

# Rehabilitación de Tuberías de Gran Diámetro para Alcantarillado

De Oro, Julio

Ingeniero Civil

Investigador Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA). E-mail: vj.de71@uniandes.edu.co.

Saldarriaga, Juan

Ingeniero Civil, MSc.

Profesor Titular Universidad de los Andes, Director del Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA). E-mail: jsaldarr@uniandes.edu.co.

## XVIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología

Sociedad Colombiana de Ingenieros

Bogotá D.C. 22, 23, y 24 de mayo de 2008

**Resumen.** Las redes de alcantarillado requieren frecuentemente de una gran capacidad hidráulica proporcionada por amplias secciones transversales de grandes diámetros de tuberías, lo que ha obligado en las últimas décadas a desarrollar diferentes tecnologías de renovación y reemplazo que permitan evitar elevados movimientos de tierra y que mitiguen de alguna manera los impactos al ambiente y a la comunidad. El objetivo del presente trabajo es exponer las principales tecnologías existentes para rehabilitar tuberías de alcantarillado mayores a 450 mm de diámetro nominal. Se encontraron metodologías alternativas a la excavación y reemplazo como son la inserción de revestimiento y sus modificaciones, la rotura de la tubería, la reparación puntual interna, entre otras. Es necesario verificar los beneficios y los costos de la aplicabilidad de cada tecnología alternativa para cada caso en particular ya que se requiere la justificación de los impactos negativos evitados.

**Palabras clave.** Alcantarillados, rehabilitación de tuberías, tecnologías sin zanja.

## 1. Introducción

Dentro de los proyectos realizados por el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados de la Universidad de los Andes (CIACUA) se encuentra la Cátedra PAVCO, que busca investigar sobre los principales aspectos relacionados con la infraestructura de los acueductos y los alcantarillados en coordinación entre la industria y la academia. Dentro de las investigaciones que se plantean en la cátedra se encuentra la indagación acerca de las nuevas tecnologías en redes, tanto de acueducto como de alcantarillado, por lo que en el presente artículo se muestra el resultado de las características encontradas de las técnicas de rehabilitación de tuberías de gran diámetro para alcantarillado.

Se ha clasificado como gran diámetro en redes de alcantarillado a la medida igual o superior a 450 mm nominales (18") en la sección transversal del conducto debido al nivel de costo que involucra la rehabilitación de un sistema tuberías de tales dimensiones.

La rehabilitación de redes comprende todos los tipos de mejora de los servicios funcionales de un sistema de alcantarillado existente, incluye al reemplazo, la renovación y el mantenimiento de las tuberías.

La tecnología más conocida y utilizada en nuestro país es el reemplazo por zanja abierta. Sin embargo no es posible desconocer la fuerza que ha tomado en el mundo la utilización de tecnologías con mínima o nula excavación denominadas tecnologías sin zanja (*Trenchless Technologies*). Las tecnologías sin zanja son todos aquellos procedimientos que permiten instalar, reemplazar, renovar y reparar la infraestructura subterránea con una mínima afectación de superficie (Mckim, 1997).

La afectación de superficie relaciona al proyecto con una serie de costos indirectos para la comunidad y costos sociales para la sociedad en general. Entre los costos indirectos se encuentran los daños a las propiedades adyacentes, las pérdidas en las ventas de los negocios, el incremento en el mantenimiento de las vías, la reducción de zonas de parqueo, etc. Los costos sociales involucran aspectos como aumento de la polución y el ruido, la baja de productividad en los ciudadanos, el aumento de los accidentes, la afectación del tráfico, entre otros.

El incremento de la conciencia ambiental en los países y la búsqueda de la reducción de los tiempos de ejecución en las obras de alcantarillado han motivado al desarrollo de variantes a las tecnologías tradicionales. Adicionalmente, se han logrado reducir costos directos en la ejecución al disminuir los volúmenes de excavación, almacenamiento en obra, mano de obra, horas de maquinaria, etc.

El conjunto total de las tecnologías de rehabilitación de redes de alcantarillado puede ser clasificado de variadas maneras de acuerdo con las características del proyecto de construcción y a la necesidad de incorporar las capacidades funcionales de la tubería original. En la Figura 1 se muestra la clasificación establecida en las investigaciones del CIACUA. Se han dividido las metodologías de rehabilitación en tecnologías con y sin zanja. El proceso de apertura de zanja es considerado reemplazo en sus dos versiones, abierta y estrecha, mientras que las tecnologías sin zanja pueden ser catalogadas como reemplazo o renovación dependiendo de la práctica utilizada. De manera complementaria a las labores de rehabilitación se utilizan siempre las actividades de inspección y limpieza mostradas en forma paralela al diagrama de la figura mencionada.

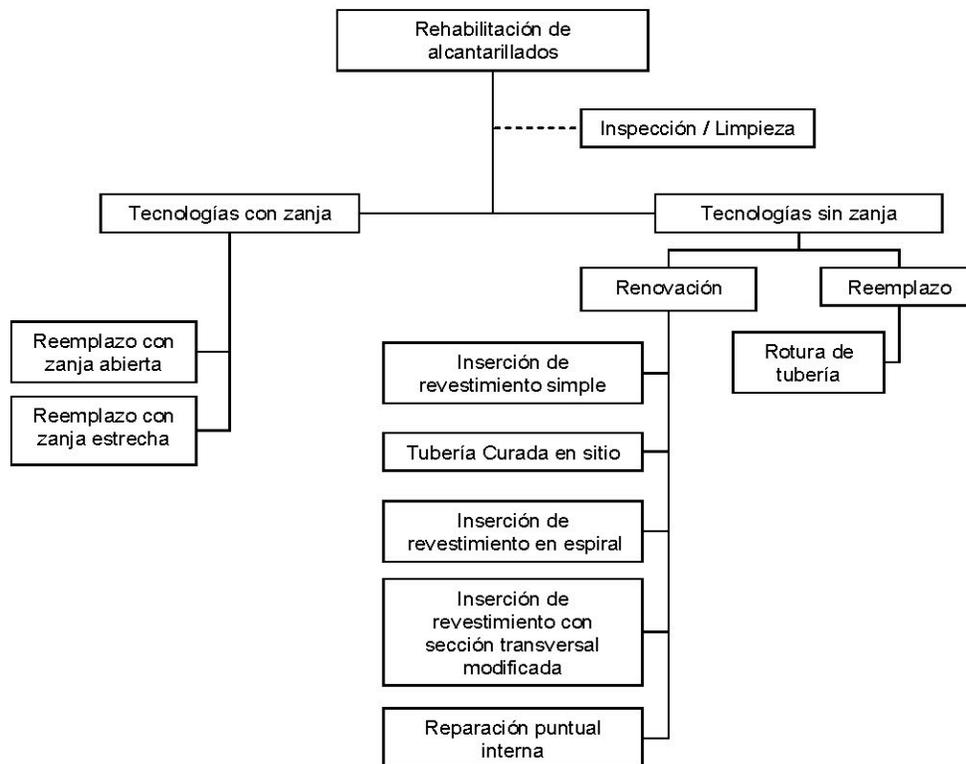


Figura 1 Tecnologías de rehabilitación de alcantarillados

A continuación se explica con más detalle los aspectos relacionados con las técnicas mostradas en la Figura 1.

## 2. Tecnologías de rehabilitación

### 2.1. Tecnologías de reemplazo

El reemplazo comprende a las actividades de rehabilitación que se realizan por medio de la instalación de una tubería nueva, sin tener en cuenta la existencia ni la funcionalidad de la tubería original. El nuevo conducto puede tener capacidad hidráulica igual o superior a la de la tubería original. Las labores de reemplazo pueden realizarse a partir de la excavación de zanjas o rotura de la tubería existente.

#### 2.1.1. Zanja abierta – Trenching rehab

El método de apertura de zanja es el más usado para reemplazar tuberías. El procedimiento general consiste en excavar una zanja, remover la tubería existente, preparar las condiciones de soporte de la nueva tubería, instalar y rellenar la zanja alrededor de la tubería nueva con materiales especificados de acuerdo con un diseño estructural y compactando con los equipos adecuados.

La excavación de tuberías con zanja se divide en zanja abierta y zanja estrecha (Ver Figura 2). La zanja abierta es el sistema tradicional en que se prepara la zanja con taludes o entibado. La zanja estrecha utiliza máquinas con cortadoras o cucharones capaces de controlar el ancho y la profundidad que se desea obtener en la excavación.



**Figura 2** Reemplazo de tuberías de alcantarillado por medio de zanja (a) zanja abierta (b) zanja estrecha

El reemplazo con zanja abierta es aplicable a cualquier rango de diámetros de tuberías. Dependiendo de la maquinaria que se utilice y de la precisión que se requiera en el trabajo se necesita mayor o menor cantidad de mano de obra, la mayoría de ésta poco calificada. El rendimiento del procedimiento puede variar dependiendo del tipo de suelo en que se trabaje y de la profundidad a lograr, siendo siempre más eficiente la zanja estrecha que la zanja abierta en los casos en que ambas técnicas sean factibles.

### 2.1.2. Rotura de la tubería – Pipe bursting

La metodología consiste en remover la tubería existente al mismo tiempo que se instala la nueva línea por medio de destrucción neumática, expansión hidráulica o halado estático. Puede instalarse con éxito para los tramos de tubería típicos que miden entre 90 y 120 metros con diámetros nominales entre 100 mm y 900 mm (4" a 36").

Esta técnica compete con la zanja abierta cuando hay pocas conexiones laterales ya que las destruye a su paso y se requiere volver a realizarlas. Al compararse con el resto de tecnologías sin zanja la ventaja existe cuando se requiere aumentar el diámetro nominal de la tubería antigua, ya que permite un crecimiento en un 150% (Ver Figura 3).



**Figura 3** Reemplazo por rotura de la tubería existente (a) Instalación de la cabeza de rotura (b) Esquema de rompimiento

## 2.2. Tecnologías de renovación

La renovación comprende aquellas actividades en que se mejoran las propiedades de una tubería existente por la instalación de una línea nueva, incorporándole al material original la función de tubo huésped.

### 2.2.1. Inserción de revestimiento simple – Sliplining

La inserción de revestimiento simple es un método de renovación con poca excavación, cuya cantidad del material removido depende del tamaño del diámetro a instalar y del espacio disponible para el procedimiento. Consiste en la inserción de una nueva tubería dentro de otra existente de diámetro mayor. El espacio intermedio entre las tuberías es rellenado anularmente con mortero o epóxicos para prevenir infiltraciones y lograr la integridad estructural.

El proceso puede completarse por técnicas de halado y/o empuje ya sea para el tramo continuo o por instalación de segmentos. La técnica es aplicable a diámetros hasta de 1600 mm (63") en el proceso continuo y en la variación por segmentos hasta 4000 mm (158"). La técnica segmentada puede prepararse especialmente para alcantarillas (*Cuverts*) de cualquier geometría (Ver Figura 4). La tecnología es ventajosa con respecto a la zanja cuando logra velocidades de instalación superiores a la excavación lineal.



Figura 4 Inserción de revestimiento simple (a) tubería continua (b) segmentada

### 2.2.2. Inserción de revestimiento en espiral – Spiral Wound Lining

Esta técnica utiliza fibras plásticas o de acero, colocadas en espiral o helicoidalmente para formar una nueva línea de tubería en el sitio. Luego de la colocación y verificación de la ubicación de las fibras se rellena el espacio anular entre tuberías.

La maquinaria utilizada en esta técnica varía dependiendo si el tamaño del tubo huésped permite o no la entrada de personal (Ver Figura 5). Permite la instalación de variadas formas y tamaños de tuberías de aguas residuales o lluvias, hasta de 2500 mm, con un rendimiento elevado ya que no requiere traslado ni almacenamiento de los tubos en la zona de obra.

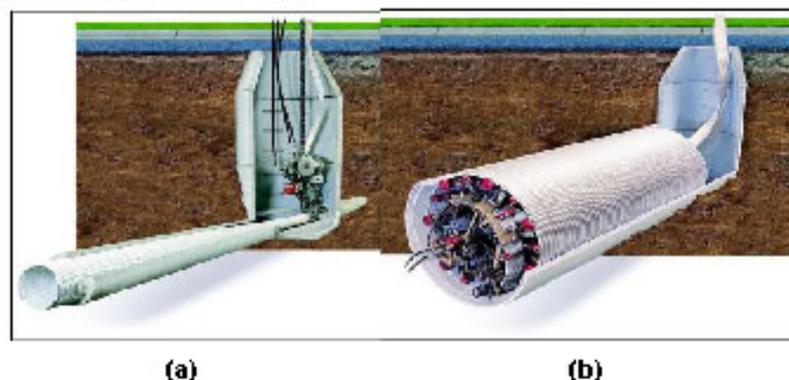


Figura 5 Inserción de revestimiento en espiral (a) con maquinaria estática (b) con maquinaria desplazante

### 2.2.3. Inserción de revestimiento con sección transversal modificada – Fold and Form Lining

Existen inserciones de revestimiento que buscan un ajuste perfecto entre la tubería antigua y la nueva deformando sustancialmente el nuevo material antes de colocarlo para que una vez en la posición deseada recupere su forma y se adapte a la tubería huésped. La deformación y recuperación puede lograrse por procesos físicos o químicos (Ver Figura 6).

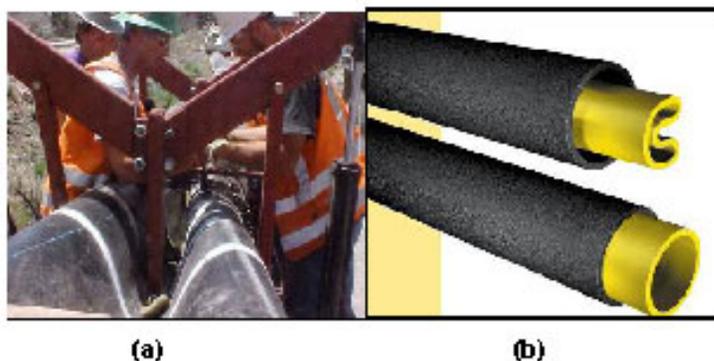


Figura 6 Inserción de revestimiento con sección transversal modificada (a) Deformación del material (b) Esquema del proceso

Las principales formas en que se inserta el revestimiento corresponden a "U", "C" y "H". Luego, lo más común es usar calor o presión para restaurar la forma del conducto y la circulación del flujo. Los diámetros en que se encuentran disponibles varían entre 75 mm y 750 mm (3" y 30"). Es competitiva con otras tecnologías de inserción de revestimiento debido a que no requiere sellado anular, pero está limitada a tuberías circulares.

### 2.2.4. Inserción de revestimiento por reducción química del diámetro – Swagelining

Este método consiste en la inserción de una nueva tubería de polietileno de alta o media densidad, dentro de otra línea de alcantarillado existente. La nueva tubería es calentada y luego introducida en una matriz que reduce el diámetro por una reacción con el material (Ver Figura 7). Luego se aprovecha la propiedad de memoria de los materiales poliméricos y cuando el material se enfría se recupera el tamaño original del revestimiento insertado. La reducción del diámetro que se logra con el proceso químico es aproximadamente del 7% al 15%.



Figura 7 Proceso de reducción química del diámetro (a) Matriz reductora (b) Montaje del proceso

El proceso es completado por procesos de halado y resultado es una nueva línea de alcantarillado perfectamente ajustada a la original. Es aplicable a diámetros hasta de 600 mm (24"). Entre las desventajas del proceso se encuentra que sólo es aplicable a secciones circulares y ofrece dificultad al hacer los cortes finales.

### 2.2.5. Inserción de revestimiento por reducción física del diámetro – Rolldown

Como técnica alternativa a la reducción química del diámetro existe la reducción en frío. Esta técnica es usada principalmente para tuberías de agua potable aunque se puede emplear para diámetros de alcantarillado hasta de 600 mm (24").

Es similar a la reducción química sólo que en este caso la tubería es deformada en frío con ayuda de una garganta conformada por un par de rodillos adaptados al diámetro que se quiere lograr (Ver Figura 8). La reducción que se logra es de aproximadamente 10%. Es un procedimiento poco utilizado en alcantarillados debido a sus limitaciones de diámetro, pero por otro lado, compite con la técnica de apertura de zanja por la reducción en la cantidad de excavación.

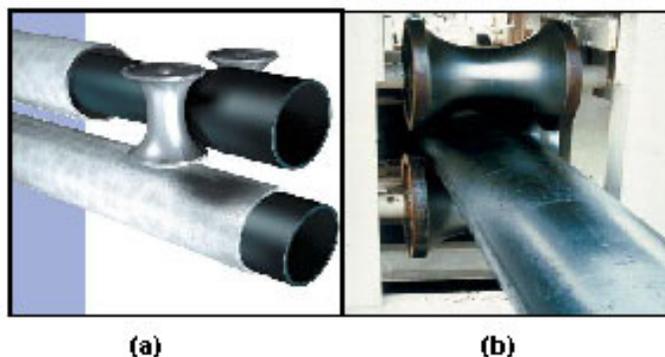


Figura 8 Proceso de reducción física del diámetro (a) Esquema del proceso (b) Rodillos reductores

### 2.2.6. Tubería curada en sitio- Cured in place pipe (CIPP)

El proceso consiste principalmente en introducir una bolsa impregnada de resinas plásticas dentro de la línea de alcantarillado deteriorada, tales resinas sufren toda una reacción química activada por fuentes de calor que convierten el revestimiento en un tubo estructuralmente resistente luego de un proceso de curado de varias horas.

Existen dos maneras principales de introducir el revestimiento con resina impregnada: la primera consiste en inversión con agua y la segunda en halado en sitio con sistemas de cables (Ver Figura 9). El halado con cables se utiliza en aquellos casos en que la inversión no es técnica ni económicamente factible. El proceso de curado puede realizarse calentando agua o variablemente con adición de vapor o uso de luz ultravioleta. El proceso de halado puede aplicarse hasta diámetros de 1400 mm (54") y el de inversión logra recuperar tuberías hasta de 2700 mm (108").



Figura 9 Tuberías curadas en sitio (a) Inversión con agua (b) Halado con cables

### 2.2.7. Reparación puntual interna- Point repairs

Existen casos en los proyectos de rehabilitación de alcantarillados en que las fallas, fugas e infiltraciones pueden ser controladas por reparaciones localizadas de la estructura de la tubería y/o sus empalmes. Las reparaciones puntuales involucran distintos tipos de procedimientos; entre ellos se encuentran el lechado y sellado de juntas, la aplicación de mortero por rocío, la instalación de anillos estructurales, la reparación robotizada y el curado puntual en sitio.

La aplicación de las reparaciones puntuales depende del procedimiento utilizado. La reparación de juntas por lechadas epóxicas es posible para cualquier diámetro mientras sea posible la entrada de personal. Las reparaciones con robots que sellan fugas y exfiltraciones con la adición de resinas epóxicas y/o mortero puede emplearse en tramos hasta de 760 mm (30") de diámetro. Los anillos estructurales han demostrado un buen comportamiento para diámetros hasta de 600 mm (24"). La recuperación de líneas de alcantarillado por rocío de mortero es adaptable a diámetros hasta de 4500 mm (180").

La tecnología de curado en sitio puede adaptarse a tramos de 1 a 3 metros de longitud con diámetros del conducto hasta de 600 mm (24") para solucionar problemas de fugas como también puede ser el caso en que se requiera reparar conexiones domiciliarias (Ver Figura 10).

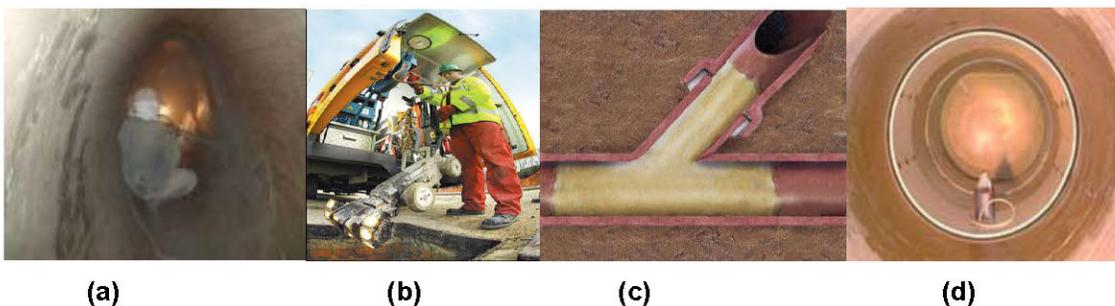


Figura 10 Reparaciones puntuales internas (a) Rocío de mortero (b) Instalación de robot (c) Curado puntual en sitio para conexión domiciliaria (d) Anillo estructural

### 3. Selección del procedimiento de rehabilitación apropiada

Todo proyecto de rehabilitación empieza con un análisis de las condiciones existentes para definir el conjunto de necesidades hidráulicas y estructurales de la red. Los procedimientos de limpieza e inspección permiten examinar la situación en que se encuentran los tramos del sistema.

Teniendo en cuenta una línea base de las condiciones iniciales que se desean mejorar y fijando como objetivo las condiciones de desempeño de la línea de alcantarillado en el futuro se define si es necesario: reemplazar, renovar o reparar.

Dependiendo de las tecnologías disponibles en el contexto local o nacional se confrontan las necesidades de la red con las capacidades de las metodologías técnicamente viables. La selección final depende de criterios como:

- Costos directos de la rehabilitación
- Ciclo de vida del material utilizado en la rehabilitación
- Riesgo de interrupción de otros servicios como acueducto, gas, teléfono, etc.
- Costos ambientales por generación de ruido y polución
- Costos por afectación de los ingresos del comercio
- Afectación del tráfico, costos de desvíos a los vehículos y transeúntes.
- Seguridad de accidentes en la obra, tanto para obreros como para terceras partes.
- Experiencias positivas en la aplicación de cada procedimiento.

Los criterios mencionados establecen una competencia especial entre las tecnologías de apertura de zanja y las tecnologías con poca excavación. La tecnología de zanja abierta es lo más utilizado en Colombia y por lo tanto tiene una gran cantidad de experiencias completadas que pesan sobre los demás procedimientos aplicables.

Las tecnologías sin zanja se utilizan con muy poca frecuencia en nuestro país, especialmente en proyectos de alcantarillado, lo que no les permite competir en el criterio de experiencias positivas. Sin embargo, si se comparan con la zanja abierta en criterios como afectación del tráfico, riesgo de daños a otros servicios, costos ambientales, afectación al comercio y accidentes de obra se convierten en una alternativa válida para tener en cuenta en cada proyecto de rehabilitación.

Cada empresa o municipio encargado de la rehabilitación de alcantarillados de una población debe tener catalogada la importancia relativa de los criterios que intervienen en la selección de la tecnología finalmente utilizada.

#### **4. Conclusiones**

Al terminar la investigación acerca de las principales tecnologías actuales que se utilizan en la rehabilitación de alcantarillados de gran diámetro es posible concluir que:

- El desarrollo actual de las tecnologías de rehabilitación de redes de alcantarillado es inherente a aumento de la conciencia ambiental presente en la regulación del uso del recurso hídrico.
- Los defectos de la red definen el grado de recuperación que requieren las tuberías y por consiguiente son un factor fundamental en el proceso de decisión que debe tomarse al seleccionar una opción entre reparar, renovar o reemplazar tramos en el sistema.

- La efectividad de las técnicas de renovación, reemplazo y reparación sin zanja en alcantarillado requieren de disponibilidad de personal entrenado, de la selección adecuada de la tecnología, de un buen diseño estructural y del control de las especificaciones en obra.
- En el uso de la tecnología con zanja abierta se debe tener en cuenta la afectación de superficie a los usuarios y las externalidades que afectan a la sociedad por la interrupción de actividades económicas.

## 5. Referencias

*California Department of Transportation (CALTRANS)*. Division of Design Office of State of Highway Drainage Design. (2003). Recuperado el 21 de Septiembre de 2006, de <http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/culvert>.

*Environmental Protection Agency*. (1999). Collection Systems O&M FactSheet.Trenchless Sewer Rehabilitation. EPA 832-F-99-032.Washington, DC.

*García, C., Abraham, D.* (2002). Rehabilitation Alternatives for Concrete and Brick Sewers. American Society of Civil Engineers. ASCE, ISSN 1084-0680/2002/4-164–173.

*Pfeiffer*.(2006). Saneamiento y rehabilitación de Tuberías .Recuperado el 18 de Octubre de 2006 de , <http://www.ludwigpfeiffer.com>

*Insituform Technologies*. (2006). Clean Water for the World .Recuperado el 22 de Agosto de 2006, de <http://www.insituform.com>.

*Mckim, R.A.* Selection method for trenchless technologies. Journal of Infrastructure Systems. ASCE. Voll 3, No 3.September 1997.

*Subterra Systems*. Effective solutions for sewers. (2000). Recuperado el 20 de Septiembre de 2006 de <http://www.subterra.co.uk>

*Trenchless Technology*. (2006). Pipe Relining Guide. Recuperado el 15 de septiembre de 2006, de <http://www.trenchlessonline.com>

*Urban Utility Center*. (2005). Trenchless Technologies Solutions for Professional Training Sessions. Recuperado el 26 de Septiembre de 2006, de <http://www.icisnyu.org/admin/files/LET2000SummaryReport.pdf>

*Wade And Associates*. (2002). Rehabilitating Your Sanitary Sewer Infrastructure: What's At Stake? Recuperado el 25 de Agosto de 2006, de <http://www.wadeinc.com/articles/articles.htm>

*Zhao, J., Rajani, B.* (2002). Construction and Rehabilitation Costs for Buried Pipe with a Focus on Trenchless Technologies. Recuperado el 2 de Octubre de 2006, de <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ircpubs>.