de este estudio se usará para mejorar su servicio de alcantarillado y puede reducir los eventuales costos de los contribuyentes.

GRACIAS

Nombre
Dirección
Número telefónico

Figura 3-9 Modelo de comunicado que informa sobre la realización de la prueba de humo²³.

²³ Fuente: Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation. Pág. 48. 1994.

4 Técnicas de mitigación y corrección del problema de la infiltración y los caudales incontrolados

Tal como se mencionó en el capítulo 2 los caudales generados por la infiltración y las conexiones erradas pueden generar sobrecargas en el sistema de alcantarillado, lo cual genera un incremento en los volúmenes del agua drenada, un incremento en el caudal pico descargado y una disminución en el tiempo en el que todo esto sucede, llegando a principalmente a presentarse problemas de inundación y de salud pública.

Dado lo anterior se presentan dos metodologías a ser consideradas, una de las cuales es la llamada técnica de almacenamiento temporal de aguas lluvias, la cual es una técnica de mitigación, y la otra consiste en las técnicas de rehabilitación o renovación de redes de alcantarillado, la cual es una técnica de corrección.

4.1 Almacenamiento temporal de aguas de drenaje urbano²⁴

Los picos de caudal causados por el incremento de aguas en el sistema de alcantarillado debido a infiltración y caudales incontrolados pueden ser reducidos a través de estructuras que permiten brindar un almacenamiento temporal de las aguas antes de que sean vertidas al cuerpo receptor o dentro de ciertos sectores del sistema de alcantarillado.

Adicionalmente, al disminuir los caudales que son vertidos a los ríos, puede sustancialmente disminuirse las cargas de otros tipos de sustancias contaminantes debido al proceso de sedimentación que se presenta al interior de las estructuras usadas para el almacenamiento o debido también a la filtración de las aguas hacia el subsuelo.

Como se mencionó anteriormente, el almacenamiento temporal busca retener el exceso de aguas que ingresa al sistema de alcantarillado, para luego descargarla nuevamente al sistema de manera gradual.

Estos sistemas se caracterizan por tener dos fases operativas. La primera corresponde al período de almacenamiento, en el cual el caudal de entrada sobrepasa al de salida. En la segunda se tiene el caso contrario y se denomina período de evacuación (Mays, 2001).

En la Figura 4-1 se presentan los hidrogramas de entrada y salida de un sistema de almacenamiento temporal. En ésta se pueden diferenciar los dos períodos mencionados anteriormente, en donde el tiempo correspondiente a la intersección de las dos curvas representa el punto final del período de almacenamiento y el comienzo de la fase de evacuación.

²⁴ Tomado de: “*Determinación de la viabilidad técnica y económica de un sistema de almacenamiento temporal de aguas de drenaje urbano para la ciudad de Bogotá*”. Uniandes. 2007.

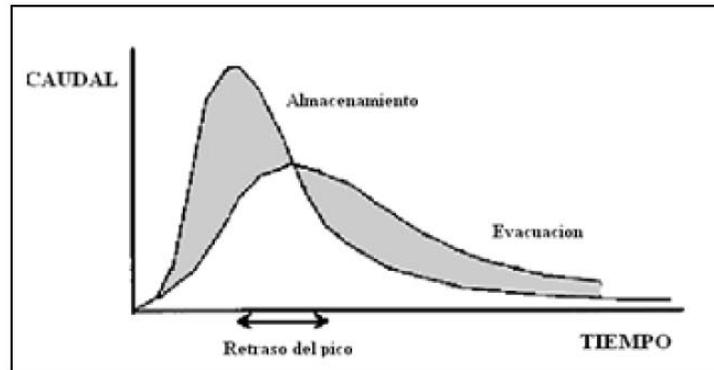


Figura 4-1 Hidrograma del funcionamiento de un sistema de almacenamiento temporal²⁵.

La gráfica presentada anteriormente no tiene en cuenta los casos en los que el control de flujo genera un único caudal de salida. En este caso, el hidrograma de salida corresponde a una línea recta tal como se puede observar en la Figura 4-2.

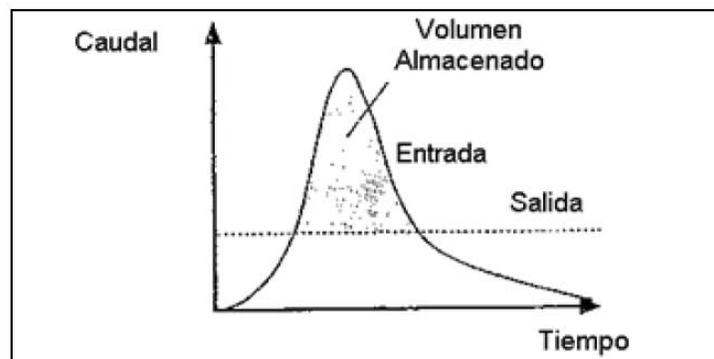


Figura 4-2 Hidrograma con único caudal de salida.

4.1.1 Almacenamiento temporal subterráneo

En la actualidad, la tecnología desarrollada permite contar con sistemas compactos que pueden ser implementados a escala doméstica; lo que implica una disminución de posibles eventos de sobrecarga, especialmente, en zonas de expansión urbana.

Actualmente se ha presentado un aumento en el uso de sistemas de almacenamiento temporal subterráneo debido principalmente a los problemas de limitación de espacio en las zonas urbanas, junto con el incremento de costos que implica la compra de tierras.

Existen dos clases de sistemas de almacenamiento temporal subterráneo que pueden ser utilizados cuando se requiere almacenar volúmenes grandes de aguas lluvia: tanques en concreto y módulos plásticos.

²⁵ Tomado de: “Determinación de la viabilidad técnica y económica de un sistema de almacenamiento temporal de aguas de drenaje urbano para la ciudad de Bogotá”. Uniandes. 2007.

En los casos en los que se tienen volúmenes pequeños generalmente se utilizan cámaras que están diseñadas para cumplir esta función. Dichos sistemas pueden ser adecuados para permitir la reutilización del agua recolectada.

A continuación se hace una descripción general de estos sistemas y se presentan las consideraciones generales que deben ser tenidas en cuenta para su diseño.

4.1.1.1 Tanques en concreto

Este sistema consiste en un tanque subterráneo en concreto reforzado (mínimo 3000 psi), el cual es utilizado para el almacenamiento temporal de aguas lluvias. La principal diferencia con los módulos plásticos es que el tanque no permite la infiltración del agua al subsuelo, por lo que en algunos casos se requieren mayores volúmenes.

En el mercado también se ofrecen tanques que son prefabricados. En este caso la ventaja es que el sistema no necesariamente debe ser rectangular, también se manejan estructuras circulares o elípticas (ver la Figura 4-3).



Figura 4-3 Tanque de almacenamiento prefabricado²⁶.

En la Figura 4-5 se presenta un esquema de un tanque de almacenamiento en concreto, en donde la salida del agua está limitada por un control de flujo, lo que permite que se aumente el volumen del almacenamiento. El sistema también debe tener dos cámaras de inspección cerca de la entrada y de la salida del tanque. Estas permiten realizar el mantenimiento del mismo, lo cual es muy importante especialmente cuando se presentan taponamientos de las tuberías de entrada y salida.

²⁶ American Concrete Pipe Association. Underground Storm Water Storage Systems: The Cost Effective, Efficient Way. Tomado de: <http://www.concrete-pipe.org>

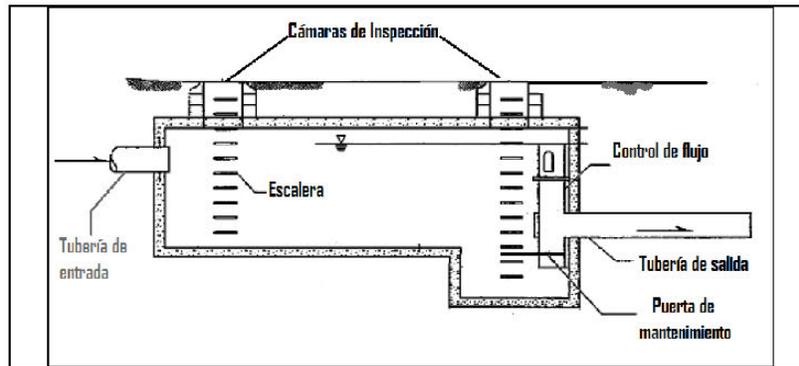


Figura 4-4 Esquema de un tanque de almacenamiento subterráneo.

La principal ventaja de estos tanques es que son subterráneos y por tanto no ocupan espacio superficialmente. Sin embargo, la zona queda limitada a usos muy específicos ya que no es posible construir ningún tipo de edificación donde se encuentren los mismos.

4.1.1.2 Módulos plásticos

Este sistema está compuesto por módulos individuales que pueden ser unidos para formar una estructura de gran tamaño. Existen dos clases de módulos: uno compuesto por pequeñas tuberías y otro por una unidad rectangular la cual está vacía en su interior. En ambos casos, cada elemento está hecho en plástico y tiene un volumen de almacenamiento correspondiente a aproximadamente el 95% del volumen total.

La ventaja de utilizar dicho material es que tiene un peso liviano, por lo que puede ser instalado manualmente. Sin embargo, esta característica también implica una limitación con respecto al uso del suelo que se encuentra por encima del sistema. En estos casos, la zona se debe limitar a actividades de tráfico liviano.



Figura 4-5 Sistema de módulos plásticos²⁷.

Como se puede observar en la Figura 4-5, los módulos son envueltos en un geotextil, el cual previene la entrada de partículas del suelo al sistema. En algunos casos éste es

²⁷ Hydro International (2007) Stormcell Stormwater Storage System. Tomado de: http://www.hydrointernational.biz/us/stormwater_us/stormcell.php

impermeable por lo que el sistema sólo almacena agua. Pero cuando es de tipo permeable se puede tener infiltración de una parte del agua almacenada. En este último caso, se puede llegar a construir tanques de menor tamaño debido a que se requiere almacenar un menor volumen de agua.

El tanque también debe incluir algún tipo de sistema de ventilación, que permita la salida del aire que está siendo reemplazado por el agua almacenada.

4.1.2 Consideraciones generales de diseño

4.1.2.1 Ubicación del sistema

Este tipo de almacenamiento debe ser utilizado en zonas donde posteriormente no se vaya a construir una edificación. Lo anterior debido a que podría generar problemas con la cimentación del mismo, especialmente porque los sistemas construidos a partir de módulos no pueden soportar una carga significativa. Por tal razón, se recomienda implementarlos en parques, zonas peatonales y parqueaderos para vehículos.

El estudio de los suelos debe incluir un análisis de los contaminantes presentes en el mismo. Esto debe ser realizado tanto en los casos en los que el sistema sólo almacena, como en los que permite la infiltración del agua, debido a que existen sustancias que pueden afectar los módulos. Este es el caso en el que se encuentran solventes orgánicos a muy altas concentraciones, por lo que es necesario realizar una limpieza del sitio antes de la instalación del sistema. Este estudio también permite determinar si es posible o no la infiltración del agua, ya que en zonas muy contaminadas, existen riesgos de generar lixiviados que pueden llegar a afectar acuíferos.

4.1.2.2 Infiltración a través del suelo

La infiltración del agua almacenada sólo puede ser realizada en sistemas compuestos por módulos. En cuyo caso debe determinarse la posibilidad de incluir dicha característica en el diseño, lo que incluye evaluar si el tipo de suelo facilita el movimiento del agua a lo largo del mismo.

Lo anterior equivale a determinar el valor del coeficiente de infiltración, el cual corresponde a la velocidad con la que el agua se mueve por el suelo. Su valor debe ser igual o mayor a 10^{-6} m/s para que el sistema puede ser diseñado de forma que permita la infiltración del agua almacenada.

Para poder determinar el valor del coeficiente de infiltración correspondiente al área de trabajo es necesario realizar una excavación de forma rectangular cuyo ancho es de 0.3 a 1 m, su longitud es de 1 a 3 m y la profundidad del mismo debe ser equivalente a la altura del tanque de almacenamiento.

La excavación se llena de agua para posteriormente hacer mediciones del nivel de ésta y del tiempo que se demora en vaciarse por completo. De aquí que el coeficiente se calcula a

partir del tiempo y el cambio de nivel que se produce cuando el 75% del volumen cae al 25%. En los casos en los que el área del tanque es grande, estas excavaciones deben realizarse en varios puntos y deben estar separados por una distancia de 25m (WAVIN, 2003).

Una vez se ha determinado la factibilidad de infiltrar el agua a partir del análisis del tipo de suelo y de los contaminantes presentes en el mismo, se procede a realizar el diseño del sistema.

4.1.2.3 Atenuación

En la Figura 4-6 se presenta un diagrama del procedimiento que permite determinar el volumen del tanque de almacenamiento. El valor final calculado representa el máximo volumen de almacenamiento que puede brindar el sistema. Por tal razón, cuando éste está siendo diseñado con módulos, es importante tener en cuenta que los vacíos representan entre 90% y 95% de cada elemento.

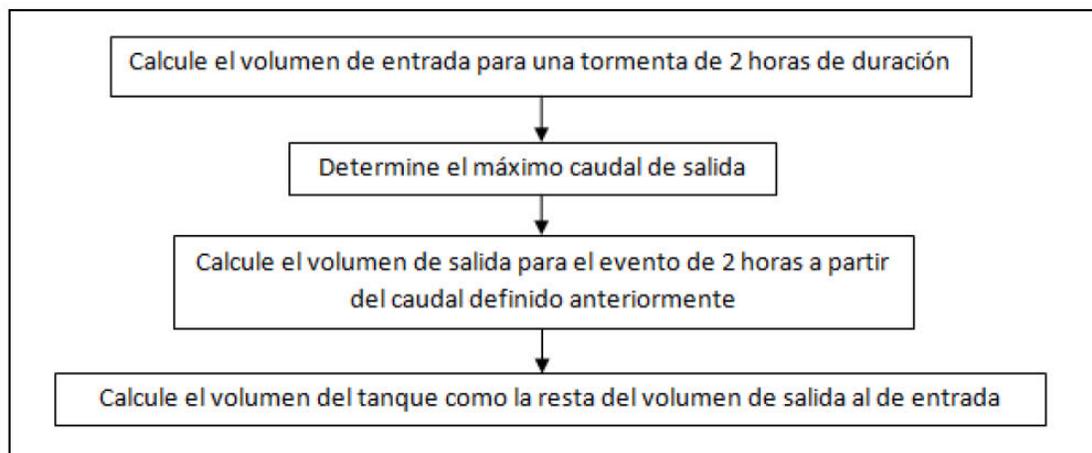


Figura 4-6 Diagrama de flujo para el diseño de sistemas de atenuación

Los volúmenes de entrada deben ser calculados a partir de los métodos del hidrograma, del hidrograma triangular, Soil Conservation Service (SCS) y el método alternativo, los cuales se describen a continuación.

- **Método del hidrograma**

Este método calcula el volumen preliminar como la diferencia entre el hidrograma de entrada y el de salida. El último se estima haciendo una aproximación de la curva de salida, cuya forma puede imitar la del hidrograma de entrada. En cualquier caso, se debe tener en cuenta que el pico no puede sobrepasar el máximo caudal de salida.

En la Figura 4-7 se presenta una gráfica con el hidrograma de entrada y un estimativo del de salida a partir de líneas rectas. El área entre las dos curvas representa el volumen preliminar, y puede ser calculada por planimetría.

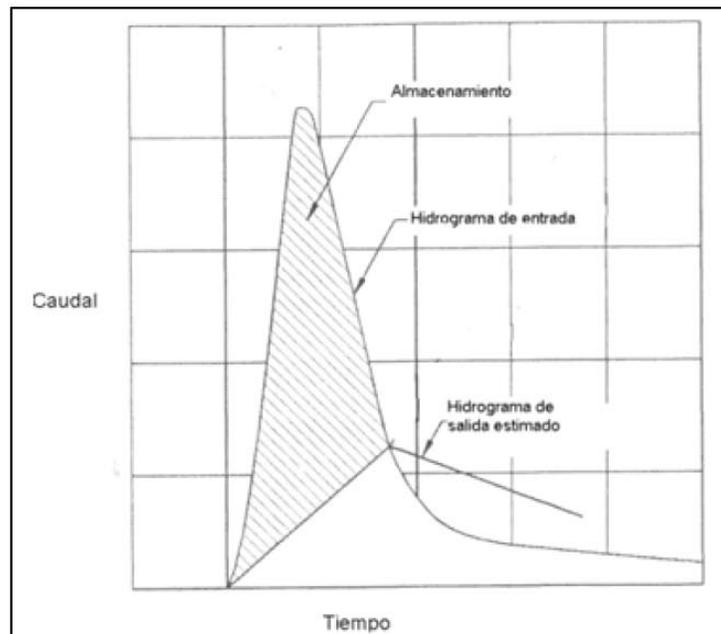


Figura 4-7 Método del hidrograma.

- **Método del hidrograma triangular**

Este método es similar al descrito anteriormente y puede ser utilizado en los casos en los que la curva del hidrograma de entrada pueda ser aproximada a un triángulo. El hidrograma de salida es estimado y su forma también debe ser triangular. En la Figura 4-8 se presenta un ejemplo de la gráfica de caudal versus tiempo que debe ser generada.

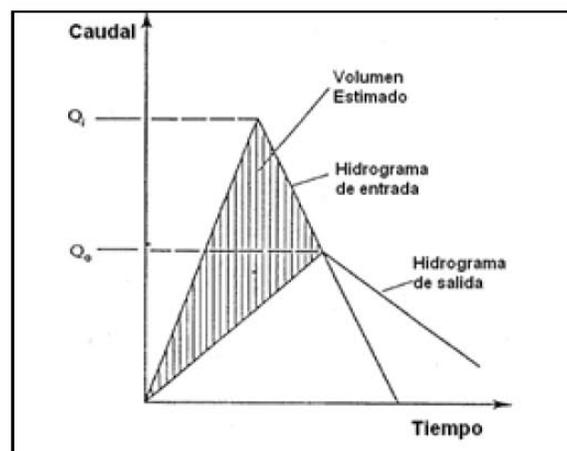


Figura 4-8 Método del hidrograma triangular.

El volumen preliminar corresponde al área que se encuentra entre las curvas de entrada y salida generadas, la cual puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$V_s = 0.5T_i(Q_i - Q_o)$$

Ecuación 4-1

Donde

- V_s Volumen preliminar (m^3).
- Q_i Caudal pico de entrada (m^3/s).
- Q_o Caudal pico de salida (m^3/s).
- T_i Caudal de salida al inicio del período de tiempo (m^3/s).

• **Método del Soil Conservation Service (SCS)**

Este método se basa en una gráfica que describe la relación entre volumen del agua almacenada y el volumen de agua que entra en función de la relación de los caudales pico de entrada y salida (ver la Figura 4-9). Dicha gráfica se obtuvo a partir del estudio del volumen promedio almacenado y el hidrograma de salida generado por diversos sistemas de almacenamiento.

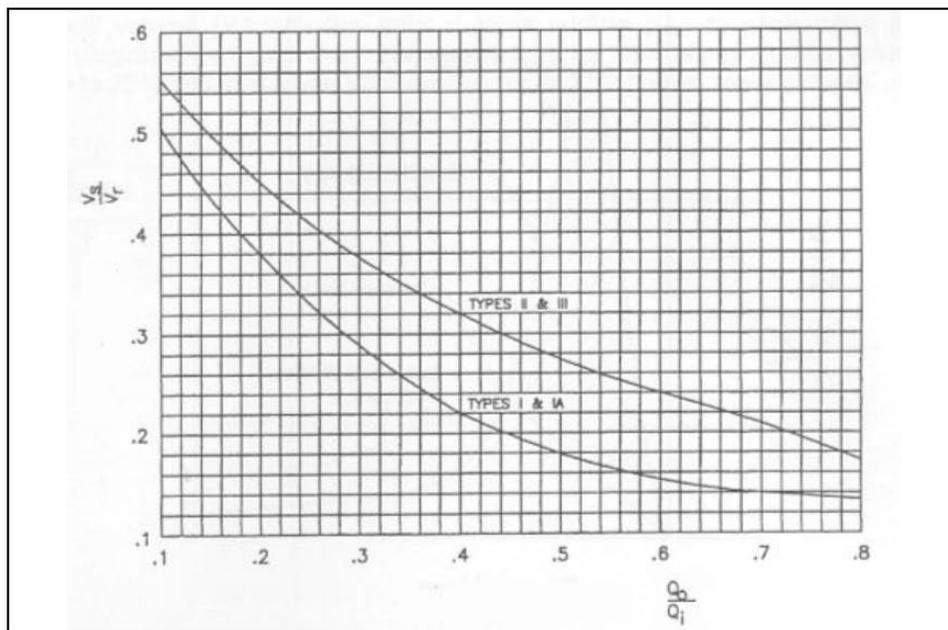


Figura 4-9 Gráfica del método del SCS.

Como paso inicial para calcular el volumen preliminar se debe determinar la relación entre los caudales pico. Con este valor y la gráfica presentada anteriormente, es posible obtener la relación entre los volúmenes. Posteriormente, el volumen del agua que entra puede ser calculado para cada período de retorno a partir de la siguiente fórmula:

$$V_R = K_R Q_D A_M$$

Ecuación 4-2

Donde

- V_R Volumen de agua que entra al sistema (ha-m/acres-pies).
- Q_D Profundidad de la escorrentía (mm/pulgadas)
- K_R Constante de unidad de conversión. Su valor es 1 en el sistema métrico y 53.33 en el sistema inglés.
- A_M Área de la cuenca de drenaje (Ha/mi²).

De esta manera, el volumen almacenado preliminar puede ser calculado a partir de los dos últimos valores obtenidos anteriormente.

- **Método alternativo**

Para calcular el volumen de almacenamiento preliminar se requieren como datos iniciales el volumen de agua que entra, el hidrograma de entrada y una estimación del de salida. A partir de estos últimos es posible obtener los respectivos tiempos de duración y caudales pico.

Una vez se ha recolectado esta información, el volumen preliminar debe ser calculado a partir de la Ecuación 4-3, la cual fue propuesta por Wycoff y Singh (ACME, 2001).

$$V_S = \frac{1.291 V_R \left(1 - \frac{Q_O}{Q_I}\right)^{0.753}}{\left(\frac{T_P}{T_B}\right)^{0.411}}$$

Ecuación 4-3

Donde

- V_R Volumen de almacenamiento preliminar (pulgadas).
- V_R Volumen de agua que entra al sistema (pulgadas).
- Q_I Caudal pico de entrada (pies³/s).
- Q_O Caudal pico de salida (pies³/s).
- T_P Tiempo desde el inicio al pico del hidrograma de entrada (hr).
- T_B Tiempo desde el inicio al punto correspondiente al 5% del caudal pico en la zona de disminución del hidrograma de entrada (hr).

Uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta en el diseño de los sistemas de almacenamiento temporal es el caudal de salida. Según Butler, su máximo valor puede ser determinado a partir de tres métodos. El primero de éstos, le asigna uno que no sea mayor al estimado cuando la cuenca de drenaje no estaba urbanizada. El segundo busca calcularlo a partir de un valor relacionado al área de la cuenca de drenaje. Este proceso generalmente se basa en fórmulas empíricas que sólo aplican a las condiciones bajo las cuales fueron obtenidas. Este es el caso de la Ecuación 4-4, la cual fue desarrollada por Urbanas y Glidden para calcular el volumen almacenado en una tormenta de 100 años en la ciudad de Denver (Mays, 2001).

$$V = \frac{A(1.78I - 0.002I^2 - 3.56)}{1000} \quad \text{Ecuación 4-4}$$

Donde

- V Volumen almacenado (Ha-pies).
- A Área de la cuenca de drenaje (acres).
- I Porcentaje de impermeabilidad de la cuenca.

El tercer método permite determinar dicha tasa a partir de la capacidad de las tuberías, los canales o los cuerpos receptores que se encuentran aguas abajo. Este se considera el más adecuado debido a la dificultad de hacer predicciones con respecto a la cuenca de drenaje o a la carencia de fórmulas que apliquen a las condiciones de la zona de estudio.

4.2 Técnicas de rehabilitación y renovación de tuberías de alcantarillado

Una de las técnicas correctivas usadas para controlar el ingreso de caudales generados por infiltración son las técnicas de rehabilitación y renovación, en donde, las primeras consisten en la reparación de todos aquellos defectos que presentan las tuberías; mientras que las otras involucran el cambio total de la red. Dichas técnicas son descritas a continuación.

4.2.1 Renovación con zanja

El método de apertura de zanja es el más usado para reemplazar una tubería. El procedimiento general consiste en excavar una zanja y remover la tubería existente, preparar las condiciones para la nueva tubería, instalarla y rellenar la zanja alrededor del tubo, ya sea con material de sitio o con material seleccionado compactado.

Los dos métodos de renovación con zanja existentes son renovación con zanja estrecha y renovación con zanja abierta, los cuales son presentados a continuación.

4.2.1.1 Renovación con zanja estrecha

Es una técnica de excavación con zanja que no requiere de entrada operativa. Normalmente, se requiere excavar anchos de 50 a 100 mm mayores al diámetro exterior de la tubería a instalar.

En este tipo de excavación, la mayor parte del trabajo lo realiza una máquina que está conformada por una gran unidad de chasis hidráulico, con un sistema de cuchillas móviles insertadas en un brazo mecánico que realiza el trabajo al ancho y profundidad requerida

Es mucho más costoso que la renovación por medio de zanja abierta, pero es mucho más efectivo en tramos cortos, y requiere menos personal, pero presenta la desventaja que puede tener problemas cuando existen demasiadas conexiones.

4.2.1.2 Renovación con zanja abierta

Es un método tradicional que involucra la excavación de una zanja, colocación de la tubería y relleno de la superficie. La colocación involucra excavación; ya sea manual, a máquina o una combinación de ambos y luego se procede a la preparación del terreno de base y la instalación final de la tubería.

Es recomendable para zonas rurales y obras de bajo presupuesto, sin embargo el impacto ambiental y visual es muy alto.

4.2.1.3 Rompimiento de la Tubería (Pipe Bursting)

El rompimiento de la tubería es un método ya consolidado, para el reemplazo de tuberías desgastadas. La metodología consiste en reemplazar la tubería existente, por otra de un tamaño acorde a los nuevos requerimientos del sistema. Esta técnica es eficaz cuando hay pocas conexiones laterales, cuando la tubería antigua está vieja y deteriorada estructuralmente, y cuando se requiere de capacidad hidráulica adicional.

Esta técnica se ha convertido en un proceso estándar de renovación, es usado tanto en sistemas de tuberías industriales como en municipales para reemplazar gas, agua potable, alcantarillado, líneas de producción y líneas de comunicación.

Gracias a esta técnica es posible aumentar la capacidad de la tubería hasta en un 150%, las obras son realizadas con gran eficiencia y el impacto ambiental es mínimo, sin embargo no es recomendable usarlo para tuberías metálicas ni en terrenos poco consolidados.

Existen diferentes metodologías de Pipe Bursting, las cuales serán detalladas a continuación.

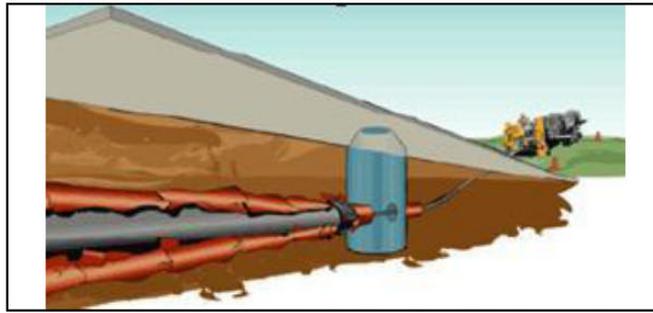


Figura 4-10 Instalación de Pipe Bursting logrando renovación con mayor diámetro.

- **Destrucción Neumática**

Es uno de los métodos más usados; la acción percutora del cabezal es similar a martillar una pared, donde con cada impacto se aleja más de la misma. De esta manera, la cabeza del rompimiento crea una fractura pequeña con cada golpe, y así continuamente.

- **Expansión Hidráulica**

En el sistema de expansión hidráulica, los cabezales del proceso realizan la destrucción por inserción en la tubería receptora hasta que se completa la longitud correspondiente a reemplazar. La tubería es destruida en dos pasos: primero el cabezal del rompimiento se inserta en la tubería vieja para luego expande lateralmente para romperla.

- **Halado Estático**

En este sistema la fuerza para romper la tubería existente, proviene sólo de tirar el cabezal hacia adelante. La cabeza se tira por un cabrestante unido con un cable y es insertada por medio de la tubería existente. Se requiere que la fuerza de tensión aplicada a la cabeza del rompimiento sea bastante grande. El rompimiento con cabeza cónica es realizado por una fuerza radial que rompe la tubería vieja y mantiene un espacio para la nueva tubería.

4.2.2 Rehabilitación

La rehabilitación es otro de los métodos mundialmente usados con el fin de restaurar o mejorar el funcionamiento de un sistema de alcantarillado, lo cual incluye la reducción de las fuentes de infiltración tal como se muestra en Figura 4-11. A continuación se presentan cada uno de los métodos utilizados para realizar la rehabilitación de redes de alcantarillado.

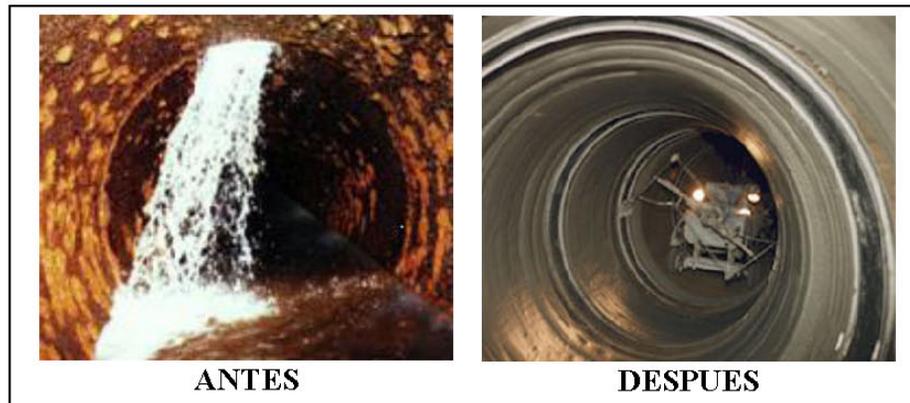


Figura 4-11 Antes y después del proceso de rehabilitación de una tubería.

4.2.2.1 Inserción de revestimiento (sliplining)

La inserción de revestimiento o Sliplining, es un método para rehabilitación con poca o nula excavación, donde una nueva tubería o revestimiento de menor diámetro se coloca dentro de la tubería existente. Acto seguido, el espacio intermedio entre la tubería existente y la nueva es rellenado con algún mortero o material epóxico para prevenir filtraciones y provocar integridad estructural.

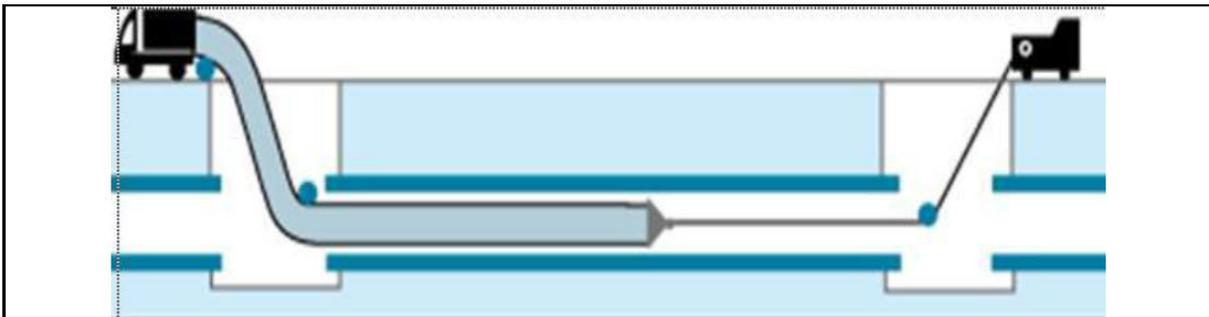


Figura 4-12 Técnica de halado para el deslizamiento de tubería.

- **Técnica de halado**

Esta técnica se utiliza generalmente para tuberías de polietileno con uniones termo soldadas. La nueva tubería es halada utilizando un cable de acero y un cabrestante.

- **Técnica de empuje**

Esta técnica es utilizada cuando se trata de tuberías de PVC rígidas o tuberías de polietileno de diámetros y paredes grandes, en el empuje se utiliza una retroexcavadora que introduce la nueva tubería y la desliza dentro de la antigua

4.2.2.2 Inserción de revestimiento en espiral (Spiral Wound Lining)

Esta técnica utiliza ya sea fibras plásticas o de acero, colocadas en espiral o helicoidalmente para formar una línea nueva de tubería in situ que luego de colocada en su posición puede

ser rellenada por resinas o puede expandirse al diámetro de la tubería huésped. La técnica varía ya sea que permita o no la entrada de personal.

Las ventajas de este método son numerosas entre estas están: La nueva tubería es formada en sitio, no se necesita almacenamiento. El impacto ambiental es mínimo; se elimina la necesidad de excavación excesiva; se puede instalar en condiciones de funcionamiento del sistema, sin desvío de flujo.

Sin embargo la principal limitación de este método es la necesidad de personal calificado para la operación de los equipos.



Figura 4-13 Máquina Rotatoria de Revestimiento en espiral²⁸.

4.2.2.3 Inserción de revestimiento con sección transversal modificada (U Lining)

Existen inserciones de tuberías que buscan un ajuste perfecto entre la tubería antigua y la tubería nueva, y que deforman sustancialmente el nuevo material antes de colocarlo para que una vez en posición recuperen su forma y se adapten a la tubería huésped.

Las principales formas que en que se inserta el revestimiento son en “U”, “C” y “H”. Luego se usa calor o presión para restaurar la forma de la tubería nueva. Los usos que tiene esta técnica van desde tuberías a presión e industriales, hasta líneas de alcantarillado. Los diámetros en que se encuentran disponibles varían entre 3” y 30”.

Este método solo se puede usar para tuberías circulares siendo esta la principal limitación de utilización.

²⁸ http://www.ribloc.com.au/rehab/ribsteel_product_features.html



Figura 4-14 Inserción por el método Subline. (Urban Utility Center)

4.2.2.4 Inserción de revestimiento con sección transversal modificada por reducción simétrica del diámetro (Swagelining)

Este método consiste en la instalación de una nueva tubería de polietileno de alta densidad, dentro de una línea principal de alcantarillado existente. La nueva tubería es halada a través de una serie de rodillos, que actúan como una matriz reductora del diámetro original a uno más pequeño. Este método utiliza la propiedad de los materiales poliméricos para retener la memoria de su forma original. El tubo más pequeño luego es insertado dentro del tubo huésped y presurizado para devolverlo al diámetro original.

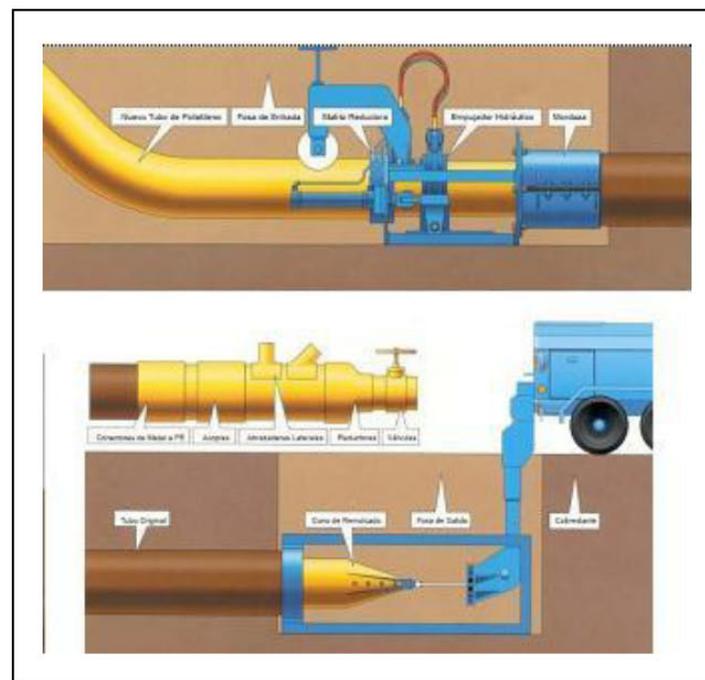


Figura 4-15 Algunos equipos aplicados en Swagelining. (Swagelining TM).

4.2.2.5 Inserción de revestimiento con sección transversal modificada por reducción simétrica del diámetro (Rolldown)

Como técnica alternativa al Swagelining existe otra técnica llamada Rolldown la cual consiste en la reducción de diámetro en frío. Esta técnica es usada principalmente para tuberías de agua potable aunque se puede usar para diámetros de alcantarillado de hasta 20 pulgadas. Es una técnica muy usada en casos en que romper la tubería existente afecta demasiado el ambiente externo a rehabilitar.

Es similar a Swagelining, sólo que en este caso la tubería no es calentada sino que es deformada en frío. Es un procedimiento poco utilizado en alcantarillados debido a sus limitaciones de diámetro, pero por otro lado, compite con la técnica de apertura de zanja por la reducción en la cantidad de excavación. Esta técnica solo se aplica para diámetros inferiores a 20".



Figura 4-16 Proceso de reducción simétrica del diámetro técnica de Rolldown²⁹.

4.2.2.6 Tuberías curadas en el sitio (Cured in Place Pipe)

Este proceso, también conocido como Cured In Placed Pipe (CIPP), consiste principalmente en introducir una bolsa impregnada de resinas dentro de la línea de alcantarillado deteriorada, donde tal resina reacciona térmicamente para convertir el recubrimiento en un tubo resistente luego de un proceso de curado.

Las Principales ventajas e este método son las excavaciones pequeñas por medio de este método se pueden rehabilitar tuberías tanto estructurales como no estructurales; puede adaptarse a grandes deflexiones y formas de tubería.

²⁹ Fuente: <http://www.ludwigpfeiffer.com/>



Figura 4-17 Principio de la inserción de CIPP³⁰

Sin embargo el éxito de la instalación depende en gran medida de personal calificado y con experiencia. Se necesita tiempo para que cure la resina, lo que puede limitar un cierto rendimiento de obra. Los grandes defectos estructurales y las obstrucciones pueden influir en el resultado final.

4.3 Rehabilitación y renovación de cámaras de inspección

Las cámaras de inspección convencionales, ya sean construidas en mampostería o concreto, presentan una serie de inconvenientes y fallas, relacionadas con las características de los materiales y la forma de construcción, algunas de las cuales son: fisuras, corrosión interna por los gases que se generan al interior de los alcantarillados, abrasión y sus consecuencias ambientales y sobre la salud pública.

Dado lo anterior se han desarrollado técnicas de rehabilitación y renovación que permiten mejorar las condiciones internas mediante bolsas de polietileno aplicación de epóxicos y morteros especiales.

Adicionalmente en la actualidad, se fabrican cámaras de inspección con materiales plásticos como polietileno y fibra de vidrio, con todas las ventajas que estos materiales ofrecen.

4.3.1 Mejoramiento de la superficie interna de las cámaras de inspección

Las paredes de las cámaras de inspección están expuestas permanentemente a los gases y sustancias generadas al interior de los sistemas de alcantarillado. Esta condición conlleva a la corrosión generando progresivamente el deterioro de la cámara, permitiendo de esta manera la pérdida de las propiedades herméticas.

³⁰ Fuente: <http://www.ludwigpfeiffer.com>

A continuación se listan los métodos más comunes utilizados con el fin de mejorar la superficie interna de las cámaras de inspección.

4.3.1.1 Aplicación de morteros

Este es el método más sencillo para la reparación de cámaras de inspección y consiste en la aplicación, manual o por medio de un quipo de inyección, de una base de cemento Portland, agua, arena, aditivos impermeabilizantes y aditivos que aporten resistencia química.

El objeto de esta técnica es simplemente rellenar los espacios y sellar fisuras en las paredes, pero se tiene la desventaja de poseer las mismas características rígidas que incrementan el riesgo de fisuración.

4.3.1.2 Aplicación de epóxicos

Consiste en la aplicación mediante equipos especializados de inyección de una mezcla de dos componentes químicos sobre la superficie interna de la cámara de inspección. El epóxico forma una película hermética con cierto grado de elasticidad y resiste a los efectos corrosivos generados por los agentes químicos del agua residual.

4.3.1.3 Instalación de bolsas de polietileno

Este es uno de los métodos que permiten mejorar las condiciones internas de las cámaras de inspección a largo plazo. Consiste en la instalación de una bolsa de polietileno con la forma de la cámara, sometiéndola a altas temperaturas para adherirla a las paredes.



Figura 4-18 Aplicación de bolsas de polietileno para rehabilitación de cámaras de inspección.

La ventaja fundamental de esta técnica, adicional al mejoramiento interno de las paredes, es la adición de ciertas propiedades flexibles que permiten un alto grado de fisuración de las paredes rígidas de mampostería sin presentarse infiltraciones o exfiltraciones.

La bolsa de polietileno flexible asimila, hasta cierto grado, la responsabilidad de mantener la hermeticidad en la cámara de inspección ante asentamientos diferenciales que agrietan sus paredes.



Figura 4-19 Antes y después de instalar la bolsa de polietileno.

4.3.2 Instalación y reemplazo por cámaras de inspección de materiales plásticos

Adicionalmente a todos los problemas de deterioro que presentan las cámaras de inspección de mampostería, estos presentan discontinuidades en los tramos de tuberías del alcantarillado, tanto a nivel hidráulico como a nivel de propiedades de los materiales. Esto ha impedido, en cierta forma, la concepción de una red de alcantarillado monolítica y flexible.

Actualmente se han desarrollado cámaras de inspección prefabricados con materiales plásticos, que permiten integrar la red como un solo sistema y facilitan el reemplazo de aquellas cámaras que han perdido todas sus propiedades mecánicas y herméticas.

La decisión de reemplazar las cámaras de inspección en mampostería de una red por cámaras en polietileno y fibra de vidrio, implicaría un alto costo, lo que hace más atractivo la rehabilitación con bolsas y epóxicos.

En el caso de redes de alcantarillado nuevas, si se recomienda el uso de cámaras con materiales plásticos, con el fin de tener sistemas menos vulnerables a la presencia de defectos, ya sean producto de la fase constructiva o de operación, que permitan el ingreso aguas provenientes de la infiltración.

4.4 Sellado de defectos que permiten infiltración

Las técnicas para solucionar problemas de infiltraciones, se consideran como reparaciones locales, ya que se hacen en puntos localizados de la estructura de la tubería y/o sus empalmes; procedimiento durante el cual se debe permitir el funcionamiento de la tubería durante la reparación.

Las técnicas de sellado serán enunciadas a continuación.

4.4.1 Lechado, Sellado y Aplicación con Rocío

El sellado con productos químicos es el método más usado para reparar juntas que tienen infiltraciones o fugas en el alcantarillado. No proporciona reparación estructural y es inadecuado para tubos con grietas longitudinales o circunferenciales y para roturas totales, en la Figura 4-20 se muestra una fotografía de una junta sellada químicamente.

Sin embargo, otros métodos como las mangas de reparación (“Repair Sleeve”) conjuntamente con el sellado químico, son apropiados para tales reparaciones. Procurar sellar los empalmes que se fugan o infiltran ha producido resultados cuestionables. Algunos tipos de lechadas químicas han fallado en regiones áridas, donde se han secado demasiado o han reaccionado químicamente con el agua de zonas costeras.



Figura 4-20 Junta sellada químicamente³¹.

Para tuberías pequeñas, el sellado es acompañado de equipos especiales y de una cámara de televisión (CCTV). El envase de lechada y la cámara son halados dentro de la tubería por

³¹ Fuente: CALTRANS supplement to FHWA culvert repair practices manual

cables. Paso seguido, aire o agua son introducidos dentro de la tubería para probar la eficiencia del proceso.

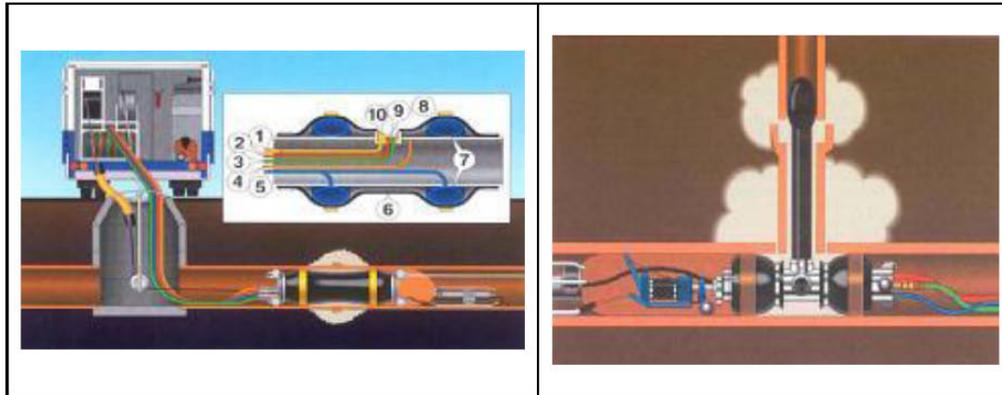


Figura 4-21 Proceso de lechado sellado y aplicación por rocío.

En tubos suficientemente grandes para la entrada de un hombre, la rehabilitación es lograda utilizando anillos de sellado y métodos manuales de rocío.

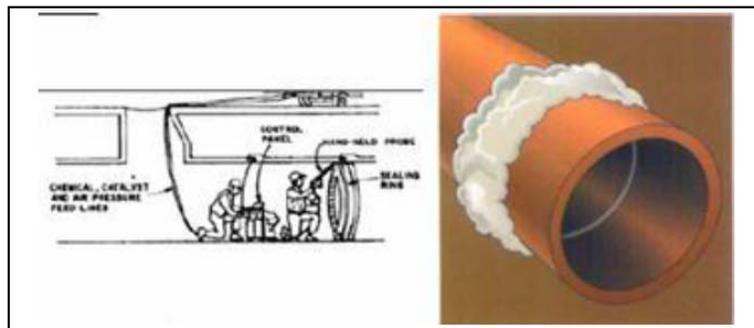


Figura 4-22 Sellado de fugas logrado a partir de resinas de penetración insertadas manualmente³².

Los materiales utilizados como suplementos para el sellado son variados, aunque las resinas principales son los geles y el poliuretano. La decisión entre tomar una resina u otra se basa en aspectos tales como suficiencia de penetración, resistencia química y capacidad de soportar ciclos seguidos de secado y humedad. Generalmente, el poliuretano es más caro o difícil de instalar. (CALTRANS, 2003)

Otro material muy utilizado dentro del sellado es el mortero de cemento, el cual puede ser acompañado de anillos de PVC o acero.

³² Fuente: CALTRANS supplement to FHWA culvert repair practices manual

4.4.2 Reparación con Robots

La reparación con robots es una técnica de reparación puntual para grietas y defectos de juntas en líneas de alcantarillado. Los robots son adecuados para situaciones en que no es posible la entrada de un hombre, ya sea por espacio o por falta de oxígeno en el ambiente de rehabilitación.

Estas tecnologías han sido desarrolladas en Europa y más tarde utilizadas en Norte América. Las herramientas robóticas son principalmente utilizadas para la inspección de tuberías, pero también se pueden utilizar para terminar trabajos de rehabilitación.

La principal técnica en la que se utilizan los robots dentro de la reparación de alcantarillados, es la inyección de resinas. La robótica ha desarrollado máquinas que pueden reducir obstrucciones y en segunda fase, realizar algún tipo de rehabilitación.



Figura 4-23 Rehabilitación con métodos robóticos³³.

4.4.3 Sellado con Articulaciones (LINK PIPE)

Inicialmente se empieza con un proceso de limpieza, donde todos los pedazos del tubo anterior son retirados. Luego de la limpieza, se coloca la pieza de Link.

³³ Fuente: <http://www.dbigroup.co.uk>

Paso seguido, una prensa neumática es utilizada para colocar la pieza tocando la corona del tubo huésped.



Figura 4-24 Link Pipe Fase 2.

A continuación, se utiliza otro gato para completar la forma de anillo de la pieza y terminar de cubrir completamente la sección de la tubería.



Figura 4-25 Link Pipe Fase 3.

El proceso se puede repetir varias veces, hasta llegar a la longitud requerida o incluso se puede rehabilitar la línea completa.

Seguido a esto, se empieza el proceso de sellado del espacio anular, para el cual se utiliza algún tipo de resina o mortero.

La revisión del trabajo se realiza con una cámara de luz ultravioleta.

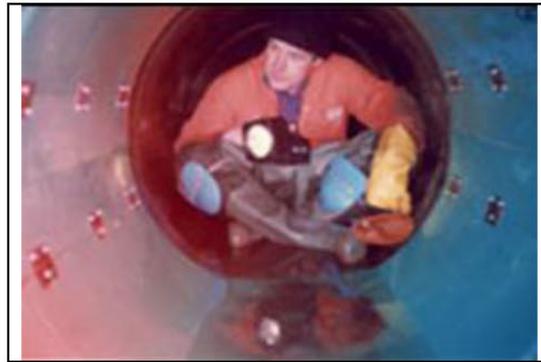


Figura 4-26 Link Pipe Fase 5.

4.4.4 Tubería Endurecida en el Punto de Aplicación

En algunos casos, se pueden utilizar técnicas de curado en sitio para rehabilitar pequeños tramos de tubería. Los tramos recomendados pueden medir entre uno y tres metros, y se sellan con pequeñas porciones de resinas anularmente. Estos tramos están hechos con fibra de carbono o poliéster impregnado con algún epóxico.

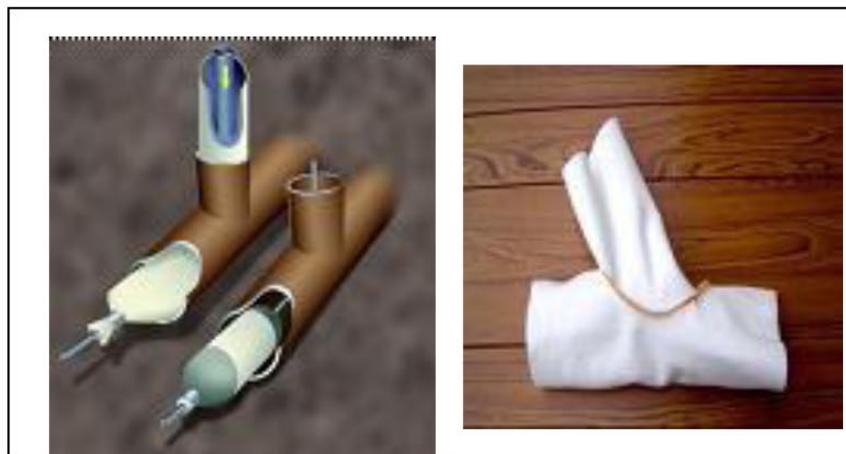


Figura 4-27 Esquema del sistema de reparación puntual interna por CIPP³⁴.

³⁴ Fuente: <http://www.dbigroup.co.uk/>

5 Consideraciones a tener en cuenta en la etapa de diseño y construcción

Durante la etapa de diseño los caudales generados por infiltración son considerados a partir de valores recomendados, ya sea por la norma vigente en la ciudad donde se esté realizando el diseño o por experiencia del consultor.

En la etapa de construcción y puesta en marcha, toda línea de alcantarillado debe ser sometida a una inspección visual, bien sea mediante cámaras de televisión para diámetros pequeños, o recorrido interior para diámetros grandes, con el propósito de verificar posibles defectos en la instalación de las tuberías tales como: obstrucciones, grietas que excedan las aceptables por las normas, juntas mal selladas, conexiones domiciliarias mal ejecutadas y conexiones en los pozos defectuosas, entre otros.

En este capítulo se pretende dar una guía comparativa de valores de infiltración a ser considerados en los diseños, dependiendo del material de la tubería utilizado y de las condiciones de instalación y, de otro lado, presentar algunas de las normas y procedimientos que se deben seguir para verificar el funcionamiento de una red de alcantarillado recientemente instalada.

5.1 Comparación de los diferentes materiales utilizados en sistemas de alcantarillado

Tradicionalmente en la construcción de redes de alcantarillado se utilizan tubos de PVC, concreto reforzado, concreto reforzado con revestimientos plásticos, polietileno de alta densidad (HDPE) y en algunos lugares se utilizan tubos de arcilla revestidos de hormigón.

Para determinar que tipo de tubería presta el mejor servicio para una situación particular se deben tener en cuenta las siguientes características:

- Condiciones de presión máxima.
- Cargas dinámicas y estáticas.
- Condiciones del suelo (química del suelo, nivel freático y estabilidad).
- Materiales de juntas requeridos.
- Equipo de instalación requerido.
- Características físicas y químicas de las aguas residuales.
- Rango de tamaños requeridos.
- Compatibilidad con sistemas existentes.
- Requerimientos de protección catódica contra la corrosión.
- Requerimientos de mantenimiento.

En la Tabla 5-1 se listan algunas de las ventajas y desventajas para cada material usado en sistemas de alcantarillado. Las ventajas y desventajas a ser consideradas para las tuberías usadas en sistemas de alcantarillado incluyen requerimientos constructivos, requerimientos de presión, profundidad de la cobertura y costo.

Tabla 5-1 Ventajas y desventajas de los diferentes materiales³⁵

Material	Ventajas	Desventajas
Hierro dúctil	Buena resistencia a la corrosión cuando está recubierta	Pesado
Concreto	Buena resistencia a la corrosión Extensa disponibilidad Altamente resistentes Buena capacidad al soporte de carga	Requiere mucho cuidado en la instalación para evitar fractura Pesada Susceptible de ser atacado por H ₂ S y ácidos cuando el tubo no está recubierto
Arcilla vitrificada	Buena resistencia a la acción de ácidos y demás químicos Resistente	Las juntas son susceptibles al ataque químico Requiere mucho cuidado en la instalación Frágil (puede fracturarse) Longitudes de tubos cortas y numerosas juntas lo que la hace propensa a problemas de infiltración y excesivos costos en la instalación
Termoplásticos (PVC, PE, HDPE, ABSI)	Livianas Fáciles de instalar Económicas Buena resistencia a la corrosión Superficies muy lisas que reducen las pérdidas por infiltración Las longitudes de las tuberías reducen el potencial de infiltración Flexibles	Susceptible al ataque químico, especialmente solventes Fuertemente afectadas por la luz solar a menos que esté protegido contra rayos UV Requiere un encamado especial
Termoset (FRP)	Altamente resistentes Peso liviano Resistente a la corrosión	Alto costo de los materiales Frágil (puede fracturarse); requiere precaución en la instalación Altos costos en la instalación

Por medio de estos ensayos de infiltración es posible asignar a cada material de tubería un valor aproximado de la cantidad de agua que ingresa por infiltración, tal como se muestra en la siguiente tabla, en donde se presentan algunos valores de infiltración obtenidos empíricamente.

³⁵ Fuente: Wastewater Technology Fact Sheet Pipe Construction and Materials

Tabla 5-2 Valores de infiltración dependiendo del material de la Tubería³⁶.

Valores de caudales de Infiltración en diferentes materiales de tuberías Qi (L/s/m)								
Unión con:	Tubo de cemento		Tubo de arcilla		Tubo de arcilla vitrificada		Tubo de P.V.C	
	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma
N. Freático bajo	0,0005	0,0002	0,0005	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,00005
N. Freático alto	0,0008	0,0002	0,0007	0,0001	0,0003	0,0001	0,00015	0,0005

5.2 Normas y especificaciones que deben ser tenidas en cuenta en la etapa de construcción y puesta en marcha

Anteriormente los sistemas de alcantarillado en Estados Unidos se construían sin considerar cantidades máximas permisibles de infiltración de aguas subterráneas hacia las tuberías y de exfiltración de éstas a los suelos. Sin embargo, con la introducción de los sistemas separados de alcantarillado, sanitarios por un lado para el tratamiento de las aguas residuales, y pluviales por otro, los aspectos económicos obligaron a limitar este tipo de flujos, es así como los límites permisibles de infiltración fueron evolucionando a través de los años, tal como se muestra en la figura 5-1.

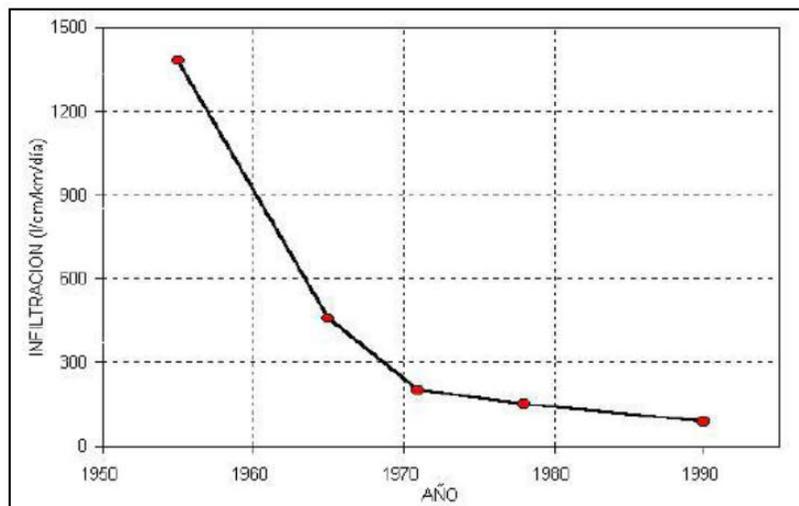


Figura 5-1 Evolución de los límites permisibles de infiltración en los sistemas de alcantarillado en Estados Unidos.

³⁶ Fuente: http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/20/cap_iv.htm#CaudalInfiltracion. Manual para el cálculo, diseño y proyecto de redes de alcantarillado “Ing. Waldo Peñaranda”.

A mediados de la década 1950-60, se permitían infiltraciones de hasta 1500 galones por pulgada de diámetro por milla por día (1389 l/cm/km/día). En los 60's se consideraron 500 (463 l), y a finales de esta década y principios de la década 1970-1980, se continuó con la tendencia a disminuir las infiltraciones con el empleo de tuberías de mejor calidad y mejores empaques para las juntas. En estos años, los rangos de infiltración fueron de 200 galones/pulg/milla/día (185 l/cm/km/día). Este límite es alto desde el punto de vista costo-beneficio por lo que se especifican rangos de 50 a 150 galones/pulgada/milla/día (46 a 139 l/cm/km/día). Sin embargo algunas normas de 1990, establecen un límite permisible de infiltración o exfiltración de 185 l/cm/km/día para tuberías de concreto.

En Colombia el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000) establece que en el diseño de redes de recolección de aguas residuales y pluviales domésticas se deben estimar y clasificar la infiltración debida a aguas freáticas, en juntas ejecutadas deficientemente, en la unión de colectores con pozos de inspección y demás estructuras.

La estimación se hace a través de aforos en el sistema, en la medida de lo posible, cuando el caudal sea mínimo, teniendo en cuenta la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de los colectores, las dimensiones, estado y tipo de colectores, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de pozos de inspección y demás estructuras, y su calidad constructiva.

En caso de que el nivel freático este por encima de la clave del colector se recomienda hacer una prueba de infiltración con el fin de establecer si las condiciones de impermeabilidad son adecuadas; en este se aísla un tramo aguas arriba y se mide el caudal de infiltración aguas abajo por medio de un vertedero. El criterio de aceptación está representado por un rango de valores de infiltración que puede estar entre 10 y 20 litros por milímetro de diámetro, por kilómetro de longitud de colector y por día.

La Norma Técnica Colombiana NTC – 4885 indica que la cantidad de infiltración no debe ser superior a 185 litros por centímetro de diámetro, por kilómetro de tubería por día, (200 galones por pulgada de diámetro, por milla de tubería y por día) cuando el nivel freático promedio está entre 0.6 y 1.8 m. sobre el lomo de la tubería.

Para llevarla a cabo, se escoge un tramo al azar, se taponan la tubería en el pozo de aguas arriba y se mide en el pozo de aguas abajo el agua de infiltración. La medición se puede hacer mediante el método de volumen-tiempo, con vertedores u otro tipo de medidores de flujo a superficie libre, tal como se muestra en la Figura 5-2.

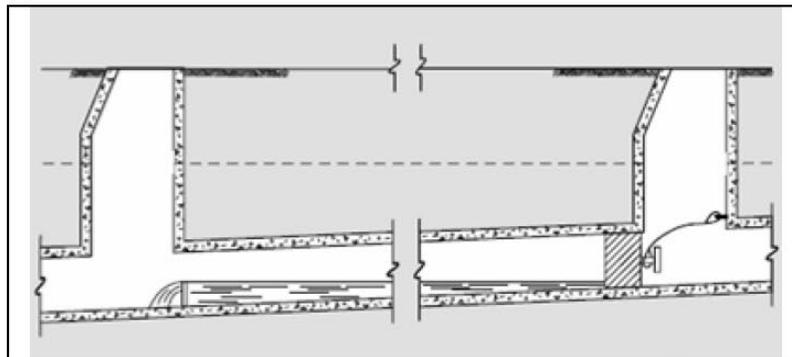


Figura 5-2 Medición de la infiltración en campo³⁷.

El material y los detalles de instalación de un vertedero usado para determinar el caudal transportado por la red de alcantarillado se muestra en la Figura 5-3.

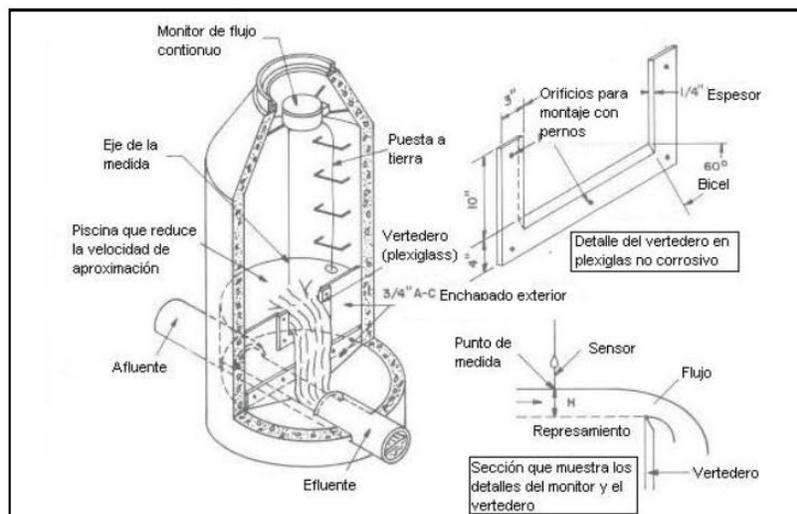


Figura 5-3 Instalación del vertedero y detalles³⁸.

La estanqueidad también debe ser verificada en los pozos de inspección o estructuras de conexión tal como lo expresa la Norma Técnica Colombiana NTC 3676 denominada Métodos para ensayo de cámaras de inspección en concreto.

En la Tabla 5-3, se resumen las diferentes normas aplicables en países como Estados Unidos, México y Colombia, con el fin de verificar la hermeticidad de los sistemas de alcantarillado, tanto de las tuberías como de las cámaras de inspección y estructuras de conexión.

³⁷ Tomado de: American Concrete Pipe Association, "Concrete pipe & Box culvert. Installation". <http://www.concrete-pipe.org>

³⁸ Tomado y modificada de: Existing sewer evaluation and rehabilitation.

Tabla 5-3 Pruebas de hermeticidad para aceptación de tramos nuevos de alcantarillado³⁹.

Prueba	Norma	País	Alcance
Aire a baja presión	UNI-B-6-90	EEUU	No se indica un material específico de aplicación. Se recomienda que el tramo que se prueba tenga una superficie interna menor a 58 m ² .
Aire a baja presión en tubos plásticos	ASTM F 1417-92	EEUU	Similar a la UNI-B-6-90. La ASTM la establece solo para tuberías plásticas.
Aire a baja presión para tubos de concreto	ASTM C 929-M-89	EEUU	Similar a la anterior. Tubos de concreto de 100 a 600 mm de diámetro. Para diámetros mayores se indica la inspección visual (Equipos de video) y pruebas individuales a las juntas.
Aire a baja presión en tubos de arcilla vitrificada	ASTM C 828-90	EEUU	Es similar a la anterior con aplicación a arcilla vitrificada.
Infiltración y exfiltración en tubos de concreto	ASTM C 828-90	EEUU	Tuberías de concreto hasta de 600mm. La prueba de infiltración, con vertederos u otro método, se aplica a tramos con carga de aguas freáticas de 0.6m o más en toda su extensión. En la exfiltración, los tramos se someten a 0.6m de carga sobre el nivel de aguas freáticas (en su caso). El límite permisible es de 185l/cm/km/día, sin incluir las cámaras de inspección.
Hidrostática	CNA-1994	México	Para emisores y conectores, con un llenado en las cámaras de inspección a nivel del cuello.
Especificaciones para hermeticidad de alcantarillado sanitario	NOM-001-CNA-1995	México	Se aplica a todos los materiales y a todos los diámetros. Describe las pruebas de campo; se da la opción de la prueba mecánica. Indica las normas NMX correspondientes a cada material.
Métodos para ensayo de cámaras de inspección en concreto	NTC 3676	Colombia	Norma técnica referente a estanqueidad de cámaras de inspección y estructuras de conexión.
Máximo caudal de infiltración en redes de alcantarillado	NTC 4885	Colombia	Indica que la cantidad de infiltración no debe ser superior a 185 litros por centímetro de diámetro, por kilómetro de tubería por día, (200 galones por pulgada de diámetro, por milla de tubería y por día) cuando el nivel freático promedio está entre 0.6 y 1.8 m. sobre el lomo de la tubería.

³⁹ Tomado y modificado de: “Banco de pruebas de hermeticidad y resistencia a la ruptura para tuberías de concreto y fibrocemento para alcantarillado sanitario”.

6 Planes de manejo de Infiltración y caudales incontrolados en alcantarillados

Este capítulo pretende ser una guía para la empresa prestadora del servicio y sus consultores en los procesos involucrados con establecer e implementar estrategias efectivas para el control del problema de la infiltración y los caudales incontrolados.

El propósito de los Planes de Manejo de la Infiltración y los Caudales Incontrolados en los sistemas de alcantarillado es facilitar el desarrollo de procedimientos y métodos para minimizar el volumen de agua que ingresa a la red debido a este problema y los costos asociados, tanto sociales como ambientales, los cuales son:

- Sobrecostos en operación de bombeos y plantas de tratamiento.
- Altos costos de capital para garantizar infraestructura de alcantarillado para manejar las cargas extras aplicadas por la infiltración y los caudales incontrolados. Esto es particularmente evidente en el tamaño de estaciones de bombeo y plantas de tratamiento.
- Costos e impactos ambientales y sociales de desbordamientos de los sistemas de alcantarillado.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de las etapas que se llevan a cabo en los Planes de Manejo de la infiltración y los caudales incontrolados.

6.1 Procesos de manejo de la infiltración y los caudales incontrolados

El proceso para el manejo y control de la infiltración es mostrado en la Figura 6-1.

6.1.1 Evaluación del sistema de alcantarillado de agua residual

Esta etapa involucra entender el funcionamiento del sistema, los flujos y capacidades, lo cual incluye actividades como:

- Establecer las fronteras de las cuencas y las subcuencas
- Recopilar toda la información concerniente al funcionamiento del alcantarillado, incluyendo niveles, capacidades teóricas, modelo del sistema y registros de operación y mantenimiento, incluyendo entrevistas con personal relevante.
- Definir los componentes del sistema incluyendo los puntos de desbordamientos potenciales, puntos adecuados para monitoreo de flujo y áreas responsables de sobrecargas.

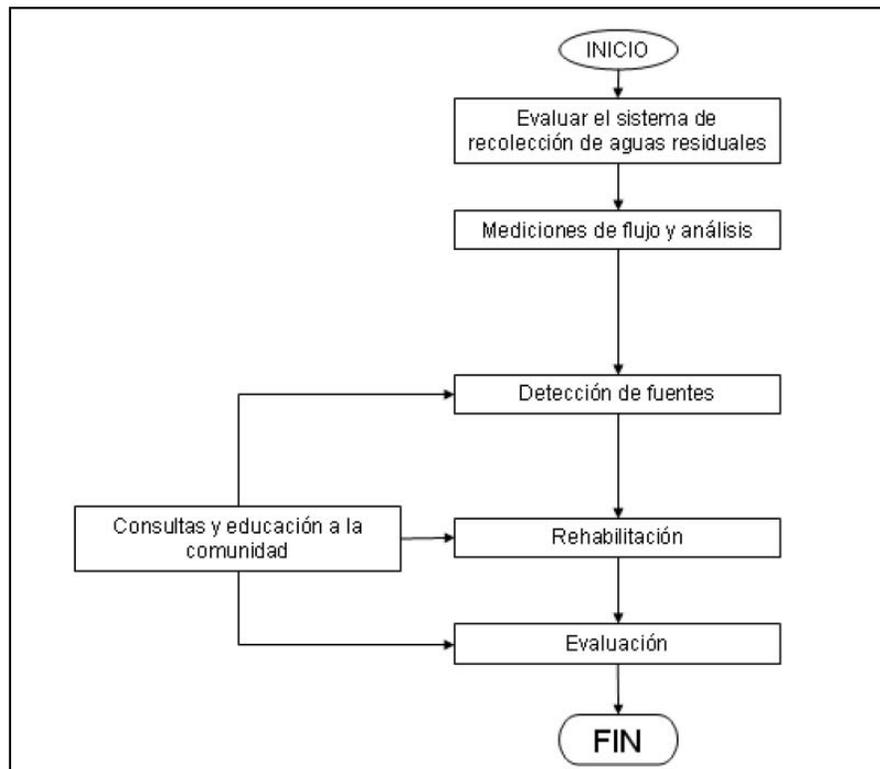


Figura 6-1 Plan de manejo de la infiltración y los caudales incontrolados ⁴⁰.

6.1.2 Mediciones de flujo y análisis

Este análisis localizará áreas de caudales altos y bajo, indicando tiempo seco de infiltración y exfiltración, fuentes de caudales de caudales en tiempo húmedo y su magnitud y lugares de potenciales sobrecargas.

6.1.3 Detección de fuentes

Esta etapa involucra el uso de la información de etapas previas para luego hacer un análisis de Pareto y poder identificar las subcuencas más afectadas.

Los métodos de investigación intensiva apropiada que se usarán para localizar las fuentes de flujo y su causa.

Este procedimiento llevará al desarrollo de un plan de rehabilitación el cual determina las técnicas más apropiadas y que presenten una buena relación costo/beneficio a ser empleadas para resolver los problemas hidráulicos. Las técnicas seleccionadas también dirigirá la evaluación de los problemas estructurales encontrados.

⁴⁰ Tomado y modificada de: "Sewer infiltration and inflow management plan Thuringowa water".

Algunos ejemplos utilizados para la detección de fuentes incluyen:

- La prueba de humo
- Inspección con Circuito Cerrado de Televisión (CCTV).
- Simulación en tiempo seco
- Simulación en tiempo lluvioso y
- Medición de flujo nocturno

6.1.4 Evaluación

Esta etapa se realiza luego de haber realizado intervenciones en la red, ya sea, con metodologías de renovación o rehabilitación, en donde se hace una revisión de flujos en las cuencas rehabilitadas o renovadas con el fin de determinar la efectividad de los trabajos realizados.

6.1.5 Consulta y educación a la comunidad

Esta actividad podría incluir:

- Educación a la comunidad sobre los impactos adversos en los campos social y ambiental, de la descarga de agua superficial de aguas de los techos en el alcantarillado.
- Dar asistencia especializada sobre los eventos de sobrecargas y potenciales entradas de caudales incontrolados.

7 Conclusiones

La cantidad de agua que ingresa a los sistemas de alcantarillado debido a la infiltración y a los caudales incontrolados, depende de la condición de todos los elementos que constituyen el sistema de alcantarillado, tales como el número de conexiones erradas, las condiciones físicas de las líneas principales y las domiciliarias, el nivel del agua subterránea y la porosidad del suelo.

La reducción y control de la infiltración y los caudales incontrolados puede ser manejado desde el propio diseño con la escogencia apropiada del material, y principalmente en la etapa de construcción durante la instalación apropiada de la infraestructura (incluyendo conexiones y cámaras de inspección), una cuidadosa supervisión durante la construcción y en la etapa de operación con una inspección constante y mantenimiento preventivo.

En la actualidad se dispone de los elementos para el diseño y la construcción de sistemas de alcantarillado hermético que cumplan con las normas y especificaciones vigentes, sin embargo se requiere la aplicación de metodologías que permitan verificar la hermeticidad del sistema de una forma rápida y sencilla.

La elaboración de Planes de Manejo de Infiltración y los Caudales Incontrolados en los sistemas de alcantarillado, por parte de las empresas prestadoras del servicio de alcantarillado, es una medida que tiene grandes efectos económicos en la misma, ya que se puede operar más eficientemente la red y determinar, con anticipación la ocurrencia de eventos de inundaciones, y determinar y priorizar la necesidad de rehabilitar o renovar las tuberías del alcantarillado.

En el control de la infiltración y los caudales incontrolados se debe prestar especial atención a todo el sistema, ya que tradicionalmente se acostumbra rehabilitar las líneas principales de la red y se ignoran estructuras como las conexiones domiciliarias, cámaras de inspección y demás, aun cuando estas estructuras tienen gran parte de la responsabilidad del problema de la infiltración y las conexiones erradas.

Las cámaras de inspección construidas en concreto y mampostería de ladrillos tienen un alto riesgo para la eficiencia del sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales, esto ocurre por las limitaciones de estos para resistir a largo plazo las condiciones agresivas a que son sometidos. Los problemas más comunes son la infiltración, fatiga estructural y corrosión. Estos problemas, además de afectar el funcionamiento de la red por colapsos de estas estructuras o sobrecargas de las tuberías, generan enormes sobrecostos en el tratamiento de las aguas residuales ya que ingresan a las plantas caudales mayores a los de diseño.

Los sistemas de almacenamiento temporal permiten evitar inundaciones sin que se presenten problemas con respecto al comportamiento hidráulico de las tuberías y los canales.

8 Recomendaciones

La experiencia obtenida al realizar la investigación sobre “*Infiltración y caudales incontrolados en sistemas de alcantarillado*” permite recomendar que:

Es necesario crear en Colombia un sistema de incentivos económicos con el fin de reducir los caudales generados por infiltración y conexiones erradas, con el fin de motivar a las empresas prestadoras del servicio a generar planes de manejo que ataquen el problema de la infiltración y los caudales incontrolados, a través de mayores exigencias en las fases de diseño y construcción, además proyectando rehabilitaciones y/o renovaciones de redes que se encuentren en mal estado.

Tanto en la fase de diseño como de construcción es recomendable proyectar e instalar tuberías que lleven instalado el hidrosello desde la fábrica, lo cual disminuye la probabilidad de cometer errores en la instalación de la tubería en obra.

Se deben realizar inspecciones y controles tanto en las redes principales del sistema de alcantarillado, así como en las redes menores y domiciliarias, ya que estas fuentes de infiltración tienen gran responsabilidad en el problema de la infiltración y los caudales incontrolados.

Se debe incrementar el uso de cámaras de inspección de materiales plásticos, ya que estas, disminuyen notablemente el ingreso de aguas a través de sus paredes y juntas.

Se debe capacitar a la comunidad sobre el problema de la infiltración y los caudales incontrolados, sus fuentes, consecuencias y los beneficios que trae evitarlo y corregirlo, esto con el fin de que la comunidad participe activamente en la prevención y mitigación de dicho problema, ya que no es responsabilidad de la empresa prestadora del servicio, verificar y controlar la construcción de las redes internas de la viviendas.



9 Referencias

- De Bénédittis J., Bertrand – Krajewski L. “Infiltration in sewer systems: comparison of measurement methods”. 2005
- Thuringowa Water. “Total managemet plan: sewer infiltration and inflow management plan”.2006
- <http://www.cdmb.gov.co/proyectos/pexmayo/cap456h.htm#aportes>.
- Wade Mark G. “Controlling inflow and infiltration in wastewater collection systems”
- Bureau of Engineering Manual – part F. “Sewer Construction”. 1992
- Environmental Protection Agency. “Wastewater technology fact sheet: Pipe construction and materials”. 2000
- ASTM. “C 1103 – 03: Standard practice for joint acceptance testing of installed precast concrete pipe sewer lines”.
- ASTM “PVC Sewer pipe – joint infiltration leak – rate testing”. 2001
- ASTM. “C 969 – 02: Standard practice for infiltration and exfiltration acceptance testing of installed precast concrete pipe sewer lines”. 2002
- ASTM. “C 1091 – 03a: Standard test method for hydrostatic infiltration testing of vitrified clay pipe lines”. 2003
- Rangel Moreno. J. “Estado del arte en pruebas de hermeticidad en alcantarillado”. 1994
- Rangel Moreno. J. “Pruebas de hermeticidad con aire a baja presión en alcantarillado”. 1994
- Rangel Moreno. J. “Pruebas de hermeticidad en pozos de visita en alcantarillado”. 1994
- RAS 2000. “Titulo E: Tratamiento de aguas residuales”. 2000
- RAS 2000. “Titulo D: Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales”. 2000
- American Concrete Pipe Association. “Concrete pipe and box-culvert installation”. 2007.
- Caldiño V. Ignacio, Hernández M. Isabel, Casados Jorge A. “Bancos de pruebas de hermeticidad y resistencia a la ruptura para tuberías de concreto y fibrocemento para alcantarillado sanitario” 1995.
- ASCE “Existing sewer evaluation and rehabilitation” 1994.
- Abraham Dulcy M., Gillani A. Syed “Innovations in materials for sewer system rehabilitation”.1999.



- EPA “Folleto informativo de operación y mantenimiento del alcantarillado: Limpieza e inspección de tuberías”. 1999.
- Penhallegon Associates Consulting Engineers “Comprehensive Sewer System Plan – City of Sedro-Wooley - Appendix B: Pipe line replacement and rehabilitation”.
- Department of Natural Resources and Parks – Wastewater treatment division “Executive’s recommended regional infiltration and inflow control program”. 2005.
- Department of Environmental Protection – Massachusetts “Guidelines for performing infiltration/inflow analyses and sewer system evaluation survey”. 1993.
- ASCE, EPA “Protocols for identifying sanitary sewer overflows”. 2000.
- Fundish Aaron E., Kiest Larry W. “A case study in infiltration reduction through trenchless technology”. 1999
- Reemtsma T., Gnirb R., Jekel M. “Infiltration of combined sewer overflow and tertiary municipal wastewater: an integrated laboratory and field study on nutrients and dissolved organics”. 2000.
- Regional Wastewater Services Plan – King Country Council “Regional infiltration/inflow control: Standards, guidelines, procedures and policies”. 2004.
- WAVIN “Stormwater management: design and installation manual”. 2002
- Ellis J. Bryan “Sewer infiltration/exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality”. 2001.
- Wade Mark G. “Controlling inflow and infiltración in wastewater collection systems”. 2002
- Wade Mark G. “Rehabilitating your sanitary sewer infrastructure: what’s at stake?” 2002
- EPA “Wastewater technology fact sheet: Pipe construction and materials”. 2000
- Navarro Ivonne “Determinación de la viabilidad técnica y económica de un sistema de almacenamiento temporal de aguas de drenaje urbano para la ciudad de bogotá” 2007
- Lara Carlos R. “Determinación del estado de redes de alcantarillado y su necesidad o no de ser sometidas a renovación/rehabilitación teniendo en cuenta su comportamiento hidráulico. Caso ciudad de Tunja”. 2007
- EPA, Amick R., Burgess E. “Exfiltration in sewer systems”. 2000
- EPA “Combined sewer overflow technology fact sheet: inflow reduction” 1999
- EPA “National conference on sanitary sewer overflows” 1996