



Folleto informativo de operación y mantenimiento del alcantarillado

Rehabilitación sin zanjas de colectores del alcantarillado

DESCRIPCIÓN

A medida que las obras de infraestructura en los Estados Unidos se hacen más antiguas, aumenta la importancia de la rehabilitación de los sistemas de recolección para darle tratamiento al agua residual. Las grietas, el hundimiento, la intrusión de raíces de árboles y otras alteraciones que se desarrollan a medida que pasa el tiempo deterioran las tuberías y otras estructuras de conducción que conforman la red de alcantarillado. Estas condiciones de deterioro pueden incrementar la cantidad de infiltración y afluencia (I/A) que ingresa al sistema, especialmente durante los períodos de lluvia. Los niveles crecientes de I/A representan una carga adicional al sistema que disminuye su capacidad total. Además del caudal de I/A, las aguas pluviales pueden ingresar al alcantarillado a través de conexiones ilegales tales como canales de techos de viviendas y bombas para el drenaje. Si la combinación del agua residual, la infiltración y las conexiones ilegales de agua pluvial que entran a la planta de tratamiento en un momento dado sobrepasa la capacidad del sistema, se puede producir la descarga de agua residual no tratada a las aguas receptoras. Este desvío del agua residual no tratada, conocido como el desborde de drenajes combinados (DDC), puede afectar adversamente la salud humana así como deteriorar el uso y la calidad del agua receptora.

El método tradicional para aliviar la carga excesiva del alcantarillado es el construir una

tubería paralela adicional, o de reemplazo, a lo largo de toda la tubería existente, lo cual requiere excavación. Mientras que estos métodos tradicionales de rehabilitación de colectores requieren el desenterrar y reemplazar la tubería deficiente (método de excavación y reemplazo), los métodos de rehabilitación sin uso de zanjas utilizan el colector existente como una camisa receptora para la nueva tubería. Las técnicas sin zanja para la rehabilitación de colectores son un método de corrección de las deficiencias que requiere de un menor esfuerzo para la restauración del área, y que causa menos alteración y degradación ambiental que el método tradicional de excavación y reemplazo. Los métodos sin zanja para la rehabilitación de colectores incluyen:

- La fractura de la tubería, o expansión dentro del colector,
- La inserción de revestimiento,
- La tubería endurecida en el punto de aplicación; y
- El revestimiento con modificación de la sección transversal.

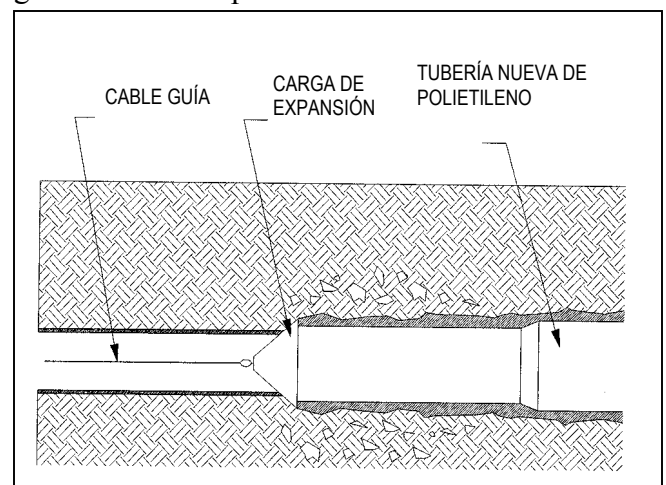
Estas técnicas alternativas deben ser entendidas completamente antes de su aplicación. Estos cuatro métodos para la rehabilitación de colectores se describen con más detalle en las secciones siguientes.

Fractura de la tubería o expansión dentro del colector

La fractura de la tubería, o expansión dentro del colector, es el método mediante el cual la tubería existente es forzada hacia el exterior y dilatada por medio de una herramienta de expansión. El método de Pipebursting™, patentado en 1980 por la British Gas Company, fue aplicado en forma satisfactoria por la industria de tuberías de conducción de gas antes de que su aplicabilidad fuera identificada por otras agencias de servicios públicos con infraestructura subterránea. En las dos últimas décadas se han patentado también otros métodos de expansión dentro del colector. Durante la expansión de la línea, la tubería existente es utilizada como guía para insertar el cabezal de dilatación (pieza de la herramienta que rompe o fractura la tubería). El cabezal de dilatación, generalmente arrastrado mediante una barra y un montacarga de cable, incrementa el área disponible para la nueva tubería al forzar la tubería existente en forma radial hacia el exterior hasta producir el rompimiento. El dispositivo que realiza la fractura arrastra detrás de sí la nueva tubería. El proceso de fractura de la tubería se ilustra en la Figura 1. Diversos tipos de cargas de expansión, clasificadas como estáticas o dinámicas, pueden ser utilizadas en la herramienta que realiza la fractura para la expansión de la tubería existente. Las cargas estáticas, que no requieren piezas internas móviles, expanden la tubería existente sólo por la acción de arrastre de la herramienta que realiza la fractura. A diferencia de las cargas estáticas, las cargas dinámicas proporcionan

fuerzas neumáticas o hidráulicas adicionales en el punto de impacto. Las cargas neumáticas pulsan presión de aire interna dentro de la herramienta que realiza la fractura de la tubería, mientras que las cargas hidráulicas expanden y contraen la carga. A medida que la carga dinámica hace la pulsación, o se expande y contrae, el dispositivo que realiza la fractura de la tubería es extraído a través de la tubería existente, rompiéndola y reemplazándola por una nueva que va directamente detrás de la misma. Las cargas dinámicas se requieren frecuentemente para penetrar materiales de tubería y suelos difíciles. Sin embargo, debido a que las cargas dinámicas pueden causar el movimiento de los suelos cercanos - resultando en la presión adicional y en el hundimiento del terreno - las cargas estáticas se utilizan sólo en donde las condiciones de la tubería y del suelo lo permiten.

Durante el proceso de fractura de la tubería, el segmento rehabilitado del colector debe ponerse fuera de servicio por desviación del flujo a otras partes de la red. Después de que se termina el proceso de fractura de la tubería, las tuberías laterales se vuelven a reconectar, usando generalmente dispositivos robóticos de corte.



Fuente: Diseñado por Parsons Engineering Science, Inc., 1999

FIGURA 1 PROCESO DE FRACTURA DE LA TUBERÍA

Inserción de revestimiento

La inserción de revestimiento es un método para la rehabilitación sin zanjas cuya eficacia está bien establecida. Durante el proceso de inserción un nuevo revestimiento de menor diámetro se coloca dentro de la tubería existente. En el espacio anular, el área entre la tubería existente y la tubería nueva, generalmente se pone un lechado de cemento para prevenir filtraciones y para proporcionar integridad estructural. Si el espacio anular entre las secciones no es lechado, el revestimiento nuevo no se considera estructural. El lechado continuo del espacio anular proporciona el sellado. Se pueden causar fallas y filtraciones si solamente se hace el lechado de las secciones de los extremos de la tubería.

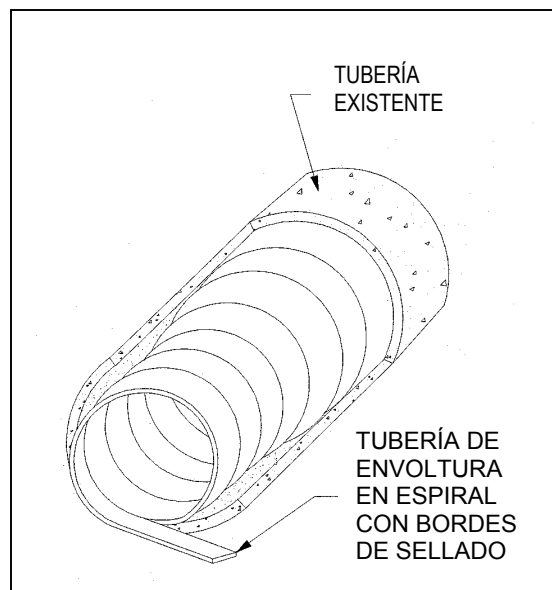
En la mayoría de las aplicaciones de inserción de revestimientos, los registros sanitarios no pueden funcionar como puntos de acceso apropiados para realizar la rehabilitación. En estos casos, una excavación de inserción debe hacerse en cada segmento del colector. Debido a este requerimiento, la mayoría de las aplicaciones de inserción del revestimiento no constituyen una técnica completamente sin zanjas. Sin embargo, la excavación requerida es considerablemente menor a la realizada con el método tradicional de excavación y reemplazo. Las condiciones del sistema y del lugar determinan el ahorro en la cantidad de excavación.

Los métodos de inserción del revestimiento incluyen el de aplicación continua, el de aplicación por segmentos, y de envoltura en espiral. Los tres métodos requieren que las tuberías laterales sean reconectadas por medio de excavación, o por un cortador operado a control remoto. En la inserción continua del revestimiento, la tubería nueva, unida para

formar un segmento continuo, es insertada dentro de la tubería existente en puntos estratégicos. La instalación de puntos de acceso, tales como pozos de acceso u hoyos de inserción, debe tener la capacidad de manejar la flexión de la sección continua de la tubería.

La instalación por el método de segmentos requiere el montaje de los segmentos de la tubería en el punto de acceso. La inserción del revestimiento por medio del método por segmentos puede ser realizada sin redirigir el flujo existente. En muchas aplicaciones, el flujo existente reduce la resistencia de fricción y de ese modo ayuda en el proceso de la instalación.

La inserción del revestimiento de envoltura en espiral es realizada dentro de un pozo de acceso o punto de acceso utilizando los bordes de sellado en los extremos del segmento de tubería para hacer la conexión de los mismos. La tubería de envoltura en espiral es luego insertada en la tubería existente, tal como se muestra en la Figura 2.



Fuente: Diseñado por Parsons Engineering Science, Inc., 1999

FIGURA 2 PROCESO DE INSERCIÓN DEL REVESTIMIENTO DE ENVOLTURA EN ESPIRAL

Tubería endurecida en el punto de aplicación

Duante el proceso de rehabilitación de un colector por endurecimiento de la tubería en el punto de aplicación (*cured-in-place pipe*, CIPP), dentro de la tubería existente se inserta un tubo flexible de revestimiento cubierto con una resina fraguada térmicamente, la cual se endurece para formar la nueva tubería. Normalmente el tubo

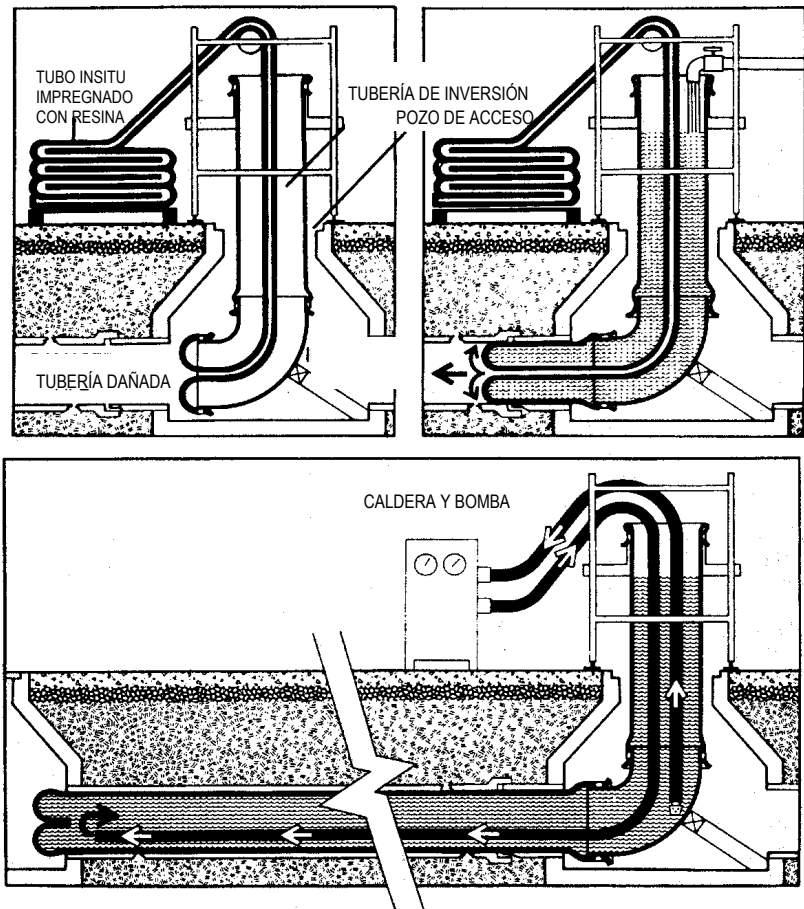
de revestimiento es insertado en la tubería existentes. El tubo flexible de revestimiento sostiene la resina en posición hasta cuando el tubo es insertado dentro de la tubería existente y existente a través de los pozos de acceso esté listo para el endurecimiento. Las resinas más comunes que se fabrican incluyen el poliéster no saturado, el éster de vinilo, y la resina epóxica, cada una de las cuales tiene diferentes resistencias químicas a las aguas residuales domésticas.

Cómo se instala el Insituform®

Figura 1. Una tubería especial de textura de fieltro, Insitube®, revestida en la parte exterior, es fabricada para reemplazar correctamente la tubería dañada, impregnada con una resina líquida térmica, y colocada dentro de un pozo de acceso mediante una tubería de inversión. Un extremo del Insitube es adherido firmemente al extremo inferior del ángulo de la tubería de inversión.

Figura 2. La tubería de inversión se llena luego con agua. El peso del agua presiona al Insitube dentro de la tubería dañada y la voltea hacia afuera, mientras que el lado impregnado con resina se presiona firmemente contra las paredes interiores de la tubería existente. El lado revestido más liso del Insitube se convierte en la nueva superficie interior de la tubería.

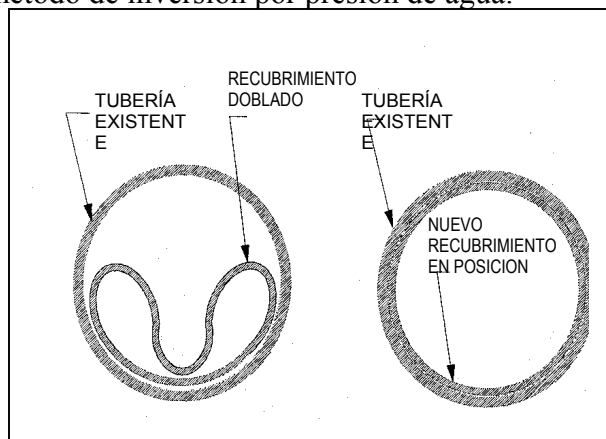
Figura 3. Después de que el Insitube es invertido a lo largo de la tubería existente hasta la distancia deseada, el agua se hace circular por una caldera. El agua caliente hace que la resina térmica se endurezca en unas pocas horas, haciendo el cambio del Insitube flexible a una tubería rígida y estructuralmente resistente que queda incrustada dentro de la otra tubería. La nueva tubería no tiene uniones o juntas y generalmente es más fuerte que la tubería reemplazada. Se cortan luego los extremos y se remueven la tubería de inversión y el andamiaje. Normalmente, no se producen reparaciones complicadas con excavación debido a que la mayoría del trabajo se realiza sin remoción de



Fuente: Iseley and Najafi, 1995 (de Insituform®)

FIGURA 3 PROCESO TÍPICO PARA LA INSTALACIÓN DE UNA TUBERÍA POR MEDIO DEL ENDURECIMIENTO EN EL PUNTO DE APLICACION

El método CIPP puede ser aplicado para rehabilitar colectores con deficiencias tales como grietas, uniones desfasadas, y segmentos estructuralmente deficientes. El material de la resina fraguada térmicamente se incorpora con los materiales de la tubería existente para formar un sellado de mayor impermeabilidad que el de la mayoría de las otras técnicas de rehabilitación sin zanjás. Los dos métodos CIPP principales son el de montacarga fijo, y el de inversión en el punto de construcción. Estos métodos son utilizados durante la instalación para movilizar el tubo dentro de la tubería existente. El método de montacarga fijo utiliza el montacarga para arrastrar el tubo de revestimiento a lo largo de la tubería existente. Después de ser arrastrado, el tubo de revestimiento se infla para que quede fijo contra las paredes de la tubería existente. El método más común de inversión en el punto de construcción utiliza la gravedad y la presión de agua o de aire para forzar el tubo de revestimiento a través de la tubería existente para luego invertirlo. Este proceso de inversión presiona la tubería cubierta de resina contra las paredes de la tubería existente. Durante los métodos de montacarga y de inversión en el punto de construcción, se hace circular calor a través de la tubería nueva para endurecer la resina y formar así una incrustación fuerte de la tubería nueva con la existente. La Figura 3 muestra un proceso típico de CIPP mediante el método de inversión por presión de agua.



Fuente: Diseñado por Parsons Engineering Science, Inc., 1999

FIGURA 4 REVESTIMIENTOS DEFORMADOS Y EN POSICIÓN

Revestimiento con modificación de la sección transversal

Los métodos para el revestimiento con modificación de la sección transversal incluyen los métodos de deformación y reformación, el tratamiento químico (*swagelining*TM) y la compresión mecánica (*rolldown*). Estos métodos modifican el contorno de la sección transversal de la tubería o reducen su área transversal de manera tal que el revestimiento pueda ser desplegado a lo largo de la tubería existente. Posteriormente se hace la expansión del revestimiento para que se amolde al tamaño de la tubería existente.

Durante la rehabilitación de tuberías por deformación y reformación, una tubería flexible nueva es deformada e insertada en la tubería existente. El método de deformación de la tubería flexible varía de acuerdo al fabricante, e incluye diversos procesos conocidos como de "doblado y reformación". Un método típico es el de doblar el nuevo revestimiento en forma de "U", reduciendo su diámetro en un 30 por ciento, aproximadamente. Una vez que el revestimiento es arrastrado a lo largo de la tubería existente, se calienta y presuriza para que se amolde a la forma original de la tubería. La Figura 4 ilustra una sección transversal típica del revestimiento deformado, y en posición luego del ser reformado.

Otro método para lograr un ajuste apretado entre el revestimiento y la tubería existente es el de comprimir temporalmente la tubería nueva antes de que se coloque a lo largo de la tubería existente. Los procesos de *swagelining* y *rolldown* utilizan medios químicos y mecánicos, respectivamente, para reducir el área transversal del nuevo revestimiento.

Durante el proceso de *swagelining*, un proceso típico de reducción, la tubería nueva se calienta y se pasa posteriormente a través de una matriz reductora. Una reacción química entre la matriz y el material del revestimiento reduce temporalmente el diámetro del revestimiento entre un 7 y un 15 por ciento, y permite que el revestimiento sea arrastrado a lo largo de la tubería existente. A medida que el revestimiento se enfría, éste se expande hasta alcanzar su diámetro original.

El proceso de *rolldown* utiliza una serie de rodillos para reducir el diámetro del revestimiento. De la misma manera que en los métodos de deformación y reformación, se aplica calor y presión para expandir el revestimiento a su diámetro original una vez que se haya extendido a lo largo de la tubería existente.

A diferencia de los métodos CIPP, los de modificación de la sección transversal no utilizan resinas para retener el revestimiento en posición. Al no retener revestimiento con una capa de resina, estos métodos no tienen el requerimiento del tiempo de curado que sí es necesario para el endurecimiento en los métodos de CIPP. Un ajuste apretado se obtiene una vez que el revestimiento doblado se expande dentro del diámetro de la tubería existente por el calor y la presión aplicados. De la misma manera que en el método CIPP, se forman hoyuelos en las uniones de las tuberías laterales, y se emplean métodos similares para su reconexión.

Los materiales típicamente utilizados para revestimientos con modificación de la sección transversal incluyen el cloruro de polivinilo (*polyvinyl chloride*, PVC) y el polietileno de alta densidad (PAD).

Los métodos para la rehabilitación de colectores sin uso de zanjas son ahora aplicados en forma rutinaria en proyectos de mejora de sistemas de alcantarillado en los Estados Unidos y en muchos otros países. La rehabilitación sin

zanjas de colectores ha sido utilizada con éxito por grandes ciudades tales como New York, New York; Los Ángeles, California; Boston, Massachusetts; Miami, Florida; y Houston, Texas; y en municipalidades de menor tamaño tales como Baton Rouge, Louisiana; Madison, Wisconsin; y Amarillo, Texas. Kramer and Thomson (1997) estimaron que en el año 2000 el valor comercial de los proyectos de rehabilitación de colectores y tuberías a presión costarán \$5 mil millones de dólares a nivel mundial.

En muchas municipalidades los proyectos para la rehabilitación de colectores son una parte esencial de los programas de operación y mantenimiento (O/M) de los sistemas de alcantarillado. Por ejemplo, como parte de un programa de O/M centrado en un mantenimiento preventivo continuo, el Condado de Fairfax en Virginia identificó la necesidad de realizar las actividades de rehabilitación a dos cuencas antiguas de la red de alcantarillado. Todos los colectores y tuberías principales dentro de cada cuenca fueron inspeccionados por televisión. Los resultados de la inspección por televisión serán utilizados para asignar prioridades a las necesidades de limpieza, y para ayudar a determinar las medidas apropiadas de rehabilitación. Los proyectos considerados dentro de las cuencas de alcantarillado han utilizado los métodos de CIPP, y los de doblado y reformación. En un esfuerzo para monitorear la eficacia de las obras de rehabilitación, el departamento instaló medidores de aforo permanentes y temporales en las dos cuencas del alcantarillado. Los procedimientos del Condado de Fairfax, enfocados al mantenimiento, han reducido el caudal promedio que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales a pesar de que durante varios años la precipitación pluvial ha sido mayor a la normal.

APLICABILIDAD

Mientras que las técnicas sin uso de zanjas se pueden aplicar para la rehabilitación de tuberías existentes en una variedad de condiciones, estas técnicas son particularmente valiosas en ambientes urbanos en donde los impactos de construcción son particularmente negativos para los negocios, los dueños de viviendas, y el tráfico automotor y peatonal. La presencia de otros servicios subterráneos y la infraestructura

existente representan un obstáculo para el uso del método tradicional de excavación y reemplazo, y por esto las técnicas sin zanjas son usadas extensamente en las áreas en donde aquellas están presentes. La mayoría de las técnicas sin zanja son aplicables tanto a las tuberías por gravedad como a las tuberías a presión. Diversos métodos sin uso de zanja tienen el potencial de realizar reparaciones

TABLA 1 COMPARACIÓN DE LAS DIVERSAS TÉCNICAS UTILIZADAS PARA LA REHABILITACIÓN DE COLECTORES

	Método	Rango de diámetro, mm (pulgadas)	Instalación máxima, m (pies)	Material de la tubería nueva
Expansión en línea	Fractura de la tubería	100-600 (4-24)	230 (750)	PE, PP, PVC, GRP
Inserción de revestimiento	Por segmentos	100-4000 (4-158)	300 (1000)	PE, PP, PVC, GRP (-EP y -UP)
	De instalación continua	100-1600 (4-63)	300 (1000)	PE, PP, PE/EPDM, PVC
	Envoltura en espiral	150-2500 (6-100)	300 (1000)	PE, PVC, PP, PVDF
Revestimientos de endurecimiento en el punto de aplicación	Inversión en el lugar de la obra	100-2700 (4-108)	900 (3000)	Resina termofijada/ compuesto de tejido
	Con montacarga en el lugar de la obra	100-1400 (4-54)	150 (500)	Resina termofijada / compuesto de tejido
	Revestimiento aplicados por rocío	76-4500 (3-180)	150 (500)	Resina epóxica/ mezcla de cemento
Revestimiento de la sección transversal modificada	Doblado y formación	100-400 (4-15)	210 (700)	PVC (termoplástico)
	Deformación y reformación	100-400 (4-15)	800 (2500)	PAD (termoplástico)
	Reducción química	62-600 (3-24)	300 (1000)	PAD, PMD
	Reducción física (<i>Rolldown</i>)	62-600 (3-24)	300 (1000)	PAD, PMD
	Revestimiento de pared delgada	500-1100 (20-46)	960 (3000)	PAD
Reparación puntual interna	Reparación con robots	200-760 (8-30)	NA	Mezcla de cemento, resinas epóxicas
	Lechado y sellado, y aplicación con rocío	NA	NA	Mezcla química
	Sellado con articulaciones	100-600 (4-24)	NA	Mangas especiales
	Tubería endurecida en el punto de aplicación	100-600 (4-24)	15 (50)	Fibra de vidrio/ poliéster, etc.

Nota: Los métodos de inserción de revestimiento envuelto, reparación robótica, y endurecimiento de la tubería en el punto de aplicación sólo pueden ser utilizados para tuberías de flujo por gravedad. Todos los demás métodos pueden ser utilizados con tuberías de gravedad o a presión.

EPDM: monómero de polipeleno etileno (*ethylene polypelene diene monomer*)

GRP: poliéster reforzado con fibra de vidrio (*glassfiber-reinforced polyester*)

PAD: polietileno de alta densidad

PMD: polietileno de mediana densidad

PE: polietileno

PP: polipropileno

PVC: cloruro de polivinilo (*poly vinyl chloride*)

PVDF: cloruro de polivinilideno (*poly vinylidene chloride*)

Fuente: Iseley and Najafi (1995)

puntuales, así como de hacer el revestimiento de las tuberías de un pozo de acceso al siguiente.

En la mayoría de las aplicaciones las técnicas para la rehabilitación sin zanjas de colectores requieren un menor tiempo de instalación y por lo tanto tienen una menor necesidad de bombeo para el desvío del flujo con relación a los métodos tradicionales de excavación y reemplazo. El tiempo de instalación puede ser crítico en el procedimiento para decidir entre los métodos de rehabilitación sin zanjas de los colectores y los de excavación y reemplazo. Por ejemplo, al considerar las opciones de reparación o de reemplazo de un conducto de impulsión que cruza el río Elba en Heidenau, Alemania, los funcionarios de la ciudad determinaron que la tubería no podría estar fuera de servicio por más de 12 días (Saccogna, 1998). Como resultado de esta limitación de tiempo, así como la necesidad de reducir la interrupción del tráfico de barcos, los funcionarios de la ciudad eligieron rehabilitar la alcantarilla utilizando el proceso de *swagelining*TM. El conducto, rehabilitado con éxito, estuvo fuera de servicio por sólo ocho días.

La rehabilitación sin zanjas de colectores puede ser realizada para aumentar la capacidad hidráulica del sistema de recolección. Mientras que la expansión por fractura de la tubería

generalmente produce el mayor incremento de la capacidad hidráulica, la rehabilitación con otros métodos sin uso de zanjas puede también incrementar la capacidad hidráulica al reducir la fricción. Se puede realizar un análisis hidráulico de las condiciones antes y después de la rehabilitación para evaluar el impacto en la capacidad del sistema de recolección. En general, el análisis hidráulico es realizado por los ingenieros municipales y/o consultores quienes preparan las especificaciones para los contratistas.

Cada uno de los métodos sin zanja para la rehabilitación descritos anteriormente han sido utilizados en diversas aplicaciones para un amplio rango de tamaños y longitudes de tuberías. Una comparación de las técnicas sin uso de zanjas se muestra en la Tabla 1.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Por medio de la reducción de los niveles del caudal de I/A en el sistema de recolección, los proyectos de rehabilitación sin zanjas pueden asistir a comunidades en el cumplimiento con las normas de EPA del Acta de Aguas Limpias (*Clean Water Act*). De esa manera se protege la

integridad de los cuerpos receptores de agua que están potencialmente expuestos a altas concentraciones contaminantes, al reducir el caudal de desborde de agua residual de los drenajes combinados. Además de la mejora potencial de la calidad de los cuerpos de agua receptores, la rehabilitación sin zanjas de colectores requiere un trabajo de construcción substancialmente menor que el requerido por los métodos tradicionales de excavación y reemplazo. En áreas de humedales y en áreas con vegetación establecida, los efectos de las actividades de construcción pueden impactar profundamente a las plantas y al hábitat acuático. La construcción de servicios subterráneos puede alterar las actividades de los ciudadanos que viven y que trabajan en las áreas cercanas a las de construcción. La rehabilitación sin zanjas de colectores, dado su potencial de reducir las perturbaciones del terreno con relación a los métodos de excavación y reemplazo, puede reducir el número de los desvíos del tráfico y de peatones, evitar la remoción de árboles, disminuir los ruidos producidos por la construcción, y reducir la contaminación atmosférica por el uso del equipo de construcción. Además de estas ventajas, la reducción de la cantidad de la construcción subterránea y en la superficie del terreno restringe las zonas de trabajo a un número limitado de puntos de acceso, y reduce el área en donde debe identificarse y solucionarse las preocupaciones de seguridad ocupacional. Las técnicas para la rehabilitación se deben seleccionar considerando las limitaciones del sitio, las características del sistema, y los objetivos del proyecto. Una comparación de los costos económicos, culturales y sociales de los métodos de rehabilitación de colectores por excavación y reemplazo puede ayudar a determinar si la rehabilitación sin zanjas de colectores es o no conveniente, y económicamente factible para un sitio en particular. Debido a que algunas excavaciones pueden ser requeridas para reparaciones puntuales, las limitaciones de la

construcción deben ser evaluadas para decidir si las técnicas de rehabilitación sin zanjas pueden ser aplicadas. Si existen cambios importantes en la sección transversal entre los pozos, o si la alineación existente, la pendiente, o el material existente del lecho de la tubería deben ser cambiados, cada tubería debe ser rehabilitada como un segmento independiente, requiriendo actividades de excavación aún mayores. Las limitaciones específicas de cada método de rehabilitación sin zanjas de colectores se enumeran en la Tabla 2. Como se puede apreciar, los métodos de inserción de revestimiento, el de deformación y reformación, y el de endurecimiento de la tubería reducen el diámetro de la tubería, y tienden a disminuir la capacidad hidráulica del colector. La tubería rehabilitada, sin embargo, puede tener una menor rugosidad que la original. El coeficiente de rugosidad depende del material de la tubería. Los nuevos materiales plásticos de alto rendimiento tienden a reducir la rugosidad de la tubería a diferencia de los materiales de concreto ya envejecidos. Además, la capacidad hidráulica puede ser modificada durante la rehabilitación si la infiltración de agua subterránea se desvía en forma no intencional a tuberías laterales que no tengan revestimiento. Se puede realizar una evaluación para determinar si el cambio en la fricción de la tubería y el desvío del agua subterránea compensan por la disminución del diámetro de la tubería, y se satisfacen los objetivos del proyecto de incremento de capacidad máxima de caudal y/o de reducción de derrames del colector sanitario.

La mayoría de las aplicaciones sin zanjas para la rehabilitación requieren que las tuberías laterales estén cerradas por un período de 24 horas. El tratar de coordinar con los dueños de las propiedades la suspensión temporal del servicio puede ser una tarea muy difícil y no bien recibida. Las condiciones imprevistas pueden incrementar el tiempo de construcción y aumentar el riesgo y la responsabilidad al cliente y al contratista. Por ejemplo, durante un

proyecto de rehabilitación en Norfolk, Virginia, la fractura de la tubería tuvo que ser coordinada con la reubicación de una subestación eléctrica próxima y se tuvo que redirigir el flujo de una tubería de impulsión que se encontró en un pozo de acceso en donde iba a ubicar una excavación para la inserción (Small, Gidley, and Riley, 1997). Además de estas eventualidades, diversos servicios subterráneos abandonados que no estaban indicados en los expedientes de la ciudad o servicios públicos fueron encontrados durante el desarrollo del proyecto. Tales condiciones en suelos subterráneos se encuentran en muchas otras zonas urbanas en los Estados Unidos. Cuando se planifica la rehabilitación sin zanjas, se deben coordinar los proyectos de obras y servicios públicos de otras agencias con los proyectos de rehabilitación del alcantarillado.

DESEMPEÑO

La eficiencia de las técnicas sin zanjas en la reducción del caudal de I/A puede ser determinada mediante aforos realizados antes y después la rehabilitación. La eficacia típicamente se calcula por medio de la correlación de los datos de aforo y los del volumen máximo de I/A que ingresa al sistema de recolección. Otro método para calcular el I/A es el aislar la tubería rehabilitada y aforar los caudales antes y después de la rehabilitación.

El funcionamiento de los proyectos de rehabilitación de colectores en tres comunidades al noreste de Illinois fue documentado por Goumas (1995). Los resultados del monitoreo dentro de estas tres comunidades antes y después de los aforos señalan que se lograron reducciones del caudal de I/A del 49, 65 y 82 por ciento. La Comisión Suburbana de Saneamiento de la ciudad de Washington (*Washington Suburban Sanitary Commission*,

WSSC) utiliza el método de aislamiento y medición para evaluar el funcionamiento de los proyectos de rehabilitación. Un análisis de 98 colectores principales que fueron rehabilitados entre 1989 y 1995 indica que el caudal de I/A se redujo en un 70 por ciento en los colectores rehabilitados (WSSC, 1998). El Departamento

TABLA 2 LIMITACIONES DE LAS ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN SIN ZANJAS DE COLECTORES

Método	Limitaciones
Fractura de la tubería	Se requiere el desvío del caudal. Se requiere excavación para la inserción. La acción de impacto puede causar un movimiento de tierra significativo. Puede no ser adecuado para todos los materiales.
Inserción del revestimiento	Se requiere excavación para la inserción. Reduce el diámetro de la tubería. No muy adecuado para las tuberías de diámetro pequeño.
Tubería endurecida en el punto de aplicación (CIPP)	Se requiere el desvío del caudal. El endurecimiento de la tubería puede ser difícil en segmentos largos de tuberías. Se debe permitir un tiempo adecuado para el endurecimiento de la tubería. La instalación deficiente puede ser difícil de corregir. La resina puede coagularse en el fondo de la tubería. Reduce el diámetro de la tubería.
Revestimiento con modificación de la sección transversal	Se requiere el desvío del caudal. La sección transversal puede encogerse, o no desdoblarse después de la expansión. Reduce el diámetro de la tubería. Puede presentarse una infiltración entre la tubería nueva y la tubería existente a menos se haga un sellado. La tubería nueva puede proporcionar un soporte estructural inadecuado.

de Agua y Alcantarillado de Miami-Dade (*Miami-Dade Water and Sewer Department*, MDWASD) está culminando uno de los programas más grandes en el país para la reducción del caudal de infiltración y afluencia. El programa, cuya meta es la reducción del caudal de I/A en todo el sistema, utiliza las técnicas de rehabilitación de doblado y reформación, de tubería endurecida en el punto de aplicación, de fractura de la tubería, y de inserción del revestimiento junto con reparaciones puntuales y robóticas. La MDWASD ya ha tenido con éxito este programa; una reducción promedio del caudal de I/A del 19 por ciento (20 millones de galones por día) fue lograda entre enero de 1995 y mayo de 1998 con base en la comparación del caudal de la planta y el facturado (MDWASD, 1998).

En el condado de Fairfax, Virginia, entre junio de 1994 y junio de 1998, los caudales de periodos de lluvia fueron reducidos significativamente dentro de las dos cuencas de alcantarillo identificadas en el programa del condado de rehabilitación preventiva. Esto se logró pese a que el programa se limitó a las tuberías principales y troncales, y no incluyó el control de caudales de I/A provenientes de las tuberías laterales privadas (Fairfax County, 1998).

TABLA 3 RANGO TÍPICO DE COSTO PARA COLECTORES PEQUEÑOS DE ALCANTARILLADO

Técnica	Diámetro de la tubería, mm (pulgadas)	Rango de costo por metro lineal (por pie)
Fractura de la tubería	203 (8)	\$130 - \$260 (\$40 – 80)
Inserción de revestimiento	427 (21)	\$260 - \$550 (\$80 – 170)
Tubería endurecida en el punto de aplicación	203 (8)	\$80 - \$215 (\$25 – 65)
Revestimiento con modificación de la sección transversal	203 (8)	\$58 - \$162 (\$18 – 50)

Fuente: Kung'u (1998), Burkhard (1998), costo en dólares cotizados en 1998.

Estos costos son indicativos de los de algunos proyectos, pero el costo de cada proyecto es específico para cada lugar en particular.

Estos estudios deben ser utilizados solamente como un indicador de la remoción potencial del caudal de I/A. Las tasas de remoción varían dependiendo del material y de la condición de la tubería, del tipo de suelos locales, del flujo del agua subterránea, y de otras condiciones específicas del lugar.

COSTOS

La Tabla 3 muestra el rango de costos para la rehabilitación sin zanjas de un colector principal del alcantarillado de un tamaño típico. Estos costos incluyen la limpieza del colector (el costo se incrementa por las obstrucciones grandes y las reparaciones puntuales), y la inspección del colector antes y después de su rehabilitación. La rehabilitación de colectores por medio de los dos métodos, el método sin zanjas y el tradicional de excavación y reemplazo, puede reducir los costos de tratamiento y de las actividades de operación y mantenimiento en la planta al eliminar, potencialmente, los caudales de I/A. Además del ahorro de costos en el tratamiento, los costos de energía para la conducción de los caudales a la planta de tratamiento podrían también verse reducidos debido a la disminución del caudal.

Una comparación de costos entre el método de rehabilitación sin zanjas y el tradicional debe considerar la condición y características del lugar de la tubería existente. Los factores que determinan los costos de un proyecto de rehabilitación sin zanjas incluyen:

- El diámetro de la tubería;
- La cantidad de tubería a ser rehabilitada;

- Las deficiencias específicas de la tubería (tales como las uniones desfasadas, la intrusión de raíces, el agrietamiento severo, u otras deficiencias);
- La profundidad de la tubería a ser reemplazada, y los cambios de pendiente a lo largo de la tubería;
- La ubicación de los pozos de acceso;
- El número de puntos de acceso adicionales que necesitan ser excavados;
- La ubicación de otros servicios que tienen que ser evitados durante la construcción;
- La provisión de medidas para el desvío del flujo;
- El número de las conexiones del servicio que necesitan ser reinstaladas; y
- El número de cambios direccionales en los puntos de acceso.

En general, la rehabilitación sin zanjas de colectores es más económica con respecto al método tradicional de excavación y reemplazo en la medida que se reduce la cantidad de excavación requerida para la obra. Además de los costos de excavación y de instalación, las actividades de limpieza e inspección son típicamente requeridas antes de la rehabilitación del colector.

REFERENCIAS

1. Fairfax County Department of Public Works, Burke, Virginia, 1998. I. Khan, Director of Line Maintenance Division, personal communication with Parsons Engineering Science, Inc.

2. Goumas, J., 1995. "Tri-Villages of Greater Chicago Reduce I/I with CIPP," *Trenchless Technology* 4(3): 70-71.
3. Iseley, T. and M. Najafi, 1995. *Trenchless Pipeline Rehabilitation*. Prepared for the National Utility Contractors Association, Arlington, VA.
4. Kramer, S. R. And J. C. Thomson, 1997. "Trenchless Technology in the Year 2000 and Beyond." In *Trenchless Pipeline Projects: Practical Applications*, ed. Lynn E. Osborn, pp.174-182. New York: ASCE.
5. Kung'u, Francis, 1998. Excavation and Elimination: No-Dig Solutions to Sewer Problems, *Civil Engineering News* 10 (7): 45-49.
6. Kutz, G.E. Predicting I/I Reduction for Planning Sewer Rehabilitation, 1997. In *Trenchless Pipeline Projects: Practical Applications*, ed. Lynn E. Osborn, pp.103-110. New York: ASCE.
7. Miami-Dade Water and Sewer Department, (MDWASD) Coral Gables, FL, 1998. L. Aguiar, Assistant Director, personal communication with Parsons Engineering Science, Inc.
8. Pipeline Rehabilitation Council, 1998. M. Burkhard, president, personal communication with Parsons Engineering Science, Inc.
9. Saccogna, Laura L., 1998. Swagelining Renews Force Main Under the Elbe River,

Trenchless Technology International 2(1): 28-29.

10. Small, A.B., J.S. Gidley, and D.A. Riley, 1997. "Design and Rehabilitation of an Urban Gravity Interceptor Using Pipebursting in Norfolk, Virginia," *Trenchless Pipeline Projects: Practical Applications*, ed. Lynn E. Osborn, pp.174-182. New York: ASCE.
11. Washington Suburban Sanitary Commission, Laurel, MD, 1998. A. Fitzsimmons, Washington Suburban Sanitary Commission, personal communication with Parsons Engineering Science, Inc.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Fairfax County, Virginia
 Ifty Khan, Director -Line Maintenance Division
 Fairfax County Department of Public Works
 6000 Freds Oak Road
 Burke, VA 22015

Louisiana Tech University
 Raymond L. Sterling, Ph.D., P.E.
 Trenchless Technology Center
 West Arizona Avenue
 P.O. Box 10348
 Ruston, LA 71272-0046

Miami-Dade Water and Sewer Department
 Luis Aquiar, Assistant Director
 4200 Salzedo St.
 Coral Gables, FL 33146

Missouri Western State College
 Mohammad Najafi, Ph.D., P.E.
 Department of Engineering Technology
 St. Joseph, MO 64507

La mención de marcas o de productos comerciales no significa que la Agencia de

Protección Ambiental de los Estados Unidos
apruebe o recomiende su uso.

Municipal Technology Branch
U.S. EPA
Mail Code 4204
1200 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, D.C. 20460



Para mayor información, contactarse con: