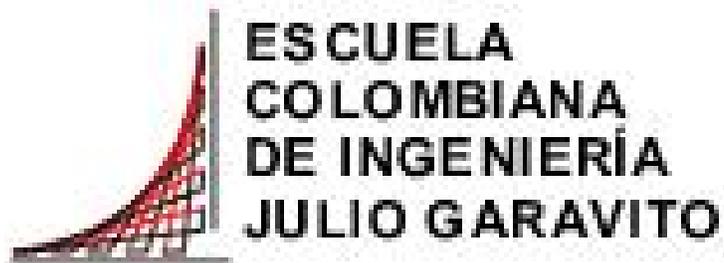


METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA PARA LA  
REHABILITACIÓN DE REDES TRONCALES DE ALCANTARILLADO.

CARLOS ANDRES PUPO GONZALEZ



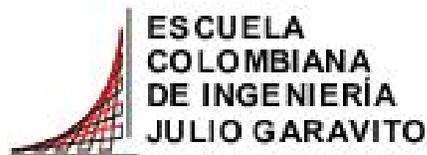
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL  
ÉNFASIS EN RECURSOS HIDRAULICOS Y MEDIO AMBIENTE  
BOGOTA D.C.  
FEBRERO de 2014.

**METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA PARA LA  
REHABILITACIÓN DE REDES TRONCALES DE ALCANTARILLADO.**

**CARLOS ANDRES PUPO GONZALEZ**

Trabajo de Tesis para optar el título de Mater en Ingeniería Civil

Director del proyecto de Tesis:  
Dr. Héctor Alfonso Rodríguez Díaz



**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL  
ÉNFASIS EN RECURSOS HIDRAULICOS Y MEDIO AMBIENTE  
BOGOTA D.C.  
FEBRERO DE 2014.**

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

---

Jurado No. 1

---

Jurado No. 2

---

Director

---

Dr. Héctor Alfonso Rodríguez

**Bogotá, 14 de Febrero del 2014**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por iluminarme durante todo este tiempo para alcanzar un objetivo más en la Vida. A mi mamá por ayudarme durante todo este tiempo y estar a mi lado siempre.

También quisiera expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que con su ayuda han colaborado para la realización del presente trabajo, en especial al Dr. Alfonso Rodríguez director de esta investigación, por el seguimiento y la orientación de la misma, pero sobre todo por su apoyo constante, motivación y consejos que me ayudaron a continuar con esta meta, sin desviarme nunca del objetivo e impulsarme a lograrlo durante estos años de trabajo. De igual forma especial reconocimiento para el Dr. German Acero, Dr. German Santos y Héctor Matamoros profesores pertenecientes al centro de estudios hidráulicos de la Escuela Colombiana de ingeniería quienes mostraron interés por mi trabajo y su apoyo incondicional.

Estos agradecimientos quisiera hacerlos extensiva a la escuela Colombiana de Ingeniería por la beca que me otorgaron, la cual permitió obtener los recursos económicos para culminar estos estudios.

A todos mis amigos un agradecimiento muy especial por sus comprensión.

Muchas Gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1 GENERALIDADES.....	12
1.2 OBJETIVO GENERAL .....	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
1.4 PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	15
1.5 DEFINICIONES .....	15
1.5.1 <i>Sistemas de alcantarillado</i> .....	16
1.5.1.1 Sistemas de alcantarillados convencionales .....	16
1.5.1.2 Sistemas de alcantarillados no convencionales .....	16
1.5.1.3 Sistemas in situ .....	17
<b>2. CONCEPTOS DE REHABILITACIÓN.....</b>	<b>18</b>
2.1 EL PROBLEMA DEL DRENAJE URBANO.....	18
2.2 LA NECESIDAD DE REHABILITACIÓN DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO .....	18
2.3 REPARACIÓN, RENOVACIÓN O REEMPLAZO .....	20
2.4 ETAPAS DE LA REHABILITACIÓN DE UNA RED TRONCAL DE ALCANTARILLADO .....	21
2.4.1 <i>Investigación hidráulica</i> .....	22
2.4.2 <i>Investigación ambiental</i> .....	22
2.4.3 <i>Investigación estructural</i> .....	24
2.4.4 <i>Investigación operacional</i> .....	25
2.5 PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN UNA RED TRONCAL DE ALCANTARILLADO .....	27
2.5.1 <i>Fallas operacionales</i> .....	28
2.5.2 <i>Fallas estructurales</i> .....	29
<b>3. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN .....</b>	<b>31</b>
3.1 GENERALIDADES.....	31
3.2 TÉCNICAS DE REPARACIÓN.....	34
3.2.1 <i>Tecnologías con zanjas (reemplazos puntuales)</i> .....	34
3.2.1.1 Sin protección de excavación (zanja abierta).....	34
3.2.1.2 Con protección de la excavación.....	36
3.2.2 <i>Tecnologías sin zanjas</i> .....	38
3.2.2.1 Reparaciones hechas por el hombre .....	38
3.2.2.1.1 Mampostería .....	38
3.2.2.1.2 Llenado con mortero yeso.....	39
3.2.2.1.3 Pañetando.....	39
3.2.2.1.4 Inyección.....	40
3.2.2.2 Reparaciones automatizadas.....	41
3.2.2.2.1 Sistemas robóticos .....	41
3.2.2.2.2 Sistemas de parches de reparación.....	43
3.2.2.2.3 Estabilización química o sistema “fill and drain” .....	45
3.2.2.2.4 Estabilización con mortero .....	47
3.2.2.2.5 Sellado de juntas .....	48
3.2.2.2.6 Inyección de resina.....	49

3.2.2.2.7 Redondear (Rerounding).....	51
<b>3.3 TÉCNICAS DE RENOVACIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.1 Tecnologías con zanjas .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.2 Tecnologías sin zanjas.....</b>	<b>53</b>
3.3.2.1 Métodos de revestimiento modificado ( <i>Close-fit linings</i> ) .....	53
3.3.2.1.1 Tuberías deformadas (fold & form) .....	54
3.3.2.1.2 Estampados de tubería (Swaged liners) .....	56
3.3.2.1.3 Método Rolldown.....	57
3.3.2.2 Revestimientos ( <i>Sliplining</i> ).....	57
3.3.2.2.1 Revestimiento tubería continua (Continuos sliplining).....	57
3.3.2.2.2 Revestimiento con tubos cortos (Discrete sliplining).....	59
3.3.2.2.3 Revestimiento con segmentos de tubo (Segmental sliplining).....	61
3.3.2.3 Revestimiento en espiral ( <i>Spiral lining</i> ).....	62
3.3.2.4 Revestimiento por aspersion ( <i>Spray lining</i> ).....	64
3.3.2.4.1 Con mortero de cemento.....	64
3.3.2.4.2 Con polímeros .....	65
3.3.2.5 Revestimiento con curado en el sitio CIPP ( <i>Curade Inplace Pipe Lining</i> ) .....	67
3.3.2.6 Concreto reforzado.....	71
<b>3.4 TÉCNICAS DE REEMPLAZO .....</b>	<b>71</b>
<b>3.4.1 Tecnologías con zanjas .....</b>	<b>71</b>
<b>3.4.2 Tecnologías sin zanjas.....</b>	<b>72</b>
3.4.2.1 Ruptura de tubería ( <i>Pipe bursting</i> ).....	72
3.4.2.2 Sistema CLG ( <i>Controlled line and grade</i> ).....	77
3.4.2.3 Fracturado de tubería ( <i>Pipe splitting</i> ) .....	78
3.4.2.4 Excavación de túnel en tubería ( <i>Pipe eating</i> ).....	80
3.4.2.5 Escariado de tubería ( <i>Pipe reaming</i> ).....	81
3.4.2.6 Triturado de tubería ( <i>Pipe crushing</i> ) .....	82
3.4.2.7 Expulsión o extracción de tubería ( <i>Pipe ejection/extraction</i> ) .....	83
3.4.2.8 Halado de tubería ( <i>Pipe pulling</i> ).....	85
<b>3.5 APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS SIN ZANJA.....</b>	<b>86</b>
<b>4. OBRAS HIDRÁULICAS COMPLEMENTARIAS.....</b>	<b>92</b>
<b>4.1 GENERALIDADES.....</b>	<b>92</b>
<b>4.2 ALIVIOS .....</b>	<b>94</b>
4.2.1 <i>Características y funcionamiento</i> .....	94
4.2.2 <i>Ventajas</i> .....	95
4.2.3 <i>Desventajas</i> .....	95
4.2.4 <i>Tipos de aliviaderos</i> .....	95
4.2.4.1 Aliviadero con vertedero lateral .....	95
4.2.4.2 Aliviadero con vertedero transversal.....	96
4.2.4.3 Aliviadero con vertedero de salto .....	97
4.2.4.4 Aliviadero con vertedero tipo vórtice.....	98
4.2.4.5 Sifones aliviadero .....	99
<b>4.3 ESTACIONES DE BOMBEO.....</b>	<b>100</b>
4.3.1 <i>Características y funcionamiento</i> .....	100
4.3.2 <i>Tipos de estaciones de bombeo</i> .....	102
4.3.2.1 Estación de bombeo definitiva.....	103
4.3.2.2 Estación de bombeo provisional.....	104
4.3.3 <i>Elementos de una estación de bombeo</i> .....	104
4.3.4 <i>Ventajas</i> .....	107
4.3.5 <i>Desventajas</i> .....	107
<b>4.4 ALMACENAMIENTOS TEMPORALES.....</b>	<b>107</b>

4.4.1	<i>Características y funcionamiento</i>	107
4.4.2	<i>Ventajas</i>	110
4.4.3	<i>Desventajas</i>	111
4.4.4	<i>Tipología de los almacenamientos</i>	111
4.4.4.1	Almacenamiento en serie	111
4.4.4.2	Almacenamiento en paralelo	112
4.4.5	<i>Tipos de almacenamiento</i>	113
4.4.5.1	Pondajes	113
4.4.5.2	Almacenamiento por detención	114
4.4.5.3	Jardines de lluvia	115
4.4.5.4	Pavimentos porosos	116
4.4.5.5	Almacenamiento temporal subterráneo	118
4.4.5.6	Tanques en concreto	118
4.4.5.7	Módulos plásticos	119
4.5	<b>DISPOSITIVOS REGULADORES</b>	119
4.5.1	<i>Características y funcionamiento</i>	120
4.5.2	<i>Ventajas</i>	120
4.5.3	<i>Desventajas</i>	120
4.5.4	<i>Tipos de dispositivos reguladores</i>	120
4.5.4.1	Regulador de compuerta Taintor	120
4.5.4.2	Regulador de placa basculante	121
4.5.4.3	Regulador Hydro-Brake	122
4.5.4.4	Orificios	123
4.5.4.5	Vertederos	123
4.5.4.6	Compuertas	124
4.6	<b>REQUISITOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OBRAS DE REHABILITACIÓN</b>	125
4.6.1	<i>Requisitos para alivios</i>	125
4.6.2	<i>Requisitos para estaciones de bombeo</i>	125
4.6.3	<i>Requisitos para almacenamientos temporales</i>	126
4.7	<b>CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO</b>	126
4.7.1	<i>Alivios</i>	127
4.7.1.1	Parámetros de diseño	127
4.7.1.1.1	Caudal de alivio	127
4.7.1.1.2	Frecuencias de alivio	128
4.7.1.1.3	Volúmenes esperados de alivio	128
4.7.1.1.4	Capacidad del curso o cuerpo de agua receptor para asimilar las cargas contaminantes y los volúmenes de agua de alivio	129
4.7.1.1.5	Comportamiento hidráulico	129
4.7.2	<i>Estaciones de bombeo</i>	129
4.7.3	<i>Almacenamientos</i>	135
<b>5.</b>	<b>ESQUEMA METODOLÓGICO PROPUESTO PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS REDES TRONCALES DE ALCANTARILLADO</b>	<b>138</b>
5.1	<b>GENERALIDADES</b>	138
5.1.1	<i>Soluciones hidráulicas</i>	139
5.1.2	<i>Soluciones ambientales</i>	140
5.1.3	<i>Soluciones estructurales</i>	141
5.2	<b>PROCESO PARA EL DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA</b>	141

5.3 DESCRIPCIÓN DE LA MATRIZ DE LAS TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN (TR) VS. FALLAS .....	142
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>146</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>150</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicabilidades técnicas de reparación .....	89
Tabla 2. Aplicabilidades técnicas de renovación.....	90
Tabla 3. Aplicabilidades técnicas de reemplazo .....	91
Tabla 4. Matriz TR vs Fallas .....	144

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Técnicas de rehabilitación .....	33
Figura 2. Zanja convencional.....	35
Figura 3. Entibados.....	37
Figura 4. Sistemas robóticos de reparación.....	42
Figura 5. Proceso del sistema para reparación puntual con parcheo.....	44
Figura 6. Estabilización química.....	46
Figura 7. Estabilización con mortero.....	47
Figura 8. Sellado de juntas.....	48
Figura 9. Inyección de resina.....	50
Figura 10. Sistema de redondeo.....	51
Figura 11. Tubería deformada.....	56
Figura 12. Método estampado de tuberías.....	57
Figura 13. Método Rolldown.....	57
Figura 14. Revestimiento tuberías continuas.....	58
Figura 15. Revestimiento con cemento de tubo.....	61
Figura 16. Spiral lining.....	63
Figura 17. Revestimiento por aspersion con mortero de cemento.....	65
Figura 18. Revestimiento por aspersion con polimeros.....	66
Figura 19. Sistema CIPP.....	69
Figura 20. Operación típica de ruptura de tubería ( <i>Pipe bursting</i> ).....	72
Figura 21. Cabezales: 1) Neumático, 2) Hidráulico y 3) Estático.....	73
Figura 22. Bursting con cabezal de sistema neumático.....	75
Figura 23. Bursting con cabezal de sistema hidráulico.....	76
Figura 24. Bursting con cabezal de sistema estático.....	77
Figura 25. Sistema GLC.....	78
Figura 26. Sistemas pipe splitting y una sección en corte del sistema.....	79
Figura 27. Esquema Pipe Eating.....	80
Figura 28. Pipe reaming.....	82
Figura 29. Cabezal del sistema de implosión.....	83
Figura 30. Pipe extraction.....	84
Figura 31. Obras hidráulicas complementarias.....	93
Figura 32. Diseño para aliviaderos de vertedero lateral.....	96
Figura 33. Diseño para aliviaderos con vertedero transversal.....	97
Figura 34. Aliviaderos con vertedero de salto ajustable.....	98
Figura 35. Aliviadero tipo vórtice.....	99
Figura 36. Sifón aliviadero.....	100
Figura 37. Hidrograma de entrada y volumen de almacenamiento del depósito.....	109
Figura 38. Esquema de funcionamiento de un depósito de retención.....	110
Figura 39. Almacenamiento en serie.....	112
Figura 40. Almacenamiento en paralelo.....	113
Figura 41. Pondaje.....	114
Figura 42. Almacenamiento por detención.....	115
Figura 43. Jardines de lluvia.....	116

Figura 44. Pavimento porosos. ....	117
Figura 45. Tanque de almacenamiento en concreto.....	119
Figura 46. Regulador de compuerta Taintor. ....	121
Figura 47. Regulador de placa basculante.....	122
Figura 48. Regulador Hydro-Brake. ....	123
Figura 49. Diagrama de flujo de decisión para la rehabilitación de un sistema troncal de alcantarillado .....	145

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 GENERALIDADES

La rehabilitación de una red de alcantarillado proviene del hecho de que éstas se proyectan para que funcionen adecuadamente durante un periodo de tiempo, después del cual se deterioran y requieren mantenimiento (incluyendo reparación), entendido como el trabajo destinado a corregir un daño local en algún elemento o la renovación de un tramo para mejorar el funcionamiento hidráulico de la red, utilizando el material de construcción original. Eventualmente se hace necesario reemplazar totalmente la red, construyendo nuevos elementos para sustituir las viejas estructuras.

El crecimiento de la población, en particular en los años de su redensificación, es una de las transformaciones más notorias que impactan las redes de alcantarillado. Estos procesos de urbanización están relacionados con un incremento en la cantidad de las aguas lluvias y residuales que se vierten al sistema de alcantarillado. Adicionalmente, se genera un aumento de las zonas impermeables en las cuencas hidrográficas debido a la presencia de elementos artificiales que hacen parte del nuevo sistema de drenaje urbano. Estos cambios producen mayores vertidos de caudal al cuerpo receptor de los que se tenían en el pasado.

Como resultado de este proceso existen zonas cuyas redes de drenaje se ven obligadas a soportar nuevas cargas para las cuales no estaban proyectadas. Estas nuevas cargas se deben a los efectos que tiene el proceso de urbanización sobre la cuenca. Este incremento en la tasa de impermeabilidad del suelo afecta notablemente a la escorrentía, que antes podía tener una parte en la superficie y otra subterránea, pero que ahora impide su infiltración al terreno, vertiendo la casi totalidad del volumen de agua de precipitación a las redes de alcantarillado. Debido a estas condiciones cambiantes, uno de los principales problemas a los que se enfrentan actualmente las ciudades es la incapacidad de drenar de manera adecuada el agua procedente de eventos extraordinarios. El origen de este problema está ligado muchas veces a la falta de previsión en la planificación urbana, razón por la cual se le exige más capacidad hidráulica al sistema de alcantarillado.

Por todo lo anterior, los sistemas de alcantarillado de las ciudades presentan problemas como capacidad insuficiente, fallas estructurales y deterioro de las tuberías. Las consecuencias son daños estructurales e inundaciones locales que conducen a la afluencia de agua en sótanos, problemas de tránsito, erosión en la calle y la superficie y contaminación de las aguas receptoras. Las principales razones de estos problemas son los efectos combinados del envejecimiento de la

infraestructura; la intrusión de raíces, escombros y residuos de obras de construcción al sistema; el ataque de los suelos; los altos niveles de infiltraciones y exfiltraciones; la redensificación y expansión de las áreas urbanas; la falta de mantenimiento; la sedimentación; la existencia de conexiones erradas; los cambios en el uso del suelo y el cambio climático. Por esta razón, se vuelve indispensable rehabilitar el sistema de alcantarillado.

La dinámica cambiante que presentan las ciudades ha obligado a desarrollar modelos predictivos para estimar cuándo y dónde es necesario y prioritario rehabilitar una red de alcantarillado, teniendo en cuenta la limitada disponibilidad de recursos. Estos modelos se basan en el conocimiento de la forma real como funcionan los sistemas existentes, mediante inspecciones directas con equipos especializados (cámaras de televisión, ensayos de humo, trazadores, etc.); medición de variables reales como lluvias, niveles, caudales y parámetros de calidad del agua; simulación de las condiciones reales de flujo con sofisticados modelos matemáticos y sistemas de información digital que permiten disponer del inventario completo de sus componentes, con facilidad de acceso y gran capacidad de procesamiento y análisis.

Con estas labores y la información recopilada es posible desarrollar un esquema real y moderno de seguimiento, operación y mantenimiento, que permite optimizar costos, en contraste con los esquemas simples de mantenimiento correctivo de reparación de fallas una vez se presentan, es decir, rehabilitar el alcantarillado correcto, en el tiempo correcto empleando la técnica adecuada para una rehabilitación al mínimo costo total y antes de que ocurran fallas serias (aproximación proactiva).

La rehabilitación de las redes de alcantarillado es, por lo tanto, una necesidad a la que se enfrentan numerosas empresas municipales encargadas de su operación y mantenimiento. Por ejemplo, debido a que los colectores se encuentran habitualmente bajo las principales vías de la ciudad las obras que implican su rehabilitación causan un gran trastorno a los ciudadanos, obligando a restringir el tránsito vehicular y peatonal durante los meses que duran estas obras. Por esta razón, la rehabilitación de los colectores que hayan quedado insuficientes en su capacidad hidráulica resulta muy costosa, hasta el punto de que algunas empresas municipales ya no permiten la construcción de nuevos colectores como solución a los problemas de insuficiencia que presentan sus redes de alcantarillado.

El uso de las técnicas de rehabilitación (reparación, renovación o remplazo), como por ejemplo, de las tecnologías “sin zanja” y la implementación de obras hidráulicas para mejorar la operatividad del sistema tales como alivios, estaciones de bombeo, almacenamientos temporales, líneas de refuerzo y dispositivos reguladores se presentan como una alternativa menos gravosa y con muchos menos perjuicios para la comunidad.

La mayoría de los alcantarillados se pueden rehabilitar de una manera económica y eficiente haciendo uso de las tecnologías “sin zanja”. De esta forma se pueden resolver los problemas de los alcantarillados existentes sin la necesidad de recurrir a grandes excavaciones y generando un menor impacto en el medio ambiente y en las actividades de la población.

Con estas tecnologías los tiempos de instalación son mínimos (unas cuantas horas o días); además, el riesgo en cuanto a la seguridad de los sistemas y la responsabilidad disminuyen considerablemente, comparados con las metodologías con zanja. El producto final es una tubería con una vida útil de diseño equiparable a la de una tubería nueva recién instalada.

En la selección de un método adecuado para la rehabilitación parcial o total de un sistema de alcantarillado se deben considerar diferentes aspectos que identifiquen, con el mayor grado de confiabilidad, las características tanto de la estructura existente como de la rehabilitada. Se deben tener en cuenta el diagnóstico de la falla y los tipos de problema que presenta el sistema, las condiciones de durabilidad y expectativas de vida útil requeridas, las condiciones estructurales a corto y largo plazos, la capacidad hidráulica, las implicaciones de ampliación del sistema, los aspectos constructivos y los costos.

La presente investigación pretende identificar y explicar las obras de ingeniería necesarias para la rehabilitación y el mejoramiento de la operatividad de las redes troncales de alcantarillado, cuyo objetivo principal es mitigar los diferentes efectos adversos derivados de los problemas que se presentan en los sistemas de alcantarillado.

## 1.2 OBJETIVO GENERAL

Investigar acerca de las diferentes obras y técnicas que se utilizan para la rehabilitación y el mejoramiento de la operatividad de las redes troncales de alcantarillado, describiendo sus características y funcionamiento, ventajas y desventajas, que conduzcan al planteamiento de un esquema metodológico para el diseño de las obras de ingeniería que se utilizan cuando es necesario mejorar y adecuar los sistemas troncales de alcantarillado.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estado del arte sobre las obras que se utilizan en la rehabilitación de una red troncal de alcantarillado.
- Identificar los tipos de problemas que se pueden presentar en una red troncal de alcantarillado.

- Establecer las ventajas y desventajas de las obras de rehabilitación.
- Identificar nuevas tecnologías y alternativas con el uso de los nuevos materiales que actualmente se emplean para la rehabilitación de los sistemas de alcantarillado, principalmente las metodologías de rehabilitación que se conocen con el nombre de “Tecnologías sin zanja”.
- Presentar las obras de rehabilitación que se pueden emplear para adecuar el sistema troncal de alcantarillado a las condiciones cambiantes derivadas del desarrollo de las ciudades.
- Establecer las consideraciones generales de diseño de las obras de rehabilitación.
- Plantear un esquema metodológico para el diseño de las obras de ingeniería que se utilizan cuando es necesario mejorar y adecuar los sistemas troncales de alcantarillado mediante un diagrama de flujo de decisión, con base en los problemas que se presentan en una red de alcantarillado.

#### 1.4 PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Con base en la estructura establecida para el desarrollo de la presente investigación, en el capítulo 2 se explican los conceptos básicos de rehabilitación, se describen las causas internas y externas que pueden ocasionar algún daño en los sistemas troncales de alcantarillado y los tipos de fallas que se pueden presentar, clasificándolas en fallas estructurales y fallas por operación. En los capítulos 3 y 4 se hace una descripción detallada de las técnicas y obras de rehabilitación que se pueden utilizar en un sistema troncal de alcantarillado cuando presenta problemas de fallas estructurales u operacionales, identificando sus ventajas y desventajas. En el capítulo 5 se presentan una metodología para determinar cual es la obra a utilizar en la rehabilitación de una red troncal de alcantarillado. Por último, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la investigación.

#### 1.5 DEFINICIONES

A continuación se presentan algunas definiciones, que son de mucha utilidad para los propósitos de esta investigación.

### 1.5.1 Sistemas de alcantarillado

Es el conjunto de estructuras y tuberías empleadas para la evacuación y el transporte de las aguas residuales y pluviales de una población, desde el lugar donde se generan hasta el sitio en el que se vierten al medio natural o al lugar donde se tratan. Estos sistemas funcionan por efecto de la gravedad. Las tuberías se conectan en ángulo descendente, desde el interior de los predios a la red pública, desde el centro de la comunidad hacia el exterior de ésta. Cada cierta distancia se perforan pozos de registro verticales para permitir el acceso a la red con fines de mantenimiento. Existen tres tipos de sistemas de alcantarillado: convencional, no convencional e in situ.

#### 1.5.1.1 Sistemas de alcantarillados convencionales<sup>1</sup>

Los alcantarillados convencionales son los que se utilizan tradicionalmente para la recolección y el transporte de aguas residuales o lluvias hasta los sitios de disposición final. Existen dos tipos, el alcantarillado combinado y el alcantarillado separado. En el primero, tanto las aguas residuales como las pluviales son recolectadas y transportadas por el mismo sistema, mientras que en el separado esto se hace mediante sistemas independientes, es decir, hay un alcantarillado sanitario y un alcantarillado pluvial.

#### 1.5.1.2 Sistemas de alcantarillados no convencionales

Debido a que los alcantarillados convencionales usualmente son sistemas de saneamiento costosos, especialmente para localidades con baja capacidad económica, en las últimas décadas se han propuesto sistemas de menor costo, alternativos al alcantarillado convencional sanitario, basados en consideraciones de diseño adicionales y en una mejor tecnología disponible para su operación y mantenimiento. Entre estos sistemas alternativos están los alcantarillados simplificados, los alcantarillados condominiales y los alcantarillados sin arrastre de sólidos. Los sistemas no convencionales pueden constituir alternativas de saneamiento cuando, partiendo de sistemas in situ, se incrementa la densidad de la población.

1. Los alcantarillados simplificados funcionan esencialmente como un alcantarillado sanitario convencional, pero teniendo en cuenta para su diseño y construcción consideraciones que permiten reducir el diámetro de los colectores, tales como la disponibilidad de mejores equipos para su mantenimiento, lo cual permiten reducir el número de pozos de inspección o sustituirlos por estructuras más económicas.

---

<sup>1</sup> RAS-2000, Título D. Pág. D.16.

2. Los alcantarillados condominiales son sistemas que recogen las aguas residuales de un conjunto de viviendas, normalmente ubicadas en un área inferior a 1 ha, mediante colectores simplificados, conduciéndolas a la red de alcantarillado municipal o eventualmente a una planta de tratamiento.
3. Los alcantarillados sin arrastre de sólidos son sistemas en los que el agua residual de una o más viviendas se descarga a un tanque interceptor de sólidos, donde éstos se retienen y degradan, produciendo un efluente sin sólidos sedimentables que se transporta por gravedad en un sistema de colectores de diámetros reducidos y poco profundo.

#### 1.5.1.3 Sistemas in situ

Por otra parte, existen sistemas basados en la disposición in situ de las aguas residuales como letrinas, tanques, pozos sépticos y campos de riego, que son sistemas de muy bajo costo y se pueden apropiar en áreas suburbanas con baja densidad de población y con adecuadas características del subsuelo. Con el tiempo, estos sistemas deben considerarse como transitorios a sistemas no convencionales o convencionales de recolección, transporte y disposición, en la medida en que el uso de la tierra tienda a ser urbano.

Entre estos sistemas es importante tener en cuenta las siguientes definiciones:

- Red local de alcantarillado. Conjunto de tuberías y canales que conforman el sistema de evacuación de las aguas residuales, pluviales o combinadas de una comunidad, al cual desembocan las acometidas del alcantarillado de los inmuebles.
- Red troncal de alcantarillado. Conjunto de colectores domiciliarios y matrices que conforman el sistema de alcantarillado.
- Red secundaria de alcantarillado. Conjunto de colectores que reciben contribuciones de aguas domiciliarias, en cualquier punto, a lo largo de su longitud.

## 2. CONCEPTOS DE REHABILITACIÓN

### 2.1 EL PROBLEMA DEL DRENAJE URBANO

Los procesos de urbanización de las ciudades traen como consecuencia un aumento en la cantidad de las aguas lluvias y residuales vertidas al sistema de drenaje urbano. Esto se debe a que se generan zonas con una mayor densidad poblacional e impermeabilidad; además, se incrementa la capacidad hidráulica de la cuenca debido a la inclusión de elementos que hacen parte de este nuevo sistema. Estos cambios producen picos de caudales mayores a los que se tenían en el pasado y que se vierten al cuerpo receptor.

Como resultado del proceso de urbanización en muchas ocasiones se generan zonas cuyas redes de drenaje se ven obligadas a soportar nuevas cargas para las cuales no estaban proyectadas. Estas nuevas cargas se deben a los efectos que genera la urbanización sobre la cuenca de drenaje. El efecto más notorio es el incremento en la tasa de impermeabilidad del suelo, el cual afecta directamente a la escorrentía superficial, que antes tenía un porcentaje en superficie y otro subterráneo, pero que por la pérdida de capacidad de infiltración al suelo ahora prácticamente el total del volumen de agua derivado del evento de precipitación se conduce al sistema de drenaje. La impermeabilización del suelo también se traduce en una disminución de su rugosidad, cambiando la rugosidad natural por la de los materiales de construcción, que pueden ser de un orden de magnitud más bajos. Este menor impedimento a la circulación del agua y la interferencia a los patrones de drenajes naturales genera un aumento en la velocidad de la escorrentía superficial, perdiéndose la capacidad de laminación natural de la cuenca; así mismo, se disminuye su tiempo de concentración, lo cual trae como resultado un aumento en los caudales pico. Además, al reducir el coeficiente de rugosidad de la cuenca los tiempos en los que se producen los caudales pico se presentan antes, pues el agua al no tener obstáculos por irregularidades del terreno circula por la superficie a más velocidad.

Estos fenómenos se combinan provocando inundaciones en la ciudades, lo que causa cada vez mayores daños materiales, inundación de viviendas o locales, obstrucción de las vías, contaminación del agua del subsuelo, incremento en los costos de mantenimiento, etc.

### 2.2 LA NECESIDAD DE REHABILITACIÓN DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO

La incapacidad de drenar de manera adecuada el agua procedente de fuertes precipitaciones es uno de los principales problemas a los que se enfrentan

actualmente las ciudades. El origen de este problema radica en la falta de previsión en la planificación de una red de drenaje. Si ésta no se calcula teniendo en cuenta el hidrograma real con el incremento de la urbanización, la incapacidad de la misma para absorber esos caudales provocará el desbordamiento de la red en zonas situadas aguas abajo, con el consiguiente perjuicio económico y social que esto supone.

La rehabilitación de redes de alcantarillado es, por lo tanto, una necesidad urgente a la que se enfrentan numerosas empresas municipales encargadas de la administración del sistema. Como los colectores discurren habitualmente bajo las principales vías de las ciudades, las obras que implican su rehabilitación ocasionan un gran trastorno a los ciudadanos, puesto que estas calles se deben cerrar al tránsito durante el tiempo que duran las obras. Por estos motivos la rehabilitación de colectores que hayan quedado insuficientes en su capacidad hidráulica resulta muy costosa, hasta el punto de que algunas empresas municipales ya no permiten la construcción de nuevos colectores como solución a los problemas de insuficiencia hidráulica que presentan sus redes de alcantarillados.

La rehabilitación de redes de alcantarillado se considera hoy en día una de las principales áreas de actividad en el campo del drenaje urbano, pues en algún momento de su vida útil se deben tomar medidas de renovación, reparación o reemplazo de la red o parte de ésta. En general, la rehabilitación de estas redes se puede considerar desde dos enfoques distintos: desde un punto de vista **reactivo** o desde uno **predictivo**. La rehabilitación reactiva corresponde al conjunto de medidas que buscan solucionar las deficiencias que presenta la red. En cambio, la rehabilitación predictiva es el conjunto de medidas destinado a evitar deficiencias en la red de alcantarillado. Claramente, el enfoque proactivo requiere una mayor planificación y un mayor trabajo de recolección de información del estado de la red respecto al enfoque reactivo.

La necesidad de rehabilitación de una red de alcantarillado proviene del hecho de que, al igual que cualquier infraestructura urbana, está diseñada para que funcione durante un tiempo, dentro del cual requiere mantenimiento (incluyendo reparación), renovación y, finalmente, reemplazo. Por otro lado, la necesidad de rehabilitación también se puede generar por el incremento de la urbanización, lo cual provoca un aumento en la cantidad de flujos que llegan a la red de alcantarillado. Algunos "síntomas" que indican la necesidad de rehabilitación de una red son:

- Fallas estructurales.
- Inundación de calles y edificaciones.
- Contaminación de cursos de agua naturales (también se incluye el agua del subsuelo).

- Altos niveles de infiltración o exfiltración.

### 2.3 REPARACIÓN, RENOVACIÓN O REEMPLAZO

Desde un punto de vista de medidas estructurales, tradicionalmente se ha considerado que la rehabilitación de alcantarillados se puede efectuar mediante *reparación*, *renovación* o *reemplazo*. La *reparación* consiste en corregir el daño local que pudiera tener un elemento de la red. La *renovación* es el trabajo para mejorar el funcionamiento de un tramo, incorporando el material de construcción original. El *reemplazo* consiste en la construcción de nuevos elementos que sustituyan en su función a los elementos originales de la red. Sin embargo, la rehabilitación de una red de alcantarillado también se puede realizar mediante la incorporación de nuevos componentes, tales como otras salidas de descarga o depósitos de almacenamiento.

Por lo general, cuando se presenta algún problema en los sistemas de alcantarillado la solución más fácil es realizar una excavación para reemplazar un tubo, pero se debe tener en cuenta que esta solución no es la única y, además, no es necesariamente la mejor. Actualmente en el mercado se encuentran muchas opciones cuando se trata de mejorar o reparar las condiciones de un sistema de alcantarillado y su selección se basa en la relación costo-beneficio.

Cuando se está pensando en rehabilitar un sistema de alcantarillado primero se debe identificar la causa del problema y examinar las condiciones de la tubería existente. Aunque la edad es quizás el factor más indicativo de la necesidad de rehabilitar una tubería, es muy importante realizar una inspección previa. De esta forma, causas como la edad, el material y las condiciones del subsuelo, unidas a las condiciones hidráulicas encontradas durante la inspección, son los factores que determinan si es necesario realizar una rehabilitación y la forma de desarrollarla, bien sea reponiendo el tubo existente, reparándolo o renovándolo.

El siguiente paso es decidir si verdaderamente es necesaria la rehabilitación de la tubería y, a su vez, evaluar los puntos prioritarios que se deben intervenir. Siempre se debe tener en mente la evaluación del efecto de la rehabilitación sobre todo el sistema de alcantarillado y evaluar la vida remanente de la tubería existente con las condiciones actuales, pues muchas veces la única solución de rehabilitación aceptable es la reposición de la tubería.

Posteriormente se deben evaluar los costos. Este es un punto relevante, pues determina cómo se debe hacer la rehabilitación, si se debe reparar o renovar sin reemplazar la tubería existente o reponerla totalmente. El costo es probablemente el factor más significativo y determinante en una rehabilitación del sistema de alcantarillado, pues no sólo se debe pensar en la inversión para hacerla sino en cuánto le cuesta a una ciudad no hacer estas mejoras.

Por ejemplo, si existen problemas de infiltración o fugas en el alcantarillado éste se puede reemplazar o simplemente renovar encamisando la tubería existente. Si el problema es de capacidad hidráulica, la única solución es reemplazar totalmente la tubería por una de mayor diámetro. Si existen fracturas puntuales de la tubería, la solución es reparar puntualmente y no intervenir el resto de la tubería.

De esta manera, la decisión de reemplazar, renovar o reparar siempre se debe basar en lo que es estrictamente necesario para darle una solución correcta al problema, teniendo en cuenta que se pueden aplicar y realizar muchas técnicas de rehabilitación (reparar o renovar) antes de considerar la opción de reponer totalmente una tubería.

#### 2.4 ETAPAS DE LA REHABILITACIÓN DE UNA RED TRONCAL DE ALCANTARILLADO

Como se mencionó, la rehabilitación de redes de alcantarillado es de suma importancia en el drenaje urbano. Esto lo demuestra la gran cantidad de publicaciones al respecto, donde se recopilan experiencias y procedimientos para su ejecución. Entre esta información se destacan el *Sewerage Rehabilitation Manual*, SRM, o Manual de rehabilitación de alcantarillados, publicado por el Water Research Centre (WRc), y la norma EN752/5: Drains and sewer systems outside buildings - Rehabilitation. Estos documentos proporcionan procedimientos para evaluar el funcionamiento de los sistemas de alcantarillado y determinar la solución de rehabilitación más apropiada. En particular, ambos documentos técnicos recomiendan una metodología para rehabilitar redes de alcantarillado, la cual está formada por las siguientes etapas:

1. Planeamiento inicial, donde se hace una comparación del funcionamiento actual de la red con criterios predeterminados para establecer la aproximación más conveniente para la etapa de estudio de diagnóstico y se recopila información.
2. Estudio de diagnóstico, en el cual se desarrollan las siguientes etapas: recolección de información, investigación hidráulica, estructural y ambiental de la red, investigación operacional y desarrollo de las soluciones de rehabilitación.
3. Evaluación costo-beneficio, en la cual se seleccionan las soluciones más rentables, evaluando los costos de las opciones en conjunto con el funcionamiento mejorado de la red. Al final, el esquema de rehabilitación más efectivo será aquel que conserve lo máximo de la red existente, y, al mismo tiempo, produzca el menor impacto en la sociedad.

4. Implementación y monitoreo, donde se realizan los trabajos de rehabilitación y se ejecuta el plan de operaciones y mantenimiento. Además, una vez concluidos los trabajos de rehabilitación, se hace seguimiento al funcionamiento hidráulico, estructural y ambiental de la red, así como a la efectividad del plan de operaciones y mantenimiento.

#### 2.4.1 Investigación hidráulica

La investigación hidráulica es una de las diversas acciones que se deben realizar durante la etapa de diagnóstico dentro de un plan o proyecto de rehabilitación de redes de alcantarillado. Esta investigación consiste en la evaluación del comportamiento hidráulico de la red, cuyo objetivo es ayudar a identificar sectores con problemas dentro de esta (por ejemplo, salidas de flujo hacia el exterior), y a la vez investigar los posibles efectos en el comportamiento de la red debido a los cambios físicos que se realicen en ella.

Para realizar la evaluación hidráulica de la red es necesario contar con herramientas que permitan al usuario construir un modelo hidráulico de esta. Generalmente, se opta por programas informáticos que simulan el flujo en el interior de la red y que, por lo tanto, nos ayudan a entender el comportamiento hidráulico de la red.

Para construir el modelo hidráulico que representara a nuestra red, se debe tener presente la calidad de los datos de los cuales se dispone, pues una información no fiable no contribuirá al desarrollo de un buen modelo. Procesos claves en la elaboración de un modelo hidráulico son la calibración y la validación de este. Una vez el modelo ha sido validado, este puede ser usado para evaluar el comportamiento hidráulico de la red e investigar las maneras de corregir las deficiencias de la red.

#### 2.4.2 Investigación ambiental

Los aspectos ambientales son sumamente importantes para muchos proyectos de rehabilitación. La disminución del impacto de una red de alcantarillado, así como el efecto de las acciones de rehabilitación sobre el medio ambiente son factores interesantes en el análisis de la planificación y el escenario de rehabilitación. Los impactos y efectos del sistema de alcantarillado tienen que cumplir con los requisitos del regulador responsable.

Esta investigación comprende de tres actividades iniciales:

- Revisión de los efluentes registrados y de otras descargas.

- Estudio de las consideraciones ambientales.
- Evaluación del impacto ambiental

### **Efluentes registrados y otras descargas**

Se debe identificar y localizar las fuentes de los efluentes registrados y revisar la naturaleza, calidad, cantidad y riesgo potencial ambiental.

### **Estudio de consideraciones ambientales**

#### Hermeticidad

Se pueden requerir investigaciones para determinar en dónde hay fugas de los alcantarillados, dando prioridad a los alcantarillados en los cuales existen zonas de protección de acuíferos o en donde existen sustancias particularmente peligrosas.

#### Calidad de agua recibida

La calidad de todas las aguas recibidas debe ser determinada para revisar si cumple con los requisitos o no. Si no las investigaciones serán necesarias para determinar si la red de alcantarillado contribuye con los problemas.

#### Otros impactos ambientales

Se deben considerar otros factores ambientales como el ruido, olor e intrusiones visuales.

### **Evaluación del impacto ambiental**

Los resultados de las investigaciones deben ser considerados junto con estimaciones de la frecuencia, duración y volumen de las descargas a los cuerpos receptores de agua, determinadas usando un modelo verificado de simulación de flujo en donde sea posible. Esta información puede ser usada entonces para evaluar el impacto ambiental (incluyendo el impacto sobre el suelo y el agua subterránea) del sistema de alcantarillado.

Los resultados de la investigación ambiental, el estudio del efluente registrado y otras investigaciones relevantes deben ser examinados para identificar:

- Fuentes de efluentes peligrosos.
- Excedencia de concentraciones y descargas permisibles.
- Otras desviaciones de las permitidas.

### 2.4.3 Investigación estructural

Esta investigación consta de tres actividades iniciales:

- Preparar un programa
- Ejecución de las investigaciones
- Evaluación de la condición estructural

#### **Preparar un programa**

Las investigaciones estructurales pueden realizarse mediante un estudio completo de la condición de sistema de alcantarillado (o subsistema) o un estudio parcial. Un estudio parcial se centrará en las alcantarillas que no hayan sido previamente inspeccionadas, haciendo caso omiso de los que han sido inspeccionados en el pasado, o puede concentrarse en una muestra representativa de las alcantarillas o de una muestra seleccionada.

#### **Ejecución de las investigaciones**

El registro y la evaluación de la condición actual de los sistemas de alcantarillado deben ser llevados a cabo directamente a través de una inspección o indirectamente con la ayuda de sistemas cerrados de televisión (CCTV). El sistema de alcantarillado debe ser limpiado previamente.

La condición del sistema y en particular los defectos deben ser registrados con precisión tanto como sea posible. Un sistema de codificación uniforme debe ser usado para permitir que los resultados puedan ser comparados.

Los defectos enumerados deben incluir:

- Grietas inaceptables;
- Deformación;
- Juntas abiertas o desplazadas;
- Conexiones defectuosas;
- Intrusión de raíces, infiltración, sedimentos y depositación;
- Subsistencia;
- Fracturas;
- Pozos de inspección defectuosos;
- Ataque físico o químico

En donde sea apropiado se pueden usar otras técnicas de investigación cualitativas y cuantitativas, como por ejemplo, el sonar, para tuberías sumergidas, el radar u otras técnicas geofísicas, por ejemplo, para la detección de vacíos en la pared de la tubería.

Los resultados de las investigaciones estructurales pueden ser relevantes a las investigaciones del funcionamiento hidráulico y el impacto ambiental.

### **Evaluación de la condición estructural**

Una vez que el sistema de alcantarillado ha sido inspeccionado, el siguiente paso es examinar los resultados con el fin de identificar aquellas áreas que requieran una intervención. La condición del alcantarillado se puede expresar en términos de la condición o el grado de rendimiento con grado 1 que representan la condición como nuevo / rendimiento y el grado 5 grado que representa una necesidad urgente de atención. Un número de métodos han sido desarrollados para asistir en este proceso.

#### **2.4.4 Investigación operacional**

Muchos de los problemas que se manifiestan a través de los incidentes operacionales causar un pobre rendimiento hidráulico o ambiental. Tales incidentes son frecuentemente causados por problemas estructurales del sistema de alcantarillado (por ejemplo, el colapso o la falta de capacidad hidráulica), sin embargo, también puede ser causada por problemas operacionales o de mantenimiento. La investigación operacional implica una revisión de las actuales actividades del plan de mantenimiento y los incidentes del pasado. De este modo, el ingeniero planificador puede identificar las causas de estos problemas y evaluar la eficacia de la operación existente y regímenes de mantenimiento.

Algunas de las herramientas utilizadas en la investigación operacional también se pueden utilizar para otras partes de la investigación. Por ejemplo, un modelo hidráulico se puede utilizar para establecer la causa de la sedimentación en una alcantarilla, y una inspección visual mediante circuito cerrado de televisión se pueden utilizar para identificar la causa de repetidos bloqueos en las alcantarillas. Las operaciones de mantenimiento e investigación por lo tanto tendrán que ser coordinadas estrechamente con las investigaciones hidráulica, ambiental y estructural.

Esta investigación consta de tres actividades iniciales:

- Revisar la información de rendimiento operacional
- Ejecución de la investigación
- Estudio del rendimiento operacional

## **Revisar la información de rendimiento operacional**

Los datos operacionales considerados en la investigación inicial (etapa 1) deben ser revisados para identificar actividades o lugares que pueden requerir una investigación más detallada. La justificación para la investigación debería ser si hay problemas que podrían resolverse de manera rentable mediante la rehabilitación o cambios en el funcionamiento y los procedimientos de mantenimiento. Las áreas que deben ser consideradas incluyen lo siguiente:

- Se colapsa el alcantarillado y aumento de las descargas en la red  
Se colapsa por tasas excesivamente altas o por altas concentraciones en áreas locales?
- Bloqueos de las alcantarillas  
Donde están los bloqueos concentrados? Estos causas inundación o contaminación?
- Descargas combinadas del alcantarillado  
Hay frecuentes descargas en tiempo seco? Causan problemas de contaminación?
- Queja de olores  
Hay concentraciones de quejas en áreas locales?
- Queja de ratas  
¿Existen altos niveles de avistamientos de rata? ¿Están relacionados con el sistema de alcantarillado?
- Planificación de la limpieza del alcantarillado  
Porque son planeadas las actividades para llevar a cabo la limpieza del alcantarillado? Son efectivas?

## **Ejecución de la investigación**

Una vez que las áreas con problemas de funcionamiento han sido identificadas, las investigaciones detalladas de las causas fundamentales pueden ejecutadas. Los tipos de investigaciones más comunes son:

- CCTV para inspección de alcantarillas;
- Un análisis detallado de los registro existentes;
- Recolección de datos operacionales adicionales por periodos cortos;
- Inspección de instalaciones eléctricas y mecánicas;
- Prueba de cebo para ratas;
- Prueba de sulfuro de hidrogeno.

Cabe señalar que, en muchos casos, la información operacional será material para otra investigación. Por ejemplo, cuando el riesgo de colapso se considera excesivo, esto debe considerarse durante la investigación estructural; y donde los excesos de flujos son la causa de los incidentes en las estaciones de bombeo de aguas residuales, esto debería ser incluido en la investigación hidráulica.

### **Estudio del rendimiento operacional**

Los resultados de las investigaciones deben utilizarse para evaluar el rendimiento operativo del sistema.

#### **2.5 PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN UNA RED TRONCAL DE ALCANTARILLADO**

Para la selección de las posibles soluciones de la rehabilitación de un sistema troncal de alcantarillado se debe tener conocimiento pleno de los tipos de problemas o fallas que se pueden encontrar.

Los conductos de los sistemas de alcantarillado están sujetos a diversas condiciones que pueden causar daños y perjuicios, que generalmente se asocian con causas internas y externas. Entre las causas internas se pueden mencionar las siguientes:

- Características físico-químicas del fluido. Dependiendo del tipo de fluido transportado se pueden presentar bajos valores de pH (frecuentemente con origen en vertidos industriales), que deterioran las tuberías de concreto.
- Rendimiento hidráulico. Este puede causar deformaciones por la presión interna.
- Tiempo de construcción de la red. Cuando el desarrollo de la infraestructura no se ha hecho con un buen control de calidad o métodos constructivos.
- Edad de la red. El desgaste natural se presenta por el uso a lo largo de los años y el poco mantenimiento durante su vida útil. Con el transcurso del tiempo la tubería se erosiona y aumenta su rugosidad, disminuyendo la capacidad hidráulica del conducto.
- Material de la tubería. Por la baja calidad de los materiales utilizados en la construcción de los conductos, presionados por la urgencia de construir la red.

- Métodos constructivos utilizados en la construcción del sistema troncal de alcantarillado. Por lo general, se asocian a defectos muy particulares, como el mal curado de un concreto o la mala compactación del afirmado utilizado para la protección de la zanja de la tubería.

Como causas externas se presentan las siguientes:

- Sobrecargas de tráfico. Esto generalmente causa daños estructurales en los conductos de poca profundidad.
- Sobrecarga del suelo. Las cuales causan problemas en la profundidad y en las alcantarillas que no están bien diseñadas.
- Intrusión de raíces, Normalmente causan bloqueos parciales o totales, además de fisuras o desplazamiento de los conductos.
- Otras redes de servicios subterráneas (gas, luz). Afectan directamente a los conductos, perforándolos parcialmente, provocando interferencia y disminución de la capacidad hidráulica.
- Tipo de suelo. Algunos de sus componentes pueden ser químicamente agresivos para los materiales del sistema de alcantarillado.
- Nivel freático. Afecta la estabilidad del suelo y puede ocasionar varios problemas por debajo de las tuberías.
- Variación del uso del suelo o la redensificación de las zonas.

Estas causas internas y externas producen daños de diversas patologías, como fisuras, grietas, deformaciones, infiltraciones, exfiltración, abrasión, corrosión y, eventualmente, el colapso. En general, las fallas en las tuberías de una red troncal de alcantarillado pueden dividirse en dos grandes grupos: *fallas operacionales*, las cuales están relacionadas con la pérdida de la capacidad en la conducción de los fluidos, y *fallas estructurales*, que se relacionan con los inconvenientes físicos de las tuberías. Adicionalmente, se pueden analizar como fallas localizadas, que afectan uno o varios tramos, o como fallas sistemáticas generalizadas, que requieren la intervención de la totalidad de una tubería.

A continuación se definen estas fallas con más detalle.

### 2.5.1 Fallas operacionales

Las fallas operacionales son aquellas relacionadas con la pérdida de la capacidad en la conducción de los fluidos establecida en su diseño, y que se debe al

aumento de los caudales transportados, generado por el incremento de conexiones erradas, por infiltraciones u obstrucciones.

Los problemas operacionales más comúnmente encontrados son los siguientes:

- Diámetros insuficientes. Hace referencia a la poca capacidad hidráulica de los conductos para transportar los fluidos, lo cual genera la presurización de la tubería.
- Obstrucción por conexión. Consiste en conexiones complementarias al sistema de alcantarillado, las cuales deterioran las tuberías debido a que el sistema no está diseñado para transportar el volumen de agua adicional que se le está introduciendo.
- Intrusión de raíces. Es la invasión de raíces procedentes del suelo circundante a través de las juntas en mal estado o separadas, las cuales penetran las tuberías causando obstrucciones. Estas se presentan con mayor incidencia en las redes de alcantarillado ubicadas en zonas verdes.
- Depósitos pegados, sedimentos, ingreso del suelo. Son los materiales que obstruyen las tuberías y se encuentran en las zonas donde se hacen mal uso del servicio de alcantarillado; por ejemplo, en las casas donde arrojan trapos, cartones y plásticos en la taza sanitaria o en la calle donde vierten la basura a las cámaras de inspección. También se forma arena y sedimento en los tramos con muy poca pendiente, debido a la descomposición que sufre la materia orgánica. Por esta razón, es necesario detectar los tramos con mayor incidencia de obstrucción por arena con el fin de limpiarlos periódicamente. Estos materiales se deben extraer de las tuberías porque el sólo lavado lo único que hace es trasladar y concentrar el problema en otro sitio.
- Infiltración. Es el agua que entra a las tuberías defectuosas desde el suelo circundante a través de las juntas en mal estado o separadas del sistema troncal de alcantarillado. En algunos casos se asocia con el aumento del nivel freático, que genera un incremento de la presión de los poros del suelo.
- Exfiltración. Se refiere a la fuga del fluido hacia la tierra a través de juntas defectuosas, tuberías dañadas, pozos de inspección, etc.

### 2.5.2 Fallas estructurales

Este tipo de fallas está directamente relacionado con inconvenientes en el sistema estructural de las tuberías, debido a deficiencias en el diseño o en la construcción

de las cimentaciones, al aumento de las cargas actuantes, irregularidades internas en las paredes de la tubería, fisuramientos y roturas. Las fallas estructurales que se presentan con mayor frecuencia son las siguientes:

- Deformación o deflexión. Pérdida de la forma original de la sección transversal de una tubería, cámara o pozo de inspección<sup>2</sup>.
- Fisuras, grietas o fracturas. Es la separación superficial (cerrada) de una tubería. Cuando no supera el 50% del espesor del tubo es una fisura. Cuando la separación es abierta y supera el 50% del espesor del tubo se considera una grieta. Es fractura cuando corresponde a la rotura, es abierta y cubre el 100% del espesor del tubo; además, puede incluir desplazamiento. Estas fallas se pueden presentar por un mal método constructivo; al almacenar, cargar, transportar y manipular las tuberías antes de su colocación, durante el izaje o por una deficiente instalación.
- Rotura o colapso. Son las partes o pedazos de una tubería, cámara o pozo de inspección que se separan o se destruyen por acción de una carga. Los colapsos se presentan por el deterioro prolongado de la tubería en lugares donde se han presentado fallas. La entrada o salida del fluido a través de grietas y juntas causa la erosión del material del medio circundante. Esta erosión, acompañada del deterioro estructural de la tubería, es la principal causa del colapso del sistema tubería-suelo.
- Material de sello introducido en la tubería.
- Juntas desplazadas. Consiste en el desplazamiento de los extremos de dos unidades adyacentes de tubería que se ensamblan longitudinalmente.
- Daños superficiales. Corresponde al daño superficial de la tubería por la caída de rocas o el deslizamiento del suelo circundante.
- Defectos en el ladrillo o la mampostería. Las imperfecciones que se presentan en los muros de ladrillo pueden surgir del ladrillo mismo, por un mal diseño o especificación, por el uso de materiales de poca calidad, por falta de una buena construcción o buenas especificaciones técnicas<sup>3</sup>.
- Falta de mortero. Después del tiempo de vida útil de los alcantarillados construidos en mampostería el mortero se rompe dejando una abertura para la entrada del agua del suelo circundante y las raíces de los árboles.

---

<sup>2</sup> Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - E.S.P. Aspectos técnicos para inspección de redes y estructuras de alcantarillado. Bogotá: EAAB - E.S.P. (NS-058).

<sup>3</sup> <http://www.canalconstruccion.com/defectos-y-patologia-comun-en-muros-de-ladrillo.html>.

### 3. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN

#### 3.1 GENERALIDADES

Las demandas de la ciudadanía y los costos asociados con las tecnologías tradicionales de reemplazo de tuberías han generado un gran cambio en las últimas décadas y han sido causantes de una mayor inversión e investigación en la rehabilitación de sistemas de alcantarillado utilizando tecnologías que minimicen el impacto urbano de las obras.

Ante la creciente necesidad de encontrar alternativas que generen menores costos e impactos para la construcción de nuevos alcantarillados y la rehabilitación de los existentes, desde hace dos décadas en el mundo se vienen desarrollando diversas técnicas sin excavaciones a cielo abierto y excavaciones mínimas para disminuir el impacto ambiental y los trastornos a la sociedad.

La metodología que tradicionalmente se utiliza para la rehabilitación de los sistemas de alcantarillado es el reemplazo de la tubería existente o la instalación paralela de una nueva, por medio de una excavación en zanja a lo largo de toda la tubería. Estos métodos requieren de una excavación para retirar la tubería existente y reemplazarla, mientras que las nuevas alternativas para la rehabilitación de las redes troncales de alcantarillado, conocidas en el industria como metodologías “sin zanja”, usan en la mayoría de los casos la tubería existente como base o un encamisado que se instala sobre ésta.

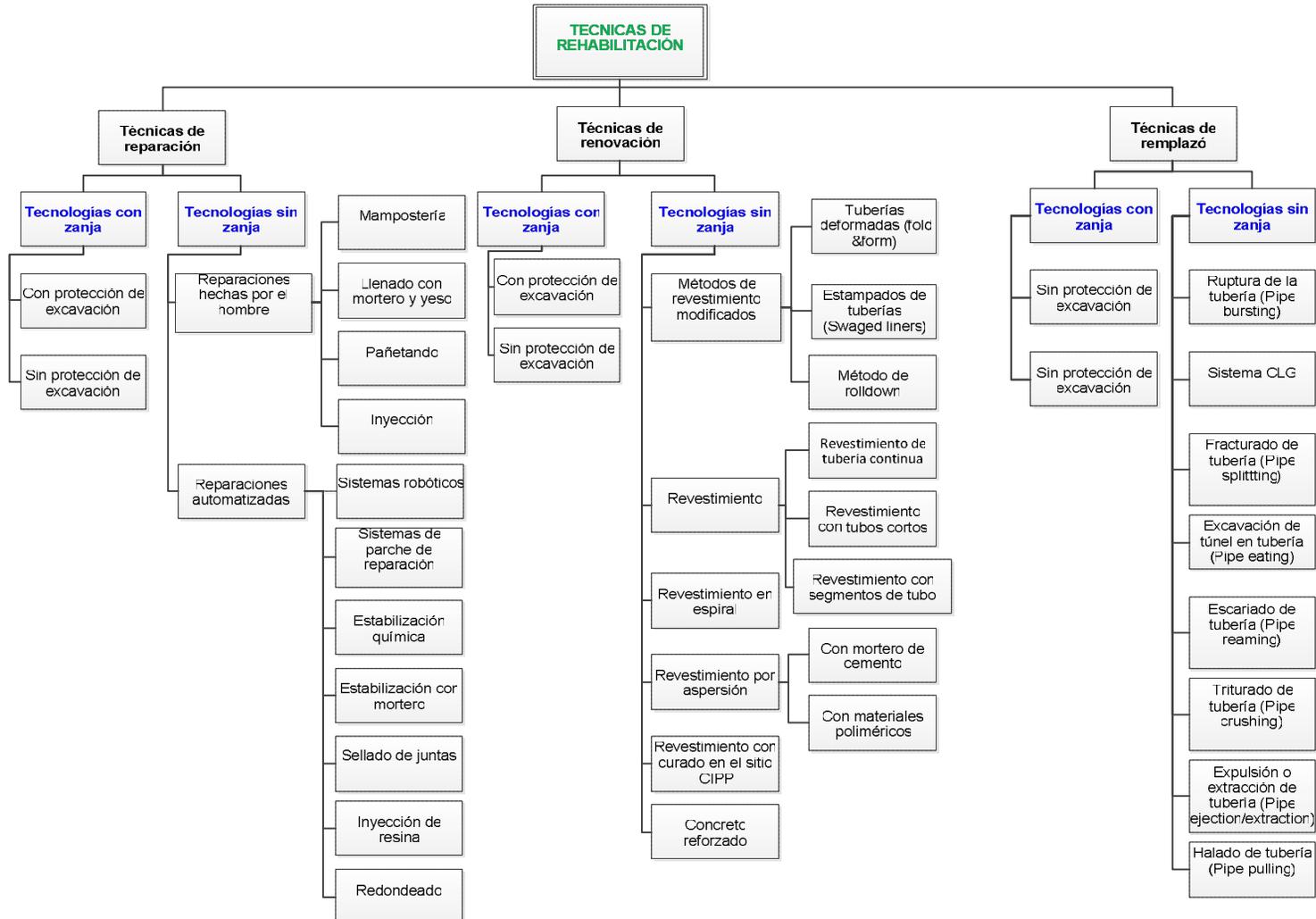
Las tecnologías de rehabilitación “sin zanja” han tenido durante los últimos 20 años un gran desarrollo. Actualmente existe una gran variedad de métodos para resolver los problemas de deterioro y envejecimiento de las redes troncales de alcantarillado, tanto para diámetros pequeños como para grandes, los cuales a su vez minimizan el impacto ambiental y en la población.

El método que se pretenda utilizar depende de las condiciones locales y del tipo de falla. Los costos de rehabilitación están vinculados con el método y la tecnología aplicada. Como se mencionó en el capítulo anterior, existen fallas de tipo operacional y estructural. Para el primer caso, el problema se puede solucionar mediante métodos operacionales, mientras que para el segundo, se plantea como alternativa las técnicas de rehabilitación, las cuales son objeto de estudio del presente capítulo.

La mayoría de los alcantarillados se pueden rehabilitar de una manera económica y eficiente haciendo uso de las tecnologías “sin zanja”. De esta forma, se pueden resolver los problemas existentes sin la necesidad de hacer grandes excavaciones y generando un menor impacto en el medio ambiente y en las actividades de la población.

Estas técnicas de rehabilitación no son aplicables a todo tipo de circunstancias, razón por la cual es preciso definir y establecer el campo de ejecución de cada una de ellas. En este capítulo se describe el desarrollo de cada tecnología, indicando las ventajas y desventajas más relevantes. Dependiendo de las necesidades, las técnicas de rehabilitación “sin zanja” se pueden clasificar en tres grandes grupos: **reparación de tuberías, renovación de tuberías y reemplazo de tuberías**. En la siguiente figura se presenta la amplia gama de técnicas de rehabilitación existentes.

Figura 1. Técnicas de rehabilitación



Fuente: elaboración propia.

A continuación se hace una descripción detallada de cada una de las tecnologías “sin zanja” que se encuentran en el mercado.

## 3.2 TÉCNICAS DE REPARACIÓN

Las técnicas de reparación y mantenimiento permiten hacer arreglos o rectificaciones locales de daños en longitudes cortas de tubería y juntas, tratamientos preventivos para un buen comportamiento de los sistemas; además, sirven como técnicas complementarias previas a la ejecución de las técnicas de renovación.

### 3.2.1 Tecnologías con zanjas (reemplazos puntuales)

#### 3.2.1.1 Sin protección de excavación (zanja abierta)

Consiste en la excavación de una zanja a cielo abierto, el cual permite el acceso a las redes de alcantarillado para su reparación. Esta técnica es ampliamente utilizada para la renovación y la instalación de nuevas tuberías.

Este método de reemplazo de tuberías implica la excavación de una trinchera, estabilizada con entibados o no, dependiendo principalmente de su profundidad y del tipo de suelo en la que se practique, seguido de la instalación de la tubería con una cimentación adecuada, de acuerdo con las condiciones de servicio. Esta cimentación puede ser del tipo de rellenos granulares o en concreto.

Para realizar esta labor en zonas urbanas desarrolladas es necesario hacer una adecuada señalización para habilitar los desvíos, mientras se adelantan los trabajos de demolición y reconstrucción de la estructura del pavimento de las vías bajo las cuales se realiza la instalación de la tubería.

Figura 2. Zanja convencional.



Fuente: Computer aided rehabilitation of sewer networks.

*Ventajas:*

- ✓ Se requieren bajos niveles de habilidad de los trabajadores.
- ✓ Amplia experiencia en su aplicación (método convencional).
- ✓ Abundancia de equipos y mano de obra específicos para estos trabajos.
- ✓ Se acomoda a cualquier condición de alineamiento y pendiente.
- ✓ Las conexiones laterales se pueden ejecutar simultáneamente.
- ✓ Utiliza materiales y tecnologías disponibles en el medio.
- ✓ Apto para todos los materiales de las tuberías.
- ✓ Capacidad para superar obstáculos desconocidos.
- ✓ Generación rápida de empleo.
- ✓ Se puede reparar o sustituir otra infraestructura al mismo tiempo, permitiendo la coordinación del trabajo y el reparto de los costos.

*Desventajas:*

- ✗ El costo de la metodología de zanja abierta puede ser importante comparado con el de las nuevas tecnologías.

- × Los tiempos de construcción o de instalación es usualmente más largo que en la mayoría de las tecnologías sin zanja, debido a la cantidad de perturbación de otras infraestructuras, del tráfico y de la cantidad de trabajo requerido para la instalación del alcantarillado.
- × Hay más problemas de seguridad debido a los inconvenientes de tráfico, al número de excavaciones necesarias y a los grandes equipamientos requeridos para realizar los trabajos.
- × Puede haber interferencia de otras superficies y de la infraestructura subterránea.
- × Los costos sociales y económicos de los grandes proyectos de zanja abierta son importantes durante la construcción.
- × Los grandes volúmenes de tierra requeridos por las obras implican un alto costo de transporte.
- × Riesgo de movimiento de tierras y, como consecuencia, riesgo para los trabajadores.
- × La apertura de zanjas genera costos de construcción demasiado altos, principalmente si se deben estabilizar los taludes por niveles freáticos altos.
- × La contaminación auditiva es mucho mayor, ya que se necesita mayor tiempo para la ruptura de andenes y calzada.

#### 3.2.1.2 Con protección de la excavación

Este método consiste en la excavación de una zanja y su protección por medio de un par de elementos prefabricados. Esta técnica permite excavar en suelos no cohesivos y a una mayor profundidad, manteniendo las condiciones de seguridad y conservando la pendiente y el ancho de la excavación. Este método también se emplea para la renovación y la instalación de tuberías nuevas.

Figura 3. Entibados.



Fuente: Computer aided rehabilitation of sewer networks.

*Ventajas:*

- ✓ Ocupa menos espacio de trabajo que el método de zanja convencional.
- ✓ Menores volúmenes de excavación de tierra.
- ✓ Se puede llegar a mayores profundidades de excavación en condiciones seguras y sin afectar la superficie ocupada.
- ✓ Para profundidades importantes, los costos son menores que en el método de zanja convencional.
- ✓ Se requieren bajos niveles de habilidad de los trabajadores.
- ✓ Apto para todos los materiales de las tuberías.
- ✓ Capacidad para superar obstáculos desconocidos.
- ✓ Se puede reparar o sustituir otra infraestructura al mismo tiempo, permitiendo la coordinación del trabajo y el reparto de los costos.

*Desventajas:*

- ✗ El costo de la metodología de caja de zanja puede ser mayor comparado con el de las tecnologías más recientes.
- ✗ Por el entibado, la construcción puede ser más larga que en la zanja convencional.
- ✗ Hay más problemas de seguridad debido al tráfico en la carretera, al número de excavaciones necesarias y a los grandes equipamientos requeridos para realizar los trabajos.
- ✗ Puede haber interferencia de otras superficies y de la infraestructura subterránea.

- ✗ Los costos sociales y económicos de los grandes proyectos de zanja abierta son importantes durante la construcción.
- ✗ Los grandes volúmenes de tierra requeridos implican un alto costo de transporte, aunque menores que en la zanja abierta.
- ✗ Riesgo de movimiento de tierras y, como consecuencia, riesgo para los trabajadores.

### 3.2.2 Tecnologías sin zanjas

#### 3.2.2.1 Reparaciones hechas por el hombre

##### 3.2.2.1.1 Mampostería

La mampostería o trabajos de ladrillo consisten en reparar a mano los ladrillos y el mortero. El albañil hace el trabajo dentro de la alcantarilla, lo cual representa una limitación de este método, ya que sólo se pueden realizar estos trabajos en las alcantarillas donde pueda entrar el trabajador. De lo contrario, sólo se pueden utilizar las tecnologías con zanjas.

#### *Ventajas:*

- ✓ El método tiene gran adaptación. Sólo se emplea material cuando se necesita.
- ✓ Es un método estructural.
- ✓ Método de sellado.
- ✓ Los equipos y los materiales empleados son muy sencillos y fácil de usar.
- ✓ No se producen daños en la superficie.
- ✓ No requiere excavación de ninguna clase.
- ✓ El costo social es bajo, así como la alteración del tráfico, el ruido y el polvo producido.

#### *Desventajas:*

- ✗ Esta técnica sólo se puede usar si el operario puede entrar al alcantarillado.
- ✗ Exige altas medidas de seguridad y de salud.
- ✗ Requiere operarios fuertes, lo cual incrementa su costo.

### 3.2.2.1.2 Llenado con mortero yeso

Los trabajos de ladrillo o mampostería tienen una superficie rugosa, aunque a veces estas superficies se suavizan con una capa de mortero (de aproximadamente 0,5 cm de espesor), que reduce la rugosidad de la alcantarilla, aumentando su capacidad y haciendo difícil la adherencia de depósitos de sedimentos. Dependiendo de la proporción de mezcla de materiales (menos arena y más cemento) y del trabajo del albañil, la superficie acabada puede ser muy suave, lo cual es una buena acción complementaria después de terminada la reparación con mampostería. Esta técnica también se utiliza en las alcantarillas de concreto (reforzado o no).

#### *Ventajas:*

- ✓ El método tiene gran adaptación. Sólo se emplea material cuando se necesita.
- ✓ Método de sellado.
- ✓ Los equipos y los materiales empleados son muy sencillos y fácil de usar.
- ✓ No se producen daños en la superficie.
- ✓ No requiere excavación de ninguna clase.
- ✓ El costo social es bajo, así como la alteración del tráfico, el ruido y el polvo producido.

#### *Desventajas:*

- ✗ Esta técnica sólo se puede usar si el operario puede entrar al alcantarillado.
- ✗ Exige altas medidas de seguridad y de salud.
- ✗ Requiere operarios fuertes, lo cual puede incrementar el costo.
- ✗ Es un método no estructural.

### 3.2.2.1.3 Pañetando

Método que consiste en la reparación de una alcantarilla o pozo en mampostería mediante la aplicación de mortero de cemento donde ha ocurrido una pérdida. Sólo se puede realizar a mano en las alcantarillas donde pueda entrar el trabajador.

### *Ventajas:*

- ✓ El método tiene gran adaptación. Sólo se emplea material cuando se necesita.
- ✓ Método de sellado.
- ✓ Mejora el rendimiento estructural (aunque es difícil medir el resultado).
- ✓ Los equipos y los materiales empleados son muy sencillos y fácil de usar.
- ✓ No se producen daños en la superficie.
- ✓ No requiere excavación de ninguna clase.
- ✓ El costo social es bajo, así como la alteración del tráfico, el ruido y el polvo producido.

### *Desventajas:*

- ✗ Esta técnica sólo se puede aplicar si el operario puede entrar al alcantarillado.
- ✗ Exige altas medidas de seguridad y salud.
- ✗ Requiere operarios fuertes, lo cual puede incrementar el costo.
- ✗ Es un método no estructural (es semi-estructural).

#### 3.2.2.1.4 Inyección

Las alcantarillas donde puede entrar un trabajador permiten hacer inyecciones a mano, que consiste en llenar con mortero (u otro material gel) los huecos existentes.

### *Ventajas:*

- ✓ Muy útil para fracturas graves o generalizadas.
- ✓ Técnica estructural y de sellado.
- ✓ Mejora el rendimiento estructural (aunque es difícil medir los resultados).
- ✓ Los equipos y los materiales empleados son muy sencillos y fácil de usar.
- ✓ No se producen daños en la superficie.
- ✓ No requiere excavación de ninguna clase.
- ✓ El costo social es bajo, así como la alteración del tráfico, el ruido y el polvo producido.

- ✓ El tiempo de trabajo es muy rápido comparado con los métodos con zanja.

*Desventajas:*

- ✗ Esta técnica sólo se puede usar si el operario puede entrar al alcantarillado.
- ✗ Existe la posibilidad de contaminación ambiental si la lechada del material químico entra en una zona sensible.
- ✗ Exige altas medidas de seguridad y de salud.
- ✗ Difícil de medir en el proyecto. Si el levantamiento topográfico con radar de los huecos no se ha hecho, es difícil medir los resultados en el proyecto.

### 3.2.2.2 Reparaciones automatizadas

#### 3.2.2.2.1 Sistemas robóticos

Es un sistema de reparación a control remoto que permite cortar obstrucciones, reabrir conexiones laterales o inyectar resinas dentro de las grietas.

Consiste en un tractor de ruedas equipado con varias herramientas necesarias para ejecutar las reparaciones, incluyendo un sistema de luces y una cámara de CCTV para gobernar el robot desde la superficie.

Previamente a la reparación se efectúa una inspección con circuito cerrado de televisión para ubicar las fallas y determinar el tipo de herramientas con que se debe equipar el robot para hacer la reparación respectiva.

Las herramientas dependen de las reparaciones que deben efectuar. Por ejemplo, la reparación de grietas y juntas requiere el fresado de los defectos, siguiendo con la aplicación de resina epóxica. Las protuberancias laterales se extraen con taladros y las infiltraciones se minimizan inyectando geles.

Figura 4. Sistemas robóticos de reparación.



Fuente: [www.gscservicios.es](http://www.gscservicios.es).

Los sistemas de reparación con robots, que constan de herramientas de relleno y tipo pulidoras, se utilizan principalmente en tuberías de gravedad.

Las pulidoras remueven incrustaciones o intrusiones y, a su vez, pulen la superficie con fisuras, la cual posteriormente se llena para mejorar la adherencia del material de relleno con la superficie que se va a reparar. Las herramientas de relleno aplican un mortero tipo epóxico.

Los sistemas robóticos se pueden usar en tuberías con diámetros entre 200 y 800 mm. Los equipos pequeños pueden operar diámetros de 200 hasta 400 mm, mientras que los robots grandes actúan en diámetros de 300 a 800 mm. La operación de los robots se monitorea a través de un circuito cerrado de televisión, que se instala en su parte delantera.

Las conexiones laterales con daños se pueden reparar con este sistema, sellando con epóxico la unión de la conexión con la tubería principal.

### *Ventajas:*

- ✓ Muy útil para pequeños daños localizados.
- ✓ Es muy útil para las obstrucciones y el corte de raíz.
- ✓ No producen daños en la superficie.
- ✓ No requieren excavación.
- ✓ Muy bajo costo social, así como también poca alteración del tráfico, poca producción de ruido y de polvo.
- ✓ El equipo puede ejecutar varias tareas.
- ✓ Admite flujos mientras se realiza la operación.
- ✓ El tiempo de trabajo es relativamente corto comparado con los métodos de excavación.
- ✓ No hay límite de profundidad, alcanza longitudes hasta de 100 metros desde un pozo de inspección o un acceso.

### *Desventajas:*

- ✗ No es adecuado para fracturas o fisuras muy graves.
- ✗ Se requiere una persona calificada para el manejo de los equipos.
- ✗ La maquinaria empleada es muy específica (robots).
- ✗ Las reparaciones no son estructurales.
- ✗ La vida en envase de las resinas utilizadas es muy corta.
- ✗ No es apto para todo tipo de materiales de las tuberías.

#### 3.2.2.2.2 Sistemas de parches de reparación

Es un sistema de reparación puntual que consiste en colocar una especie de pequeña funda o parche fabricado en material de resina en el daño de la tubería existente.

El sistema de reparcho necesita inicialmente fabricar el parche con el material en resina, localizar el daño puntual de la tubería de alcantarillado y adherir el parche o funda a las paredes de la tubería existente.

El parche se adhiere a la tubería colocándolo en un tubo flexible de caucho, el cual se infla por medio de agua o aire a presión. De esta manera, el parche se presiona sobre las paredes del daño existente, mientras que el material de resina es curado.

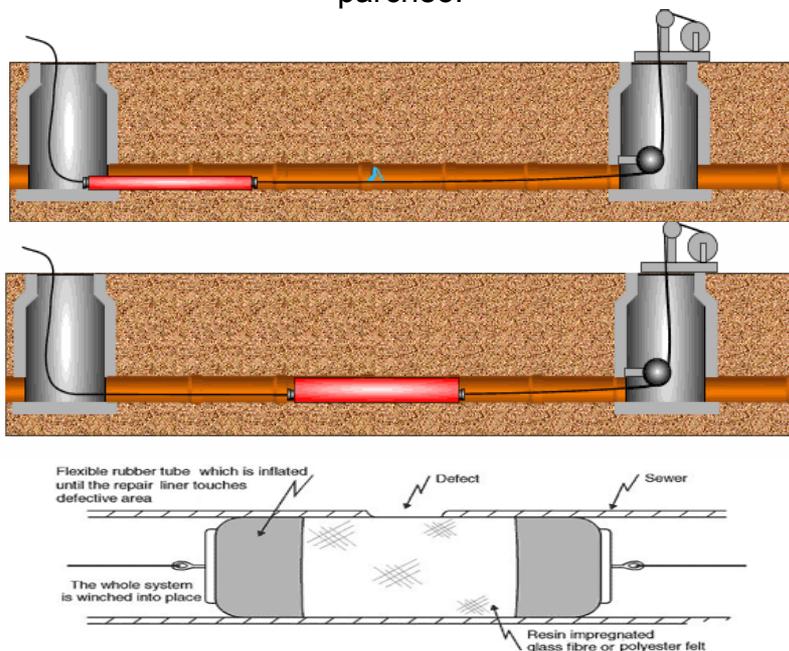
Los sistemas de curado pueden ser térmicos o con el ambiente. El sistema de reparacho es la versión pequeña del sistema continuo de revestimiento CIPP (cured-in-place-pipe), pues utiliza los mismos materiales pero la técnica de instalación es diferente.

Para este sistema es necesario controlar la temperatura del material de resina del parche hasta el momento en que se infla dentro del tubo, para evitar un curado prematuro de la resina, lo que podría causar un mal funcionamiento.

El tiempo de curado depende de la composición de la resina, del espesor del parche y de la temperatura de la resina y de la tubería existente. Se debe tener cuidado con los niveles freáticos altos, pues aumentan el tiempo de curado.

Una vez instalado el parche, el sistema de inflado se remueve del interior del tubo. La instalación se puede controlar con un sistema de inspección por medio de un circuito cerrado de televisión. Si se requiere alguna conexión lateral en el sector del parche se puede hacer por medio de un robot.

Figura 5. Proceso del sistema para reparación puntual con parcheo.



Fuente: ISTT-ASTT. Localised Repairs & sealing.

### *Ventajas:*

- ✓ Útil para defectos pequeños.
- ✓ Flexibilidad para adaptarse a pequeñas curvas.
- ✓ Algunos pueden tolerar cierta infiltración durante la aplicación.
- ✓ Muy bajo costo social, poca alteración del tráfico, poca producción de ruido y de polvo.
- ✓ El tiempo de trabajo es relativamente corto comparado con los métodos de excavación.
- ✓ No se producen daños en la superficie.
- ✓ No requieren excavación.

### *Desventajas:*

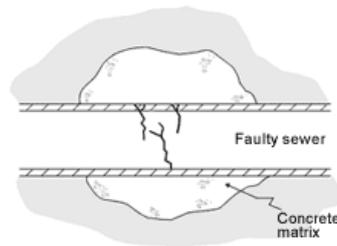
- × Sólo es apto para tuberías circulares.
- × Se requiere personal entrenado con equipo especial.
- × En algunos sistemas se requiere bombeo.
- × La contracción del parche durante el curado puede producir desplazamientos laterales.

#### 3.2.2.2.3 Estabilización química o sistema “fill and drain”

La estabilización química es un método de reparación de juntas, grietas y cavidades que suministra una nueva superficie de las paredes de la tubería, además se utiliza para la estabilización del suelo circundante a ella. Es uno de los sistemas más usados para reparación puntual.

La sección que se va sellar inicialmente se aísla y luego se rellena con una solución química (usualmente silicato de sodio). Después de cierto tiempo, durante el cual el químico penetra en la zona de filtraciones y fallas de la tubería existente, la solución química se bombea rápidamente fuera de la tubería. Posteriormente, la sección que se va a sellar se rellena con una segunda solución química, ésta reacciona con los residuos de la primera solución formando un gel que tiene la propiedad de resistir el agua. Después, a través de bombeo, se retira del tubo la segunda solución y, finalmente, la tubería se limpia para remover todos los residuos químicos. La introducción de los productos químicos se realiza por medio de los pozos existentes.

Figura 6. Estabilización química.



Fuente: ISTT-ASTT. Localised Repairs & sealing.

Lo que se busca con este sistema es rellenar con una masa impermeable el espacio que rodea a la tubería en los lugares donde existen filtraciones. Debido a los requerimientos para su aplicación y los volúmenes de material que se utilizan este sistema se emplea solamente en tratamientos de filtraciones a gran escala, es decir, de todo un sistema de alcantarillado.

*Ventajas:*

- ✓ Es un método rentable para detener la infiltración de agua llenando los huecos y sellando las fisuras en el suelo fracturado.
- ✓ Puede soportar bajos flujos.
- ✓ Se reducen las infiltraciones.
- ✓ Ayuda a prevenir daños estructurales en el futuro.
- ✓ Los productos químicos que no se mezclaron se pueden volver a utilizar.
- ✓ Proporciona una mejora estructural a través de la estabilización de los tejidos de la tubería y del terreno circundante.
- ✓ Se puede usar en alcantarillas no circulares.
- ✓ El equipo es móvil.
- ✓ No se producen daños en la superficie. No requiere excavación.
- ✓ Muy bajo costo social, poca alteración del tráfico, poca producción de ruido y polvo.
- ✓ Los tiempos de trabajo son cortos.

*Desventajas:*

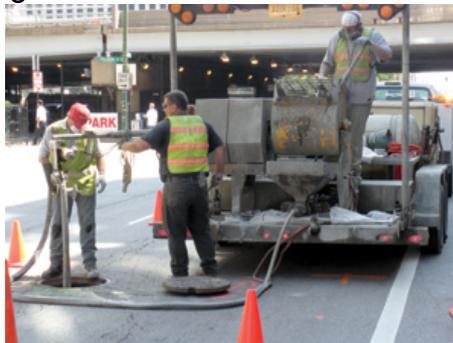
- ✗ Existe la posibilidad de contaminar el agua subterránea.

- ✗ El tamaño del alcantarillado limita el volumen.
- ✗ Presenta dificultades para aislar la sección que se va a intervenir cuando la superficie es irregular.
- ✗ Se requieren grandes cantidades de químicos.
- ✗ Está limitado a tuberías de diámetros pequeños, debido a los requerimientos del material (no debe haber acceso de personal).
- ✗ Es difícil el control de calidad.

#### 3.2.2.2.4 Estabilización con mortero

Consiste en inyectar una lechada de mortero en el suelo. Se utiliza ampliamente en ingeniería civil para el tratamiento de zonas de depresión.

Figura 7. Estabilización con mortero



#### *Ventajas:*

- ✓ Mejora la estabilidad de los suelos.
- ✓ Si se tiene cuidado con el diseño, se puede utilizar como una técnica estructural.

#### *Desventajas:*

- ✗ No repara directamente el alcantarillado.
- ✗ Requiere la caracterización del suelo.
- ✗ Presenta dificultad para medir en el proyecto.
- ✗ Para completar la reparación del alcantarillado requiere de otras técnicas, como el sellado de fisuras.

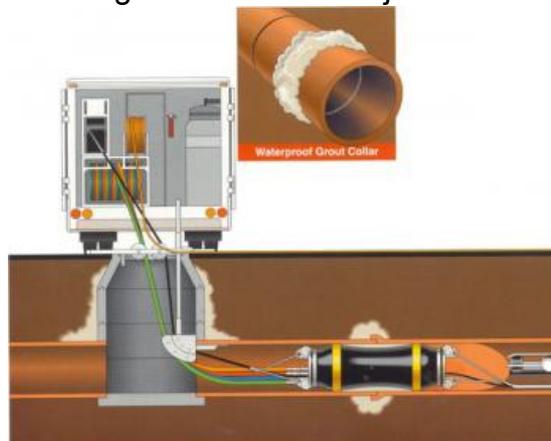
### 3.2.2.2.5 Sellado de juntas

En el sistema de prueba y sellado de juntas se realizan ambas actividades en un solo proceso. Se utiliza para sellar las filtraciones de las tuberías de gravedad, utilizando una herramienta que combina las funciones de ensayar inicialmente la filtración y, posteriormente, inyectarle una lechada. Este sistema se puede emplear de manera puntual o continua, dependiendo del número de filtraciones que se tengan en la tubería que se va a reparar.

En los extremos del sector de la junta dañada se ubica un sistema de elementos inflables, el cual se presuriza para aislarla. Posteriormente, se aplica aire o agua a presión desde el interior de la tubería para medir la tasa de pérdida de la junta ensayada. Si la pérdida excede un límite específico se inyecta una resina de sellado en la junta a través del sistema de inflado. Una vez reparada, la junta se vuelve a ensayar.

Se pueden utilizar resinas epóxicas o lechadas de poliuretano. En el primer caso, se bombean la resina y el endurecedor por separado, se mezclan y la solución se inyecta en la junta. Se deja curar durante tres horas y luego se desinfla y se retira la cabeza de reparación. En el segundo caso, se pueden usar resinas de poliuretano o mezclas de agua y látex. El agua actúa como catalizador y el látex suministra resistencia adicional para el material de reparación.

Figura 8. Sellado de juntas.



Fuente: ISTT-ASTT. Localised Repairs & Sealing.

### *Ventajas:*

- ✓ El espacio de trabajo en la superficie es mínimo.
- ✓ Es una alternativa de bajo costo.
- ✓ Equipamiento móvil.
- ✓ No se producen daños en la superficie. No requiere excavación.
- ✓ Muy bajo costo social, poca alteración del tráfico, poca producción de ruido y polvo.
- ✓ La cabeza de reparación da flexibilidad para manejar ciertas curvaturas del alcantarillado.
- ✓ Las cabezas de reparación tienen acceso a través de los recodos de las tuberías.
- ✓ Algunos sistemas permiten flujos moderados.

### *Desventajas:*

- × No presta servicio de reparación estructural.
- × Es difícil el control de calidad.
- × No se recomienda si los defectos en las tuberías son numerosos, Los costos pueden ser altos.
- × Limitado a tuberías circulares.
- × La vida de las resinas en el envase es muy corta.

#### 3.2.2.2.6 Inyección de resina

Es un sistema de reparación local con inyección de resinas para evitar infiltraciones y, a su vez, evitar el deterioro posterior del daño. Específicamente esta técnica se emplea cuando las tuberías tienen problemas de filtraciones. Sin embargo, se debe tener cuidado al aplicar este sistema cuando los niveles freáticos están altos, particularmente si existe un flujo exterior de agua alrededor de la tubería, pues éste puede remover la resina que se inyecta en el sector del daño.

Los sistemas de inyección de resinas normalmente utilizan una resina epóxica o un mortero para estabilizar y reestructurar las paredes de la tubería existente y así sellar el daño para evitar filtraciones. Originalmente esta técnica se aplicaba sólo en tuberías que tenían daños pequeños y superficiales, pero el

sistema ha ido evolucionando con el tiempo y se ha mejorado, aplicándose a daños severos como fracturas o fisuras.

La instalación de esta metodología es similar a la de reparcho, se hace a través de un sistema de inflado localizado en el punto del daño y luego se inyecta una resina epóxica en las paredes del tubo. El sistema de inflado se mantiene en el sitio hasta que se cura la resina, posteriormente se desinfla y remueve.

Se debe tener en cuenta que la resina que se coloca no genera mejoras estructurales en la tubería; no obstante, ayuda a estabilizar su estructura, evitando el aumento de las fisuras.

Figura 9. Inyección de resina.



#### *Ventajas:*

- ✓ Es adecuado para alcantarillados donde no puede entrar un operario.
- ✓ No se producen daños en la superficie. No requiere excavación.
- ✓ Muy bajo costo social, poca alteración del tráfico, poca producción de ruido y polvo.

#### *Desventajas:*

- ✗ No es una técnica de reparación estructural.
- ✗ Existe la posibilidad de contaminación del suelo si la resina entra en una zona sensible.
- ✗ Se deben tomar muchas medidas de seguridad.
- ✗ Es difícil medir las cantidades en el proyecto.

### 3.2.2.2.7 Redondear (Rerounding)

Usualmente se lleva a cabo antes de la renovación de las tuberías y consiste en insertar un dispositivo o entibado mecánico para reestablecer a su estado original una tubería deformada.

En muchas ocasiones los sistemas de renovación son inapropiados porque las pequeñas áreas de los alcantarillados están excesivamente deformadas. Con el empleo del dispositivo de redondeo se puede restaurar la forma original del alcantarillado para hacer sellado de juntas y fisuras, o colocar revestimientos locales o parches de reparación.

Una de las muchas formas para devolver la forma original a los alcantarillados de diámetros pequeños es la utilización de una chapa de acero inoxidable o PVC partida longitudinalmente, la cual se coloca alrededor de un aparato expansor inflable y se transporta con un malacate al sitio de la falla. El dispositivo se infla expandiendo la pinza de reparación hasta que los dos extremos se encuentran y se cierran; luego, se desinfla. El dispositivo se separa abandonando el soporte de revestimiento de la sección dañada.

Otra técnica que se utiliza en tramos cortos son tubos de PVC en forma de "U" con seis segmentos abisagrados. Cuando esta unidad de reparación está retraída tiene forma de ocho. La unidad se coloca en el sitio colapsado del alcantarillado y se abre dentro de la tubería con gatos hidráulicos.

Figura 10. Sistema de redondeo.



El redondeo no es un sistema de reparación como tal, sino una técnica que se emplea para arreglar la forma de la tubería, previa a su reparación puntual o a la instalación de un revestimiento.

La unidad de expansión se usa para redondear la tubería deformada e instalar unos clips metálicos o plásticos en la tubería, que ayudan a sostener los fragmentos de la tubería fracturada hasta el momento en que se instala el sistema de revestimiento. El sistema de redondeo es capaz de mejorar deformaciones del tubo entre 10 y 35%. El método de expansión normalmente se infla por medio de un sistema de presión hidráulica.

#### *Ventajas:*

- ✓ No requiere excavaciones.
- ✓ No produce daños en las superficies.
- ✓ Se puede renovar la longitud total del tramo luego del redondeo.
- ✓ Los tiempos de trabajo total son cortos.
- ✓ Toda la longitud se puede renovar después de redondear la sección defectuosa.

#### *Desventajas:*

- ✗ La reparación se limita a tuberías circulares.
- ✗ Los equipos empleados son muy específicos.
- ✗ Se requiere personal calificado.

### 3.3 TÉCNICAS DE RENOVACIÓN

La renovación hace referencia al grupo de técnicas que permiten restablecer el funcionamiento interno de la tubería existente, mejorando sus condiciones y ampliando su vida útil sin tener que reemplazarla.

#### 3.3.1 Tecnologías con zanjas

Se utilizan las mismas técnicas de reparación de tuberías que se explicaron anteriormente.

### 3.3.2 Tecnologías sin zanjas

#### 3.3.2.1 Métodos de revestimiento modificado (*Close-fit linings*)

Se refieren al rango de técnicas de renovación en las cuales la sección transversal del revestimiento se deforma temporalmente antes de la inserción dentro del alcantarillado que se va a intervenir. Posteriormente a la inserción el revestimiento se restituye a su forma original, logrando un ajuste perfecto con la tubería existente y minimizando la reducción de la sección transversal de la tubería renovada.

Existen varios tipos de métodos de revestimiento modificado, los cuales dependen del tipo de material, de la sección deformada de la tubería y del proceso de revestimiento. Los que están disponibles actualmente son los siguientes:

- Tubería deformada (fold & form).
- Estampado de tuberías Swaged liners.
- Método de Rolldown.

#### *Ventajas:*

- ✓ Ajuste perfecto de la tubería original, sin crear espacios anulares.
- ✓ Generalmente no ocurren ondulaciones del revestimiento.
- ✓ La reducción de la sección transversal es mínima.
- ✓ Mejora el coeficiente de fricción, incrementando la capacidad hidráulica.
- ✓ Se pueden insertar tramos de revestimiento estructural.
- ✓ Los rendimientos para la rehabilitación de tuberías son mayores, ya que con esta metodología no se necesita cambiar toda la tubería dañada en el momento de la rehabilitación sino que sólo se refuerzan los tramos que presentan fallas.
- ✓ Las interferencias en los negocios, peatones y automotores de la zona se minimizan, por la mayor eficiencia de esta metodología y porque al existir zanjas pequeñas de entrada y salida no se obstaculiza el tránsito de clientes hacia los locales comerciales.

- ✓ Se reduce el daño a las tuberías adyacentes, ya que éstos suceden principalmente en el proceso de excavación y en esta metodología las excavaciones son mínimas.
- ✓ Se reducen significativamente los materiales de desecho, su acarreo y acumulación en los botaderos.
- ✓ Es más económico que la metodología con apertura de zanja en cuanto a excavaciones, rellenos, reconstrucción de calzada y andenes y retiro de sobrantes.
- ✓ Al no necesitar un equipo dinámico para la instalación de la nueva tubería no genera daños en calles o andenes.
- ✓ No hay necesidad de limpiar totalmente el alcantarillado y que esté seco.
- ✓ Este método se puede aplicar incluso si existe infiltración.
- ✓ No requiere ninguna clase de lechada.

*Desventajas:*

- ✗ Esta metodología no sirve cuando existen cambios significativos de alineamiento en la tubería.
- ✗ Las conexiones laterales previamente se deben identificar, excavar y desconectar. Un número de conexiones excesivo podría hacer más costoso este método comparado con la excavación.
- ✗ Sólo se puede usar en secciones circulares.
- ✗ Algunas deformaciones y obstrucciones en la tubería existente pueden impedir la colocación del revestimiento, pero se puede subsanar con limpieza previa.
- ✗ Puede presentarse una infiltración entre la tubería nueva y la existente, a menos que se haga un sellado.
- ✗ La tubería nueva puede proporcionar un soporte estructural inadecuado.
- ✗ Ciertos trabajos de este sistema no son visibles; por lo tanto, se dificulta la inspección durante su construcción.

### 3.3.2.1.1 Tuberías deformadas (fold & form)

Una alternativa para reducir el diámetro del revestimiento antes de insertarlo dentro de la tubería existente es contar con un revestimiento predeformado. La principal ventaja de este método consiste en que la reducción del diámetro que se logra con su deformación llega en algunos casos hasta el 50%, lo cual significa que la fuerza del malacate para instalar el revestimiento

es muy baja. Esta técnica se puede aplicar tanto en tuberías a presión como de gravedad.

Las tuberías se pueden deformar en las fábricas o en el sitio de instalación.

Cuando la deformación se hace en fábrica el revestimiento se dobla después de que ha sido extruido, luego se enfría ligeramente y se pasa por una herramienta de reformado; posteriormente, se enfría totalmente para su almacenamiento. Generalmente el revestimiento queda en forma de "U". Una vez instalado se le restablece su forma original aplicando vapor a presión, lo cual hace que el calor reblandezca el revestimiento y lo adhiera a las paredes de la tubería original.

Usualmente el material del revestimiento es de polietileno y PVC. En este proceso el revestimiento se calienta antes de la inserción para hacerlo más flexible, pero antes se le coloca una membrana a prueba de fugas, que se pasa dentro de la tubería para evitar que el calor se transfiera a sus paredes. Una vez esparcido el revestimiento dentro de la membrana, se pasa una herramienta de redondeo para expandirlo. Finalmente, el revestimiento se deja enfriar bajo presión.

Las tuberías nuevas en polietileno que se introducen dentro de la tubería vieja se pueden utilizar como revestimiento estructural o no estructural, tanto en tuberías a presión como en tuberías de gravedad. No obstante, se debe tener en cuenta que las propiedades del revestimiento en polietileno no son ideales para usarse en tuberías que se encuentren estructuralmente deterioradas o con cargas externas altas. Las tuberías nuevas en PVC son ideales para las tuberías de gravedad.

Cuando se utiliza el revestimiento deformado en el sitio se pasa a través de rodillos reductores para disminuir su diámetro, luego se fuerza a través de una herramienta dobladora que le da una forma de "U" y se mantiene en esa posición amarrado con bandas de polipropileno. Una vez ubicado el revestimiento dentro de la tubería existente se revierte aplicando agua a presión y reventando las bandas para permitir la recuperación de su forma.

Figura 11. Tubería deformada.

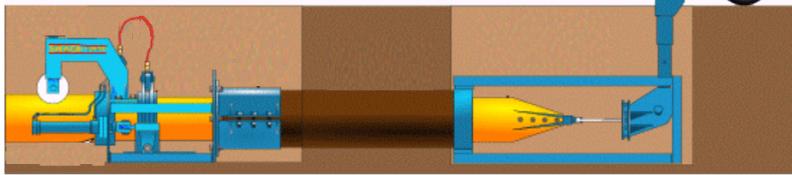


Fuente: ISTT-ASTT Closed Fit Lining.

#### 3.3.2.1.2 Estampados de tubería (Swaged liners)

Cuando la técnica involucra la reducción del diámetro de la tubería por calentamiento previo a una temperatura cercana a los 100 °C se denomina método swagelining. El revestimiento de polietileno se hala a través de un troquel de acero deformador que lo prensa y le reduce el diámetro. Luego, se introduce en el tubo existente utilizando lubricantes para el desplazamiento cuando se trata del método a temperatura ambiente. El diámetro reducido se mantiene por la tensión aplicada durante el halado. Una vez colocado el revestimiento en su posición definitiva se retira la tensión y, por relajación, vuelve a su diámetro original. Esta metodología no es la más comúnmente utilizada para alcantarillados, se emplea más en tuberías a presión como gas y acueducto, con diámetros entre 3 y 36”.

Figura 12. Método estampado de tuberías.



### 3.3.2.1.3 Método Rolldown

En este proceso el diámetro del revestimiento se reduce momentáneamente antes de su inserción dentro de la tubería existente, haciéndolo pasar a través de dos rodillos hemisféricos. De esta forma se reduce el diámetro del revestimiento en aproximadamente un 10%, incrementando el espesor de sus paredes. Después de que el revestimiento se ubica en el sitio establecido se recupera su diámetro original aplicando en su interior agua fría a presión.

A diferencia de los dos métodos anteriores, en éste la fuerza del malacate solamente se emplea para posicionar el revestimiento, lo cual permite mayor longitud de instalación.

Figura 13. Método Rolldown.



### 3.3.2.2 Revestimientos (*Sliplining*)

#### 3.3.2.2.1 Revestimiento tubería continua (Continuos sliplining)

Consiste en el revestimiento con una longitud continua de tubos insertados dentro de la tubería existente. El revestimiento se posiciona dentro de la tubería defectuosa halándolo a través de ella en segmentos continuos de tubos. Una punta cónica, atada a

un malacate, se ajusta en el extremo frontal de la tubería para protegerla y evitar que se tranque. Usualmente se requiere rellenar con lechada el espacio anular entre la tubería existente y el revestimiento. Después de la inserción del revestimiento y antes de las inyecciones se deben hacer las conexiones laterales.

Los tramos de tubería se pueden juntar previamente para formar el revestimiento continuo o antes de la inserción cuando el espacio para el almacenamiento de la tubería continua sea insuficiente. Las juntas en los tubos se pueden hacer mecánicamente o por termofusión.

Esta técnica se utiliza más en los sistemas a presión por la continuidad de estos sistemas.

Figura 14. Revestimiento tuberías continuas.



Fuente: ISTT-ASTT Sliplining.

#### *Ventajas:*

- ✓ Rapidez en la instalación.
- ✓ Varios metros de tubería se pueden revestir en una sola operación.
- ✓ Los costos pueden ser bastante reducidos en relación con el método convencional de excavaciones a cielo abierto.
- ✓ Usualmente proporciona un mejor coeficiente de fricción y un mejor rendimiento hidráulico.
- ✓ El revestimiento puede acomodarse a curvaturas de gran radio.
- ✓ Las interferencias a los negocios, peatones y automotores de la zona se minimizan.
- ✓ Se reduce el daño a tuberías adyacentes.
- ✓ Se reducen significativamente los materiales de desecho, su acarreo y su acumulación en botaderos.

- ✓ No se requieren equipos muy especializados para realizar la rehabilitación de tuberías, los costos de éstos son relativamente bajos y su rendimiento hace más fácil el trabajo.
- ✓ Al no necesitar un equipo dinámico para la instalación de la nueva tubería no genera daños en calles o andenes; además, como la nueva tubería es de menor diámetro que la existente no comprime el suelo circundante.
- ✓ El espacio anular que queda entre la tubería vieja y la nueva se puede utilizar para canalizar el agua que proviene de las conexiones laterales hasta el momento en que éstas se reconectan.

*Desventajas:*

- ✗ Reduce la capacidad de la tubería hasta en un 30%.
- ✗ Se puede llegar a requerir inyecciones de lechada para llenar espacios anulares. En la práctica, el sistema de la inyección de la lechada es la parte más difícil de esta técnica, pero se debe tener en cuenta que esta lechada es siempre necesaria en el caso de tuberías a gravedad.
- ✗ Requiere excavaciones para las conexiones laterales.
- ✗ Es necesario excavar una trinchera para la entrada de longitudes continuas de la tubería.
- ✗ Durante la instalación se deben hacer desviaciones del flujo.
- ✗ No es aconsejable para diámetros pequeños, ya que se reduce en mayor magnitud la capacidad de la tubería.
- ✗ Ciertos trabajos de este sistema no son visibles; por lo tanto, se dificulta la inspección durante su construcción.
- ✗ En la mayoría de los casos esta técnica se emplea para tuberías circulares.

3.3.2.2.2 Revestimiento con tubos cortos (Discrete sliplining)

Esta técnica de renovación de alcantarillados consiste en la instalación de secciones discontinuas de tubería, más cortas que el tramo que se va a renovar, las cuales se unen afuera o adentro de la tubería para formar un revestimiento continuo.

Previo a la instalación se debe limpiar la tubería existente y remover las incrustaciones y raíces. Las unidades individuales de

revestimiento se pueden introducir a través de los pozos de inspección existentes o construyendo excavaciones para acceso cuando sea necesario. Generalmente las secciones son circulares pero el método se puede aplicar a otro tipo de secciones. Las unidades se pueden instalar en diámetros pequeños o en diámetros aptos para el acceso de personal.

En el caso de diámetros pequeños, las unidades se ensamblan dentro del pozo de inspección o la excavación de acceso y se instalan dentro de la tubería existente empujándolas o halándolas. Para el caso de acceso de personal, las uniones se hacen en el sitio, una vez posicionadas las unidades. Generalmente se hacen longitudes cortas de revestimiento y se inyectan los espacios anulares antes de continuar con una próxima sección.

En los métodos de instalación de tubos discontinuos se utiliza una gran variedad de materiales y sistemas de juntas.

#### *Ventajas:*

- ✓ Rapidez en la instalación.
- ✓ Se acomoda a curvas de gran radio.
- ✓ Se puede utilizar en secciones no circulares.
- ✓ No se requiere una gran destreza para su instalación.
- ✓ Usualmente proporciona un mejor coeficiente de fricción y un mejor rendimiento hidráulico.
- ✓ El rendimiento para la rehabilitación de tuberías es mayor, ya que con esta metodología no es necesario cambiar toda la tubería dañada sino que sólo se refuerzan los tramos que presentan fallas.

#### *Desventajas:*

- ✗ Se requieren inyecciones para los espacios anulares.
- ✗ La reducción en la sección transversal puede ser significativa.
- ✗ En diámetros pequeños se necesita excavación para las conexiones laterales.
- ✗ Se debe hacer desviación del flujo durante la instalación y las reconexiones laterales.

- ✗ Para el caso de diámetros donde hay acceso de personal, los requerimientos de seguridad pueden implicar la excavación de pozos adicionales.
- ✗ Cuando se utilizan tramos cortos de tuberías se incrementan los costos por las uniones.
- ✗ No es aconsejable para diámetros pequeños, ya que la capacidad de la tubería se reduce en mayor magnitud.
- ✗ Como existe una reducción de diámetro se debe realizar un análisis de capacidad de flujo.
- ✗ Ciertos trabajos de este sistema no son visibles; por lo tanto, se dificulta la inspección durante su construcción.

#### 3.3.2.2.3 Revestimiento con segmentos de tubo (Segmental sliplining)

Es una técnica de renovación que utiliza secciones prefabricadas, las cuales se ensamblan manualmente dentro del alcantarillado existente. Generalmente las secciones constan de dos partes que se unen de forma longitudinal y circunferencial y se introducen a través de pozos de inspección existentes o excavaciones de acceso, con ayuda de grúas y malacates. Una vez ubicadas todas las unidades del revestimiento total se procede con inyecciones de los espacios anulares y se hacen las reconexiones laterales.

Figura 15. Revestimiento con cemento de tubo.



Fuente: Uni-Bell Technical Publication.

#### *Ventajas:*

- ✓ Esta tecnología se puede utilizar con propósitos estructurales o no estructurales.

- ✓ El revestimiento se puede diseñar para que coincida con el diámetro del tubo original, de esta forma se minimiza la pérdida de capacidad.
- ✓ Se acomoda a curvaturas de gran radio.
- ✓ Se pueden acomodar segmentos no circulares.
- ✓ Se facilitan las conexiones laterales.
- ✓ No siempre requiere personal altamente calificado.
- ✓ Las unidades se pueden instalar en condiciones de humedad.

*Desventajas:*

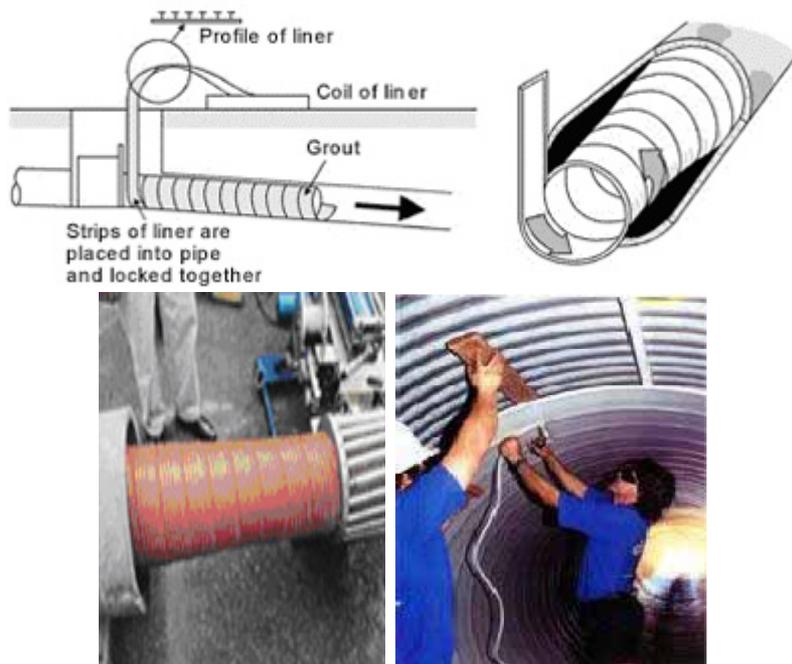
- ✗ Existe una intensa labor de juntas, que disminuye los rendimientos.
- ✗ Es necesario el desvío por bombeo.
- ✗ Es una tecnología que requiere bastante mano de obra, por lo que se aumentan los costos.
- ✗ Requiere condiciones de seguridad para el acceso de personal.
- ✗ Las reducciones en la sección transversal de la tubería pueden ser significativas.
- ✗ Como existe una reducción de diámetro se debe realizar un análisis de capacidad de flujo.
- ✗ Ciertos trabajos de este sistema no son visibles; por lo tanto, se dificulta la inspección durante su construcción.

### 3.3.2.3 Revestimiento en espiral (Spiral lining)

Consiste en una cinta de plástico rebordeada, la cual se adhiere en forma de espiral dentro de la tubería defectuosa para formar un tubo continuo de revestimiento. Normalmente la cinta tiene los bordes en forma de "T", los cuales se unen al pasarlos a través de una máquina enrolladora antes de insertar el revestimiento helicoidal formado dentro de la tubería. Esta técnica se emplea comúnmente en tuberías de gravedad, ya que su instalación es muy rápida y, además, en la mayoría de los casos no requiere la desviación del flujo de agua de la tubería existente. La rigidez de este revestimiento en espiral no es tan alta como la de otros revestimientos. Se puede hacer una reparación manual si el personal de trabajo puede ingresar al sistema de alcantarillado.

Generalmente el espacio anular entre el revestimiento y la tubería requiere inyecciones de lechada.

Figura 16. Spiral lining.



Fuente: EPA, folleto informativo de operación y mantenimiento del alcantarillado. Rehabilitación sin zanjas de colectores del alcantarillado.

*Ventajas:*

- ✓ En una operación rápida se pueden instalar grandes longitudes.
- ✓ Se acomoda a curvaturas de gran radio.
- ✓ Suministra soporte estructural.
- ✓ Se acomoda a cambios de diámetro.

*Desventajas:*

- ✗ Sólo se pueden tratar secciones circulares.
- ✗ Se requiere personal calificado para manejar el equipo de enrollado.
- ✗ Puede requerir excavaciones para conexiones laterales.
- ✗ La reducción en la capacidad hidráulica puede ser significativa.

- × Requiere bombeo.

#### 3.3.2.4 Revestimiento por aspersion (Spray lining)

Esta técnica de renovación consiste en la aplicación de mortero de cemento o de materiales poliméricos por aspersion para conformar el revestimiento. Más adelante se presentan las características generales para cada uno de los tipos de materiales mencionados, los cuales se pueden aplicar por medio de un equipo tipo robot, que se introduce dentro de la tubería y se hala de manera constante dentro de ella.

Aunque inicialmente esta tubería se empleó para rehabilitar tuberías de alcantarillado, actualmente se utiliza para rehabilitar tuberías de agua potable, porque sirve más para prevenir la corrosión de la tubería que para aumentar su resistencia estructural.

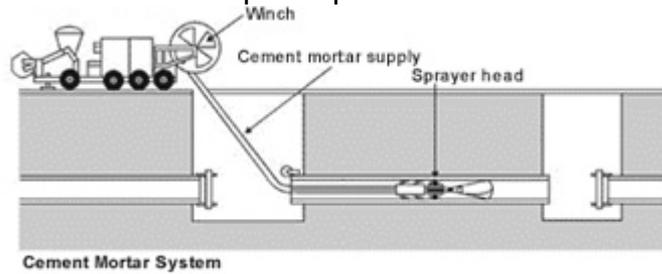
Además, en la práctica es difícil asegurar que durante la aplicación y el curado de este material se evitan las infiltraciones. Sin embargo, se debe tener en cuenta que una de las ventajas de esta tecnología en el campo de los alcantarillados es que no presenta los problemas de las reconexiones laterales, que sí tienen la mayoría de tecnologías de rehabilitación de alcantarillados.

##### 3.3.2.4.1 Con mortero de cemento

Este revestimiento consiste en la aplicación de un mortero de cemento (típicamente de unos 4 mm de espesor) al interior de las tuberías para protegerlas contra la corrosión.

Antes de revestir debe hacerse limpieza y remoción de intrusiones y raíces.

Figura 17. Revestimiento por aspersión con mortero de cemento.



*Ventajas:*

- ✓ Se acomoda a variaciones en la sección transversal.
- ✓ En algunos casos se pueden manejar los flujos.
- ✓ Las conexiones laterales se pueden ejecutar fácilmente.
- ✓ Existe mínima reducción en la sección transversal del tubo.
- ✓ Puede ofrecer reforzamiento estructural.

*Desventajas:*

- ✗ Se requiere personal calificado para la aplicación del mortero.
- ✗ La aplicación es relativamente lenta.
- ✗ Requiere condiciones de seguridad para el acceso de personal.
- ✗ El uso se limita a tuberías estructuralmente sólidas.
- ✗ Requiere control de infiltración.
- ✗ Se presenta una reducción significativa de la sección transversal.

3.3.2.4.2 Con polímeros

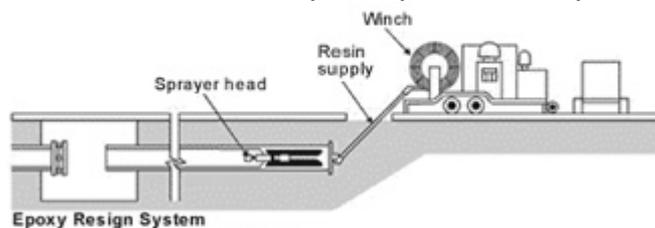
Se pueden aplicar materiales epóxicos o de poliuretano en tuberías circulares de pequeño diámetro, para dar un revestimiento estructural a la superficie interna.

Para aplicar las capas poliméricas de revestimiento existen dos sistemas: con bombeo y sin bombeo. En el primero, la resina y el endurecedor se bombean por mangueras diferentes, los dos materiales se mezclan en la boquilla aspersora y luego se aplican a la tubería existente. La cabeza aspersora se hala a través de la

tubería y su velocidad de traslación determina el espesor de la capa de revestimiento.

En el sistema sin bombeo, la boquilla aspersora también se hala dentro de la tubería, haciendo pasar las mangueras dispuestas con resina y endurecedor a través del aspersor, donde se hace la mezcla y se coloca. A diferencia del sistema con bombeo, en este caso la cantidad de material en las mangueras es la que controla el espesor del revestimiento. Las mangueras consumidas van quedando detrás del aspersor y para evitar que se dañen la resina debe tener un curado rápido, usualmente entre 2 y 3 minutos.

Figura 18. Revestimiento por aspersión con polímeros.



#### *Ventajas:*

- ✓ Hay muy poca pérdida del diámetro de la tubería (2 mm) en un espesor de 1 mm de epóxico aplicado.
- ✓ Se puede trabajar desde los pozos de inspección existentes.
- ✓ La instalación es relativamente rápida.
- ✓ Se pueden mejorar las características del flujo.
- ✓ No se necesitan reconexiones laterales.

#### *Desventajas:*

- ✗ Propiedades estructurales a largo plazo sin definir.
- ✗ Se requiere curado de la resina.
- ✗ El tiempo de curado puede ser significativo.
- ✗ Se requiere desvío total del flujo y control de infiltraciones.
- ✗ Las aplicaciones en espesores uniformes se pueden dificultar.
- ✗ Las deformaciones en la tubería existente pueden causar inconvenientes.

### 3.3.2.5 Revestimiento con curado en el sitio CIPP (Curade Inplace Pipe Lining)

Esta tecnología es una variante de los revestimientos modificados y muchas veces se conoce con el nombre de “in situ lining”. Es la tecnología que ha dominado en el mundo el mercado de la renovación de las tuberías en los últimos veinticinco años.

Es una técnica de renovación que consiste en la inserción de un tubo flexible de matriz fibrosa, fijada por una resina térmica, que produce un tubo estructural cuando termina el proceso de curado.

El tubo de revestimiento está compuesto de dos partes principales, una matriz de fibra que contiene una resina térmica y una capa plástica exterior a la manga que permite un manejo relativamente simple del tubo antes y durante la instalación. La matriz de fibra puede servir a numerosos propósitos, como transporte del sistema de resina o contenedor de las fibras de refuerzo que permiten instalar un revestimiento compuesto.

Previamente a la inserción se deben cerrar las conexiones laterales, remover las obstrucciones y hacer limpieza de la tubería existente.

El procedimiento de instalación más común es mediante la inversión, en el que uno de los extremos del revestimiento se fija alrededor de un anillo y se inserta dentro de sí mismo en uno de los puntos de acceso. Los fabricantes utilizan diferentes sistemas para invertir el revestimiento incluyendo agua, vapor o aire comprimido. Durante la inversión el tubo de revestimiento se desdobra hacia afuera y viaja a través de la tubería, resultando en la superficie interior plástica de la manga, cubre la superficie interior de la tubería en reparación y la pone en contacto con el sistema de resina. La presión en el tubo invertido hace que la resina impregnada se adhiera a la pared del tubo existente, luego se hace el curado con vapor, generando una estructura sólida.

Este sistema CIPP (Cured In Place Pipe) tiene una resistencia estructural adecuada y se puede diseñar para adaptarlo a diferentes condiciones de carga. Se debe tener en cuenta que la rigidez de este revestimiento aumenta dependiendo de las condiciones estructurales y de cimentación de la tubería

existente. Esta técnica se puede utilizar en tuberías a presión, aunque la mayoría de las metodologías desarrolladas para CIPP son para tuberías de gravedad.

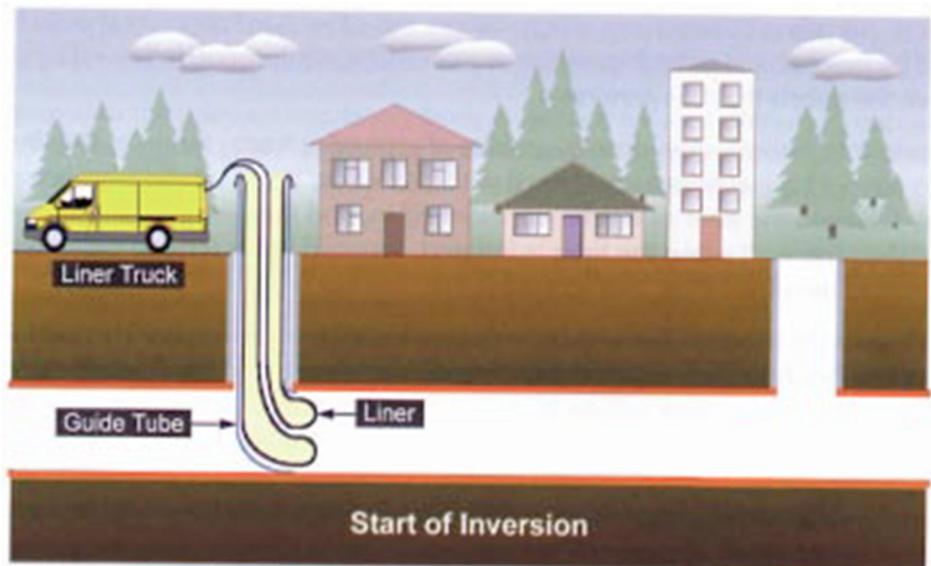
Para reabrir conexiones y restaurar el flujo se utiliza un robot cortador, luego se realiza una inspección final de cámara con CCTV.

Los sistemas alternativos utilizan un cabestrante para instalar el tubo de revestimiento. Estos forros se empujan dentro del tubo huésped como tubos colapsados, luego se inflan utilizando aire comprimido y se curan por espuma. Un sistema utiliza una manguera de PVC que se inserta al forro y lo llena con agua para mantenerlo presionado contra la pared del tubo original, mientras éste se cura a temperatura ambiente. Finalmente se remueve el tubo de PVC.

Algunos sistemas utilizan luz ultravioleta para curar la resina. Luego de limpiar el tubo y desviar el flujo, el forro impregnado se inserta al tubo principal utilizando aire comprimido. El revestimiento es jalado por un cable cabestrante, que luego se utiliza para remolcar el montaje de luces UV. El curado se efectúa por medio de un tren de luces UV, las cuales son remolcadas por el forro inflado a un ritmo predeterminado. El proceso no es sensible a la temperatura del suelo.

Algunos sistemas tienen almacenada la resina entre los instaladores internos y externos, para prevenir que entren en contacto con el ambiente y reducir los vapores por estremo durante la instalación.

Figura 19. Sistema CIPP.



Fuente: ISTT-ASTT Cured-in.

Históricamente el sistema CIPP es más costoso que el del revestimiento continuo, incluso puede llegar a ser más costoso que el reemplazo total de la tubería. Aunque se debe tener en cuenta que en la actualidad la competencia entre varias compañías ha generado una disminución en los precios de esta técnica.

Eventualmente es necesario hacer de manera preliminar reparaciones puntuales antes de instalar la membrana, ya que la tubería nueva en resina toma la forma de la tubería existente, incluso los defectos que esta última pueda tener. Al igual que las otras metodologías de revestimiento explicadas anteriormente, muchos trabajos no son visibles, lo cual dificulta inspeccionar la instalación del sistema.

*Ventajas:*

- ✓ Rapidez en la instalación.
- ✓ Para la instalación se pueden utilizar los pozos de inspección existentes.
- ✓ Las conexiones laterales se pueden reabrir desde el interior utilizando un robot.

- ✓ Se acomoda a las deformaciones de la tubería existente y resiste expansiones o contracciones térmicas.
- ✓ Las conexiones laterales se pueden renovar en forma similar.
- ✓ Se pueden utilizar varios sistemas de resina.
- ✓ No se crean espacios anulares.
- ✓ Se consiguen variaciones pequeñas de diámetro del tubo original.
- ✓ Se pueden revestir secciones no circulares.

*Desventajas:*

- × En algunos casos la mezcla de la resina se debe llevar a cabo fuera del sitio.
- × Existe reducción de la sección transversal de las tuberías hasta en un 10%.
- × Requiere control de infiltraciones.
- × Requiere desvíos de flujo.
- × Un número limitado de resinas han sido aprobadas para utilizar en tuberías de agua potable.
- × Las conexiones requieren selladura después de ser cortadas.
- × Se requiere personal entrenado con equipo especial.
- × El costo de instalación es alto para tramos pequeños.
- × Durante la instalación se pueden presentar dobleces.
- × El tubo original no debe tener una deflexión vertical mayor del 10%.
- × La instalación deficiente puede ser difícil de corregir.
- × El endurecimiento de la tubería puede ser difícil en segmentos largos.
- × Ciertos trabajos de este sistema no son visibles; por lo tanto, se dificulta la inspección durante su construcción.
- × Algunas veces es necesario hacer de manera preliminar reparaciones puntuales antes de instalar la membrana, ya que la tubería nueva en resina toma la forma de la tubería existente, adoptando los mismos defectos de esta última.
- × Es un sistema costoso en comparación con los otros tipos de lining que se encuentran en el mercado.

### 3.3.2.6 Concreto reforzado

Este método de renovación consiste en fijar acero de refuerzo a las paredes de la tubería, se ensambla una formaleta cilíndrica de acero alrededor del refuerzo y se centra con gatos, luego se bombea concreto. Después de que se fragua el concreto se retira la formaleta y se mueve a una sección siguiente para repetir el proceso.

#### *Ventajas:*

- ✓ Se permiten algunos flujos desviados por la formaleta.
- ✓ El método se puede adaptar a diferentes secciones transversales.
- ✓ Las conexiones laterales son relativamente fáciles de hacer.

#### *Desventajas:*

- ✗ Implica reducción en la sección transversal de la tubería.
- ✗ Se requiere control de infiltraciones.
- ✗ Requiere control de la seguridad del personal.
- ✗ Requiere personal altamente calificado.

## 3.4 TÉCNICAS DE REEMPLAZO

Estas técnicas implican la colocación de una nueva tubería de igual o mayor diámetro, para sustituir una tubería existente, sobre el mismo alineamiento y compuesta de un material compatible con la técnica en cuestión. Estos métodos tienen la ventaja de aumentar la capacidad de la tubería por el incremento en el diámetro o por la colocación de tuberías con materiales de menor rugosidad. Se utiliza cuando la capacidad de la tubería existente se debe incrementar o cuando se presentan problemas estructurales graves.

### 3.4.1 Tecnologías con zanjas

Se utilizan las mismas que se explicaron anteriormente en el apartado de las técnicas de reparación de tuberías

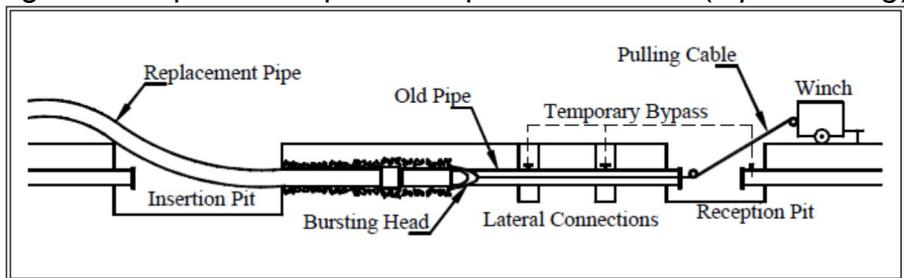
### 3.4.2 Tecnologías sin zanjas

#### 3.4.2.1 Ruptura de tubería (*Pipe bursting*)

Consiste en la reposición de tuberías de alcantarillado con tecnología “sin zanja”, que es la más utilizada para el reemplazo o la reposición.

La metodología del pipe bursting introduce un cabezal de forma cónica (*bursting head*) dentro de la tubería existente. La función de este cabezal es fracturar la tubería vieja y empujar los fragmentos de manera perimetral en el suelo adyacente. Al mismo tiempo, la tubería nueva se instala detrás del cabezal en el hueco que ocupaba la tubería removida.

Figura 20. Operación típica de ruptura de tubería (*Pipe bursting*).



Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

La nariz del cabezal es normalmente de un diámetro menor que el de la tubería existente, para poder mantener el alineamiento de dicha tubería y asegurar un rompimiento uniforme. La base del cabezal (*bursting head*) es de un diámetro mayor que el diámetro interno de la tubería existente para poder fracturarla y, a su vez, un poco más grande que el diámetro externo de la tubería que se va a instalar para reducir la fricción sobre el nuevo tubo y proveer un espacio para poderlo manipular. La parte trasera del cabezal (*bursting head*) se conecta al nuevo tubo, mientras que la parte frontal se conecta al cable que lo halará.

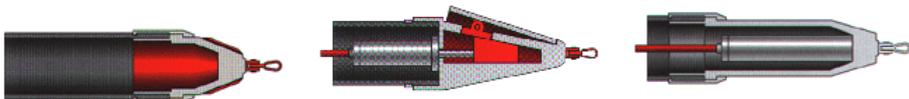
Teóricamente no existe un límite de tamaño para el uso de esta tecnología. El límite depende de la relación costo-beneficio en comparación con una reposición convencional “con zanja” y de las condiciones locales del suelo, que puedan generar movimientos en superficie o vibraciones durante la aplicación del

Pipe Bursting. Se debe analizar la facilidad para proveer la suficiente energía que permita romper la tubería existente mientras simultáneamente se va empujando la nueva.

El cabezal (bursting head) y la nueva tubería se introducen por la excavación o pozo de entrada, mientras que el cable de halado se manipula desde el pozo de recepción o salida. El cable se hala de manera conjunta con el cabezal y la forma de este último hace que el cable se mantenga por el alineamiento de la tubería vieja. La tubería que se va a instalar puede ser de igual o mayor diámetro que la existente.

Existen dos técnicas para la rotura de tubería: estática y dinámica (hidráulica y neumática). La diferencia radica en que la primera únicamente utiliza el equipo que hala la cabeza de expansión y se aplica ampliamente para tuberías de redes de agua potable, con diámetros de hasta 200 mm, donde la fuerza de halado requerida para romper la antigua tubería e instalar la nueva es relativamente baja. Por otro lado, con tuberías de diámetros mayores de 1.200 mm y enterradas a mayor profundidad, como las de alcantarillado, donde la fuerza de halado requerida es considerablemente mayor, se emplea el método dinámico, donde además del equipo de halado se utiliza un instrumento hidráulico o neumático unido a la cabeza de expansión, el cual transmite energía cinética para fracturar la antigua tubería. El rendimiento de instalación de los equipos es aproximadamente de 1 m/min, y sumando el posicionamiento y otros procedimientos constructivos, el rendimiento general de instalación puede llegar hasta los 300 m/día. Aunque el método requiere la apertura de dos zanjas para el ingreso y la salida de la nueva tubería, sus dimensiones son muy pequeñas en comparación con las longitudes de instalación, con un promedio de entre 2 y 3 m de longitud por 1 m de ancho.

Figura 21. Cabezales: 1) Neumático, 2) Hidráulico y 3) Estático.



Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

Es importante tener en cuenta la localización de las redes de otros servicios públicos para determinar si es conveniente o no utilizar el método de rotura, ya que existe un alto riesgo de afectar redes vecinas..

#### *Ventajas:*

- ✓ No es necesaria la limpieza del tubo existente, pero es recomendable hacerlo.
- ✓ Hay un incremento en el diámetro hasta del 50%, dependiendo de la compactación del suelo circundante.
- ✓ Mayores rendimientos que con apertura de zanjas.
- ✓ Minimiza las interferencias de tráfico vehicular, en los negocios y en los peatones.
- ✓ Se pueden usar tramos de tuberías o tuberías continuas, uniones.
- ✓ Se reduce el daño a tuberías adyacentes.
- ✓ No se alteran los acabados, principalmente en lugares históricos o de conservación arquitectónica.
- ✓ Es más económico que la metodología con apertura de zanja en cuanto a excavaciones, rellenos, reconstrucción de calzada y andenes y retiro de sobrantes.
- ✓ La gran ventaja es que con el aumento de la profundidad el costo permanece constante, en comparación con las metodologías con zanja.

#### *Desventajas:*

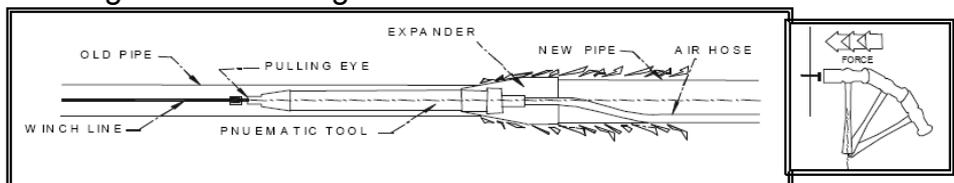
- × El tránsito en la superficie puede ser un problema en tuberías poco profundas y en suelos poco compactos por las vibraciones que se puedan generar.
- × Se requiere desviación del flujo.
- × El cable de halado no puede pasar cuando las tuberías tienen colapsos en su trayecto; por lo tanto, se debe excavar en el punto donde éstos se presenten.
- × Las conexiones laterales deben hacerse con excavaciones a cielo abierto.
- × Las vibraciones de la herramienta rompedora pueden afectar los servicios aledaños.
- × Los suelos duros o terrenos rocosos y los recubrimientos de concreto pueden detener el proceso.

- × No se pueden atacar curvas pronunciadas del alineamiento.
- × Sólo aplicable a tuberías compuestas por materiales quebradizos.
- × Genera una compactación del terreno, lo que puede afectar vías o tuberías de otros servicios.
- × Se requiere excavación para la inserción de los tubos.
- × Se debe contar con la capacidad necesaria para generar energía para el fragmentado y halado de la tubería.
- × No aplica para tubería superficial menor a 1 m de profundidad.
- × No aplica para cimentaciones en concreto.
- × Debe conservarse distancia frente a tuberías u otras líneas de servicio cercanas. La cabeza de adecuación no debe pasar a menos de 0,75 m de tuberías enterradas ni menos de 2,4 m de estructuras sensibles (si la distancia es menor se deben proteger).

### Sistema neumático

Este sistema consiste en un topo impulsado con aire comprimido, similar a una bomba con una aleta de rotura estática unida al frente. Esta bomba se arrastra con una tensión constante controlada a través de la tubería existente. La bomba, que tiene una gran fuerza de impacto, proporciona la acción de golpe. El esparcidor comprime los fragmentos del tubo en el suelo circundante. Este sistema es ideal para hierro fundido, hierro dúctil, fibrocemento, PVC, en una gama de diámetros de entre 50 y 450 mm. La tubería que se inserta es de polietileno o PVC. La longitud típica de aplicación es del orden de los 80 m.

Figura 22. Bursting con cabezal de sistema neumático.

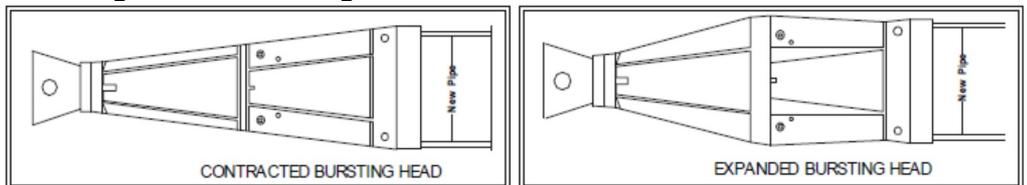


Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

## Sistema hidráulico

Las máquinas hidráulicas de bursting están diseñadas para funcionar con longitudes cortas de tuberías y se utilizan principalmente para las aplicaciones del alcantarillado. En el sistema hidráulico, un dispositivo que se amplía hidráulicamente se hala a lo largo de la tubería para romperla y forzar los fragmentos en la tierra. La fuerza de expansión aplicada es perpendicular a la tubería y, por lo tanto, es de mayor alcance que otros sistemas. Esta técnica se puede utilizar conjuntamente con el sliplining, particularmente en los sistemas plásticos (véase sliplining), que se utilizan con frecuencia para reemplazar el alcantarillado, y con el upsizing. Es ideal para fragmentar arcilla, concreto, cemento y asbesto en la gama 50 a 600 mm. El nuevo material de la tubería puede ser polietileno, polipropileno, PVC o GRP. La longitud típica de la aplicación es 80-90 m.

Figura 23. Bursting con cabezal de sistema hidráulico.



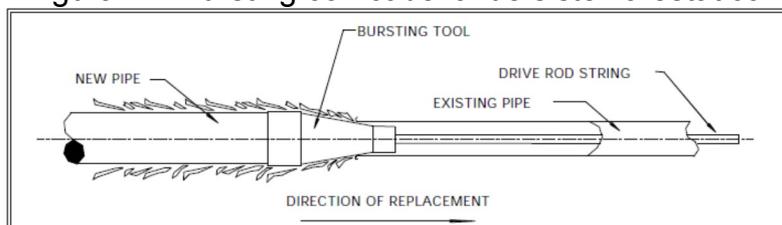
Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

## Sistema estático

En este sistema el cabezal se hala a través de la tubería existente con un dispositivo de alta capacidad por medio de varillas de perforación o una cadena pesada de anclaje. La fuerza de tensión aplicada sobre el cabezal es significativa.

Las varillas se utilizan como dispositivo de halado. El proceso de ruptura se realiza en secuencias consecutivas, en lugar de hacerse continuamente.

Figura 24. Bursting con cabezal de sistema estático.



Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

### 3.4.2.2 Sistema CLG (Controlled line and grade)

El sistema de CLG es una metodología de reemplazo de tuberías que permite corregir desviaciones, jorobas o sobreexcavaciones en el terreno y desalineamientos de los tubos existentes.

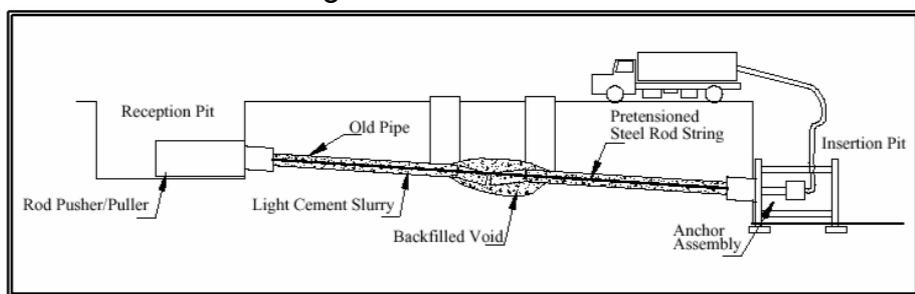
Este sistema es nuevo en el mercado de las tecnologías de rehabilitación de tuberías sin zanja, aún no se ha patentado y existen limitadas experiencias en campo.

Una línea de tuberías de acero, conformada por segmentos acoplados, se introduce a lo largo del tubo existente. Esta tubería se alinea con precisión a la entrada y salida y se ancla a tensión. Se bombea una lechada pobre de cemento para llenar los espacios entre el tubo existente y cualquier vacío abierto a su alrededor. Una vez se endurece el cemento (entre 4 y 24 horas) se acoplan un cabezal y una tubería nueva a la línea instalada y se hala para ubicar en posición la nueva tubería. En este caso, es necesario usar la bentonita como lubricante para reducir la fuerza de halado necesaria para la operación del sistema.

En la medida en que avanza la nueva tubería encuentra la misma resistencia por medio de la lechada instalada, la cual le provee soporte y protección. Por esta razón es poco probable que el cabezal se desvíe y que se vea afectada por las desviaciones del tubo original.

Esta es la única tecnología de reposición sin zanja que tiene la capacidad de corregir los desalineamientos de las tuberías existentes. El sistema CGL realinea la nueva tubería y es capaz de variar su posición con respecto a la tubería vieja, bien sea en alineamiento o en pendiente. Una de las limitaciones de esta tecnología es que se utiliza en diámetros pequeños.

Figura 25. Sistema GLC.



Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

*Ventajas:*

- ✓ Este método se recomienda donde el daño es crítico.
- ✓ Corrige desviaciones, jorobas y desalineamientos de la tubería existente.
- ✓ No es necesario limpiar la tubería existente.

*Desventajas:*

- ✗ Normalmente requiere excavación para insertar los tramos de tubería.
- ✗ Los costos de operación y los tiempos son mayores que en las técnicas de Pipe Bursting.
- ✗ Se requiere bombeo.
- ✗ Sólo se puede aplicar en diámetros pequeños.

### 3.4.2.3 Fracturado de tubería (Pipe splitting )

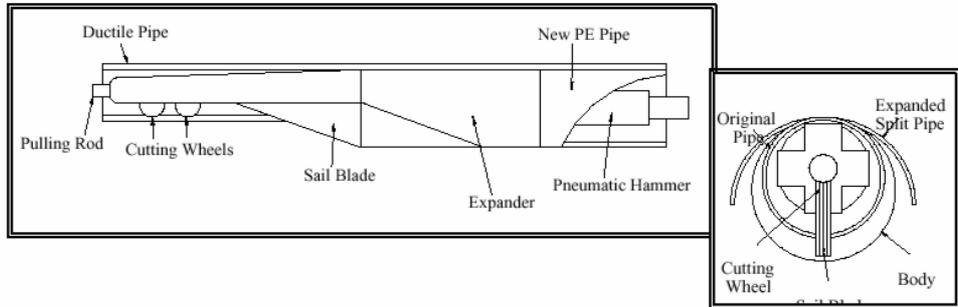
El sistema de fracturado longitudinal (pipe splitting) se utiliza para tuberías que no son frágiles o quebradizas, como las de acero o hierro dúctil que se emplean en gasoductos. En vez de ser un cabezal (bursting head) el sistema consta de un divisor, que contrario a la tecnología del pipe bursting donde la tubería se fractura, la corta en la base y la va abriendo.

El divisor se hala a través de la tubería existente por medio de un cable o un sistema de barras. Este divisor consta de las siguientes tres partes:

- 1) Un par de ruedas divisoras rotativas, que realizan el primer corte.

- 2) Una cuchilla de acero endurecido en la base del divisor
- 3) Un expansor de forma cónica y descentrada que fuerza el tubo a dividirse y desenvolverse.

Figura 26. Sistemas pipe splitting y una sección en corte del sistema.



Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

El desenvolvimiento del tubo existente es suave, se realiza sin generar esfuerzos axiales o flectores importantes en las paredes de la tubería, que puedan causar esfuerzos de halado excesivos o bloqueos. La fractura y el desenvolvimiento del tubo existente crean un vacío detrás de la herramienta lo suficientemente grande para poder introducir el nuevo tubo. La tubería existente se disloca por encima de la nueva tubería convirtiéndose en un elemento de protección.

*Ventajas:*

- ✓ Se utiliza para tubos dúctiles.
- ✓ La limpieza de la tubería no es necesaria.

*Desventajas:*

- ✗ La pequeña vibración puede afectar las tuberías adyacentes.
- ✗ Todos los servicios de alcantarillado se deben desconectar antes de la reparación y se deben volver a conectar después de terminada la reparación.
- ✗ Requiere bombeo.
- ✗ Normalmente requiere excavación para insertar los tramos de tubería.

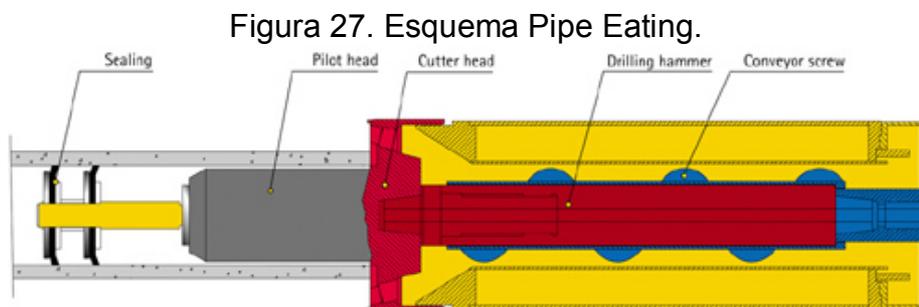
#### 3.4.2.4 Excavación de túnel en tubería (Pipe eating)

Este método de reemplazo de tubería se basa en el concepto de microtúneles, donde la tubería defectuosa se fractura y remueve conjuntamente con el suelo circundante excavado. En este caso la herramienta rompedora consiste en un cono montado excéntricamente en la parte delantera de su estructura, la cual fragmenta la tubería para removerla fácilmente, utilizando sistemas circulantes de agua o lodos a base de bentonita.

La herramienta rompedora se desplaza a través de la tubería existente mediante el accionamiento de gatos hidráulicos localizados en el pozo inicial, halando simultáneamente la nueva tubería.

El sistema se maneja a control remoto y se guía por un sistema de láser que va desde el pozo de entrada hasta la máquina tuneleadora, que tiene el poder de “comerse” todo lo que va encontrando en su camino, como la tubería existente o el terreno natural.

El sistema es similar al de una máquina tuneleadora, compuesta por una cabeza con dientes o rodillos que cortan la tubería existente, y una herramienta cerca del borde del escudo que corta el terreno al diámetro requerido para introducir la nueva tubería.



*Ventajas:*

- ✓ El diámetro puede incrementarse para proporcionar una mayor capacidad.
- ✓ Permite manejar aguas durante la instalación.

- ✓ La dirección y la pendiente se pueden controlar con precisión.
- ✓ Se reducen las interferencias en la superficie.
- ✓ Rápida instalación de todo el sistema.
- ✓ Tecnología simple y de fácil manejo.

*Desventajas:*

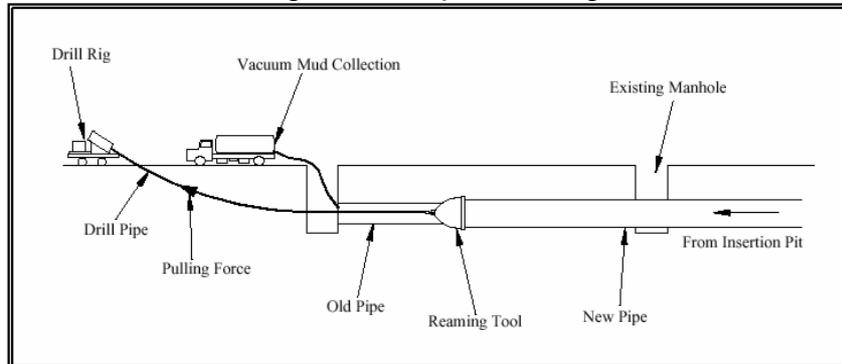
- × Se requiere un pozo inicial y otro de llegada, por consiguiente, excavaciones.
- × Alto costo inicial de los equipos requeridos.
- × Las conexiones laterales deben hacerse con excavaciones a cielo abierto.
- × Sólo aplicable a tuberías existentes de materiales quebradizos.
- × El alineamiento no se puede cambiar.

#### 3.4.2.5 Escariado de tubería (Pipe reaming)

La instalación por ensanchamiento del hueco (pipe reaming) es una tecnología basada en el sistema de ensanchamiento de una perforación guiada, que se utiliza en perforación direccional y está especialmente adaptada para la reposición de tuberías.

Inicialmente se inserta una tubería de perforación a través de la tubería existente. Después se utiliza una herramienta de ensanchamiento especialmente diseñada, la cual se hala a través del tubo para ampliar la perforación, al mismo tiempo que se instala la nueva tubería. El ensanchador tiene dientes que muelen el tubo existente en un proceso de corte y remoción mediante fluido de perforación. Los fragmentos de tubo y el material de exceso de perforación originado en la ampliación del hueco se transportan mediante el fluido de perforación hacia los pozos de trabajo, donde se remueven con un camión de succión o bomba de lodos y se transportan para su disposición final.

Figura 28. Pipe reaming.



Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

*Ventajas:*

- ✓ Los fragmentos de la tubería vieja no se dejan en el suelo.
- ✓ Permite el realineamiento de las tuberías.
- ✓ No es necesario limpiar la tubería existente.

*Desventajas:*

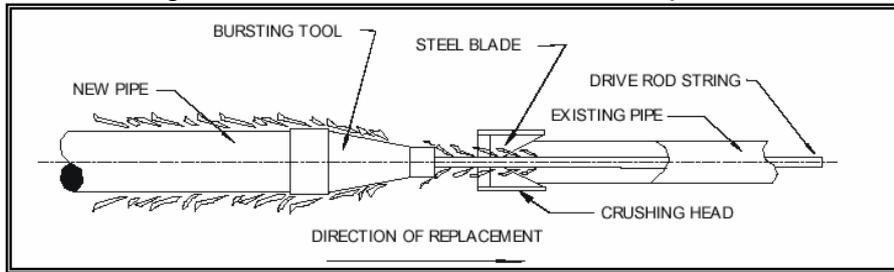
- ✗ Este método puede ser muy costoso en comparación con la metodología pipe bursting.
- ✗ Se deben remover las conexiones laterales.

3.4.2.6 Triturado de tubería (Pipe crushing)

En este sistema la herramienta para la fragmentación del tubo contiene dos partes: un cabezal móvil y un cono de hierro. El primero rompe la tubería existente y obliga a que los fragmentos se dispongan en la parte interna de ésta. El cono de hierro empuja el cabezal y el suelo hacia afuera y perimetralmente le hace espacio a la tubería que se va a instalar.

El cabezal móvil tiene forma cilíndrica y es un poco más grande que la tubería existente. Dentro del cilindro hay unas cuchillas de acero que se extienden radialmente desde el centro y fracturan la tubería a medida que el cabezal se hala hacia el frente. El halado se hace por medio de un sistema de barras, como en el sistema estático de pipe bursting.

Figura 29. Cabezal del sistema de implosión.



Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

*Ventajas:*

- ✓ No es necesario limpiar la tubería existente.
- ✓ No se dejan en el suelo los fragmentos de la tubería vieja.
- ✓ Se pueden insertar tuberías de gran diámetro. La capacidad del tubo puede incrementarse o mantenerse.
- ✓ Proporciona una rehabilitación estructural completa.

*Desventajas:*

- ✗ Este método no es adecuado para reemplazar tuberías metálicas o termoplásticas.
- ✗ Se requieren normalmente excavaciones para introducir los tramos de la tubería nueva.

3.4.2.7 Expulsión o extracción de tubería (Pipe ejection/extraction)

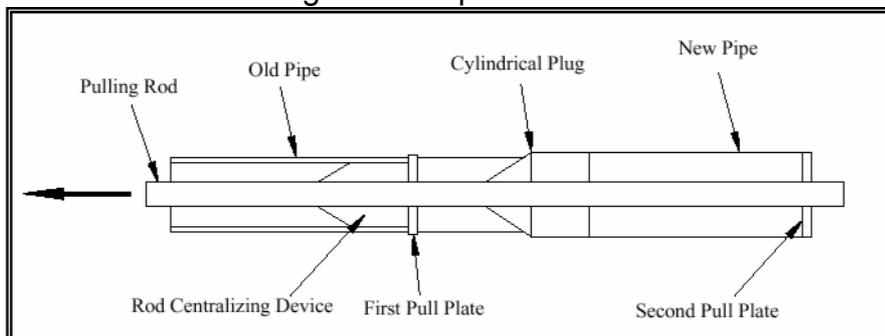
La expulsión de tubería (pipe ejection) es un sistema modificado del gateado de tuberías (jacking), de la extracción de tubería (pipe extraction) y del sistema pipe bursting estático, donde se reemplaza la tubería existente removiéndola del terreno sin romperla, mientras simultáneamente se instala una nueva tubería.

La tubería existente se fractura en pedazos una vez se encuentra fuera del terreno. Esta metodología se puede aplicar solamente en tuberías que tengan la suficiente capacidad para soportar las fuerzas de halado y de empuje sin que se rompan. Igualmente, se utiliza en tramos cortos de reemplazo para evitar grandes fuerzas de fricción que se opongan al desplazamiento de la tubería.

En la expulsión el tubo nuevo empuja al que se va a reponer. En un pozo de entrada se coloca un marco de gateado junto con el tubo de reemplazo, el cual se instala en segmentos. El nuevo tubo se coloca en frente del existente y a medida que el nuevo se gatea el viejo es empujado hacia un pozo de recepción, donde la tubería se rompe en pedazos y se remueve. El marco de gateado y el pozo de entrada se dimensionan para acomodar la longitud de los segmentos individuales de los tubos que se van a instalar.

En la extracción el tubo nuevo se hala en el lugar del existente. Una máquina de extracción se coloca en el pozo de salida y la tubería nueva se introduce desde otro pozo. Se utiliza un ensamblaje de varillas para el halado, insertándolas a través del tubo existente, las cuales están conectadas con la máquina de extracción. Existe un sistema de centrado, placas de halado y un expansor cilíndrico o tapón que permiten hacer reemplazos del mismo diámetro o de diámetros mayores.

Figura 30. Pipe extraction.



Fuente: Guidelines for Pipe Bursting.

#### *Ventajas:*

- ✓ Se puede utilizar en aplicaciones estructurales.
- ✓ Técnica de sellado.
- ✓ No se dejan en el suelo los fragmentos de la tubería vieja.
- ✓ Sólo se hacen pozos de inspección en la superficie de pavimento. La dimensión de los pozos puede ser importante en grandes diámetros.
- ✓ El ruido y la perturbación del tráfico son menores que en una zanja convencional.

#### *Desventajas:*

- × Este método no es adecuado para tuberías con daños estructurales grandes, ya que éstas deben tener la suficiente capacidad para resistir las fuerzas de tracción que genera el empuje de la nueva tubería.
- × Se requiere personal altamente calificado.
- × Requiere una inspección detallada del sitio.

#### 3.4.2.8 Halado de tubería (Pipe pulling)

El halado consiste en reemplazar la tubería existente conectándole un nuevo tubo e ir halando del tubo y del suelo. El nuevo tubo está unido a la tubería existente, que se tira a través de un cable.

La técnica utiliza un cono y un cable mediante los cuales se agarra la pared interna de la tubería que se va a reemplazar. Algunos sistemas tienen una serie de conos para distribuir la fuerza de tracción a lo largo de la tubería. El tramo de tubería nueva se coloca en el extremo del cable, lo cual permite instalarlo mientras se va retirando la tubería vieja. El dispositivo de tracción que proporciona la fuerza para halar la tubería vieja es un torno, unido al otro extremo del cable.

##### *Ventajas:*

- ✓ La tubería reemplazada puede ser de PVC o PE.
- ✓ Sólo se necesita un pozo de inspección en superficie.
- ✓ No se dejan en el suelo fragmentos de la tubería reemplazada.
- ✓ Rápida velocidad de instalación.
- ✓ El ruido y la perturbación del tráfico son menores que en una zanja convencional.

##### *Desventajas:*

- × Este método es ideal sólo para diámetros menores a 25 mm.
- × Debido a que sólo se utiliza en diámetros pequeños, se puede dificultar la inserción del cable.

### 3.5 APLICABILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS SIN ZANJA

En los países desarrollados es común el uso de las tecnologías “sin zanja”, ya sea para la instalación o la rehabilitación de tuberías. El potencial de uso de estas tecnologías es grande, ya que ha permitido rehabilitar los sistemas troncales de alcantarillado de grandes ciudades, donde la vida útil de estas redes ha llegado a su etapa final.

Las tecnologías “sin zanja” se pueden aplicar en diversas condiciones para rehabilitar tuberías existentes., Estas técnicas son particularmente valiosas en ambientes urbanos, donde el impacto de construcción es negativo para los negocios, los dueños de viviendas y el tráfico vehicular y peatonal. La presencia de otros servicios subterráneos y la infraestructura existente representa un obstáculo para el método tradicional de excavación y reemplazo, razón por la cual las técnicas sin zanjas se emplean extensamente en estas áreas. La mayoría de las técnicas sin zanja son aplicables a los sistemas de tuberías que funcionan por gravedad y a los que trabajan a presión. Varios métodos de estas tecnologías permiten realizar reparaciones puntuales y hacer el revestimiento a largos tramos de tuberías.

En la mayoría de las aplicaciones las técnicas para la rehabilitación sin zanjas requieren un menor tiempo de instalación y, por lo tanto, tienen una menor necesidad de bombeo para el desvío del flujo, en relación con los métodos tradicionales de excavación y reemplazo. El tiempo de instalación puede ser crítico en el proceso para decidir entre los métodos de rehabilitación sin zanjas de los colectores y los de excavación y reemplazo.

Se debe tener en cuenta que para realizar una buena selección de la mejor alternativa de rehabilitación, en términos de eficiencia y costos se requiere un conocimiento detallado de las condiciones de los sistemas troncal de alcantarillado de la ciudad y de las tecnologías disponibles en el mercado.

Para seleccionar la tecnología más adecuada para resolver un problema en el sistema troncal de alcantarillado se deben tener en cuenta, entre otros, los siguientes factores:

- ✓ Tipo de problema detectado.
- ✓ Diámetro y material de la tubería.
- ✓ Forma de acceso a los sitios que requieren reparación.
- ✓ Profundidad a la que se encuentran las tuberías.
- ✓ Tipo de suelo que se encuentra alrededor de las tuberías.
- ✓ Condiciones locales del sitio: tráfico, nivel freático, etc.
- ✓ Tipo de alcantarillado: doméstico, industrial, etc.
- ✓ Efectos de la rehabilitación sobre el sistema total.
- ✓ Vida remanente de las tuberías (vida útil esperada y limitaciones de capacidad).
- ✓ Condiciones estructurales de las tuberías.
- ✓ Proximidad con otros servicios de las tuberías que se van a rehabilitar.
- ✓ Manejo de los caudales existentes durante las obras de rehabilitación.
- ✓ Manejo del tráfico y de la seguridad durante las obras.
- ✓ Evaluación de las obras de mantenimiento en el futuro.
- ✓ Evaluación de la necesidad de la rehabilitación de pozos y uniones laterales.
- ✓ Costo de todas las obras necesarias para la rehabilitación.

Cada uno de los métodos sin zanja descritos se han utilizado en diversas aplicaciones, para diámetros y longitud de tuberías diferentes. En las siguientes tablas se presenta una síntesis de las condiciones para la aplicabilidad de estas técnicas:

Los materiales considerados en las tablas, se codificaron de acuerdo con la siguiente lista:

- |    |  |
|----|--|
| 1  | Piedra   |
| 2  | Ladrillo                                       |
| 3  | Arcilla vitrificada                            |
| 4  | Concreto                                       |
| 5  | Concreto reforzado                             |
| 6  | Asbesto cemento                                |
| 7  | Ferro-cemento                                  |
| 8  | Poliéster reforzado con fibra de cemento (GRC) |
| 9  | Fundición Gris                                 |
| 10 | Fundición dúctil                               |
| 11 | Acero  |
| 12 | Acero inoxidable                               |

13	Plástico
14	Cloruro de polivinilo
15	Polietileno
16	Resina epóxica
17	Resina de poliéster
18	Tejido de poliéster
19	Poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP)
20	Fibra de vidrio
21	Concreto polimérico
22	Basalto
23	Polipropileno

Para las áreas de trabajo requeridas se establecieron las siguientes categorías:

- S, para áreas menores a  $100 \text{ m}^2$
- M, para áreas entre  $100$  y  $300 \text{ m}^2$
- L, para áreas entre  $300$  y  $800 \text{ m}^2$
- Total longitud, para áreas mayores a  $800 \text{ m}^2$

Tabla 1. Aplicabilidades técnicas de reparación

Información sobre la aplicabilidad de la tecnología de rehabilitación	REPARACION										
	Mampostería	Llenado con Mortero y Yeso	Pañetando	Inyeccion	Sistemas roboticos	Sistema de parches de reparacion	Estabilizacion Quimica	Estabilizacion con mortero	sellado de Juntas	Inyeccion de resina	Redondeado
Tipo de sistema de alcantarillado	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Requiere entrada de los trabajadores (f min)	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO
Requiere la entrada de equipos (f min)	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Diámetro mínimo (mm)	1600	1600	1600	1600	150	800	100	1600	100	150	200
Diámetro máximo (mm)	N.A	N.A	N.A	N.A	200	4000	900	N.A	2500	N.A	500
Forma (circular, no circular, box)	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	CIRCULAR	N.A	N.A	N.A	N.A	CIRCULAR
Materiales de la conducción donde se puede utilizar la técnica	1, 2	1,2,4,5	2	1,2,4,5	N.A	N.A	2,4,12	2,3,4,5	3,4,6,8,15	N.A	2,3,4
Aporta resistencia estructural al aplicar la técnica?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI
Necesita cortar conexiones de servicio	NO	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Necesita excavar para restablecer las conexiones de servicio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Es sensible a la presencia de agua	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
Tipos de suelo donde es aplicable	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	NO	N.A
Requerimientos de espacio para el trabajo (área de trabajo M2)	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
El trabajo se ejecuta a través de las tapas de inspección?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Es necesario excavar en los puntos de entrada (pozos) para poder efectuar los trabajos?	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Longitud máxima en la que se puede utilizar la técnica (m)	N.A	N.A	N.A	100	200	N.A	120	100	N.A	200	1
Requiere limpieza previa?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Requiere que el tramo sea recto?	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
Rendimiento (longitud (m)/ por día)	20	25	25	2	30		80	8	30	65	30
Nuevo material del ducto	1, 2	1,2,4,5	2	1,2,4,5	N.A	NO					12,14
El diámetro después de la rehabilitación cambia	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
La pendiente después de la rehabilitación cambia	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
La rugosidad después de la rehabilitación cambia	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. Aplicabilidades técnicas de renovación

Información sobre la aplicabilidad de la tecnología de rehabilitación	RENOVACIÓN							
	TCS (CIPP)	TCS (CIPP) Curado con agua	REE Manual	REE Mecánico	RPI (Tubería PE)	RMTD	RMET	RPC
Tipo de sistema de alcantarillado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Requiere entrada de los trabajadores (f min)	N.A.	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO
Requiere la entrada de equipos (f min)	N.A.	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Diámetro mínimo (mm)	100	200	1200	150	225	50	100	200
Diámetro máximo (mm)	2540	2500	3600	1800	1000	1000	1600	600
Forma (circular, no circular, box)	N.A.	CIRCULAR	N.A.	N.A.	N.A.	CIRCULAR	CIRCULAR	N.A.
Materiales de la conducción donde se puede utilizar la técnica	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Aporta resistencia estructural al aplicar la técnica?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Necesita cortar conexiones de servicio	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Necesita excavar para restablecer las conexiones de servicio	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
Es sensible a la presencia de agua	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
Tipos de suelo donde es aplicable	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Requerimientos de espacio para el trabajo (área de trabajo M2)	SI	S	S	S	S	S	S	S
El trabajo se ejecuta a través de las tapas de inspección?	SI	SI < 500 mm SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Es necesario excavar en los puntos de entrada (pozos) para poder efectuar los trabajos?	NO	SI > 500 mm d=1.5m	NO	NO	SI	SI	SI	NO
Longitud máxima en la que se puede utilizar la técnica (m)	600	600	200	200	100	300	1200	
Requiere limpieza previa?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Requiere que el tramo sea recto?	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Rendimiento (longitud (m)/ por día)	150	17 A 42	70	150	360	50	100	75
Nuevo material del ducto	SI	SI	SI	SI	SI	15	15	15
El diámetro después de la rehabilitación cambia	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
La pendiente después de la rehabilitación cambia	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI
La rugosidad después de la rehabilitación cambia	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

TCS Tubería de curado en sitio  
 REE Revestimiento de enrollado en espiral  
 RPI Revestimiento por inserción (sliplining)  
 RPC Revestimiento por plegado conformado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Aplicabilidades técnicas de reemplazo

Información sobre la aplicabilidad de la tecnología de rehabilitación	REEMPLAZO							
	RFT	CLG	RPS	RPE	RPR	RPCR	RPEJ	PJ
Tipo de sistema de alcantarillado	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Requiere entrada de los trabajadores (f m/in)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Requiere la entrada de equipos (f m/in)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Diámetro mínimo (mm)	200	50	50	200	200	50	50	50
Diámetro máximo (mm)	1200	1200	200	800	800	1200	1200	1500
Forma (circular, no circular, box)	CIRCULAR	CIRCULAR	CIRCULAR	CIRCULAR	CIRCULAR	CIRCULAR	CIRCULAR	CIRCULAR
Materiales de la conducción donde se puede utilizar la técnica	CRETO, PVC	2,4,6,14	10,12	2,4,5,8,10	2,4,5,8,14	2,4,5,8,14	2,4,5,8,14	2,4,5,8,15
Aporta resistencia estructural al aplicar la técnica?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Necesita cortar conexiones de servicio	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Necesita excavar para restablecer las conexiones de servicio	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Es sensible a la presencia de agua	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Tipos de suelo donde es aplicable	RCILLAS EXP	INTERMEDIO					DURO	
Requerimientos de espacio para el trabajo (área de trabajo M2)	M	M	M	M	M	M	L	M
El trabajo se ejecuta a través de las tapas de inspección?	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Es necesario excavar en los puntos de entrada (pozos) para poder efectuar los trabajos?	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Longitud máxima en la que se puede utilizar la técnica (m)	120	100	120	150	100	100	50	100
Requiere limpieza previa?	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Requiere que el tramo sea recto?	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Rendimiento (longitud (m)/ por día)	60	60	60	140	60	60	30	30
Nuevo material del ducto	SI	4	14,15	3,5,10	14,15	N.A	N.A	N.A
El diámetro después de la rehabilitación cambia	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
La pendiente después de la rehabilitación cambia	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
La rugosidad después de la rehabilitación cambia	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

RFT Renovación por ruptura de tubería (pipe bursting)

CLG Sistema CLG

RPS Renovación por fragmentación de la tubería (Pipe Splitting)

RPE Renovación por excavación de tunel en la tubería ( Pipe eating)

RPR Renovación por escariado de la tubería (Pipe reaming)

RPCR Renovación por triturado de la tubería ( Pipe crushing)

RPEJ Renovación por extracción de la tubería ( Pipe ejection)

PJ Pipe pulling

Fuente: Elaboración propia.

## 4. OBRAS HIDRÁULICAS COMPLEMENTARIAS

### 4.1 GENERALIDADES

Desde el punto de vista hidráulico, el objetivo de las redes de alcantarillado es conducir las aguas de escorrentía pluvial hacia los drenajes naturales y las aguas residuales a los sitios de tratamiento. Con el paso del tiempo estas redes comienzan a presentar diversos problemas, los cuales se trataron en el capítulo 2, que muchas veces afectan la operatividad del sistema. Como consecuencia de esto, se han venido proyectando obras hidráulicas para mejorar las condiciones de estos sistemas, que tienen que ver con la renovación de las tuberías con capacidad insuficiente o la inclusión de obras que mejoren la capacidad hidráulica, que son el tema de este capítulo.

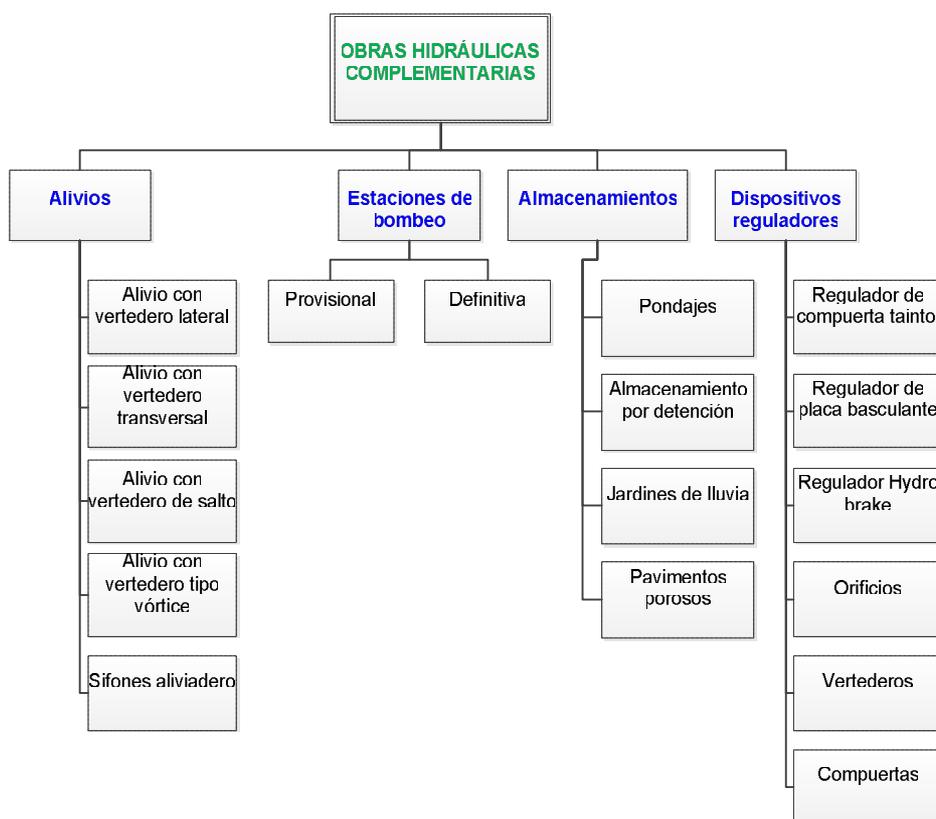
A continuación se hace una descripción de las obras hidráulicas complementarias que tienen como objetivo principal mitigar los inconvenientes generados por fallas operacionales, es decir, cuando el sistema presenta problemas de capacidad hidráulica. Cuando el sistema tiene fallas estructurales se recomienda utilizar técnicas de rehabilitación “sin zanja”, las cuales se explicaron en el capítulo 3. Las obras hidráulicas que se proponen para mejorar la capacidad hidráulica del sistema son las siguientes:

- Alivios.
- Estaciones de bombeo.
- Almacenamientos temporales.
- Dispositivos reguladores.

Estas son obras adicionales al sistema existente, ya que a pesar del deterioro que presente la red pueden mejorar sustancialmente su operatividad, razón por la cual se proponen como una solución para la rehabilitación de un sistema troncal de alcantarillado. En este capítulo se realiza una presentación general de cada estructura, sus ventajas y desventajas, así como las condiciones generales de diseño y los requerimientos que se deben tener en cuenta para su implementación.

Los alivios, estaciones de bombeo, dispositivos reguladores y almacenamientos temporales se presentan como una alternativa de solución menos gravosa y con muchos menos perjuicios para la comunidad. Como se trata de obras localizadas no suponen privar a la ciudad de sus vías principales; además, tienen la ventaja de que por lo general se realizan habitualmente en terrenos de uso público (parques y zonas verdes), afectando únicamente a los vecinos más cercanos. En la siguiente figura se presenta un resumen de las obras hidráulicas complementarias propuestas:

Figura 31. Obras hidráulicas complementarias



Fuente: elaboración propia.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de las obras que aparecen en la figura anterior.

## 4.2 ALIVIOS

### 4.2.1 Características y funcionamiento

Los aliviaderos en sistemas combinados tienen como objetivo disminuir los costos de conducción de los flujos hasta el sitio de disposición final o de tratamiento. Estas estructuras derivan parte del caudal que se supone es de escorrentía pluvial a drenajes que usualmente son naturales o a almacenamientos temporales, aliviando así los caudales conducidos por colectores, interceptores o emisarios al sitio de disposición final, que puede ser una planta de tratamiento de aguas residuales. En algunos casos están provistos de un tanque de almacenamiento, ubicado a continuación del alivio, con el propósito de almacenar los contaminantes provenientes del primer lavado de la época de lluvias, el cual puede arrastrar concentraciones mayores de contaminación.

Los aliviaderos pueden ser laterales, transversales o de tipo vórtice, y deben permitir que el caudal de aguas residuales de tiempo seco continúe por el colector hasta la planta de tratamiento o lugar de disposición final, pero durante determinados eventos de precipitación y escorrentía asociada deben derivar o aliviar lo que les corresponda de aquella porción en exceso a la capacidad de la red aguas abajo o la capacidad de la planta de tratamiento.

La forma como operan los aliviaderos, usualmente, es por medio de un vertedero. De esta forma, al aumentar el caudal se incrementa la profundidad de flujo en las tuberías. Si esta profundidad alcanza un nivel por encima de la cresta del vertedero, parte del caudal pasa al cuerpo receptor y el resto sigue hacia la planta de tratamiento o al sitio de disposición final. Sin embargo, el diseño moderno de los aliviaderos tiene otra función, que consiste en procurar que todos los contaminantes vayan hacia la planta de tratamiento. Esto es difícil de lograr en el caso de los sólidos suspendidos y disueltos, los cuales

parcialmente se entregan al cuerpo receptor. Un buen diseño debe lograr que los sólidos grandes no se viertan a los cuerpos receptores y vayan directamente a la planta de tratamiento.

#### 4.2.2 Ventajas

- ✓ Disminuyen el costo de los sistemas de conducción de las aguas residuales.
- ✓ Permiten la retención de sólidos que viajan con el agua aliviada y su conducción al sistema sanitario.
- ✓ Ayudan al pretratamiento del agua, permitiendo el saneamiento de los cuerpos de agua y minimizando el impacto del primer lavado durante la lluvia.
- ✓ Son de fácil construcción.
- ✓ Tienen bajos costos de mantenimiento y construcción.

#### 4.2.3 Desventajas

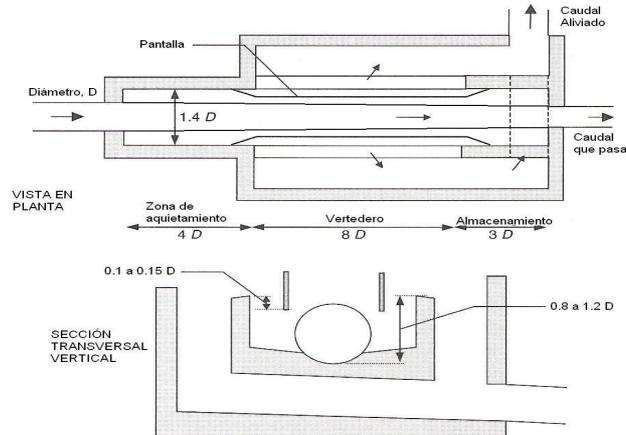
- × Si no se diseñan correctamente y no tienen un debido mantenimiento, su operación puede generar impactos ambientales negativos sobre los cuerpos de agua.

#### 4.2.4 Tipos de aliviaderos

##### 4.2.4.1 Aliviadero con vertedero lateral

Estos aliviaderos tienen dos vertederos, ubicados a lado y lado de la estructura, los cuales en tiempo seco permiten direccionar el agua residual a la red y en tiempo de lluvia, cuando el nivel del agua sube, alivian hacia los canales ubicados de manera lateral, para luego conducir el flujo hacia el cuerpo de agua. Se recomienda que se diseñen bajo la condición de que el flujo que se presente a lo largo de la estructura sea subcrítico, así mismo, que se disponga de pantallas retenedoras de grasas y sólidos flotantes. En la figura 32 se presentan las dimensiones y configuraciones recomendadas para este tipo de aliviaderos.

Figura 32. Diseño para aliviaderos de vertedero lateral.

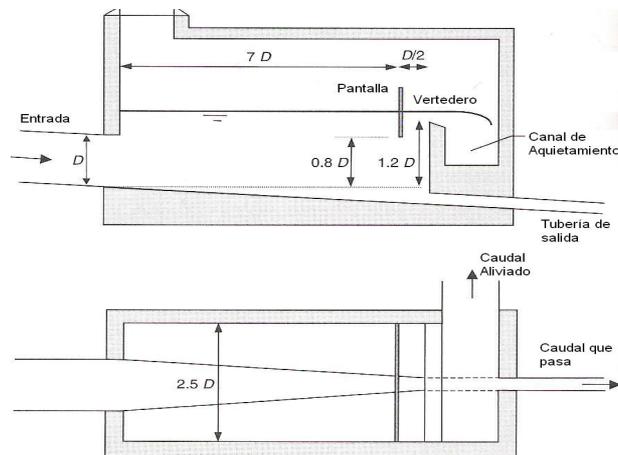


Fuente: Butler, David y Davies, John (2004). *Urban Drainage*. 2da. ed.

#### 4.2.4.2 Aliviadero con vertedero transversal

Estos aliviaderos tienen un vertedero ubicado de forma transversal a la dirección del flujo, el cual permite que durante el tiempo seco el agua residual pase por debajo y durante la lluvia se desborde sobre el vertedero hacia un canal de quietamiento con rebose lateral. Este tipo de aliviadero contribuye a la sedimentación de los sólidos y la implementación de pantallas permite la retención de grasas y sólidos flotantes. En la figura 33 se presentan la configuración y las dimensiones recomendadas para este tipo de aliviaderos convencionales.

Figura 33. Diseño para aliviaderos con vertedero transversal



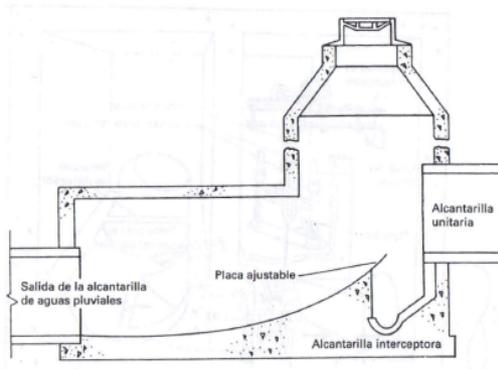
Fuente: Butler, David y Davies, John (2004). *Urban Drainage*. 2da. ed.

#### 4.2.4.3 Aliviadero con vertedero de salto

Un vertedero de salto está formado por un canal que se ubica en la solera de la alcantarilla, de manera que el caudal ordinario de aguas residuales vierta en ella a través de la abertura y pase al interceptor. En tiempo lluvioso, la velocidad del flujo hace que buena parte del caudal salte por encima del canal y pase al emisario pluvial. En la figura 34 se presenta un esquema de un vertedero de salto. La placa de acero del vertedero está inclinada y se proyecta de modo que pueda ajustarse a distintas condiciones de flujo.

El proyecto de estos vertederos de salto es, generalmente, un proceso de tanteo, el cual implica el cálculo de la trayectoria del flujo y la determinación del porcentaje capturado en distintas posiciones del vertedero.

Figura 34. Aliviaderos con vertedero de salto ajustable.

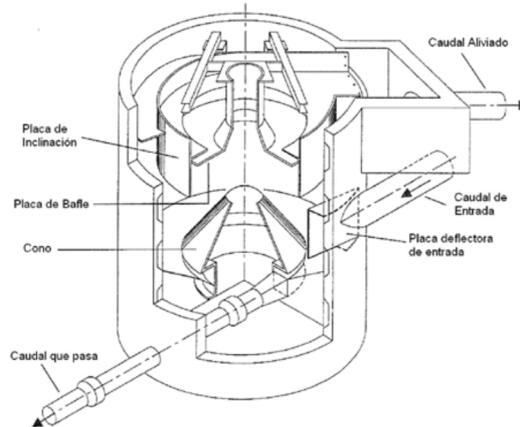


Fuente: Metcalf y Eddy (1997). *Ingeniería de aguas residuales*. 1ra. ed.

#### 4.2.4.4 Aliviadero con vertedero tipo vórtice

En época de lluvias, cuando el nivel del agua sube, esta estructura permite que el flujo pase sobre una pantalla, la cual retiene los sólidos y por su pendiente permite que con la ayuda del agua se deslicen hacia un pequeño canal conectado a la red de alcantarillado. El flujo pasa por la pantalla y llega a una cámara que contiene un sifón, cuando el nivel del agua sube empieza a descargar el flujo hacia la tubería de derivación que llega al cuerpo de agua receptor. Este tipo de aliviadero no requiere energía para su funcionamiento, es autolimpiador y automático, permite la retención de grasas y sólidos con tamaño mayor a 6 mm con una eficiencia hasta del 90%. En la figura 35 se presenta este tipo de aliviadero.

Figura 35. Aliviadero tipo vórtice

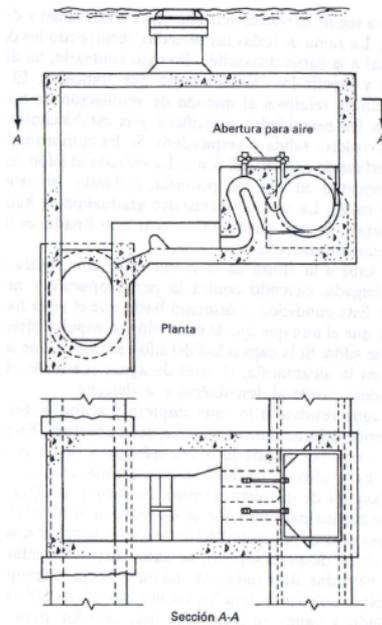


Fuente: Butler, David y Davies, John (2004). *Urban Drainage*. 2da. ed.

#### 4.2.4.5 Sifones aliviadero

El sifón es un medio para regular la elevación máxima de la superficie del agua en una alcantarilla, dando lugar a variaciones en el nivel inferiores a las que producen otros dispositivos. Funciona automáticamente y sin mecanismo alguno, puesto que utiliza toda la altura de carga disponible y descarga a velocidades mayores que los vertederos de rebosamiento. Este dispositivo posee innegables ventajas y su escaso uso se debe a la inadecuada información sobre aspectos relativos a su diseño y funcionamiento, tales como la altura de carga mínima requerida para el cebado, posibles ruidos y vibraciones motivados por el arranque y la detención del sifón, especialmente con elevadas alturas de carga. La ilustración 5 muestra una estructura típica del sifón de descarga.

Figura 36. Sifón aliviadero



Fuente: Metcalf y Eddy (1997). *Ingeniería de aguas residuales*. 1ra. ed.

### 4.3 ESTACIONES DE BOMBEO

#### 4.3.1 Características y funcionamiento

Las estaciones de bombeo son necesarias para elevar o transportar las aguas residuales o pluviales en la red de alcantarillado cuando la disposición final del flujo por gravedad ya no es posible. Debido a que los colectores de alcantarillado funcionan como conductos a flujo libre, necesitan tener cierta pendiente que permita el adecuado drenaje por gravedad, situación que en terrenos planos produce que los colectores se profundicen cada vez más. En consecuencia, las estaciones de bombeo surgen como elementos necesarios en áreas con pendientes de terreno muy bajas. En general, las aguas residuales o pluviales se bombean para conducirlos a lugares distantes, con el fin de obtener una cota más elevada y posibilitar

su disposición en cuerpos de agua receptores o para reiniciar un nuevo tramo de flujo por gravedad.

El objeto básico de una estación de bombeo es elevar el agua, razón por la cual dentro de ella se incluyen las bombas y sus equipos auxiliares. En consecuencia, las características de diseño de las estaciones de bombeo varían de acuerdo con la capacidad y el método constructivo que se vaya a emplear.

Los principales instrumentos para elevar aguas residuales y pluviales son las bombas helicoidales, las bombas centrífugas y las bombas eyectoras. A continuación se detalla cada una de ellas.

- Las bombas centrífugas se accionan a través de motores eléctricos o de combustión interna. Son las más utilizadas y se fabrican para diversas capacidades. En general, tienen alto rendimiento y son las más apropiadas cuando las alturas de bombeo son grandes. Su comportamiento hidráulico se basa en los mismos principios que rigen las bombas centrífugas utilizadas para el bombeo de agua limpia. Sin embargo, debido a que las aguas residuales y pluviales contienen partículas en suspensión, estas bombas deben tener rotores especiales que permitan el paso de material sólido de cierto diámetro (inatascables y resistentes a la acción corrosiva), además de registros de inspección a la entrada y salida para permitir su limpieza. Usualmente trabajan ahogadas, lo que evita el cebado inicial y la utilización de la válvula de pie, la cual podría funcionar deficientemente con los sólidos transportados por el agua. Existen varios tipos de bombas centrífugas para aguas residuales y pluviales: de eje horizontal, de eje vertical con instalación en el pozo húmedo, de eje vertical con instalación en el pozo seco y conjunto motor-bomba sumergible. Las de eje vertical tienen la ventaja de que las pueden operar motores ubicados en niveles superiores, libres de posibles inundaciones. Las de motor-bomba sumergible engloban en una sola carcasa la bomba centrífuga y el motor eléctrico. Para determinar la capacidad de una bomba centrífuga y seleccionar el modelo apropiado es necesario conocer

fundamentalmente el caudal de bombeo y la altura dinámica total.

- Las bombas helicoidales están basadas en el tornillo de Arquímedes, funcionan al aire libre y, por lo tanto, a presión atmosférica. La altura que debe vencerse corresponde al desnivel existente entre las extremidades del tornillo, ubicado en su posición de operación. Estas bombas son adecuadas para caudales importantes y pequeñas elevaciones. Su rendimiento es relativamente bajo, debido principalmente a fugas entre la hélice y la canaleta que la contiene. La bomba tornillo tiene dos ventajas principales sobre las bombas centrífugas en el bombeo de aguas residuales: 1) maneja sólidos de mayor tamaño sin atascarse y 2) funciona a velocidad constante para una amplia gama de caudales con rendimientos relativamente buenos. Las bombas de tornillo se encuentran en tamaños que van de 0,3 a 3 m de diámetro exterior y con capacidades desde 0,01 hasta 3,2 m<sup>3</sup>/s, aunque algunos fabricantes suministran tamaños superiores. El ángulo de inclinación está normalizado entre 20 y 40°. A menor ángulo de inclinación, la capacidad de descarga es mayor. Por cada grado de inclinación que se aumente, la capacidad de bombeo se ve reducida en un 3%. El valor de inclinación típico para una estación de bombeo por tornillos de Arquímedes es de 30°.
- Las bombas eyectoras reciben las aguas residuales sin cribado previo. Están conformadas por una cámara a la cual llega el agua directamente desde un colector alimentador. Cuando el nivel alcanza una cota determinada, un sensor eléctrico activa un compresor que inyecta aire en la cámara e impulsa el agua por la tubería de salida. Son adecuadas para caudales de bombeo bajos.

#### 4.3.2 Tipos de estaciones de bombeo<sup>4</sup>

De acuerdo con la norma NS-097 de la EAAB, las estaciones de bombeo se pueden clasificar de la siguiente forma.

---

<sup>4</sup> Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – E.S.P. NS-097 (2006). *Criterios de diseño de estaciones de bombeo de alcantarillado*. Bogotá, Colombia: EAAB.

#### 4.3.2.1 Estación de bombeo definitiva

Es la estación que se debe construir para que funcione por término indefinido, para evacuar aguas residuales, domésticas e industriales, y aguas lluvias, pertenecientes a un sistema de alcantarillado sanitario y pluvial.

Para definir la construcción de una estación definitiva utilizando bombas tipo Tornillo de Arquímedes, se deben cumplir los requisitos que se indican a continuación:

- Cuando se espera una vida útil de la estación mayor a 5 años.
- Cuando la altura de bombeo requerida, considerando una etapa de bombeo, sea igual o menor a la calculada, se hace mediante la siguiente fórmula:

$$H = 100 \text{ sen } AD^{1/2}$$

donde,

H = altura efectiva de bombeo (nivel del punto de descarga de la bomba – nivel del punto de llenado de la bomba), en cm.

A = ángulo de inclinación de la bomba tornillo con respecto a la horizontal.

D = diámetro exterior del tornillo en cm.

En los casos en que la altura de bombeo requerida sea mayor a la calculada mediante la fórmula anterior, pero menor a la altura efectiva de bombeo considerando dos etapas de bombeo, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H = 200 \text{ sen } AD^{1/2}$$

En los casos en los cuales para construir una estación definitiva no sea factible utilizar bombas tipo tornillo por no cumplir con el requisito de la altura efectiva de bombeo en dos etapas, se deben utilizar bombas centrífugas sumergibles instaladas en pozo seco.

Las estaciones definitivas para aguas lluvias siempre deben ser tipo tornillo.

#### 4.3.2.2 Estación de bombeo provisional

Es la estación que se construye con el fin de evacuar las aguas residuales, domésticas e industriales mientras se construye la estación definitiva o cuando se requiere manejar aguas residuales durante la construcción de proyectos de infraestructura del sistema de alcantarillado.

Para este tipo de estaciones se deben utilizar bombas tipo sumergibles instaladas en pozo seco.

Para definir la construcción de una estación provisional se deben cumplir los requisitos que se indican a continuación:

- Cuando se espera una vida útil de la estación igual o menor a 5 años.
- Cuando se considere un caudal total de diseño para la estación igual o menor a 400 l/s.

Cuando el caudal supere las 400 l/s y el tiempo sea menor a 5 años se debe instalar una rejilla fina con limpieza automática en el lado de la succión o entrada antes de la tubería de succión de la bomba.

#### 4.3.3 Elementos de una estación de bombeo

A continuación se describen los principales elementos que debe tener una estación de bombeo.

- Rejas automáticas o manuales

Las rejas tienen como finalidad retener los sólidos mayores a 50 mm, para evitar que ingresen a las bombas y causen daños a los álabes y demás partes internas. Además, los sólidos de gran tamaño pueden causar el atascamiento de cualquier elemento. Las rejas se instalan al final de los conductos afluentes, inmediatamente aguas arriba del pozo húmedo. Estas rejas deben tener un sistema de limpieza que puede ser manual (realizado por un operario) o automático. El RAS- 2000 recomienda que cuando el tamaño, la densidad y la cantidad de sólidos lo exijan se debe proveer un triturador y que los sólidos

retenidos por las rejas se deben disponer de manera apropiada para minimizar impactos negativos al ambiente.

- Cámara de amortiguación

Esta cámara distribuye el caudal que entra a la estación de bombeo y lo conduce hacia el pozo de succión por medio de unas perforaciones situadas en el fondo. Según las especificaciones técnicas para el diseño de Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales de Elmasa (2002), para que la cámara de amortiguación evite la formación de burbujas de aire en el pozo de succión es conveniente instalar una pared vertical situada enfrente del canal o tubería de entrada. El agua al golpear contra la pared reduce su energía cinética produciendo una buena desaireación en la cámara de amortiguación.

- Pozo de succión o húmedo

El RAS-2000 define el pozo húmedo como el compartimiento destinado a recibir y acumular las aguas residuales durante un determinado periodo. El volumen de almacenamiento depende del tipo de bomba, ya sea de velocidad constante o variable. Si se eligen bombas de velocidad constante, el volumen debe ser suficiente para evitar que los ciclos del funcionamiento sean demasiados cortos, lo cual supone una frecuencia elevada de arranques y paradas.

Para la operación de este elemento, el Elmasa en sus especificaciones recomienda ubicar una compuerta antes de la cámara de amortiguación, de tal forma que se pueda desviar el flujo hacia un canal u otro colector del sistema para controlar el flujo de entrada y aislar esta zona en caso de alguna emergencia o actividad de mantenimiento. Así mismo, es recomendable emplear mediciones telemétricas para controlar el nivel de agua dentro del pozo.

- Equipos de bombeo

Los equipos de bombeo los determina la magnitud y la variación de los caudales y los niveles que se deben vencer (RAS-2000). Éstos deben tener capacidad para evacuar el caudal pico horario, además de disponer de equipos en reserva que garanticen, ante

la avería de una bomba, la evacuación de todas las aguas residuales. Elmasa (2002) recomienda que se instalen bombas idénticas (con la misma capacidad y similitud), tanto para los equipos en funcionamiento como para los de reserva, y que se ubiquen en paralelo. El motor debe tener la capacidad de bombear para el nivel máximo y mínimo en la succión y la descarga, así como variación en los caudales.

- Tuberías, válvulas y accesorios

Las especificaciones técnicas para el diseño de Elmasa (2002) recomiendan que “la tubería de impulsión fuera de la sala de bombas será de fundición dúctil. Cada bomba contará con su válvula de compuerta bridada de cierre elástico y su válvula de retención de cierre lento antiarriete. Las bombas descargarán en un colector principal que a su vez irá provisto de su válvula de compuerta bridada de cierre elástico y manómetro de glicerina”. Por su parte, el Water and sewer standard de Virginia (2006) recomienda que las tuberías de impulsión deben ser de hierro dúctil y cumplir con la norma AWWA C-151 (ANSI A21.5).

La disposición de las tuberías, válvulas y accesorios no debe obstaculizar el paso del personal para el acceso a cualquier equipo ni su salida por las puertas de acceso.

- Instalación eléctrica

Elmasa (2002) recomienda que el cuadro eléctrico de mando y protección de las bombas debe permitir la selección de tres modos de mando: accionamiento manual, accionamiento automático local y accionamiento automático por telecontrol. Además, el cuadro de mando y protección de las bombas debe contar con amperímetro; voltímetro; cuenta horas para cada bomba; leds de estados de las bombas y de las rejas automáticas (marcha, paro, fallo térmico, limitador de par); señales digitales de salida de los estados de las bombas; rejas automáticas y prensa de detritus para estación de telecontrol. Todas las estancias de la estación de bombeo deben contar con tomas de corriente monofásica y trifásica.

- Edificio para albergar las instalaciones

Las instalaciones de este edificio deben estar diseñadas para albergar la sala de bombas, los equipos de medición y control, la sala de control y demás instalaciones hidráulicas y sanitarias. El RAS-2000 recomienda que en su diseño se tengan en cuenta la ventilación, la iluminación, la señalización de las rutas de evacuación, el aislamiento acústico, los accesos y escaleras y el drenaje de los pisos. Por su parte, las especificaciones de Elmasa (2002) recomiendan que los pavimentos estén conformados por hormigón fratasado e impermeabilizados con un tratamiento superficial de acabado resistente al desgaste y a la corrosión química de las aguas.

#### 4.3.4 Ventajas

- ✓ Permite homogeneizar el caudal que entra al cuerpo receptor.
- ✓ Atenúa caudales picos, ya que a través de los pozos de succión se regulariza el volumen de salida de la estación.
- ✓ Permite controlar el caudal que entra aguas abajo del sistema de alcantarillado.

#### 4.3.5 Desventajas

- × Requiere personal altamente calificado para la construcción y puesta en marcha de la estación de bombeo.
- × Altos costos de construcción y de mantenimiento.
- × Requiere un operario para supervisar su correcto funcionamiento.

### 4.4 ALMACENAMIENTOS TEMPORALES

#### 4.4.1 Características y funcionamiento

Los almacenamientos temporales o depósitos de retención están hoy en día ampliamente aceptados como una técnica rentable para mejorar el funcionamiento de los sistemas de alcantarillado,

en lo referente a la protección frente a inundaciones y a la reducción de la carga contaminante que llega al medio receptor.

Su principal función es limitar el caudal pico circulante por la red como consecuencia de un evento de lluvias. Debe limitarse el caudal pico a la capacidad del sistema de alcantarillado aguas abajo, de manera que se eviten las inundaciones del suelo urbano (especialmente en la parte baja de la cuenca) y el vertido de contaminantes a los cursos de agua adyacentes.

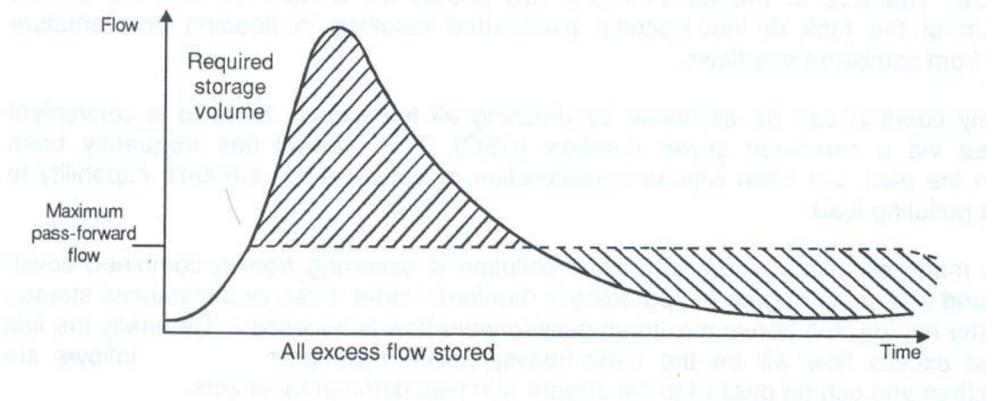
Consiste en destinar un espacio suficiente y cierta capacidad de almacenamiento para retener parte del volumen del hidrograma del caudal de escorrentía y reducir, por laminación, los caudales pico que se presenten, hasta un caudal máximo que se desee hacer circular, cuya magnitud está en función de la capacidad de almacenamiento, de la superficie del depósito y de la capacidad de desagüe de la red existente aguas abajo.

Donde el almacenamiento esté destinado a aliviar la superficie de inundaciones provenientes de la red, generalmente es necesario almacenar el total del hidrograma de escorrentía por encima del caudal de paso deseado.

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

A la hora de diseñar un almacenamiento temporal el principal problema es calcular el volumen necesario de éste para efectuar la laminación requerida del hidrograma de entrada. Hay que tener en cuenta la interacción del depósito con la red de drenaje y, dada la fluctuación que se produce en los caudales de entrada y salida del depósito, la simulación del fenómeno debe realizarse en régimen no permanente.

Figura 37. Hidrograma de entrada y volumen de almacenamiento del depósito



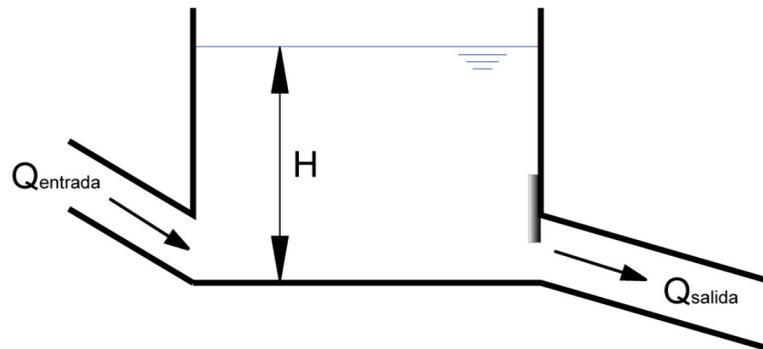
Fuente: Butler, David y Davies, John (2004). *Urban Drainage*. 2da. ed.

Para analizar el comportamiento hidráulico de un almacenamiento temporal es necesario tener en cuenta las siguientes hipótesis:

- La superficie del agua del depósito se considera horizontal, asumiendo un movimiento vertical en bloque de ésta.
- El caudal de salida será función del nivel del agua en el depósito y de las condiciones aguas abajo de éste, así como de las características del elemento regulador del caudal de salida.
- El caudal de entrada al depósito puede depender del nivel de agua y de las condiciones aguas arriba de la red.

El esquema de funcionamiento será el siguiente:

Figura 38. Esquema de funcionamiento de un depósito de retención



El régimen hidráulico del depósito cumple la siguiente ecuación fundamental, en la que la variación de la lámina de agua está regida por la ecuación de continuidad:

$$Q_{entrada} - Q_{salida} = \text{Área} \frac{dH}{dt}$$

donde el *Área* es la superficie en planta del almacenamiento y el caudal de salida será función del elemento regulador y de las condiciones hidráulicas en el colector de salida. También puede tomarse el caudal de entrada como un hidrograma de caudal conocido que entra al depósito.

#### 4.4.2 Ventajas

- ✓ Ayuda al tratamiento primario sobre las aguas lluvias.
- ✓ Son de fácil construcción.
- ✓ Bajos costos de mantenimiento.
- ✓ Permiten la laminación de caudales.
- ✓ Ayudan a reducir el efecto del primer lavado.
- ✓ La amortiguación de caudales máximos permite la utilización de colectores de menor diámetro o el diseño con capacidades menores exigidas para el transporte de materiales en suspensión, lo que contribuye a una obvia disminución de costos.
- ✓ La amortiguación de los caudales pico limita el efecto del impacto ambiental sobre los cuerpos receptores, reduciendo el impacto de crecidas, las inundaciones y las altas velocidades en los cauces naturales de drenaje.

### 4.4.3 Desventajas

- × Para terrenos con pendientes bajas puede llegar a ser problemático el drenaje o la evacuación de las aguas almacenadas.
- × Cuando estas obras fallan o quedan mal diseñadas se pueden generar costos importantes de reposición o reparación.

### 4.4.4 Tipología de los almacenamientos

#### 4.4.4.1 Almacenamiento en serie

Son depósitos que forman parte integral del sistema. El depósito consiste en un gran volumen de almacenamiento que se llena cuando el caudal que llega excede el máximo caudal permitido por la red aguas abajo. Se ubican justo en el punto de la red de drenaje, en línea con ella, donde se pretende controlar el caudal circulante, de manera que aguas abajo de ese punto la magnitud del caudal sea tal que pueda ser absorbida por la red y no cause perjuicio alguno.

Permiten atenuar los caudales pico aprovechando la capacidad de laminación de la superficie y el volumen de almacenamiento del depósito.

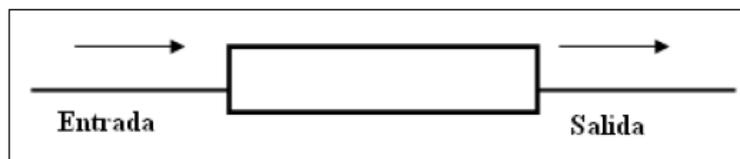
La descarga desde el depósito hacia el colector de salida está controlada por una válvula reguladora en su extremo aguas abajo. Este elemento regulador permite limitar el caudal de salida a un valor máximo deseado, acorde con las características del conducto aguas abajo y de la red en su conjunto, con lo que el nivel de agua en el depósito va aumentando a medida que entra agua y sólo permite la salida de una parte de ella.

Es posible adoptar esta tipología de almacenamiento y permitir su vaciado por gravedad siempre y cuando se disponga de la suficiente área en planta, que dependiendo de la magnitud del caudal que se va a laminar puede ser del orden de miles de metros cuadrados. Por lo tanto, esta es su principal desventaja, puesto que no siempre es posible disponer de una superficie lo suficientemente grande como para laminar los caudales

deseados y que, además, esté dentro de la red. De todos modos, este tipo de depósitos también se pueden vaciar mediante bombeo y, en este caso, no es necesario disponer de espacio en planta, pues se aumenta el volumen de excavación.

Por otra parte, presenta como ventajas su relativamente fácil diseño y el hecho, ya comentado, de que en la mayoría de los casos el vaciado se hace por gravedad. En la figura 39 se muestra un esquema típico de un almacenamiento en serie.

Figura 39. Almacenamiento en serie



Fuente: Navarro, Ivonne (2007). Uniandes.

#### 4.4.4.2 Almacenamiento en paralelo

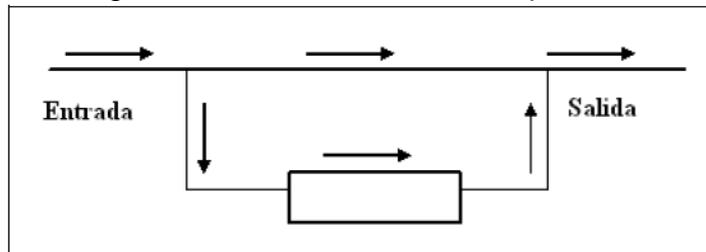
Los depósitos con derivación o depósitos en paralelo están físicamente separados del punto del sistema donde se van a colocar. El exceso de caudal que pasa por el conducto se desvía, en ese punto, al depósito a través de un dispositivo que puede ser un aliviadero lateral o una compuerta. El agua excedente se almacena en el depósito y se evacua de forma controlada cuando la red lo permita.

La gran ventaja de este tipo de almacenamiento es su flexibilidad en cuanto a la ubicación, puesto que ya no es necesario disponer de una gran superficie en un espacio determinado de la red, sino que se puede conducir el volumen de agua a un lugar donde sea físicamente posible construir el almacenamiento. Cabe añadir que en este tipo de estructuras lo que realmente interesa es su volumen de almacenamiento y no tanto la superficie en planta.

Su principal desventaja aparece a la hora de evacuar las aguas del almacenamiento hacia la red, puesto que muchas veces su ubicación no permite el vaciado por gravedad, y se debe hacer por bombeo, lo que supone un coste adicional.

Cuando no disponemos de superficie en planta, el volumen del almacenamiento debe ser mayor –mayor volumen de excavación– para poder almacenar el agua, entonces se debe recurrir al vaciado mediante bombeo o a la construcción de un nuevo conducto de desagüe que permita vaciar el depósito por gravedad. Ambas soluciones implican un sobrecoste nada despreciable. En la figura 40 se muestra un esquema típico de esta estructura.

Figura 40. Almacenamiento en paralelo



Fuente: Navarro, Ivonne (2007). Uniandes.

#### 4.4.5 Tipos de almacenamiento

##### 4.4.5.1 Pondajes

Los pondajes son grandes extensiones de depresiones de tierra que controlan el flujo de aguas lluvias, reduciendo los picos asociados con tormentas extremas y protegiendo los canales de aguas lluvias para eventos de poca frecuencia. De acuerdo con el tiempo de retención existen dos tipos de pondajes. Uno diseñado para permanecer seco la mayor parte del tiempo, excepto en los momentos de lluvia. El otro está diseñado para permanecer con agua todo el tiempo, excepto en veranos extremos.

Los pondajes mas empleados son los húmedos, ya que almacenan los excesos de agua lluvia que llegan por escorrentía o por conexión con varios canales y utilizan mecanismos de remoción por sedimentación de sólidos, filtración del agua y procesos biológicos a través de las algas. También se les conoce como pondajes de retención.

Este tipo de sistemas se deben diseñar para almacenar agua lluvia proveniente de una cuenca de drenaje con un área mínima de 25 hectáreas, con el fin de asegurar que no existan periodos

secos. La pendiente a lo largo del sistema debe ser menor del 15% y se recomienda que exista una diferencia mínima de 2 m entre la salida y la entrada del sistema. Estas características permiten que se acumule agua, pero que se tenga la energía suficiente para su salida. Adicionalmente, lo ideal es que el sistema tenga una forma semejante a la de un triángulo, para asegurar que el agua que entre se disperse de forma gradual y se fomenten los procesos de sedimentación. En la figura 41 se presenta la imagen de un pondaje.

Figura 41. Pondaje.



Fuente: Georgia Stormwater Management Manual Volume 2: Technical Handbook.

#### 4.4.5.2 Almacenamiento por detención

Esta alternativa permite la atenuación de crecientes por almacenamiento y una posterior descarga controlada. Aunque durante el tiempo que el agua permanece almacenada se pueden disminuir los contaminantes a través de diversos procesos de remoción, el principal objetivo del sistema es reducir las crecientes y proteger los canales aguas abajo. Esto se debe a que están diseñados para que se desocupen por completo después del evento de precipitación, razón por la cual entre cada evento el sistema permanece seco (Navarro, 2007).

Figura 42. Almacenamiento por detención.



Fuente: Georgia Stormwater Management Manual. Volume 2: Technical Handbook.

#### 4.4.5.3 Jardines de lluvia

Son las prácticas diseñadas para atenuar los picos de crecimiento empleando la vegetación. Se utilizan para almacenar agua lluvia proveniente de una cuenca de drenaje pequeña, el Post-construction water management recomienda un área menor a 5 acres, mientras que otros autores como AMEC recomiendan un máximo de 15 hectáreas. La pendiente longitudinal debe ser menor al 10% y debe haber una diferencia mínima 2 m entre la salida y la entrada del sistema (Navarro, 2008). El Post-construction water management también recomienda que exista una pendiente longitudinal menor al 4%. Estas condiciones permiten que no se alcancen velocidades altas, lo cual evita la erosión y garantiza el almacenamiento y la posterior infiltración. Además, para permitir los procesos de sedimentación se recomienda que estos almacenamientos tengan forma de triángulo, para que el agua que entre al sistema se disperse de forma gradual. Estas prácticas pueden permanecer todo el tiempo con agua o, en algunas ocasiones, secas.

Figura 43. Jardines de lluvia.



Fuente: Georgia Stormwater Management Manual. Volume 2: Technical Handbook.

#### 4.4.5.4 Pavimentos porosos

Estos pavimentos, en general, consisten en un pavimento continuo de asfalto o concreto poroso, similar al pavimento convencional, pero con dos diferencias básicas: la carpeta de rodado contiene poca arena y fracción fina, lo cual le otorga mayor permeabilidad, y la subbase granular es de mayor espesor, y también con poca arena y fracción fina, con lo que se consigue un mayor porcentaje de huecos. Su función es reducir el flujo superficial proveniente de una tormenta mediante su infiltración a través de la carpeta de rodado, logrando así disponer de una zona pavimentada permeable. La experiencia internacional en la materia se basa fundamentalmente en pavimentos porosos con capa de rodado asfáltica en zonas de bajo tránsito. Los objetivos principales son:

- Disminuir el caudal máximo.
- Disminuir el volumen escurrido.
- Permitir otras alternativas.
- Recargar la capa de agua subterránea.
- Mejorar la calidad del efluente.

Los pavimentos porosos se pueden emplear en calles de poco tránsito, pasajes, veredas, estacionamientos o canchas de uso múltiple, ciclovías y senderos en áreas verdes. Los diferentes estratos que componen un pavimento poroso de abajo hacia arriba son: una subrasante formada por el suelo existente

inalterado, un filtro geotextil, un filtro granular o membrana impermeable sobre la subrasante, una subbase de material granular grueso, sobre ésta un filtro granular o base y en la superficie la carpeta de rodado o pavimento poroso propiamente dicho. Una vez que el agua se filtra a través de la superficie de la carpeta de rodado, existen dos procedimientos alternativos para su disposición final. Uno es continuar la infiltración hacia el suelo bajo el pavimento y el otro es recogerla mediante drenes y disponer de ella en otro lugar. También es posible emplear una combinación de ambos sistemas, en la cual, para lluvias poco intensas, se infiltra todo localmente, y para lluvias más intensas, pero menos frecuentes, además de infiltrarse localmente una parte se drena aguas abajo a otros elementos, evitando que el agua aflore en la superficie. Las ventajas que presentan los pavimentos porosos son las siguientes: reducen el flujo superficial proveniente de una tormenta mediante la infiltración; remueven elementos contaminantes del agua como metales, aceite, grasa y sólidos suspendidos, filtrándolos a través de las capas de arena y grava ubicadas bajo la carpeta de rodado; hacen más segura la superficie para los automóviles durante las tormentas, reduciendo el patinaje y mejorando la visibilidad que favorece la adherencia neumático-pavimento a altas velocidades; y poseen una resistencia y duración similar a la del pavimento convencional.

Este tipo de pavimento se utiliza en zonas de tráfico liviano, cuyo suelo debe tener una permeabilidad entre 1,25 y 7,25 cm por hora y se utiliza en áreas de drenaje pequeñas menores a 5 acres, como recomienda el Post-construction storm water management.

Figura 44. Pavimento porosos.



#### 4.4.5.5 Almacenamiento temporal subterráneo

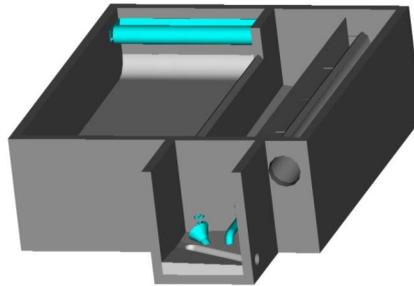
Como su nombre lo indica, están ubicados bajo el subsuelo, normalmente debajo de vías con poco tráfico, zonas de parqueo, parques y otras zonas cuyo uso se ha restringido por las cargas que debe soportar el suelo. A pesar de esta restricción su empleo se ha incrementado debido a la limitación de espacio en las zonas urbanas y al incremento de costos que implica la compra de tierras. Adicionalmente, este tipo de almacenamiento temporal se puede diseñar para generar algún tipo de tratamiento sobre el agua almacenada, ya sea por infiltración o por sedimentación.

Las dos clases de sistemas de almacenamiento temporal subterráneo más utilizados para almacenar grandes volúmenes de agua son los tanques en concreto y los módulos plásticos. Cuando los volúmenes son pequeños por lo general se utilizan cámaras de recolección.

#### 4.4.5.6 Tanques en concreto

Este sistema consiste en un tanque subterráneo en concreto reforzado (mínimo 3.000 psi), conectado a la red y ubicado fuera de línea. La finalidad de este tipo de tanque es el almacenamiento temporal de aguas, el cual no permite la infiltración del agua al subsuelo, por lo que en algunos casos se requieren mayores volúmenes. Actualmente se encuentran en el mercado tanques prefabricados, que no es necesario construirlos en el sitio, pero para su operación se deben ubicar dos cámaras de inspección cerca de la entrada y de la salida para realizar el mantenimiento del tanque, sobre todo cuando se presentan taponamientos en las tuberías de entrada y salida.

Figura 45. Tanque de almacenamiento en concreto.



Fuente: [www.hidrostank.com](http://www.hidrostank.com).

#### 4.4.5.7 Módulos plásticos

Este sistema está compuesto por módulos individuales de plásticos, los cuales se unen para formar una estructura de gran tamaño. Existen dos clases: uno compuesto por pequeñas tuberías y otro por una unidad rectangular que está vacía en su interior. En ambos casos, están hechos en plástico y tienen un volumen de almacenamiento correspondiente al 95% del volumen total, aproximadamente.

En comparación con el tanque de concreto, este sistema permite cierto porcentaje de infiltración del agua en el suelo. El material tiene un peso liviano, por lo que se puede instalar manualmente. Sin embargo, esta característica también implica una limitación respecto al uso del suelo que se encuentra por encima del sistema, limitándolo a actividades de tráfico liviano. Para su operación es necesario incluir algún tipo de sistema de ventilación que permita la salida del aire que está siendo reemplazado por el agua almacenada.

### 4.5 DISPOSITIVOS REGULADORES

Aunque estos dispositivos no son obras de rehabilitación como tal, son complementarias y necesarias para el correcto funcionamiento de las obras hidráulicas para la rehabilitación de una red de alcantarillado. Estos dispositivos son los elementos o

estructuras ubicadas a lo largo del alcantarillado que permiten regular el paso del flujo por los conductos y evitar sus vertidos sin control, los cuales son susceptibles de maniobrar bajo diferentes estrategias y niveles de control, con el fin último de operar la red.

#### 4.5.1 Características y funcionamiento

En un sistema de alcantarillado puede ser necesario limitar el caudal procedente de una alcantarilla secundaria para evitar la sobrecarga de un interceptor existente. En este caso, el exceso de caudal de agua residual procedente de la alcantarilla secundaria se desvía hacia una instalación de tratamiento a través de una alcantarilla de aliviado construida para tal fin. El caudal se limita utilizando dispositivos reguladores. Algunos de estos dispositivos son el de compuerta Taintor, el de placa basculante, el Hydro-Brake, orificios, vertederos y compuertas, cuya aplicación se describe más adelante.

#### 4.5.2 Ventajas

- ✓ Pueden limitar el flujo en tiempo seco.
- ✓ Su funcionamiento es automático.

#### 4.5.3 Desventajas

- × No resultan prácticos para caudales pequeños, debido a las pequeñas secciones de paso requeridas y al consecuente peligro de obturación.
- × Requieren revisión periódica, ajustes precisos y cuidadoso mantenimiento de todas sus partes por personas especializadas.

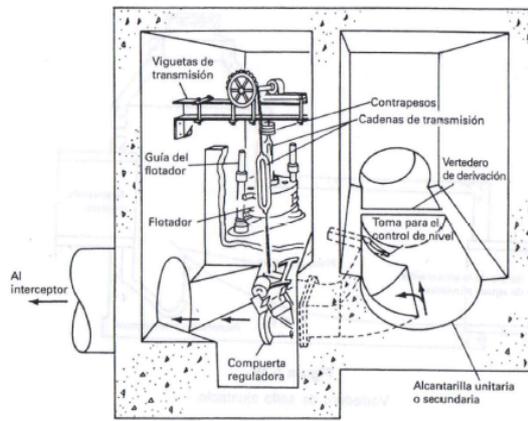
#### 4.5.4 Tipos de dispositivos reguladores

##### 4.5.4.1 Regulador de compuerta Taintor

El regulador de compuerta Taintor (conocido también como regulador de alcantarilla automático) actúa en función del nivel de agua existente en la alcantarilla unitaria o secundaria (como se muestra en la figura 46), del nivel de agua o del gradiente hidráulico en el interceptor. En cualquier caso, el recorrido del flotador y el correspondiente a la compuerta pueden ajustarse

para regular exactamente el caudal desviado al interceptor. Estos reguladores se fabrican con un intervalo de tamaños de compuerta capaz de limitar máximos caudales desviados desde 0,014 hasta 4,0 m<sup>3</sup>/s.

Figura 46. Regulador de compuerta Taintor.

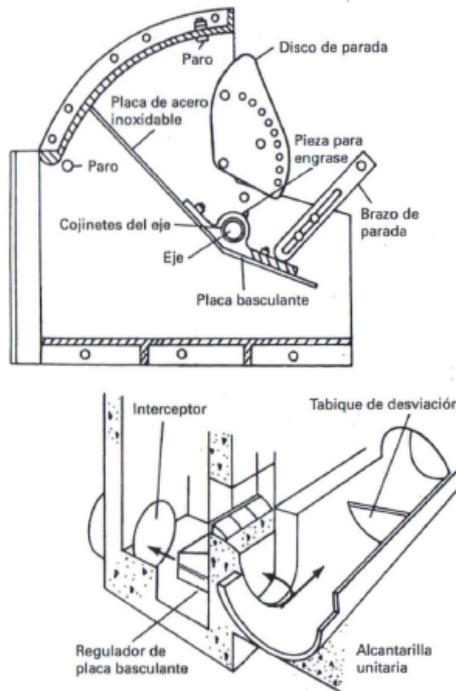


Fuente: Metcalf y Eddy (1997). *Ingeniería de aguas residuales*. 1ra. ed.

#### 4.5.4.2 Regulador de placa basculante

Estos reguladores (también conocidos como reguladores de Milwaukee o Chicago) se han utilizado durante muchos años. En estos dispositivos la placa bascula alrededor de un eje y su movimiento es controlado por la diferencia de niveles de agua sobre y debajo de la compuerta. Un ejemplo de este tipo de regulador se muestra en la figura 47. Los caudales máximos desviados varían entre 0,01 y 0,9 m<sup>3</sup>/s y pueden ajustarse mediante una selección adecuada de los tamaños disponibles de la compuerta. Para incrementar la capacidad de una instalación se pueden utilizar varias compuertas.

Figura 47. Regulador de placa basculante.

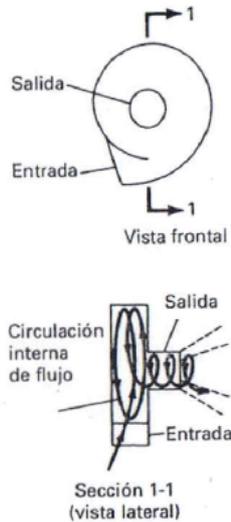


Fuente: Metcalf y Eddy (1997). *Ingeniería de aguas residuales*. 1ra. ed.

#### 4.5.4.3 Regulador Hydro-Brake

Este es uno de los dispositivos reguladores más simple y efectivo (figura 48), fabricado por Hydro-Storm Sewage Corporation. Su configuración, patentada, imparte un movimiento centrífugo en mayor o menor medida al fluido entrante. Esta acción, que empieza cuando se ha alcanzado una altura de carga del líquido predeterminada, reduce de forma efectiva el caudal de descarga. Este dispositivo se ha utilizado ampliamente en alcantarillados para limitar el caudal. Como se fabrica en acero inoxidable, este dispositivo tiene una vida útil larga.

Figura 48. Regulador Hydro-Brake.



Fuente: Metcalf y Eddy (1997). *Ingeniería de aguas residuales*. 1ra. ed.

#### 4.5.4.4 Orificios

Los orificios son aberturas de sección constante de salida de agua del almacenamiento temporal. En este tipo de elementos el caudal de salida viene determinado por la siguiente ecuación:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2g(H - a)}$$

donde

Q, es el caudal de salida a través del orificio

$C_d$ , es el coeficiente de desagüe

A, es el área de la sección del orificio

g, es la aceleración de la gravedad

H, es la altura de agua en el almacenamiento

a, es la altura de agua en el colector aguas abajo del almacenamiento

#### 4.5.4.5 Vertederos

Los vertederos se utilizan habitualmente como elemento regulador en almacenamientos temporales con derivación para desviar el exceso de caudal, aunque también se emplean en

depósitos en serie como elemento de seguridad. Pueden ser triangulares o rectangulares.

Para un vertedero rectangular el caudal de salida viene representado por la siguiente expresión:

$$Q = C_d \cdot L \cdot (H - h_0)^{3/2}$$

donde

Q, es el caudal a la salida del vertedero

$C_d$ , es el coeficiente de desagüe

L, es la longitud efectiva del vertedero

H, es la altura de agua respecto el fondo del depósito

$h_0$ , es la altura del vertedero respecto el fondo del depósito

#### 4.5.4.6 Compuertas

Las compuertas son dispositivos hidráulico-mecánicos empleados para regular el paso de agua en una tubería, en un canal, en presas, en esclusas u otra estructura. Son elementos reguladores sobre los que podemos actuar variando el área de abertura y con ello la capacidad de desagüe de las estructuras hidráulicas durante un evento de lluvia.

La facilidad que ofrece la compuerta para actuar sobre el área de salida de caudal del orificio permite plantear la posibilidad de una gestión en tiempo real de la red de alcantarillado, de manera que se puede estudiar una estrategia de abertura y cierre de las diferentes compuertas de los almacenamientos temporales de una red de drenaje, en función de la información que se tiene de toda la red. Cualquier actuación de este tipo requiere un conocimiento exacto del comportamiento del sistema frente a la acción sobre la compuerta, para lo cual se requiere un esquema de control del estado de la red en todo momento.

## 4.6 REQUISITOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OBRAS DE REHABILITACIÓN

A continuación se enuncian los requisitos generales que se deben tener en cuenta para la implementación de dichas obras hidráulicas para la rehabilitación de un sistema troncal de alcantarillado en la ciudad de Bogotá.

### 4.6.1 Requisitos para aliviós

Para la implementación de los aliviós en la red de alcantarillado troncal de la ciudad de Bogotá se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Se debe disponer del espacio suficiente para su ubicación.
- Se debe limitar el tráfico sobre la estructura.
- La localización de las estructuras de alivio debe estar en función de la configuración del terreno y de la posibilidad de derivar los caudales al cuerpo de agua receptor sin causar problemas de inundaciones en áreas aledañas.
- Se debe disponer de un acceso fácil.
- Se debe conocer la hidrología del cuerpo receptor.
- El cuerpo receptor debe tener suficiente capacidad de autodepuración.
- El cuerpo receptor debe ser lo suficientemente grande para recibir el caudal aliviado y no presentar problemas de inundaciones.
- Se deben determinar las características hidráulicas, hidrológicas y de calidad de agua del curso receptor.

### 4.6.2 Requisitos para estaciones de bombeo

Para implementar las estaciones de bombeo en la red de alcantarillado troncal de la ciudad de Bogotá se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Se debe disponer del espacio suficiente para su ubicación.
- Se debe disponer de un acceso fácil.
- Se debe contar con un suministro permanente de energía eléctrica y una fuente alternativa en caso de emergencias.

- Se debe hacer un estudio de la calidad de agua que se desea bombear.
- Se debe disponer de un sistema de limpieza para la estación de bombeo.
- Las cotas de acceso deben ser superiores a las cotas de inundación.
- Se deben conocer las características del suelo donde se desea instalar la estación de bombeo.

#### 4.6.3 Requisitos para almacenamientos temporales

Para la implementación de los almacenamientos en la red de alcantarillado troncal de la ciudad de Bogotá se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Se debe disponer de espacio suficiente para su ubicación.
- Se debe limitar el tráfico por donde se encuentra ubicada la estructura.
- Se debe conocer la hidrología del sitio de estudio.
- El sitio de almacenamiento debe estar por lo mínimo a 5 m de cualquier ubicación.
- Se debe conocer la capacidad portante del suelo y verificar si es capaz de soportar la estructura.
- Se recomienda que si el drenaje en el almacenamiento temporal es subterráneo se realice por gravedad, para lo cual se debe ubicar por debajo de la cota batea de la tubería de entrada.
- Los almacenamientos temporales deben contar con un sistema de ventilación.

#### 4.7 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

En esta sección se describen las consideraciones generales de diseño, las variables y las ecuaciones que se deben analizar si se quiere diseñar alguna de las obras definidas en los capítulos III y IV. Esta información se elaboró con base en la normatividad vigente (normas EAAB, normas EPM, RAS-2000, Elmasa) y la información recopilada.

#### 4.7.1 Alivios

Para diseñar los alivios en alcantarillados combinados se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones de diseño:

- Se debe tratar de que en lo posible durante la operación hidráulica no se genere turbulencia que pueda ocasionar la resuspensión de sólidos.
- Es muy importante que no existan depósitos aguas abajo de la estructura de alivio, debido a que pueden cambiar la relación entre su profundidad y el caudal, ocasionando que empiece a operar prematuramente y entregue un caudal en exceso de aguas combinadas hacia el cuerpo receptor.
- Se recomienda que la operación de vertimiento en los alivios de alcantarillados combinados ocurra cerca al nivel óptimo. Si ocurre con una altura de lámina de agua relativamente pequeña en las tuberías se entregará agua contaminada en exceso al cuerpo receptor. Y, por otro lado, si el vertimiento ocurre con una profundidad de lámina de agua alta pueden ocurrir problemas de sobrecarga en las tuberías aguas arriba.
- Se recomienda que el diseño asegure que se atrapen todos los sólidos grandes, guiándolos a través de las tuberías del sistema hacia la planta de tratamiento de aguas residuales o los sitios especiales para su disposición y retiro.

##### 4.7.1.1 Parámetros de diseño

De acuerdo con el RAS-2000 las variables o parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño de estas estructuras son los siguientes:

###### 4.7.1.1.1 Caudal de alivio

El factor de dilución es la relación entre el caudal a partir del cual el aliviadero comienza a derivar agua y el caudal de aguas residuales. Este factor necesariamente debe ser mayor que 1 y su valor depende del tamaño del colector, de su ubicación dentro del perímetro urbano, de la magnitud del caudal en el curso de agua, del volumen de almacenamiento temporal en un cuerpo de

agua receptor y del impacto que los volúmenes aliviados puedan generar en éste.

El caudal de alivio corresponde al caudal medio diario de aguas residuales que llega a la estructura multiplicado por el factor de dilución, el cual debe ser mayor que 1. Valores bajos de este factor corresponden a colectores secundarios que alivian cursos de agua con poco caudal, mientras que valores altos corresponden a interceptores o emisarios finales que descargan a un cauce con gran caudal. Cabe anotar que cuanto mayor sea el factor de dilución, más grandes resultan los colectores de la red y los posibles requerimientos de tratamiento, pero es menor el impacto potencial en los cuerpos receptores de las aguas de alivio, debido a los volúmenes derivados y a su concentración de contaminación. Necesariamente, un aliviadero no puede derivar aguas residuales no diluidas.

#### 4.7.1.1.2 Frecuencias de alivio

Se debe caracterizar la frecuencia de eventos de precipitación que puedan generar escorrentía que produzca vertimientos de alivio. De esta manera se puede establecer el número esperado de veces por año que operaría el aliviadero. El número adecuado debe estar relacionado con el periodo de retorno de diseño de los colectores de la red. Cuanto mayor sea el periodo de retorno, menor debe ser la frecuencia anual de operación del aliviadero.

#### 4.7.1.1.3 Volúmenes esperados de alivio

Se determinan a partir del análisis de las características de eventos de precipitación que puedan generar escorrentía pluvial en la zona. La escorrentía generada es producto de la humedad antecedente al evento de precipitación y del uso de la tierra. El volumen de alivio es, entonces, consecuencia del hidrograma generado y de las características de alivio de la estructura. Para tener en cuenta lo anterior puede usarse un módulo de escorrentía, de tal forma que los volúmenes que se van a derivar correspondan a la escorrentía producida por encima de cierto valor de este módulo. Este valor depende de las características climatológicas y físicas de la localidad. Los valores que pueden sugerirse están entre 10 y 20 L/s-ha de escorrentía directa.

#### 4.7.1.1.4 Capacidad del curso o cuerpo de agua receptor para asimilar las cargas contaminantes y los volúmenes de agua de alivio

Cada estructura de alivio proyectada debe tener en cuenta su efecto sobre las aguas receptoras, al igual que el efecto acumulado aguas arriba. La corriente o cuerpo de agua receptor se debe caracterizar a nivel hidráulico, hidrológico y ambiental para establecer sus condiciones de asimilación y depuración. Asociados con los aliviios se deben analizar los escenarios hidrológicos en el cuerpo de agua receptor, que sean representativos de las condiciones húmedas en la cuenca tributaria.

#### 4.7.1.1.5 Comportamiento hidráulico

Desde el punto de vista hidráulico, los parámetros de diseño de las estructuras de alivio corresponden, en el caso de un vertedero lateral, a la profundidad antes de la estructura, al régimen de flujo y a la longitud del vertedero; además, si tiene pantalla para incrementar su capacidad y altura. En los aliviaderos transversales interesan la profundidad del flujo de aproximación, la altura del vertedero y las dimensiones del colector de salida.

### 4.7.2 Estaciones de bombeo

De acuerdo con la norma NS-097 “Criterios de diseño de las estaciones de bombeo de alcantarillado”, de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), para el diseño de las estaciones de bombeo se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones.

- Localización

Determinar la ubicación de la estación de bombeo es muy importante, sobre todo en áreas no desarrolladas o parcialmente urbanizadas, ya que esta decisión puede afectar el desarrollo completo del área. En la selección del sitio también se deben considerar los aspectos arquitectónicos, de tal forma que no afecte adversamente las áreas vecinas. En general, los factores que deben tenerse en cuenta son los siguientes:

- Condiciones del sitio.
  - Drenaje del terreno.
  - Menor altura media entre el punto de succión y el punto de descarga de bombeo.
  - Trayecto más corto de la tubería de bombeo.
  - Cotas de acceso superiores a las cotas de inundación, o en caso contrario, con posibilidad de protección adecuada.
  - Estabilidad geotécnica del terreno.
  - Accesibilidad.
  - Dimensiones del terreno suficientes para satisfacer las necesidades de cada estación.
  - Adecuado suministro de energía y disponibilidad de otros servicios (agua potable, teléfonos, etc.).
  - Facilidad de vertimiento de las aguas residuales o pluviales en condiciones eventuales o interrupción de bombeo.
  - Reacondicionamiento mínimo de interferencias.
  - Menor movimiento de tierra.
  - Integración de la obra con el paisaje circundante.
  - Manejo de olores.
- Consideraciones geológicas y geotécnicas

Se deben establecer las características geológicas y geotécnicas de la zona, elaborando un estudio de suelos del sitio.

- Disponibilidad de energía

En la identificación de las condiciones de suministro de energía de las estaciones se deben considerar aspectos como la demanda aproximada de la estación de bombeo, el punto de conexión más cercano al sistema de distribución existente y el nivel de tensión.

La estación de bombeo definitiva debe disponer de una fuente alternativa de energía para el suministro del 100% de la potencia demandada cuando el nivel de tensión de la subestación principal sea de 11,4 kV, del 70% para 34,5 kV y del 50% para 115 kV en condiciones de falla o cuando la tensión descienda por debajo del 70%. Este sistema se define implementando un grupo

electrógeno conmutando el nivel de tensión del lado de la carga o instalando un circuito independiente.

- Vulnerabilidad y amenaza sísmica

Se debe conocer específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona en la cual se localice, diseñe o construya la estación de bombeo.

- Protección contra inundaciones

Durante la operación de la estación no se deben presentar inundaciones y la edificación debe tener drenajes adecuados.

Para el caso de estaciones de bombeo provisionales, los motores y tableros deben tener protección IP68. Las estaciones de bombeo deben diseñarse de tal forma que sean resistentes a los efectos de flotación que pueden producir las inundaciones.

En el lado de succión o entrada a la bomba debe dejarse una estructura de control que permita aislar la estación en caso de fallas en la evacuación del caudal.

- Sistema de puesta a tierra

La malla de puesta a tierra de las estaciones de bombeo se debe diseñar y especificar para la protección del personal y de la puesta a tierra de todas las estructuras y elementos metálicos no portadores de corriente, que puedan, eventualmente, estar expuestos a una tensión. El diseño se debe realizar conforme a las recomendaciones indicadas en la normas "ANSI/IEEE 80 Guide for safety in AC substation grounding", "IEEE 142 Recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems", "IEEE 1100 Recommended practice for powering and grounding electronic equipment" y el código "NEC-2002 National electrical code".

El sistema de puesta a tierra se debe diseñar y modelar usando programas de computador para determinar el adecuado espaciamiento entre el cable, el menor valor de resistencia de la malla y la adecuada limitación de las tensiones de toque y paso a los valores permisibles.

El diseño debe tener en cuenta la disipación de corrientes de cortocircuito y las provenientes de las descargas atmosféricas.

- Protección contra descargas atmosféricas

El sistema de protección contra descargas atmosféricas directas en las estaciones de bombeo definitivas se debe diseñar de acuerdo con las recomendaciones indicadas en la norma "IEC 62305-3 Protection against lightning. Part 3, Physical damage to structures and life hazard". El diseño debe incluir las recomendaciones de conexión y aterrizamiento de las estructuras metálicas de los edificios y otras estructuras como tanques, etc.

- Protección contra incendios

Las estaciones de bombeo definitivas deben contar con dispositivos para la detección y extinción de incendios, ubicados estratégicamente. Los extintores especificados para cada una de las áreas que conforman el sistema de extinción deben estar perfectamente señalizados.

Adicionalmente, en la construcción de la estación se deben seleccionar y especificar materiales incombustibles o retardantes a las llamas para la obra civil y de amoblamiento arquitectónico.

La localización de los equipos de protección contra incendios debe estar de acuerdo con un análisis técnico, según las áreas y los riesgos potenciales de cargas combustibles.

En el cuarto de baterías, el cuarto de control y en todos los sitios donde existan equipos eléctricos se deben instalar extintores con las características requeridas y la capacidad adecuada según el área.

- Facilidad de mantenimiento

Deben dejarse los accesos necesarios para efectuar las labores de mantenimiento. La estación debe diseñarse de tal forma que las labores de mantenimiento no afecten la prestación del servicio.

- Sistema de iluminación general y de emergencia

El diseño de los sistemas de iluminación interior, exterior y de emergencia deben contemplar los criterios utilizados para la selección y definición de las luminarias que se deben implementar en cada una de las áreas de las estaciones definitivas. De igual forma, se deben describir la metodología y los procedimientos de cálculo por computador empleados para diseñar los sistemas de iluminación interior y exterior, así como el control y el dimensionamiento de las redes eléctricas requeridas para los sistemas.

Las estaciones de bombeo definitivas deben contar durante el día con un adecuado sistema de iluminación interior que complemente la luz natural, y en las noches deben tener los valores y niveles de iluminación recomendados para la actividad específica de cada una de las áreas, evitando la presencia de altos contrastes en el ambiente visual entre áreas y la utilización de luminarias que provoquen deslumbramiento e ilusiones ópticas.

En las áreas exteriores, en zonas de equipo instalado, de tránsito y vías de acceso se debe implementar un sistema de iluminación adecuado para que el personal de operación, mantenimiento y vigilancia realicen su trabajo sin dificultad. En general, en los sistemas de iluminación en las áreas exteriores se deben considerar las siguientes condiciones necesarias para que el sistema de iluminación brinde óptimos resultados: seguridad en la operación del equipo, tránsito sin peligro, inspección de equipo y trabajos de mantenimiento..

El equipo que se utilice para implementar el sistema iluminación de emergencia debe garantizar el suministro ininterrumpido de potencia aunque falle o se suspenda el suministro de corriente alterna de la red externa o de suplencia. Para tal fin, el equipo debe estar provisto de un banco de baterías como soporte.

- Señalización

La estación definitiva debe contar en toda el área con una clara señalización visual, indicando zonas de peligro de alta tensión, salidas de emergencia, localización de extintores, áreas de

tránsito restringido y demás elementos y actividades que se deban mencionar por su peligro potencial o porque resultan importantes en la prevención de accidentes. Adicionalmente, la estación debe contar con una valla de identificación.

La señalización debe cumplir con los requisitos de la norma técnica "NTC 1461 Higiene y seguridad. Colores y señales de seguridad".

Las señales contra incendio deben cumplir con los requisitos de las normas técnicas "NTC 1931 Protección contra incendios. Señales de seguridad" y "NTC 1867 Higiene y seguridad. Sistema de señales contra incendios. Instalación, mantenimiento y usos".

- Ventilación

Todas las salas, pozos secos y recintos cerrados que puedan presentar un aire perjudicial o concentración de gases deben tener ventilación artificial forzada y adecuada.

Los controles de ventilación forzada se deben accionar manualmente desde afuera del recinto o automáticamente por medio de sensores, cuando se detecten concentraciones perjudiciales de gases en el aire.

En caso de que se utilicen ductos de ventilación se deben emplear tubos plásticos que cumplan con los requisitos de la norma técnica "NTC 1087 Plásticos. Tubos de poli-cloruro de vinilo (PVC) rígido para uso sanitario, aguas lluvia y ventilación".

- Restricción de acceso

Se deben tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar el acceso de personas diferentes a las encargadas de la operación o mantenimiento.

Los siguientes son los parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño de las estaciones de bombeo:

- Periodo de diseño.
- Caudal de diseño al final del periodo de ejecución, máximo y mínimo.

- Caudal al final de la operación de la estación (máximo y mínimo).
- Caudal al final de cada etapa del periodo de diseño (máximo y mínimo).
- Cota batea del conducto en la entrada de la estación de bombeo.
- Cota batea del conducto en la salida de la estación de bombeo.
- Cota máxima de agua en la entrada de la estación de bombeo.
- Desnivel geométrico entre los niveles de succión y de descarga.
- Características de calidad el agua.
- Variación en los niveles máximo y mínimo en la succión y la descarga, así como la variación en los caudales.
- Periodos y formas previstas de operación.
- Los cambios de presiones en el bombeo (sobrepresiones, subpresiones y velocidades de onda).

#### 4.7.3 Almacenamientos

De acuerdo con lo citado en el Stormwater collection water system Handbook (2004) las consideraciones generales de diseño son las siguientes:

- Ubicación

En la ubicación es importante tener en cuenta los usos del suelo, la disponibilidad de espacio y el costo del terreno, ya que esto puede generar conflictos cuando se ubique el sector con baja capacidad hidráulica o problemas de inundación. Para evitar estos inconvenientes se propone ubicar el almacenamiento temporal debajo de lotes de parqueaderos, parques, canchas deportivas o vías con tráfico liviano.

- Características hidrológicas de la cuenca

Para el diseño de la estructura se deben determinar los regímenes de lluvia de la cuenca en estudio y su distribución espacio-temporal, obteniendo información de la estación pluviométrica más cercana sobre los eventos de lluvia, las curvas

IDF en esa estación y la duración promedio de estos eventos. Además, hay que determinar las características del suelo como su capacidad de infiltración, la pendiente promedio y una aproximación del porcentaje de área impermeable. Luego, se calculan los hietogramas y el volumen de agua de lluvia que escurre hacia el sistema de drenaje.

- Impacto sobre el suelo y las aguas subterráneas

A la hora de seleccionar el tipo de estructura de almacenamiento temporal que se desea emplear, se debe estudiar la calidad del agua que se va a almacenar, las características del suelo y la altura del nivel freático; así mismo, tener en cuenta la actividad del suelo a los alrededores, el uso del agua subterránea para abastecimiento y la estabilidad del terreno. A partir de este estudio se determina si se va a permitir que la estructura infiltre las aguas lluvias al suelo. Para ello es necesario calcular el coeficiente de infiltración y la conductividad hidráulica del suelo. De todos modos, se recomienda que la estructura de almacenamiento se ubique mínimo a 5 metros de cualquier edificación.

- Caudal de salida

Este es uno de los parámetros más importantes y de gran cuidado en el diseño, ya que si no se realiza un correcto cálculo del hidrograma de salida de la estructura de almacenamiento se pueden presentar inundaciones y sobrecargas en el sistema. Esto ocurre cuando en los cálculos del hidrograma de salida no se tiene en cuenta que si se reduce el pico de caudal de aguas lluvias se aumenta el tiempo de descarga en la red; luego, cuando el pico de caudal de aguas lluvias está pasando por el conducto se magnifica el volumen, porque al mismo tiempo está descargando el almacenamiento temporal.

- Predimensionamiento de la estructura

Para el predimensionamiento de la estructura es necesario definir primero el evento de lluvia con el cual se va a diseñar. Este evento se determina a partir de un estudio de la red de alcantarillado, bajo 5, 10, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno. Buttler (2004) recomienda que no se debe realizar para

periodos con menor frecuencia, ya que no genera atenuación de crecientes, ni para eventos extremos porque el diseño no es funcional. Para controlar los volúmenes de lluvia que entran al sistema se recomienda que la estructura de entrada permita el almacenamiento a partir de un periodo de retorno de 10 años y que la estructura posea un sistema de rebose que para eventos de 100 años drene al cuerpo de agua más cercano o a un pondaje artificial.

- Diseño de estructuras de entrada y salida del flujo

Para el diseño es necesario determinar la estructura más indicada para ubicar a la entrada y salida del almacenamiento temporal. Estas estructuras deben permitir no sólo la entrada o salida controlada del flujo a partir de cierto nivel del agua, tanto en las tuberías como en la estructura de almacenamiento, sino también impedir la entrada de sedimentos a través de trampas, pantallas y filtros. Las estructuras que se utilizan para controlar la entrada o salida del flujo son compuertas, orificios y vertederos.

## 5. ESQUEMA METODOLÓGICO PROPUESTO PARA LA REHABILITACIÓN DE LAS REDES TRONCALES DE ALCANTARILLADO

### 5.1 GENERALIDADES

El presente trabajo comprende la rehabilitación de las redes troncales de alcantarillado, tanto sanitario como de aguas lluvias, y uno de los objetivos es desarrollar un esquema metodológico que sirva como herramienta para establecer gestión y control de las redes de alcantarillado. El desarrollo del trabajo de este proyecto sigue una estructura lógica para entender la metodología propuesta.

Para desarrollar la metodología de rehabilitación, en este capítulo, en primer lugar se presenta un cuadro resumen de las técnicas de rehabilitación más adecuadas frente a los diversos problemas que se pueden presentar en la red. Como se describió en los capítulos anteriores, existe una variedad de técnicas para rehabilitar las redes troncales de alcantarillado y su elección depende de las condiciones locales, tales como el tipo del problema, el diámetro, la longitud, etc. Los costos de rehabilitación están vinculados con el método y la tecnología aplicada. El objetivo de este capítulo es identificar las diferentes opciones de rehabilitación (vistas en el capítulo II) para solucionar los problemas de la red troncal de alcantarillado y encontrar la mejor solución de ingeniería. Las opciones de solución para la rehabilitación se dividieron en: hidráulicas, ambiental y estructurales.

Como se explicó en el capítulo 2, los cuatro aspectos del rendimiento están relacionados entre sí. Un defecto estructural en una alcantarilla puede dar lugar a los desechos que a su vez, causa problemas hidráulicos (pérdida de capacidad) que podrían causar inundaciones o contaminación. Del mismo modo, problemas hidráulicos pueden causar la sobrecarga del alcantarillado, y el flujo de aguas residuales o de aguas subterráneas a través de grietas en la estructura pueden promover los problemas estructurales. Es importante tener en cuenta los cuatro tipos de problemas, junto al desarrollo de las

soluciones, porque una sola solución puede afectar a más de un aspecto del rendimiento.

### 5.1.1 Soluciones hidráulicas

Dentro de las posibles soluciones que se pueden adoptar, existe un conjunto de ellas, conocido como medidas de rehabilitación hidráulica, cuyo objetivo es disminuir la “sobrecarga hidráulica”(no confundir con entrada en carga de conductos), y de esta forma permitir alcanzar los objetivos de funcionamiento de la red. Estas opciones de rehabilitación hidráulica corresponden a:

- Reducción de los flujos de entrada a la red. Esto se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante derivaciones de flujos de sectores mas sobrecargados a otros sectores que presenten una menor sobrecarga hidráulica. Sin embargo, el método para la reducción de las entradas que más se está utilizando actualmente para una amplia gama de problemas de drenaje es el uso de técnicas de gestión de aguas pluviales, tales como pavimentos porosos y dispositivos de infiltración.
- Maximizar la capacidad del sistema existente. Existen simples actuaciones, tales como la remoción de constricciones locales, o la limpieza de la red, que ayudan a maximizar la capacidad de transporte de la red. De nuevo, existen algunos métodos simples que pueden tener efectos representativos.
- Atenuación de los caudales pico mediante actuaciones en la red. Gran parte de las conducciones fluyen la mayoría del tiempo a tubo lleno, mediante la atenuación de los caudales máximos se puede mejorar la eficiencia y la capacidad de la red troncal de alcantarillado. La atenuación de los picos de los hidrógramas que circulan por la red pueden ser atenuados mediante la construcción de almacenamientos temporales, o aprovechando la capacidad de almacenamiento que puedan tener algunos colectores o instalando válvulas reguladoras y controles en puntos claves para hacer mejor uso del almacenamiento (este tema se describió en el capítulo anterior).

- Incremento de la capacidad hidráulica del sistema. Esta quizás sea la actuación más obvia cuando una red de alcantarillado presenta problemas. El incremento en la capacidad se puede lograr, por ejemplo, mediante el reemplazo por tuberías de mayor tamaño, o a través de la construcción de conductos paralelos. Muchas de las técnicas de rehabilitación estructural descritas en el capítulo III aumentan la capacidad de una red de alcantarillado, ya sea por la reducción de las asperezas o la eliminación de las imperfecciones. Adicionalmente, también es posible rehabilitar el alcantarillado utilizando las técnicas de tubería sin zanja para aumentar la capacidad hidráulica; razón por la cual, en la planificación de la rehabilitación del alcantarillado se deben considerar en conjunto los efectos estructurales y los hidráulicos.

Cuando no es posible mejorar la capacidad hidráulica mediante estas técnicas de rehabilitación es necesario utilizar lo que podría denominarse el método más obvio, que es sustituir las alcantarillas existentes por unas nuevas de mayor capacidad, lo cual trae consigo altos costos, problemas de movilidad y perturbación en los sitios donde se realizan las obras.

### 5.1.2 Soluciones ambientales

Las opciones ambientales incluyen:

- Reducir la entrada de contaminantes al sistema.
- Disminuir las descargas planeadas de contaminantes a los cuerpos de agua receptores. Esto se puede llevar a cabo, como por ejemplo, mediante el incremento de flujos tratados, mejorar la retención de sólidos y el funcionamiento hidráulico de los CSO, o el control en tiempo real.
- Disminuir el impacto por relocalización de los puntos de descarga.

- Reducir la exfiltración por medidas como: sellar fugas, proveer hermeticidad a través de recubrimientos o reemplazo de la tubería.

### 5.1.3 Soluciones estructurales

Las opciones estructurales incluyen:

- Proteger el material de la tubería de alcantarillado colocando un recubrimiento.
- Rehabilitar la tubería de alcantarillado por: reparación, renovación o reemplazo.

## 5.2 PROCESO PARA EL DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

El proceso que se siguió para desarrollar el esquema metodológico para la rehabilitación de las redes troncales de alcantarillado se puede resumir en los siguientes pasos:

- Primero, se elaboró la tabla de las técnicas de rehabilitación, clasificadas en: reparación, renovación y reemplazo.
- Posteriormente se hizo un listado con las fallas que se pueden presentar en una red troncal de alcantarillado.
- Se investigó sobre las técnicas y se crearon subcategorías para agruparlas.
- Simultáneamente a esta investigación, se creó una segunda tabla con el contenido de las condiciones de aplicabilidad o requisitos de cada técnica.
- Con estos elementos se construyó otra tabla, ubicando las técnicas de rehabilitación en las filas y las fallas en las columnas (matriz TR vs. Fallas).

- Luego, se desarrolló un diagrama de flujo de decisión para seleccionar el proceso adecuado para la rehabilitación de un sistema troncal de alcantarillado.

### 5.3 DESCRIPCIÓN DE LA MATRIZ DE LAS TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN (TR) VS. FALLAS

Como se mencionó, la tabla resumen se inició con una lista de técnicas de rehabilitación clasificadas en: reparación, renovación, reemplazo y obras complementarias. A su vez, las técnicas de reparación, renovación y reemplazo se subdividieron en dos grandes categorías: tecnologías sin zanja y tecnologías con zanja.

Las columnas de las TR corresponden a las fallas que se pueden presentar, las cuales se dividieron en dos grupos: *fallas operacionales* y *fallas estructurales*. El tipo de problema detectado en la red es la característica más importante para definir la viabilidad de una técnica de rehabilitación. Las fallas que se consideraron son las siguientes:

#### Fallas operacionales

- Diámetros insuficientes
- Obstrucción por conexión
- Intrusión de raíces
- Depósitos pegados, sedimentos, ingreso del suelo
- Infiltración
- Exfiltración

#### Fallas estructurales

- Deformación o deflexión
- Fisuras, grietas o fracturas
- Rotura o colapso
- Material de sello introducido en la tubería
- Juntas desplazadas
- Daños superficiales
- Defectos en el ladrillo o la mampostería
- Falta de mortero

Para determinar si las técnicas de rehabilitación son aplicables y adecuadas para solucionar algunas fallas se utilizó la siguiente convención: adecuada (código 2), condicionalmente adecuada (código 1) o no adecuada (código 0). Cuando una TR se codifica con el código 2 significa que la técnica es adecuada para resolver el problema detectado y, por lo general, se emplea para tal fin. La TR es adecuada y razonable para resolver el problema en un contexto de costo-beneficio, es decir, su uso no es desproporcionado en relación con la falla.

Si una TR se considera condicionalmente adecuada significa que la técnica puede resolver el problema en condiciones específicas o que es razonable en casos determinados. Dependiendo de la gravedad de la falla, la técnica puede ser una buena solución o simplemente inadecuada. Por ejemplo, la técnica de revestimiento puede ser una buena solución para la falta de mortero, pero probablemente no sea la más óptima. En conclusión, las TR clasifican como condicionalmente adecuadas las técnicas que no se pueden desechar como una posible solución técnica, pero su conveniencia se analiza para las condiciones específicas de cada caso.

Las técnicas consideradas no adecuadas para resolver un defecto determinado son aquellas cuya aplicación en condiciones normales no es posible o el costo-beneficio es desproporcionado.

Tabla 4. Matriz TR vs Fallas

TIPO DE FALLA	ESTRUCTURAL										OPERACIONAL						HIDRÁULICO				GEOTÉCNICO - ESTRUCTURAL	
	Observación difición	Fracturas grietas fisuras	Rufo	Materiales de sello introducidos en la tubería	Juntas desajustadas	Difras superficiales	Difras en el latido o la manopla	Falta de manopla	Obstrucción por cañón	Obstrucción por raíces	Depositos pegajosos, sedimentos, figuras del suelo	Chico	Irrigación	Exfoliación	Sequebra Disminución de las entadas hidráulicas del sistema?	Equilibrio de la capacidad del sistema?	Atenuación de la capacidad del sistema?	Atenuación de la capacidad del sistema?	Sequebra Aumento de la capacidad del sistema?	Cor. Inter.	Cor. Exter.	
Cod.	Técnica	Código																				
TÉCNICAS DE REPARACIÓN	1.1	**Tecnologías con zanja (Reemplazos puntuales)																				
	1.1.1	**Con protección de excavación (Entibados, tablestacados)																				
	1.1.2	**Sin protección de excavación																				
	1.2	**Tecnologías sin zanja																				
	1.2.1	**Reparaciones hechas por el hombre																				
	1.2.1.1	**Mampostería																				
	1.2.1.2	**Llenado con morteros o yesos																				
	1.2.1.3	**Inyección																				
	1.2.2	**Reparaciones automatizadas																				
	1.2.2.1	**Sistemas robóticos																				
	1.2.2.2	**Sistemas de parche de reparación																				
	1.2.2.3	RPM Packers (Fibra de vidrio mas resina mas endurecedor)																				
	1.2.2.3	**Estabilización química																				
	1.2.2.4	**Estabilización con mortero																				
	1.2.2.5	**Sellado de juntas																				
	1.2.2.6	**Inyección de resinas																				
	1.2.2.7	**Redondeado (Complementa sistemas de parche de reparación)																				
	TÉCNICAS DE RENOVACIÓN	2.1	**Tecnologías con zanja (Reemplazos puntuales)																			
2.1.1		**Con protección de excavación (Entibados, tablestacados)																				
2.1.2		**Sin protección de excavación																				
2.2		**Tecnologías sin zanja																				
2.2.1		**Métodos de revestimiento modificado.																				
2.2.1.1		**Método de rolldown																				
2.2.1.2		**Tuberías deformadas																				
2.2.1.3		**Estampado de tuberías (Swaged Liners)																				
2.2.2		**Revestimiento continuo de la tubería (Sliplining con PE continuo)																				
2.2.3		**Revestimiento con tubos cortos (Sliplining con PE en tramos)																				
2.2.4		**Revestimiento con segmentos de tubos (Sliplining con PVC o C)																				
2.2.5		**Revestimiento en espiral																				
2.2.6		**Revestimiento por aspersión																				
2.2.6.1		**Con mortero																				
2.2.6.2		**Con polímeros																				
2.2.7		**Revestimiento con curado en sitio																				
2.2.8		**Concreto reforzado																				
TÉCNICAS DE REEMPLAZO		3.1	**Tecnologías con zanja																			
	3.1.1	**Con protección de excavación (Entibados, tablestacados)																				
	3.1.2	**Sin protección de excavación																				
	3.2	**Tecnologías sin zanja																				
	3.2.1	**Ruptura de tubería (Pipe Bursting)																				
	3.2.2	**Sistema CLG (Controlled Line and Grade)																				
	3.2.3	**División de tubería (Pipe Splitting) Tubería metálica																				
	3.2.4	**Excavación de túnel en tubería (Pipe eating)																				
	3.2.5	**Escarado de tubería (Pipe reaming)																				
	3.2.6	**Triturado de tubería (Pipe crushing)																				
	3.2.7	**Expulsión o extracción de tuberías (Pipe ejection/extraction)																				
	3.2.8	**Halado de tubería (Pipe pulling)																				
CRISIS COMPLEJAS	4.1	**Estructuras de alivio																				
	4.1.1	**Con vertedero lateral																				
	4.1.2	**Con vertedero transversal																				
	4.1.3	**Con vertedero de salto																				
	4.1.4	**Con vertedero tipo vórtice																				
	4.1.5	**Sifones aliviaderos																				
	4.2	**Almacenamientos																				
	4.2.1	**Pondajes																				
	4.2.2	**por detención																				
	4.3	**Dispositivos reguladores																				
	4.3.1	**Compuertas																				
	4.3.2	**Orificios																				
4.3.3	**Vertederos																					

Fuente: elaboración propia.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de esta investigación, a continuación se relacionan las conclusiones y recomendaciones pertinentes:

- ✓ Este trabajo se desarrolló tomando como referencia la investigación que la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá S.A. E.S.P. solicitó a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, de acuerdo con el contrato “Consultoría para la Investigación, Estudios y Diseños de Ingeniería Básica para la Rehabilitación de las Redes Troncales en los Sectores de Expansión y Redensificación - Subcuenca San Francisco”. En este contrato, entre otras cosas se desarrolló una metodología en la que se plantean alternativas correspondientes a las técnicas de construcción para la rehabilitación del alcantarillado troncal. Las alternativas analizadas, seleccionadas y propuestas en la metodología desarrollada consideran diferentes escenarios de capacidad y operación futura, con base en las proyecciones de desarrollo de la zona.
- ✓ Este trabajo propone una metodología de rehabilitación mediante el planteamiento de un diagrama de flujo de decisión, en el que a partir de los problemas o fallas detectados en el sistema (geotécnicos, operacionales, capacidad insuficiente, condiciones estructurales) se propone la solución o alternativa de construcción técnicamente más recomendable para asegurar o garantizar la rehabilitación de un tramo troncal, con base en la matriz de las técnicas de rehabilitación (TR) vs. las fallas del sistema. También desarrollada en el presente estudio.
- ✓ El estado del arte de las obras de rehabilitación de los sistemas troncales de alcantarillado es amplio. En la literatura y los documentos consultados se incluyen técnicas de rehabilitación para la reparación, renovación o remplazo de tuberías en las que fundamentalmente se evitan obras que comprometan la infraestructura existente en superficie. En Colombia la información y aplicabilidad de estas técnicas ha sido limitada, una de las causas de esta situación es que sólo hasta los últimos años los sistemas troncales de alcantarillado

han empezado a presentar fallas que implican altos costos de reparación, razón por la cual las empresas de servicios públicos y los contratistas que se dedican a esta actividad se han visto en la necesidad de cambiar las técnicas de construcción convencionales utilizadas para la rehabilitación de estos sistemas.

- ✓ En los últimos años las empresas de acueductos y alcantarillados, particularmente la Empresa de Acueductos y Alcantarillados de Bogotá, se han preocupado por investigar de manera detallada sobre las técnicas de rehabilitación de estos sistemas, considerando los altos costos y los impactos ambientales y sociales derivados de las técnicas tradicionales. Por esta razón, las empresas buscan desarrollar e implementar metodologías para predecir el estado actual de un sistema troncal de alcantarillado y la necesidad de rehabilitación mediante el diagnóstico y la evaluación de las técnicas que se deben utilizar, de acuerdo con el problema existente.
- ✓ La metodología desarrollada en este trabajo considera que las técnicas para la rehabilitación de los sistemas troncales de alcantarillado se deben seleccionar teniendo en cuenta las limitaciones del sitio, las características del sistema, los problemas detectados y los objetivos del proyecto. Para esto se requiere realizar una evaluación integral que incluya una comparación de los costos económicos y una valoración cuantitativa de los impactos ambientales y sociales comparando las tecnologías de rehabilitación sin zanja y las tecnologías convencionales. Sin embargo, en algunas situaciones particulares la evaluación económica no es comparativa, ya que las nuevas tecnologías tienen beneficios como el ahorro en los costos y otros que no son cuantificables como la seguridad para los transeúntes en las zonas de trabajo, la conservación del medio ambiente durante la construcción, el estrés generado por las demoras, los impactos en la economía local, entre otros.
- ✓ Como resultado de la investigación se concluye que el uso de las técnicas de rehabilitación sin zanja requieren un menor trabajo de construcción que el empleado por los métodos convencionales de excavación y reemplazo. En humedales y

áreas con vegetación establecida los efectos de las actividades de construcción de rehabilitación convencionales pueden causar impactos a los ecosistemas presentes. Las excavaciones convencionales normalmente alteran las actividades de los ciudadanos que viven y trabajan en las áreas cercanas a la construcción. Por su parte, la rehabilitación sin zanjas reduce el número de los desvíos del tráfico y de peatones, evita la remoción de árboles, disminuye los ruidos generados por la construcción y reduce la contaminación atmosférica producida por el uso de los equipos de construcción.

- ✓ Se evidenció que la mayoría de las aplicaciones de las técnicas de rehabilitación sin zanja requiere que las conexiones laterales estén cerradas alrededor de 24 horas, lo cual exige coordinar con los propietarios de las viviendas la suspensión temporal del servicio, resultando una tarea difícil y, en algunos casos, no muy bien recibida. Adicionalmente, las condiciones imprevistas pueden incrementar el tiempo de construcción y aumentar el riesgo y la responsabilidad al cliente y al contratista.
- ✓ En la cuenca piloto estudiada (subcuenca San Francisco) del sistema troncal de alcantarillado de la ciudad de Bogotá las fallas que más se presentan son de tipo estructural (es importante mencionar que se pierde o se compromete la pendiente longitudinal ), razón por la cual la técnica de rehabilitación sin zanja que se podría ajustar a esta necesidad es la de rotura de tubería (Pipe bursting) o alguna de sus variantes, en el que la tubería existente se fractura y se retira, reemplazándola por una nueva. Con la posibilidad de restituir el sistema troncal de alcantarillado de la ciudad, se cree que esta es la mejor alternativa para adelantar un reemplazo masivo; además, existen representantes nacionales y contratistas que ya la están utilizando.
- ✓ La técnica de rehabilitación de revestimientos modificados es una buena alternativa para realizar mantenimientos preventivos a los sistemas troncales de alcantarillado, ya que mejora su capacidad hidráulica y prolonga su vida útil; además, resulta más económica que las técnicas tradicionales de rehabilitación.

- ✓ Las técnicas de renovación normalmente disminuyen la capacidad hidráulica de la tubería; sin embargo, la tubería rehabilitada puede tener una menor rugosidad que la original. El coeficiente de rugosidad depende del material, por ejemplo, los nuevos materiales plásticos de alto rendimiento tienden a reducir la rugosidad de la tubería, a diferencia de los materiales de concreto ya envejecidos. No obstante, cabe señalar que el objetivo primario de la rehabilitación no es necesariamente aumentar la capacidad hidráulica de un tramo determinado sino devolverle las condiciones de servicio original.
- ✓ Algunas técnicas de rehabilitación sólo se pueden utilizar en diámetros menores a 250 mm (tales como sistemas robóticos, renovación por fragmentación de la tubería), por lo que no son aplicables a la red matriz o a los colectores principales de un sistema troncal de alcantarillado, únicamente se podrían utilizar en las conexiones laterales.
- ✓ Una segunda etapa valiosa de este trabajo sería desarrollar un modelo computacional que permita rehabilitar un tramo del sistema troncal de alcantarillado, en el momento adecuado y con la tecnología adecuada. Tomar la decisión de rehabilitar independiente de la técnica a utilizar, la decisión final (aparte de las decisiones económicas), exige la modelación hidráulica de sistema incluyendo el tramo o los tramos que aseguren el mejoramiento de las condiciones iniciales. Esto se consigue mediante la disponibilidad de un modelo de gestión para la rehabilitación de estos sistemas, el cual debe considerar otros componentes tales como: actualizar el inventario de la redes, realizar una investigación hidráulica, ambiental y estructural. Ya que el éxito de estas tecnologías de rehabilitación y de su aplicación radica en el conocimiento del estado de la red (edad, número de conexiones erradas, número de pozos, material, cotas, diámetro, etc.).

## 7. BIBLIOGRAFÍA

BUTLER, David y DAVIES, John. Urban Drainage 2da. Ed. London: Spon Press, 2006, 543 p., ISBN 13: 9780415306072.

AMEC Earth and Environmental Center for Watershed Protection. Georgia Stormwater Management Manual. Volume 2: Technical Hand Book 1ra Ed. 2001. Disponible en: <http://www.georgiastormwater.com>

Seveinung & Wolfgang Schilling. Computer aided rehabilitation of sewer and storm water networks (CARE-S).

WRc.1998. Sewerage Rehabilitation Manual Vol.II Planning.

MAYS, Larry. Stormwater collection systems design handbook. New York: McGRAW-HILL, 2004.

Metcalf & Eddy inc. Ingeniería de aguas residuales Tomo III 3ra. Ed. México: McGRAW-HILL, 1995, 461 p., ISBN 0070416807.

NAVARRO López, Ivonne. Determinación de la viabilidad técnica y económica de un sistema de almacenamiento temporal de aguas de drenaje urbano para la ciudad de Bogotá. Tesis (Ingeniero Ambiental). Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2007. 201 p.

Rodríguez & Saldarriaga. Desarrollo de una metodología para determinar cuando rehabilitar redes de alcantarillados. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

EPA 832-F-99-032. Folleto informativo de operación y mantenimiento del alcantarillado, 1999.

ISTT. Trenchless technologies resource centre, 2006.

MEZA Novoa, Lilian. Evaluación de sistemas de control para la operación Evaluación del funcionamiento de sistema de control para la operación de redes de alcantarillado. Análisis prospectivo en un sector de la ciudad de Bogotá. Bogotá. Tesis (Magister en Recursos Hidráulicos). Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2008. 137 p.

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ – E.S.P., CONSORCIO GRUCON - IEH – SOPRIN. Estudio para la rehabilitación del sistema de alcantarillado cuencas Salitre, Torca, Conejera y Jaboque. Informe Tecnico IT-11. Análisis Comparativo de Tecnicas de Rehabilitacion de Alcantarillado. Versión 02. Octubre 1998.

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ – E.S.P., ESCALA INGENIERIA Y PROYECTOS. Estudio para definir el programa de rehabilitación de las redes de alcantarillado de la ciudad de Bogotá. Producto 2. Análisis de tecnologías disponibles y evaluación de costos sociales de las tecnologías tradicionales. Versión final. Febrero 2005.

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ – E.S.P. NS-058. Aspectos técnicos para la rehabilitación de redes y estructuras de alcantarillado. Bogotá, Colombia: EAAB, 2001.

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ – E.S.P. NS-097. Criterios de diseño de estaciones de bombeo de alcantarillado. Bogotá, Colombia: EAAB, 2006.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.