

MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO

44



MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
Operación y Mantenimiento de Redes de Alcantarillado

ISBN: 978-607-626-022-7

D.R. © Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña
C.P. 14210, Tlalpan, México, D.F.

Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo
C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.
Tel. (55) 5174•4000

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

Impreso y hecho en México
Distribución gratuita. Prohibida su venta.
Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.
Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra,
sin fines de lucro y citando la fuente

CONTENIDO

Presentación	V
Objetivo general	VII
Introducción a la operación y mantenimiento de redes de alcantarillado	IX
1. Aspectos generales	1
2. Operación, limpieza y rehabilitación de redes de drenaje y alcantarillado	5
2.1. Puesta en marcha	5
2.2. Inspección	5
2.2.1. Técnicas de inspección	5
2.2.2. Procedimiento de Inspección	8
2.3. Control de la alineación de las tuberías	9
2.4. Métodos de limpieza	10
2.4.1. Barrena para desazolve	12
2.4.2. Draga y malacate	17
2.4.3. Otros dispositivos de dragado	19
2.4.4. Equipos de alta presión	21
2.4.5. Equipo de presión y vacío	21
2.4.6. Boquillas para limpieza	23
2.4.7. Consideraciones para la selección del método de limpieza	23
2.4.8. Disposición final de lodos y residuos	31
2.5. Limpieza de coladeras	32
2.6. Construcción de conexiones domiciliarias	32
2.7. Mantenimiento de pozos de visita	33
2.8. Seguridad e higiene en los trabajos de limpieza	37
2.9. Responsabilidades de los usuarios	39
2.10. Rehabilitación de tuberías	39
2.11. Métodos de rehabilitación sin zanja	42
2.11.1. Rehabilitación con encamisado con manga continua	42
2.11.2. Rehabilitación con embobinado espiral	45
2.11.3. Trabajos previos	45
2.11.4. Reventamiento de tuberías	47
2.11.5. Revestimiento con modificación de la sección transversal	48
2.11.6. Sellado puntual con robot	49
2.11.7. Manejo de albañales	49
2.11.8. Ventajas de los sistemas de rehabilitación sin zanja	50
2.11.9. Desventajas de los sistemas de rehabilitación sin zanja	50

2.12. Reforzamiento externo con tuberías de concreto	53
2.13. Elaboración de un Plan FODA	54
3. Problemas y acciones de mejora en la operación de redes de drenaje y alcantarillado	57
3.1. Problemas comunes	57
3.1.1. Conexiones domiciliarias	57
3.1.2. Redes de atarjeas, colectores e interceptores	57
3.1.3. Descripción de problemas más comunes	59
3.2. Acciones para una operación eficiente	62
3.2.1. Conservación del alcantarillado	62
3.2.2. Mantenimiento preventivo	63
3.2.3. Mantenimiento correctivo	65
3.2.4. Programa de mantenimiento	68
4. Mantenimiento de sistemas alternativos de alcantarillado sanitario	71
4.1. Mantenimiento de sistemas de alcantarillado por vacío	71
4.1.1. Tareas de mantenimiento preventivo	72
4.1.2. Acciones de reparación de emergencia	74
4.2. Mantenimiento de sistemas de alcantarillado por presión	77
4.3. Operación y mantenimiento de redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos	81
Conclusiones	83
Bibliografía	85
Tabla de conversiones de unidades de medida	87
Ilustraciones	97
Tablas	99

PRESENTACIÓN

Uno de los grandes desafíos hídricos que enfrentamos a nivel global es dotar de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población, debido, por un lado, al crecimiento demográfico acelerado y por otro, a las dificultades técnicas, cada vez mayores, que conlleva hacerlo.

Contar con estos servicios en el hogar es un factor determinante en la calidad de vida y desarrollo integral de las familias. En México, la población beneficiada ha venido creciendo los últimos años; sin embargo, mientras más nos acercamos a la cobertura universal, la tarea se vuelve más compleja.

Por ello, para responder a las nuevas necesidades hídricas, la administración del Presidente de la República, Enrique Peña Nieto, está impulsando una transformación integral del sector, y como parte fundamental de esta estrategia, el fortalecimiento de los organismos operadores y prestadores de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento.

En este sentido, publicamos este manual: una guía técnica especializada, que contiene los más recientes avances tecnológicos en obras hidráulicas y normas de calidad, con el fin de desarrollar infraestructura más eficiente, segura y sustentable, así como formar recursos humanos más capacitados y preparados.

Estamos seguros de que será de gran apoyo para orientar el quehacer cotidiano de los técnicos, especialistas y tomadores de decisiones, proporcionándoles criterios para generar ciclos virtuosos de gestión, disminuir los costos de operación, impulsar el intercambio de volúmenes de agua de primer uso por tratada en los procesos que así lo permitan, y realizar en general, un mejor aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas del país, considerando las necesidades de nueva infraestructura y el cuidado y mantenimiento de la existente.

El Gobierno de la República tiene el firme compromiso de sentar las bases de una cultura de la gestión integral del agua. Nuestros retos son grandes, pero más grande debe ser nuestra capacidad transformadora para contribuir desde el sector hídrico a **Mover a México**.

Director General de la Comisión Nacional del Agua



OBJETIVO GENERAL

El *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS)* está dirigido a quienes diseñan, construyen, operan y administran los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento del país; busca ser una referencia sobre los criterios, procedimientos, normas, índices, parámetros y casos de éxito que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en su carácter de entidad normativa federal en materia de agua, considera recomendable utilizar, a efecto de homologarlos, para que el desarrollo, operación y administración de los sistemas se encaminen a elevar y mantener la eficiencia y la calidad de los servicios a la población.

Este trabajo favorece y orienta la toma de decisiones por parte de autoridades, profesionales, administradores y técnicos de los organismos operadores de agua de la República Mexicana y la labor de los centros de enseñanza.



INTRODUCCIÓN A LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO

Los sistemas de alcantarillado sanitario son los encargados de conducir las aguas servidas o aguas residuales producto de las actividades humanas, tales como usos domésticos, comercio, industrias y servicios, a su destino final.

Todo el sistema de alcantarillado requiere atención y revisiones periódicas ya que cumple una función primordial para la salud y bienestar de los centros poblacionales. Fallas causadas por falta de mantenimiento pueden elevar considerablemente los costos de operación.

La operación correcta de un alcantarillado sanitario se lleva a cabo de un mantenimiento permanente de las instalaciones comunes, mecánicas y electromecánicas, para lograr la eficiencia máxima de los recursos invertidos diariamente.

Para lograr dar a la infraestructura de la red de alcantarillado una operatividad eficiente y un óptimo mantenimiento preventivo, los operadores del sistema deben contar con toda la información disponible, principalmente los planos de diseño y estar capacitados para su correcta interpretación en gabinete y en campo.

El propósito fundamental de este documento es proporcionar a los responsables del cuidado y operación del sistema una guía que ayude a identificar y minimizar daños en las instalaciones, con el propósito de reducir los costos de operación, dar un servicio de calidad a los usuarios y evitar la contaminación del medio ambiente.



1

ASPECTOS GENERALES

Un sistema de alcantarillado constituye un conjunto de tuberías, instalaciones y equipos destinados a coleccionar y transportar aguas residuales o aguas de lluvia a un sitio final conveniente, de forma continua e higiénicamente segura. Un sistema de alcantarillado que transporta en forma conjunta aguas residuales y agua de lluvia se denomina Sistema Combinado. Si el sistema tiene como objetivo transportar únicamente aguas residuales se denomina Sistema Sanitario, y si únicamente transporta aguas de lluvia se denomina Sistema Pluvial.

Dentro de los principales componentes de un sistema de alcantarillado sanitario se tienen los siguientes (CONAGUA, 2009), los cuales se muestran de forma esquemática en la Ilustración 1.1.

Red de atarjeas

La red de atarjeas tiene por objeto recolectar y transportar las aportaciones de las descargas de aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, hacia los colectores e interceptores.

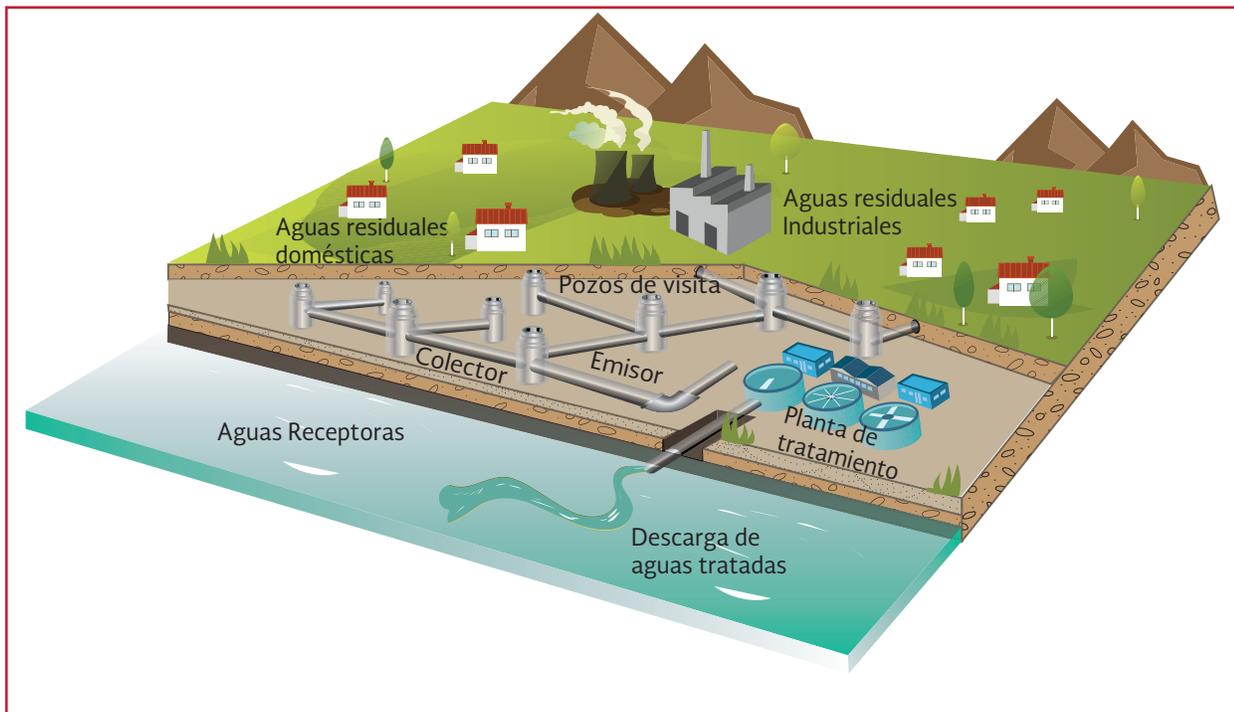
La red está constituida por un conjunto de tuberías por las que son conducidas las aguas residuales captadas. La Ilustración 1.2 muestra una

tubería típica para una red de atarjeas. El ingreso del agua a las tuberías es paulatino a lo largo de la red; los caudales se acumulan e incrementan, lo que da lugar a ampliaciones sucesivas de la sección de los conductos en la medida de este incremento. Por ello, en el diseño se obtienen las mayores secciones en los tramos finales de la red. No es hidráulicamente admisible reducir los diámetros en el sentido del flujo cuando se mantiene la pendiente de la tubería; cuando la pendiente aumenta, podrá diseñarse un diámetro menor, siempre cubriendo el gasto de diseño y los límites de velocidad.

La red se inicia con la descarga domiciliar o albañal, a partir del paramento exterior de las edificaciones. El diámetro del albañal en la mayoría de los casos es de 15 cm (siendo éste el mínimo recomendable); sin embargo, esta dimensión puede variar en función de las disposiciones de las autoridades locales. La conexión entre albañal y atarjea debe ser hermética y la tubería de interconexión debe tener una pendiente mínima de uno por ciento.

A continuación se tienen las atarjeas, localizadas generalmente al centro de las calles, las cuales van recolectando las aportaciones de los albañales. El diámetro mínimo que se utiliza en la red

Ilustración 1.1 Esquema de una red de alcantarillado sanitario



de atarjeas de un sistema de drenaje separado es de 20 cm y su diseño general debe seguir la pendiente natural del terreno, siempre y cuando cumpla con los límites máximos y mínimos de velocidad y la condición mínima de tirante.

La estructura típica de liga entre dos tramos de la red es el pozo de visita, que permite el acceso del exterior para su inspección y maniobras de limpieza; también tiene la función de ventilación de la red para eliminar gases. Las uniones de la red de tuberías con los pozos de visita deben ser herméticas.

Los pozos de visita deben localizarse en todos los cruces, cambios de dirección, pendiente y diámetro y para dividir tramos que excedan la máxima longitud recomendada para las maniobras de limpieza y ventilación que es de 100 metros. La Ilustración 1.3 muestra la construcción de un pozo de visita común.

Ilustración 1.2 Tubería de una red de atarjeas (ODAPAS, Nezahualcoyotl)



Colectores e interceptores

Son tuberías que tienen aportación de las atarjeas de otros colectores (subcolectores) y terminan en un emisor, en la planta de tratamiento o en un sistema de reuso.

Por razones de economía, los colectores e interceptores deben seguir en la medida de lo posible la topografía del sitio, siempre que esta permita la conducción por gravedad. La Ilustración 1.4 muestra un ejemplo de un colector.

Emisores

Son conductos que reciben el agua residual de uno o varios colectores o interceptores. No recibe ninguna aportación adicional (atarjeas o descargas domiciliarias) en su trayecto y su función es conducir las aguas residuales a la planta de

tratamiento o a un sistema de reuso. También se le denomina emisor al conducto que lleva las aguas tratadas (efluente) de la planta de tratamiento al sitio de descarga.

El escurrimiento debe ser por gravedad, excepto en donde se requiera el bombeo para las siguientes condiciones:

- Elevar las aguas residuales de un conducto profundo a otro más superficial, cuando constructivamente no es económico continuar con las profundidades resultantes
- Conducir las aguas residuales de una cuenca a otra
- Entregar las aguas residuales a una planta de tratamiento o a una estructura determinada de acuerdo con condiciones específicas que así lo requieran

Ilustración 1.3 Construcción de pozo de visita (ODAPAS, Nezahualcoyotl)



Ilustración 1.4 Colector para una red de alcantarillado sanitario (ODAPAS, Nezahualcoyotl)



Obras especiales

Un sistema de alcantarillado requiere una serie de obras especiales; entre las más comunes se emplean: pozos de visita y pozos de caída.

Pozos de visita especiales

Permiten el ingreso a la red de colectores (de 760 a 1 220 mm) para su inspección y limpieza. Deben ubicarse en cambios de dirección y de diámetros de las tuberías, en la intersección de dos o más tuberías de alcantarillado o cuando la longitud de los colectores excede los 100 metros. Existen dos tipos de pozos especiales:

- Tipo 1: presenta un diámetro interior de 1.5 m, se utiliza con tuberías de 0.76 a 1.07 m de diámetro, con entronques a 90 grados de tuberías de hasta 0.3 m y permite una deflexión máxima en la tubería de 45 grados
- Tipo 2: presenta 2.0 m de diámetro interior, se usa con diámetros de 1.22 m y entronques a 90 grados con tuberías de hasta 0.3 m y permite una deflexión máxima en la tubería de 45 grado

Pozos con caída

Permiten la unión indirecta de dos tuberías a diferentes niveles y se usan para regular la caída del agua en grandes desniveles y evitar en lo mayor posible la generación de gases y compuestos nocivos como el sulfuro de hidrogeno.

Conexiones domiciliarias

Están integradas por el registro sanitario que está localizado en el interior de cada lote o vi-

vienda y la tubería que se conecta con el albañal exterior.

Estaciones o plantas de bombeo

Se emplea para elevar y transportar aguas residuales en la red cuando la operación por gravedad es inviable técnica y económicamente. La operación y el mantenimiento de estas estructuras son demasiado costosos por lo que su empleo debe limitarse a situaciones indispensables. La operación y mantenimiento de las estaciones de bombeo se consideran en el libro *Pruebas, puesta en servicio, operación y mantenimiento de equipos y materiales electromecánicos* del MAPAS

Plantas de tratamiento

Son instalaciones donde las aguas residuales, transportadas por los interceptores o emisores, son tratadas para reducir la cantidad de sustancias contaminantes y de organismos dañinos a la salud humana (Ilustración 1.5). La operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento así como los diferentes tipos de plantas existentes se presentan en los libros del Sub módulo *Operación y mantenimiento: Potabilización y sistemas de tratamiento de agua residuales* del MAPAS.

Ilustración 1.5 Planta de tratamiento de aguas residuales municipales



2

OPERACIÓN, LIMPIEZA Y REHABILITACIÓN DE REDES DE DRENAJE Y ALCANTARILLADO

2.1. PUESTA EN MARCHA

Antes de poner en funcionamiento las redes de alcantarillado, estas deberán ser limpiadas, eliminando los desperdicios y los residuos de principalmente del cimbrado; las alcantarillas inaccesibles se inspeccionan utilizando linternas y espejos; los pozos de visita, con cámaras y dispositivos simplificados de inspección, para asegurar el libre paso de la totalidad de la sección. Debido a que el sistema se encuentra completamente limpio la inspección no requiere de los estándares de cumplimiento en protección del personal como en el caso de las inspecciones posteriores.

2.2. INSPECCIÓN

Por el uso y envejecimiento de las redes de drenaje y alcantarillado, los distintos elementos que las conforman sufren deterioro. Las conducciones y los pozos de visita se ven expuestos a obstrucciones y derrumbes que limitan la capacidad del sistema a desalojar el flujo.

Por esta razón se debe tener una adecuada vigilancia del estado que guardan las redes de alcantarillado para mantener el nivel de desempeño y prevenir alguna falla. La limpieza y la inspección de los colectores de agua residual son fundamentales para el mantenimiento y

funcionamiento correcto del sistema, y además prolongan la vida útil de la infraestructura de alcantarillado.

2.2.1. TÉCNICAS DE INSPECCIÓN

Para realizar una adecuada inspección de las redes de alcantarillado se requiere elaborar programas de inspección por sectores para determinar la condición actual de la red e integrar estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo.

Las inspecciones se deben realizar en horarios de bajo caudal, que puede ser entre la medianoche y las cinco de la mañana, o se puede hacer un taponamiento temporal del colector para reducir el caudal. La mayoría de los colectores son inspeccionados utilizando uno de los métodos siguientes.

- Inspección visual
- Inspección por iluminación con lámparas
- Cámaras de inspección
- Inspección con robots

Inspección visual

Las inspecciones visuales son vitales para tener un conocimiento completo de la condición

de las tuberías. Las inspecciones visuales se realizan en la superficie y de forma interna. En el primer caso, el personal encargado de la inspección debe identificar hundimientos del suelo sobre la tubería (Ilustración 2.1a), se supervisan también las condiciones de los brocales y de las tapas de los pozos de visita y que estos no se encuentren obstruidos y azolvados (Ilustración 2.1b). En el segundo caso, específicamente para colectores grandes se recomienda una inspección interna con una visita a pie dentro de la tubería. Esta inspección requiere que el personal encargado del

mantenimiento entre a los pozos de visita y a los colectores y examine la condición del brocal, la tapa y la pared del pozo, así como las paredes de la tubería encima del nivel de flujo (Ilustración 2.1 c y d).

Cuando se entra a un pozo de visita se deben seguir las recomendaciones de seguridad que se presentan en el apartado 2.8.

Lo más recomendable para la ejecución de esta tarea es que en la conducción se encuentre sin flujo o tenga el mínimo nivel de agua. Normal-

Ilustración 2.1 Diferentes tipos de inspección visual



a) Hundimiento sobre tubería



b) Pozo de visita obstruido



c) Ingreso de personal a pozo de visita



d) Inspección visual en el interior de colector

mente, tales condiciones se tienen entre la medianoche y las cinco horas de la mañana.

Inspección por iluminación con lámparas

La inspección de iluminación con lámparas consiste en bajar una cámara fotográfica dentro del pozo de visita y colocarla al centro de la tubería. Se captura el interior de la tubería usando la cámara, para posteriormente analizar las fotografías (Ilustración 2.2), tratando de identificar problemas internos. Se recomienda su uso para tuberías de corta longitud y en aquellas con baja incidencia de problemas, las cuales corresponden generalmente a tuberías de menos de 20 años de antigüedad. Este sistema presenta algunos inconvenientes, como la falta percepción de profundidad de la imagen y poca claridad para distinguir las fallas. Se puede concluir que este método solo sirve para la detección de obstrucciones y no funciona para la detección de fallas por roturas en las tuberías.

Ilustración 2.2 Fotografía de inspección por iluminación con lámparas (recuperada de <http://www.amtecsurveying.com>)



Cámaras de inspección

Las inspecciones por medio de cámaras es eficaz para evaluar la condición interna de las tuberías de alcantarillado. La Ilustración 2.3 muestra una ins-

pección típica del equipo de inspección por medio de cámaras. Para tuberías de alcantarillado con diámetros de 10 a 1 200 mm (4 - 48 pulgadas) se recomiendan las inspecciones por circuito cerrado de televisión; las cámaras están preparadas para ajustarse al diámetro de la tubería.

En colectores de mayor tamaño la cámara y las luces están sujetos a una balsa sobre la cual flotan por la tubería.

Robots de inspección

Pueden ir situados sobre tanquetas. En el caso de diámetros muy pequeños, se introducen solo con el visor de la cámara para hacer un reconocimiento visual de la problemática que presenta la tubería. Estos robots también pueden tener un uso en la rehabilitación de tuberías, cuando están dotados de sistemas de inyección de sellantes o sierras corta raíces (Ilustración 2.4).

La inspección rutinaria debe dirigirse a las líneas de alcantarillado con mayor incidencia de problemas. La inspección ayudará a conocer lo siguiente:

- El grado de corrosión interna o externa, en el caso de tuberías de acero
- La formación de depósitos en el fondo o infiltraciones o fugas anormales
- La penetración de raíces en la tubería
- La reducción en la capacidad de transporte de las aguas residuales

El uso de cámaras de inspección y robots por lo regular son los últimos métodos en considerarse debido a los altos costos que se generan. Estos procedimientos se usan para realizar el mantenimiento correctivo, y que difícilmente se consideran de primera mano en el mantenimiento preventivo.

Ilustración 2.3 Inspección por medio de cámaras



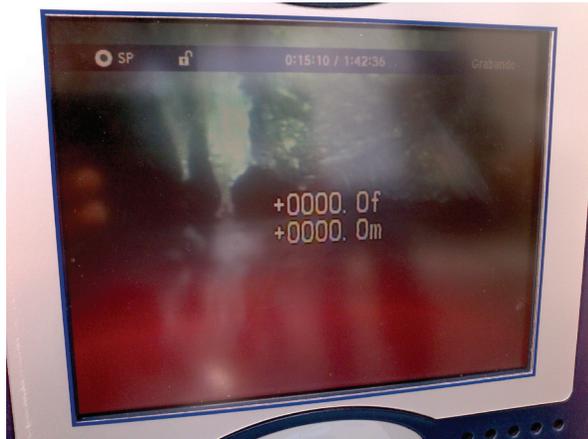
a) Equipo de inspección CCTV



b) Ingreso de cámara al pozo de visita



c) Cámara dentro de la red de alcantarillado



d) Pantalla de visualización del interior de la tubería

2.2.2. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

Los pozos de visita permiten el ingreso a la red para su inspección y limpieza. Para realizar esta tarea los operarios deben tener el equipo de protección personal adecuado (botas, guantes, mascarilla, casco, etcétera), de acuerdo con la NOM-017-STPS-2008.

El procedimiento para llevar a cabo la tarea de inspección es el siguiente:

- Se identifican en los planos del sistema los tramos a ser inspeccionados
- Se identifican los pozos de visita aguas arriba y aguas abajo de dicho tramo
- El pozo de visita debe ser ventilado antes del ingreso. Como medida de protección,

Ilustración 2.4 Robots para inspección de alcantarillado



al menos dos horas antes de ingresar, se abren las tapas de los pozos de visita anterior y posterior al tramo por inspeccionar (Ilustración 2.5a)

- La inspección debe comenzar lo más abajo posible de la red y progresar hacia aguas arriba
- Si existen pozos de visita inundados, el agua se extrae con bombas de lodos, del tipo utilizado por las empresas constructoras en las excavaciones, y se vierte en el pozo de visita próximo aguas abajo. Una alternativa al uso de bombas, más morosa e incómoda, es extraer el agua con baldes o por medio de un sifón (Ilustración 2.5b)
- Una última medida de seguridad consiste en ingresar en las cámaras con una cuerda de salvamento. En un pozo de visita antiguo, los peldaños pueden estar corroídos y resbaladizos; por ello, dos operarios deben permanecer fuera del pozo para poder sacar del mismo al tercer operario que haya entrado, en caso de emergencia. Es importante mencionar que los pozos de visita no están diseñados para el ingreso de más de una persona al mismo tiempo (Ilustración 2.5c)

- El operario no debe agitar el cieno ni el fango que encuentre en el fondo del pozo, para evitar saturar el pozo con gases y malos olores

2.3. CONTROL DE LA ALINEACIÓN DE LAS TUBERÍAS

El control de la alineación es llevado a cabo por dos operarios en dos pozos de visita contiguos, equipados con una linterna y un espejo, como se muestra en la Ilustración 2.6. Primero se sostienen linterna y espejo a una distancia de 5 a 10 cm sobre el fondo de la tubería y luego se van elevando ambos progresivamente hasta inmediatamente debajo de la corona o sección superior de la tubería. Cualquier irregularidad que existiera en la alineación vertical del tubo se delataría si se oscurece la luz de la linterna. Mediante este procedimiento también se revelan pequeños defectos y obstrucciones en las tuberías (Ilustración 2.6).

El lugar en el que es más probable encontrar grietas y mala alineación es inmediatamente después de un pozo de visita, por el asentamiento irregular del terreno, tras la colocación de la tubería (Ilustración 2.7).



a) Ventilación del pozo de visita



b) Extracción de agua por medio de bombeo



c) Ingreso de personal a pozo de vista (ODAPAS, Nezahualcoyotl)

2.4. MÉTODOS DE LIMPIEZA

La tarea de mantenimiento más importante consiste en limpiar las tuberías de sedimentos, cieno y otros elementos sólidos. Las tuberías deben limpiarse por lo menos una vez al año, pre-

ferentemente al comienzo de la temporada de lluvias. Es esencial considerar la limpieza de la red como parte del programa de mantenimiento preventivo anual, sin esperar a que se presenten fallas. Cuando esto no se cumple, las reparaciones pueden ser más costosas que el mantenimiento preventivo regular.

Ilustración 2.6 Control de alineación de las tuberías

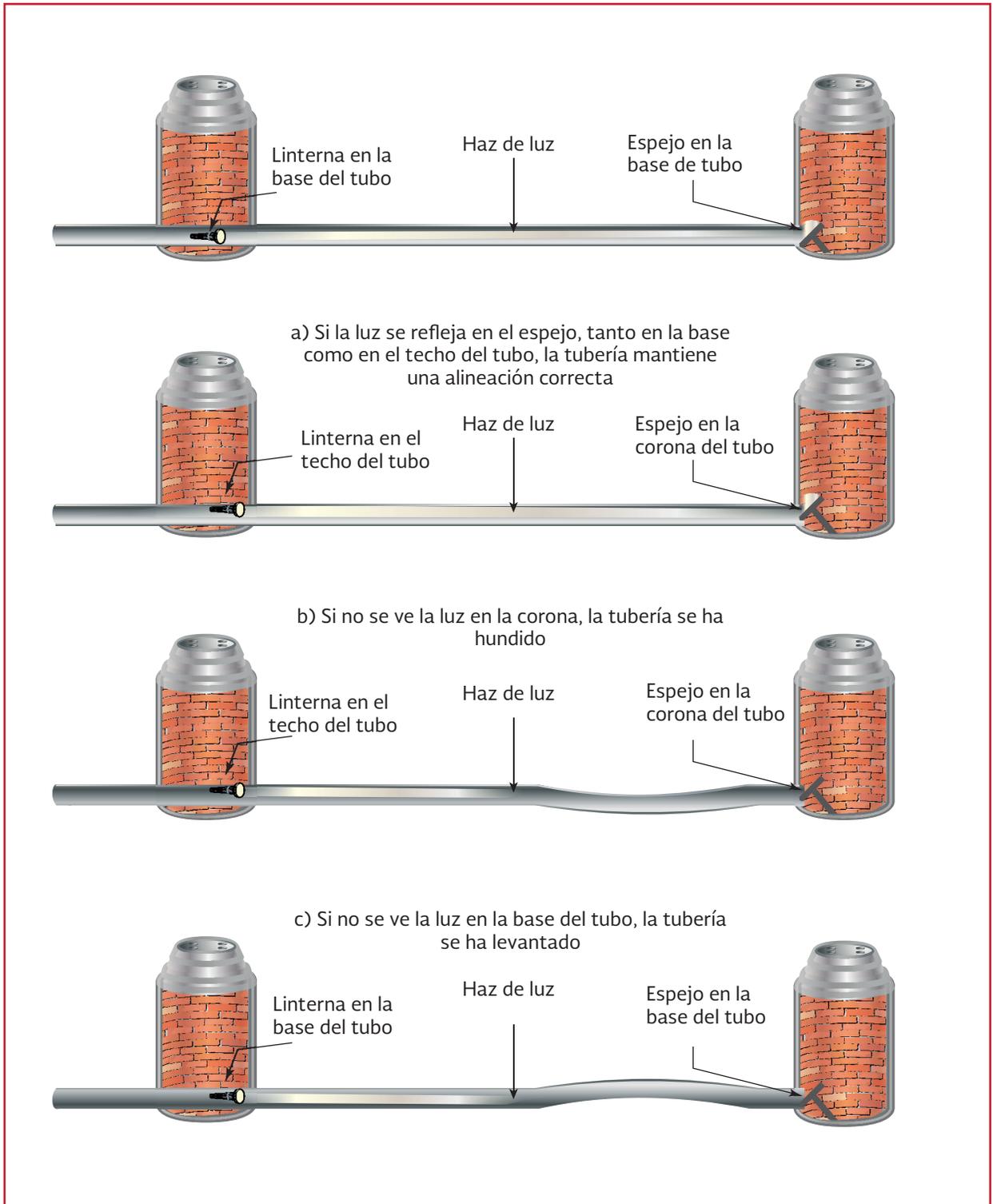
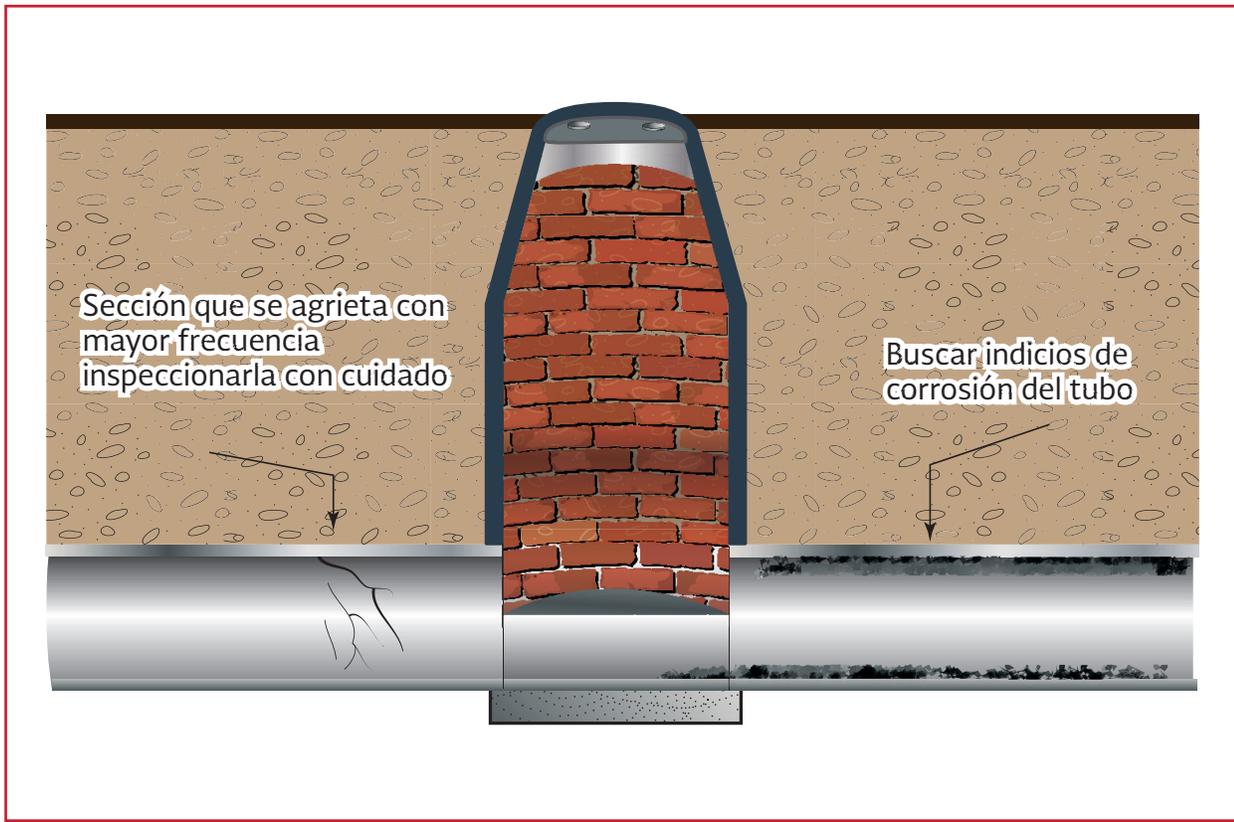


Ilustración 2.7 Problemas frecuentes en los pozos de visita



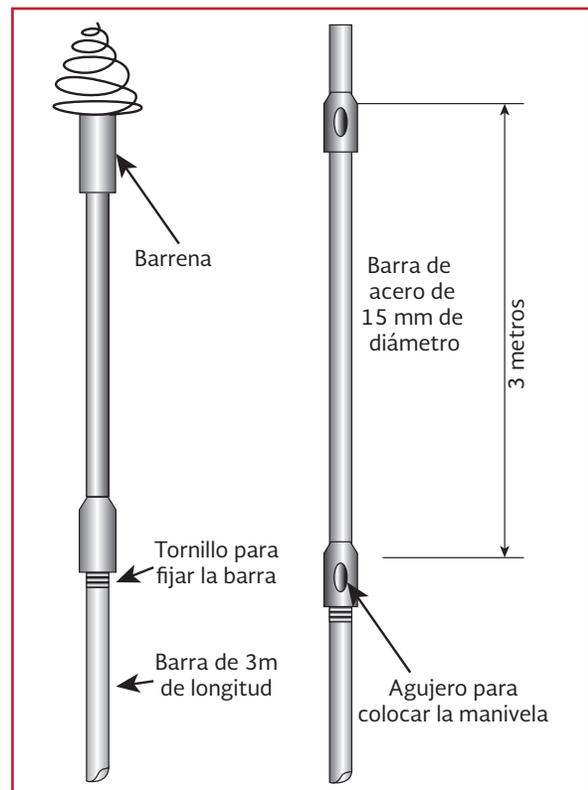
2.4.1. BARRENA PARA DESAZOLVE

Si la tubería se encuentra bloqueada por sólidos, se puede eliminar la obstrucción por medio de una barrena de desazolve como la que se observa en la Ilustración 2.8 y en la Ilustración 2.9.

La barrena es como una gran broca para taladrar, que se hace girar mediante unas manivelas colocadas en una serie de varillas que, en forma de cadena, constituyen el eje propulsor. Las varillas pueden tener un diámetro de 10 mm y ser de acero inoxidable o hierro liso de construcción. Cuando la barrena penetra en los cuerpos que bloquean la tubería, el agua que escurre facilita el desprendimiento de los sólidos corriente abajo.

La varilla puede hacerse girar de forma manual por medio de una manivela, pero tam-

Ilustración 2.8 Barrena con varillas para desazolve



bién se puede utilizar maquinas rotativas para barrenas que permiten limpiar tuberías de drenaje y alcantarillados desde 20 hasta 60 cm (8 a 24"), con una longitud máxima de 150 metros (Ilustración 2.10).

Existen diferentes herramientas mecánicas que se adaptan a las máquinas rotativas para el raspado, corte de raíces, etcétera. A continuación se enlistan algunos es estos y se presentan en la Ilustración 2.11.

Ilustración 2.9 Uso de barrena con varillas para desazolve de tubería

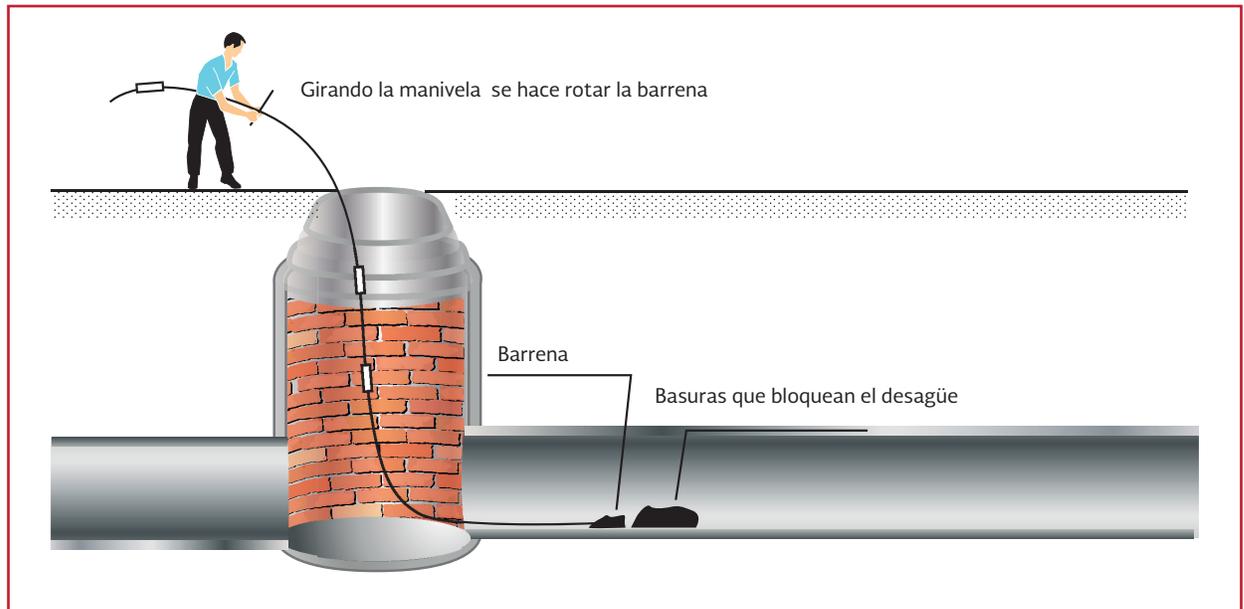
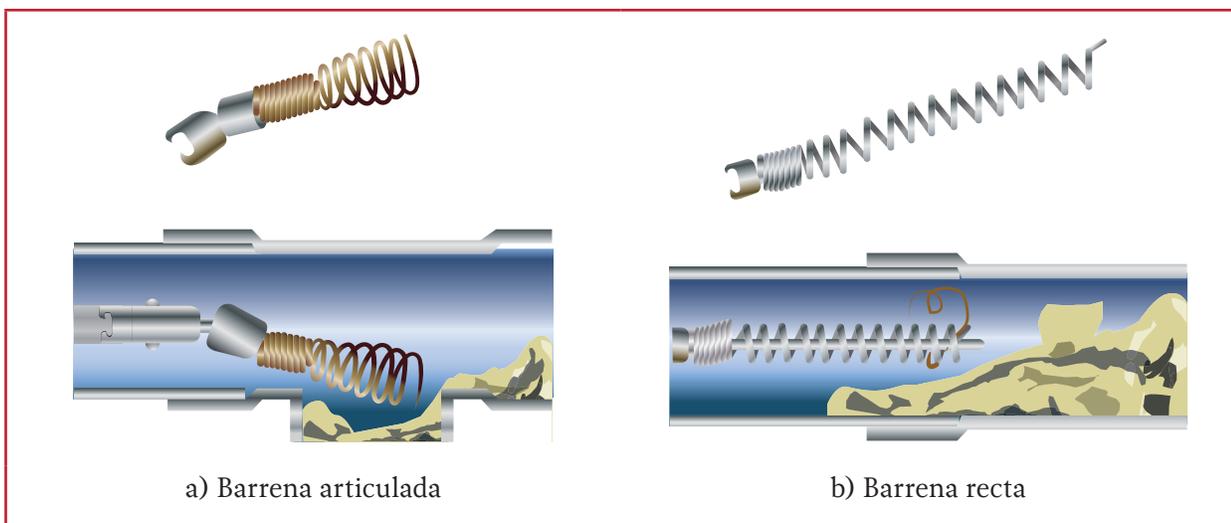


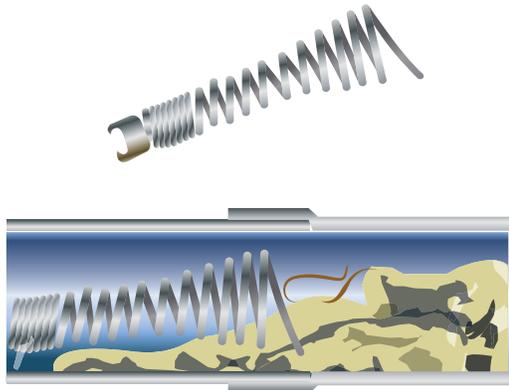
Ilustración 2.10 Maquinaria para barrena con varillas



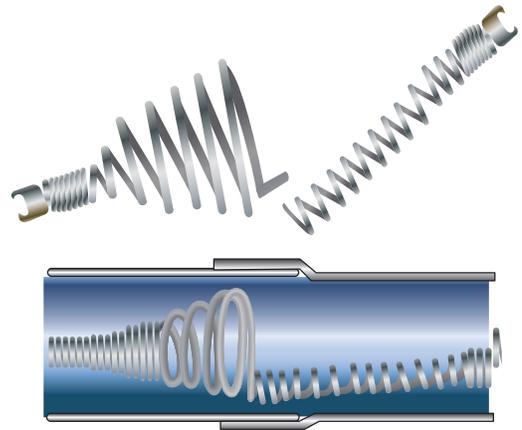
- a) **Barrena articulada.** Para limpiar crucesos. Por ejemplo, en los cuales la varilla debe ser llevada por una tubería descendente
- b) **Barrena recta.** Para explorar y romper obstrucciones o para traer una muestra a la superficie y así determinar la herramienta más adecuada
- c) **Barrena cónica.** Para usar como segunda herramienta en la línea. Rompe los restos de la obstrucción que deja la barrena recta
- d) **Barrena de gancho.** Para obstrucciones pesadas y densas en la tubería causadas por raíces que se deben enganchar y romper
- e) **Barrena recuperadora.** Para buscar un cable roto o perdido en el conducto
- f) **Cortador pala.** Para continuar el trabajo luego de usar barrenas, y para desatascar azolves en el fondo de la tubería
- g) **Barrena con dientes de sierra de cuatro cuchillas.** Para obstrucciones causadas por materiales endurecidos o vitrificados tales como acumulaciones de químicos
- h) **Cortador de grasa.** Para tuberías muy engrasadas por descargas comerciales de restaurantes con alto contenido de grasas y detergentes
- i) **Barrena con dientes de sierra en espiral.** Para despegar cualquier obstrucción, raíces, trapos, palos, etcétera
- j) **Cortador con dientes de sierra.** Para limpiar tuberías muy obstruidas con raíces. Su diseño único permite sacar el cortador de la tubería afectada sin que se traben
- k) **Cortador de barra en espiral.** Para colectores y emisores obstruidos por raíces, restos de hojas, palos y basura
- l) **Cortador con dientes de tiburón.** Para quitar de las tuberías materiales cualesquiera que se adhieren a las paredes
- m) **Cortador en "C" de grasa.** Para obstrucciones de grasa en tuberías que salen de unidades de basureros o tubos de descarga
- n) **Cortador desplegable.** Para la eliminación definitiva de materiales adheridos a las paredes, y para ciertas raíces fibrosas
- o) **Barrena con cadena.** Cuando se necesita una limpieza muy vigorosa de incrustaciones en tubos de calderas
- p) **Cepillo para tubo.** Para limpieza de determinación en tubos de caldera y de intercambio de calor

Ilustración 2.11 Diferentes tipos de barrenas mecánicas para máquinas rotativas

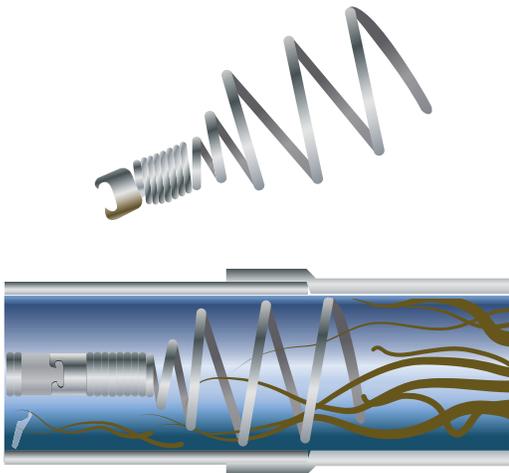




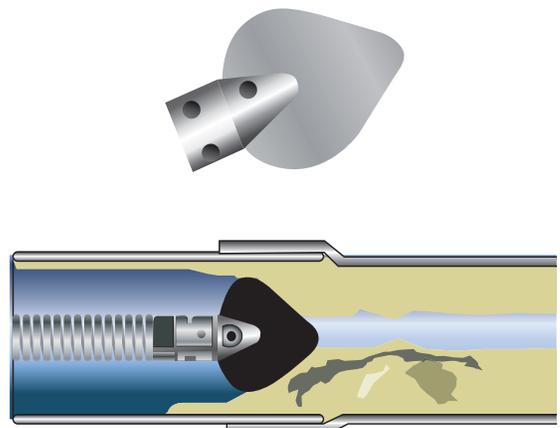
c) Barrena cónica



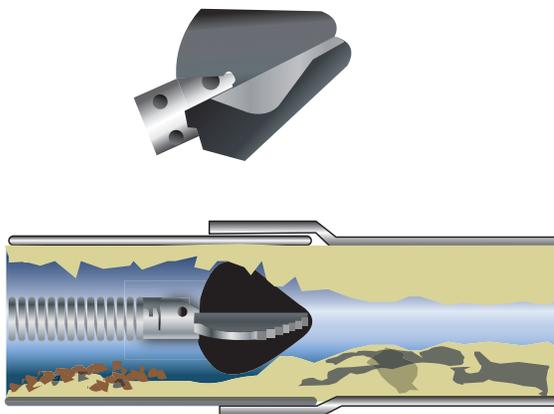
d) Barrena recuperadora



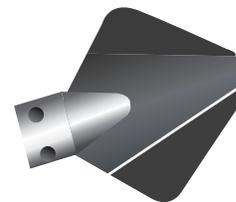
e) Barrena de gancho



f) Cortador pala



g) Barrena con dientes de sierra de cuatro cuchillas



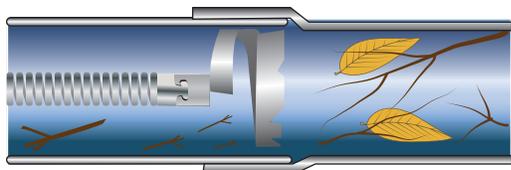
h) Cortador de grasa



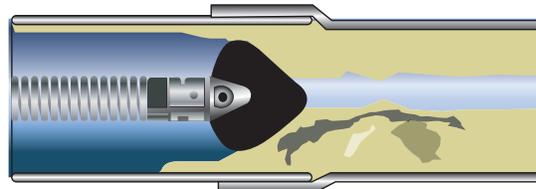
i) Barrena con dientes de sierra en espiral



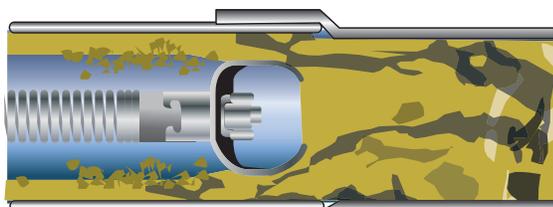
j) Cortador con dientes de sierra



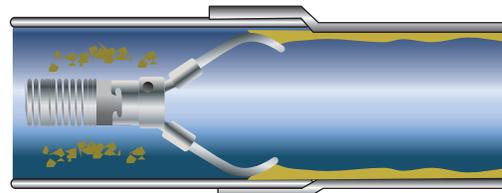
k) Cortador de barra en espiral



l) Cortador con dientes de tiburón

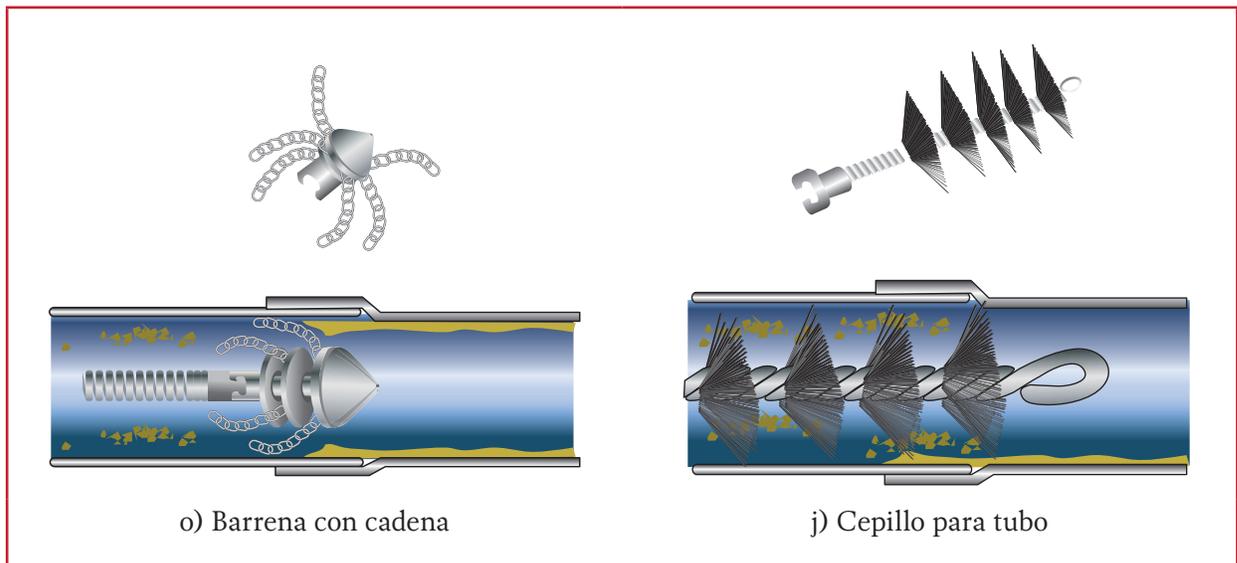


m) Cortador en "C" de grasa



n) Cortador desplegable

Ilustración 2.11 Diferentes tipos de barrenas mecánicas para máquinas rotativas (continuación)



2.4.2. DRAGA Y MALACATE

La herramienta más común para extraer los sedimentos y lodos de las tuberías es un malacate, que de manera general consiste en una draga atada en sus extremos por un cable de acero, como se aprecia en la Ilustración 2.12. El cable debe tener como mínimo una longitud igual a dos veces la distancia entre los pozos de visita más separados. Un extremo del cable se introduce en un pozo de visita y se pasa por la tube-

ría, con la boca de la draga orientada hacia aguas abajo (en el sentido de la corriente), enrollándolo en un carrete montado en un bastidor de acero. Por acción mecánica de un motor a diésel, la draga se arrastra dentro del tubo, recogiendo los sedimentos y lodos. El diámetro de la draga debe ser de por lo menos cinco centímetros menor que el diámetro interno de la tubería, para permitir que el material recogido desborde cuando la draga se llene y evitar que se atore en las obstrucciones de la tubería.

Ilustración 2.12 Malacate, draga boca de pescado y draga convencional



Ilustración 2.13 Extracción de sedimentos y lodos de las tuberías utilizando draga y malacates



Si la draga se bloquea, no debe jalarse con demasiada fuerza, pues podría comprimir los sedimentos y hacer más difícil su extracción.

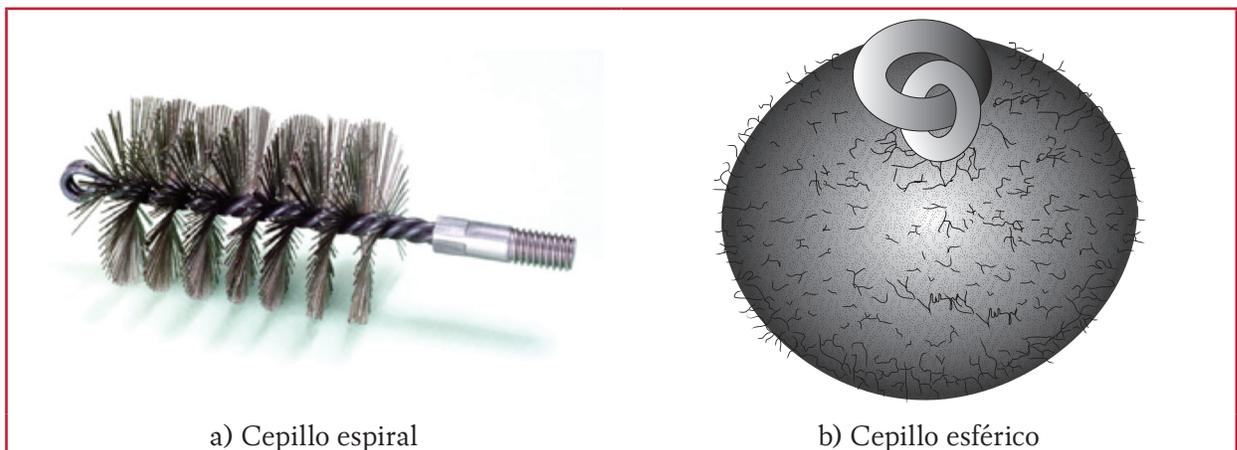
En lugar de ello, puede hacerse retroceder, jalando del otro extremo y sustituirlo por uno más pequeño o por una barrena.

Cuando la draga llegue hasta el pozo de vista inferior, se extrae con los sólidos y se suelta del cable. A su vez, el cable se recupera en el pozo de visita superior y se le ata de nuevo la draga. Se repite el procedimiento hasta que la tubería quede limpia.

2.4.3. OTROS DISPOSITIVOS DE DRAGADO

Además de la limpieza de conductos utilizando dragas convencionales, también se pueden utilizar cepillos o palas que se arrastran en el interior de la tubería, de forma similar a la mostrada en la Ilustración 2.13. En la Ilustración 2.14 se muestran algunos ejemplos de cepillos, palas y accesorios diversos. Todos los dispositivos presentados deben contar con varillas de 0.90 m en cuyos extremos tienen rosca y palanca para asegurar la sujeción, y ser lo suficientemente flexibles para poder limpiar longitudes de hasta 100 metros, que es, en promedio, la distancia normal que se tiene entre pozos de visita.

Ilustración 2.14 Accesorios diversos de dragado



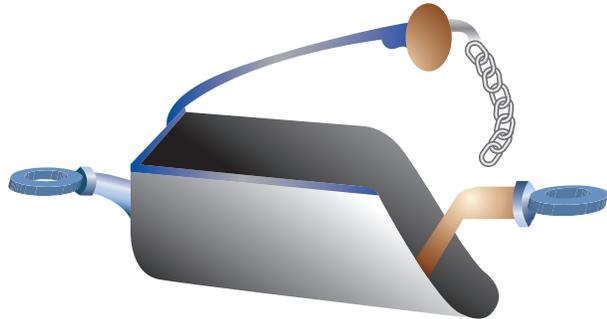
Se usan también los platillos dragadores, los cuales se introducen en el pozo de visita aguas abajo y son arrastrados hacia aguas arriba con el cable en posición horizontal. Después, se tira hacia delante, se levanta el platillo y con esta operación se logra arrastrar los sedimentos. La Ilustración 2.15 indica el proceso para desazolvar un tramo de tubería con el auxilio de los platillos dragadores. En este proceso se recomienda hacer la limpieza por tramos cortos, según sea la cantidad de sedimento, para no tener que retirar cargas demasiado grandes.

Además, si la forma de conducción lo permite, puede emplearse rastrillos, escobas de fibras metálicas y compuertas móviles, en las que la presión del agua remansada actúa de motor, y el estrechamiento regulable, situado aguas abajo, permite producir un chorro suficiente para provocar el arrastre de sedimento. De este tipo, la Ilustración 2.16 muestra una draga arranca raíces.

Ilustración 2.14 Accesorios diversos de dragado (continuación)



c) Draga arranca raíces



d) Pala depósito para limpieza de arena y fango



e) Cepillo circular



f) Limpiadores de caucho

Ilustración 2.15 Platillos dragadores

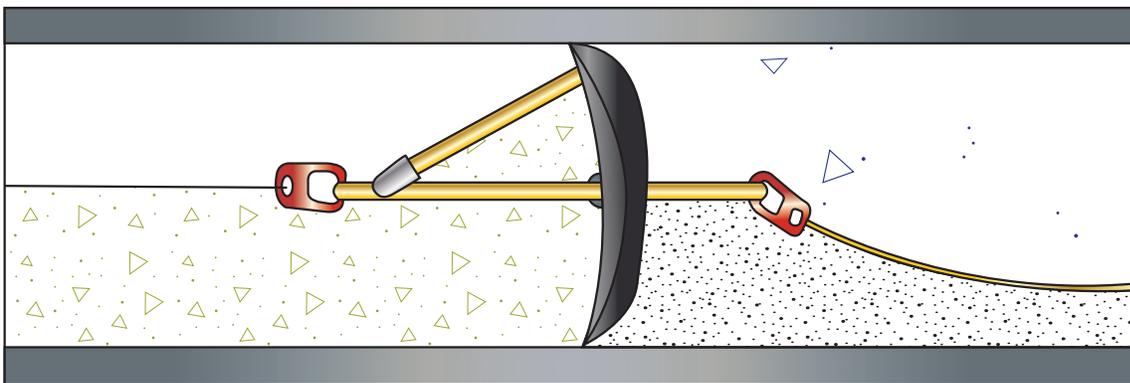
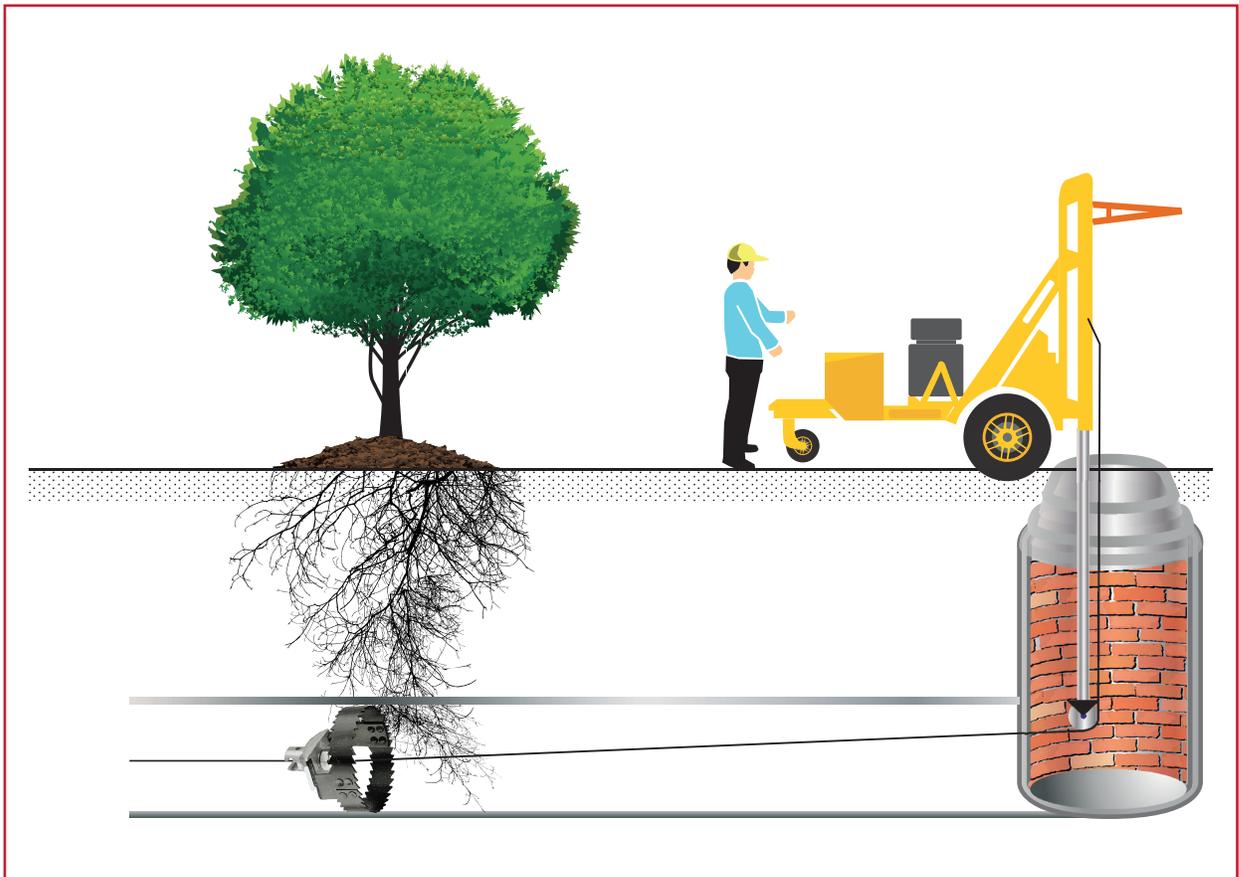


Ilustración 2.16 Draga arranca raíces



2.4.4. EQUIPOS DE ALTA PRESIÓN

También se pueden limpiar las redes usando equipos de alta presión (Ilustración 2.17). Dichos equipos llevan bombas capaces de conseguir presiones de 0 a 750 kg/cm², mediante la inyección de agua a través de una manguera con toberas, que se mueve por los conductos por efecto de reacción. Este sistema de limpieza es eficaz mediante el uso de una pistola rociadora para la limpieza de pozos de visita, o de incrustaciones en cualquier superficie.

Las mangueras llevan en su extremo una tobera, en cuya parte posterior tienen taladros o boquillas con un grado de inclinación apropiado a los usos a que se destina. El consumo de agua dependerá del número de toberas, el taladro de las mismas y la presión ajustada con la bomba.

La operación de limpieza consiste en introducir por el pozo de visita el extremo de la manguera (Ilustración 2.18). Se pone en funcionamiento la bomba y la manguera comienza a avanzar por sí misma, como efecto de la reacción producida por el agua que sale por los orificios de la tobera. Un complemento adecuado es la utilización simultánea de un equipo de bombeo de lodos o de aspiración para retirar los residuos de la operación de desazolve.

2.4.5. EQUIPO DE PRESIÓN Y VACÍO

Es un equipo móvil de succión con un tanque para almacenamiento de aguas residuales y otro tanque para agua limpia, ambos montados en un camión, equipado con una bomba de succión

Ilustración 2.17 Equipo de alta presión para limpieza de redes de alcantarillado



accionada por un motor diésel para la extracción de los residuos y una hidrolavadora para el lavado, con un motor de gasolina.

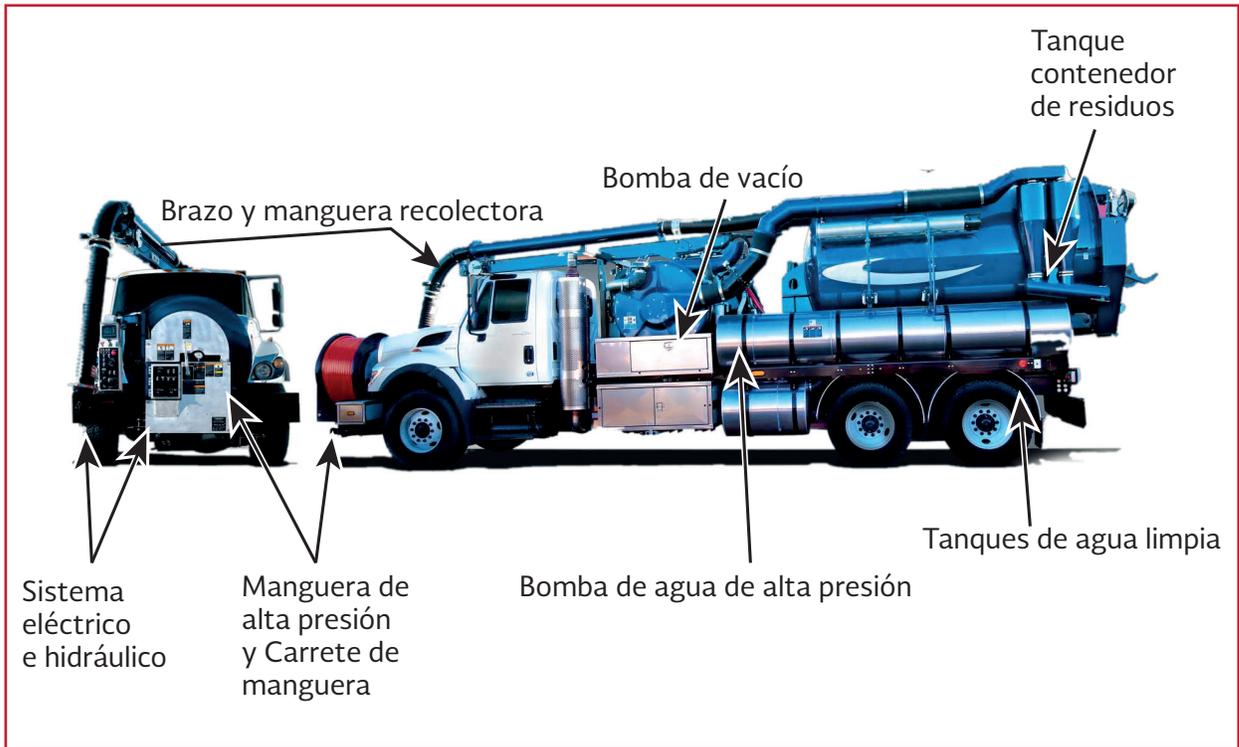
Sus partes principales se muestran en la Ilustración 2.19 y son:

1. Tanque contenedor de residuos
2. Bomba de Vacío
3. Brazo y manguera recolectora
4. Bomba de agua de alta presión
5. Manguera de alta Presión
6. Tanques de agua limpia

Ilustración 2.18 Limpieza de las tuberías con equipo de alta presión (Dirección de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado, Xonacatlan)



Ilustración 2.19 Equipo de presión y vacío (Adaptado de Vactor®, 2009)



7. Carrete de manguera
8. Pistola manual para limpiar Pozos
9. Sistema eléctrico e hidráulico

Estos equipos realizan la limpieza de tuberías y pozos de visita combinando impulsión y succión, reutilizando el agua una vez filtrada (Ilustración 2.20).

Efectúan dos operaciones: la de succionar de la red los desechos acumulados, a la vez que se usa la alta presión para separarlos de las paredes.

2.4.6. BOQUILLAS PARA LIMPIEZA

De acuerdo con las necesidades de limpieza existen diversos tipos de boquillas para los equipos de presión y vacío. Estas se seleccionan en función del tamaño de las mangueras, el caudal deseado y la presión de bombeo.

Los tamaños de las boquillas corresponden a aproximadamente a 11 a 19 L/min por debajo del caudal especificado para compensar el desgaste. La Tabla 2.1, muestra algunos tipos comunes de boquillas o para cualquier marca de equipo de presión y vacío.

2.4.7. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE LIMPIEZA

La selección de un método de limpieza estará en función de la problemática a resolver y las condiciones específicas de la tubería.

El uso de los equipos de presión y vacío, junto con la serie de boquillas de la Tabla 2.1, por sus características específicas y de acuerdo a la experiencia del personal de operación y mantenimiento, es adecuado para la limpieza de tube-

Ilustración 2.20 Limpieza de las tuberías con equipo de presión y vacío



Tabla 2.1 Boquillas para equipo de presión y vacío, adaptado de Vactor, 2006

Nombre	Usos	Diámetro de tubería aplicable (mm)		Descripción	Imagen
Agitador	Remover grasas, costras, raíces capilares, cubre 360°	152	- 610	Penetra la grasa y costras. El movimiento giratorio proporciona 360° de limpieza completa de la tubería.	
Cuña	Remover residuos acumulados, raíces, hielo y permite realizar limpieza completa	101.6	- 508		

Tabla 2.1 Boquillas para equipo de presión y vacío, adaptado de Vactor, 2006 (continuación)

Nombre	Usos	Diámetro de tubería aplicable (mm)			Descripción	Imagen
Agitador 2	Limpieza general, avanza en contrapendientes, cobertura excelente, remueve Arena, cieno y grava	152	-	609	Esta boquilla de 10 chorros con forma cónica, mientras que su cucharilla interna maximiza la potencia al desviar el chorro hacia atrás para sacar las obstrucciones y desperdicios sueltos.	
Limpiador	Limpieza general, remoción de grasa ligera, depósitos sedimentarios, cobertura excelente	152	-	609	Es una boquilla con 8 chorros que ofrece cobertura y limpieza excelentes. Su forma cónica permite el avance, mientras que su cucharilla interna maximiza la potencia al desviar el chorro hacia atrás, para sacar las obstrucciones y desperdicios indeseados.	
Crucero	Limpieza general, retiro de desperdicios pesados, grava, fango pesado	200	-	609	Tiene 8 chorros y emplea un cono con una cucharilla que eleva al máximo la potencia para desviar el agua hacia las salidas. Avanza fácilmente por el fondo de la tubería y deja un trayecto despejado en su rastro.	
Enjuagador	Limpieza general, remoción de grava y fango pesados, lodo, arena y cieno	304	-	1 016	Para servicio severo. Los chorros con ángulos agudos rocían las paredes de tubos grandes, mientras que los chorros de ángulos menos pronunciados expulsan los desperdicios por el tubo..	

Tabla 2.1 Boquillas para equipo de presión y vacío, adaptado de Vactor, 2006 (continuación)

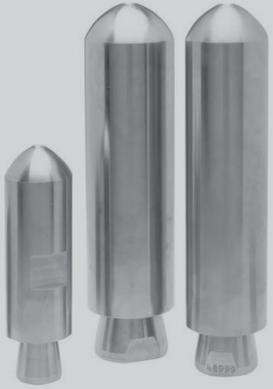
Nombre	Usos	Diámetro de tubería aplicable (mm)		Descripción	Imagen	
Penetrador	Expulsión de obstrucciones, arena, cieno y grava, tubos rotos, tubos separados, desplazados por sedimentación	101	-	406	El cuerpo largo y estrecho de la boquilla P-15 avanza por tubos de diámetro pequeño y atraviesa condiciones difíciles, tales como tubos rotos o desplazados por sedimentación. Puede romper obstrucciones fácilmente	
Granada	Mantenimiento general, expulsión de obstrucciones, arena, cieno, grava	101	-	304	Despedaza las obstrucciones, desencadena una fuerza explosiva en los tubos de diámetro pequeño. Esta boquilla ofrece penetración poderosa para despejar obstrucciones.	
Director	Mantenimiento general, expulsión de obstrucciones, limpieza de tubos grandes, arena, cieno, grava y fango	152	-	609	Tiene chorros en dos ángulos, un juego de chorros apunta alto para una acción máxima de limpieza mientras que el otro apunta bajo para una acción eficaz de enjuague y empuje. Los rebordes exteriores brindan una acción doble de raspado a la vez que permiten el flujo de líquidos debajo del cuerpo de la boquilla. Penetra las peores obstrucciones.	
Sonda	Mantenimiento general, tubos abiertos y obstruidos, tramos largos, lodo y cieno	101	-	406	Ataca las obstrucciones y avanza a martillazos por los obstáculos con el chorro penetrador y punta de sonda..	

Tabla 2.1 Boquillas para equipo de presión y vacío, adaptado de Vactor, 2006 (continuación)

Nombre	Usos	Diámetro de tubería aplicable (mm)			Descripción	Imagen
Penetrador 2	Penetración de obstrucciones, tramos largos, pendientes empinadas, lodo, cieno, arena y grava. Tubos discontinuos, desplazados por sedimentación	101	-	304	Con forma ovoide se usa para entrar y salir de un tubo sin atorarse. Gracias a sus chorros de ángulo llano de 8 grados y su orificio delantero penetrador, esta boquilla llega fácilmente a las obstrucciones más lejanas que se requiera despejar.	
Sanitaria normal	Mantenimiento general, líneas sanitarias, retira cieno, lodo y grava	152	-	508	Estas boquillas se aplican para la mayoría de las situaciones, desde limpieza hasta la penetración y el enjuague.	
Arena estándar	Mantenimiento general, arena, lodo y grava	152	-	508	Estas boquillas resistentes son adecuadas para la mayoría de las situaciones, desde limpieza hasta la penetración y el enjuague	
Penetración estándar	Mantenimiento general, remoción de cieno, lodo, grava y obstrucciones	152	-	508	Estas boquillas resistentes son adecuadas para la mayoría de las situaciones, desde limpieza hasta la penetración y el enjuague	

Tabla 2.1 Boquillas para equipo de presión y vacío, adaptado de Vactor, 2006 (continuación)

Nombre	Usos	Diámetro de tubería aplicable (mm)		Descripción	Imagen	
Cinzel punta de cuña	Mantenimiento general, para obstrucciones grandes, masas de raíces, grava, arena y fango	101	-	914	Un rendimiento adecuado en situaciones difíciles, especialmente cuando hay deformaciones u obstrucciones totales en el tubo. Con sus chorros delanteros y sus bordes afilados aseguran una limpieza rápida; con chorros delanteros y puntas de taladro penetran profundamente para desalojar y expulsar las obstrucciones totales	
Impacto	Obstrucciones, arena, cieno y grava. Pendientes empinadas	152	-	406	Los chorros de ángulo bajo son esenciales para avanzar por pendientes empinadas y se enfocan hacia atrás	
Impacto	Mantenimiento general, expulsión de obstrucciones, arena, cieno y grava	203	-	406	Los chorros de ángulo bajo proporcionan niveles excelentes de penetración y enjuague con una sola boquilla	
Tornado	Remoción de grasa, raíces, obstrucciones, arena y cieno	203	-	914	Entrega chorros potentes con giro controlado para una alta potencia de limpieza	

Tabla 2.1 Boquillas para equipo de presión y vacío, adaptado de Vactor, 2006 (continuación)

Nombre	Usos	Diámetro de tubería aplicable (mm)			Descripción	Imagen
Cortador para tubería	Obstrucciones, bloqueos totales, raíces gruesas, grasa y cieno	152	-	381	Esta cortadora exclusiva produce una acción superior de limpieza, adecuada para las situaciones más extremas. Esta boquilla desmenuza las obstrucciones y bloqueos totales	
Cortador de raíces	Raíces gruesas, grasa y costras	152	-	381	Es una herramienta para cortar raíces, grasa y costras en tubos con una amplia gama de diámetros	
Cortador en cadena	Bloqueos totales, raíces grandes, depósitos de calcio, grasa, costras y depósitos minerales	152	-	508	Avanza por obstrucciones más difíciles y duras. El retenedor de la cadena es impulsado por una turbina de alto rendimiento para la eliminación de raíces, grasa y depósitos minerales	
Moledor	Grasa endurecida, costras de calcio, concreto, montículos de corrosión, recorte de tomas protuberantes dentro del tubo, raíces gruesas y encamisados averiados	152	-	508	Esta boquilla se abre paso con sus picas de carburo o diamante y su cabeza de corte sin efecto percutor permiten que sea una herramienta para las tareas más exigentes	

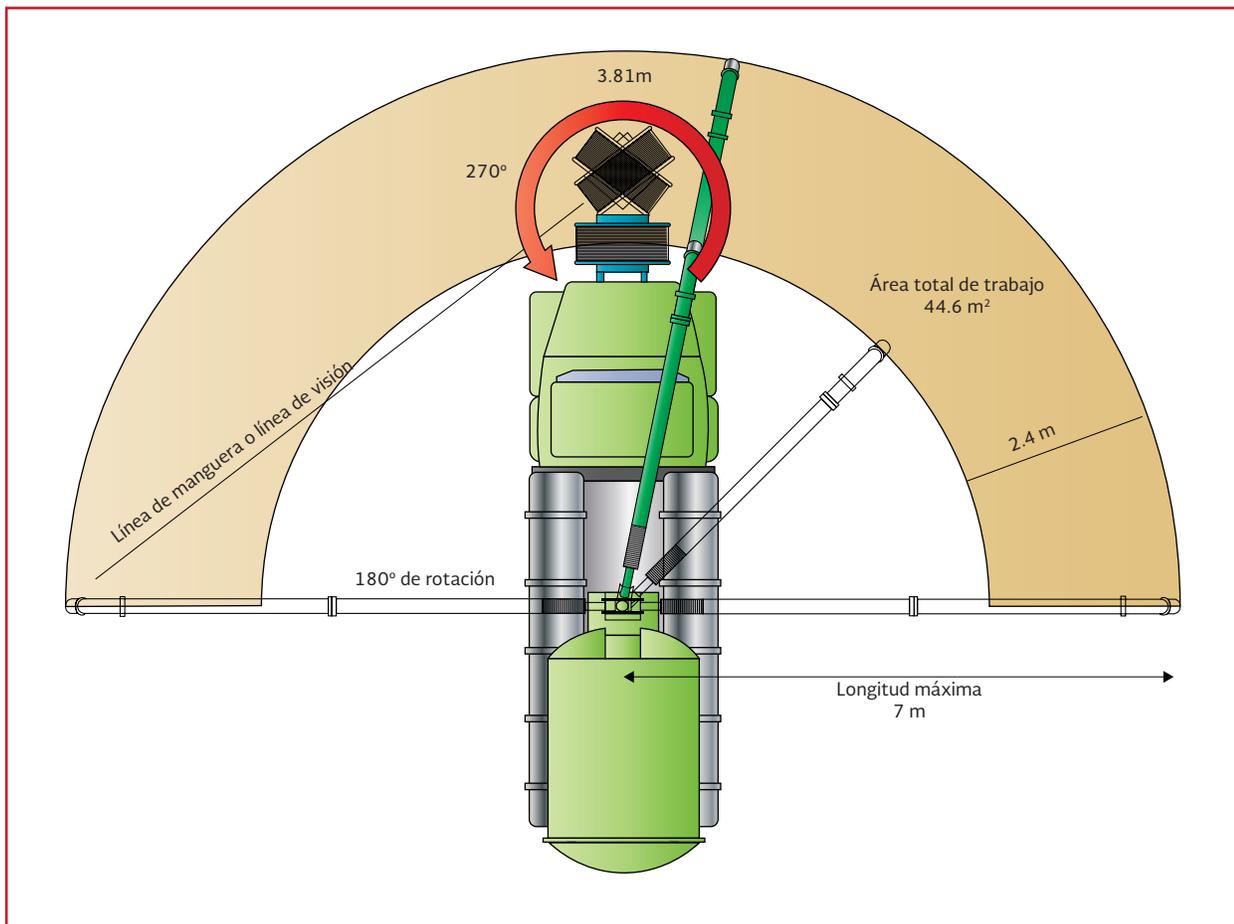
rías de 200 a 450 mm. Además debe tomarse en consideración que el impacto la presión que ejercen estos dispositivos sobre la tubería puede ser suficiente para dañarla, por lo que su uso debe ser moderado y solo para situaciones donde las características propias del equipo y las condiciones de la tubería lo permitan. También debe tomarse en cuenta que debido a sus dimensiones, los equipos de presión y vacío no pueden acceder a cualquier zona, por lo que aunque las características sean propicias para su aplicación, deberá buscarse una solución alterna. Otro factor a considerar es que estos equipos representan altos costos de inversión y mantenimiento por lo que si los tiempos muertos son demasiados puede ser que no se justifique su adquisición.

Los equipos de presión y vacío, dependiendo del modelo presentan el perímetro de trabajo de la Ilustración 2.21.

Debe tomarse en consideración que las dimensiones presentadas son solo para brindar una idea del área de trabajo requerida para su operación y estos valores varían en función de la marca y el modelo.

Para diámetros mayores a 450 mm es más adecuado el uso de malacate y dragas. Sin embargo el uso excesivo o incorrecto de estas, puede erosionar la tubería y no es recomendable utilizarla en tuberías plásticas (PVC, PEAD) a menos que se cuente con una draga especial para este tipo de materiales.

Ilustración 2.21 Perímetro de trabajo de un equipo de presión y vacío (Adaptado de Vactor, 2004)



Los malacates, de dependiendo el modelo tienen las dimensiones presentadas la Ilustración 2.22.

Debe tomarse en consideración que las dimensiones presentadas son solo para brindar una idea del área de trabajo requerida para su operación y estos valores varían en función de la marca y el modelo.

Para tuberías mayores de 800 mm, que comúnmente corresponden a colectores y emisores, la limpieza la podrá realizar el personal de mantenimiento, con herramienta manual o equipos portátiles de alta presión, siempre y cuando se garantice su seguridad y se cuente con el equipo de protección, tal como se especifica en el apartado 2.8, sin embargo debe tomarse en consideración que en este tipo de conducciones es

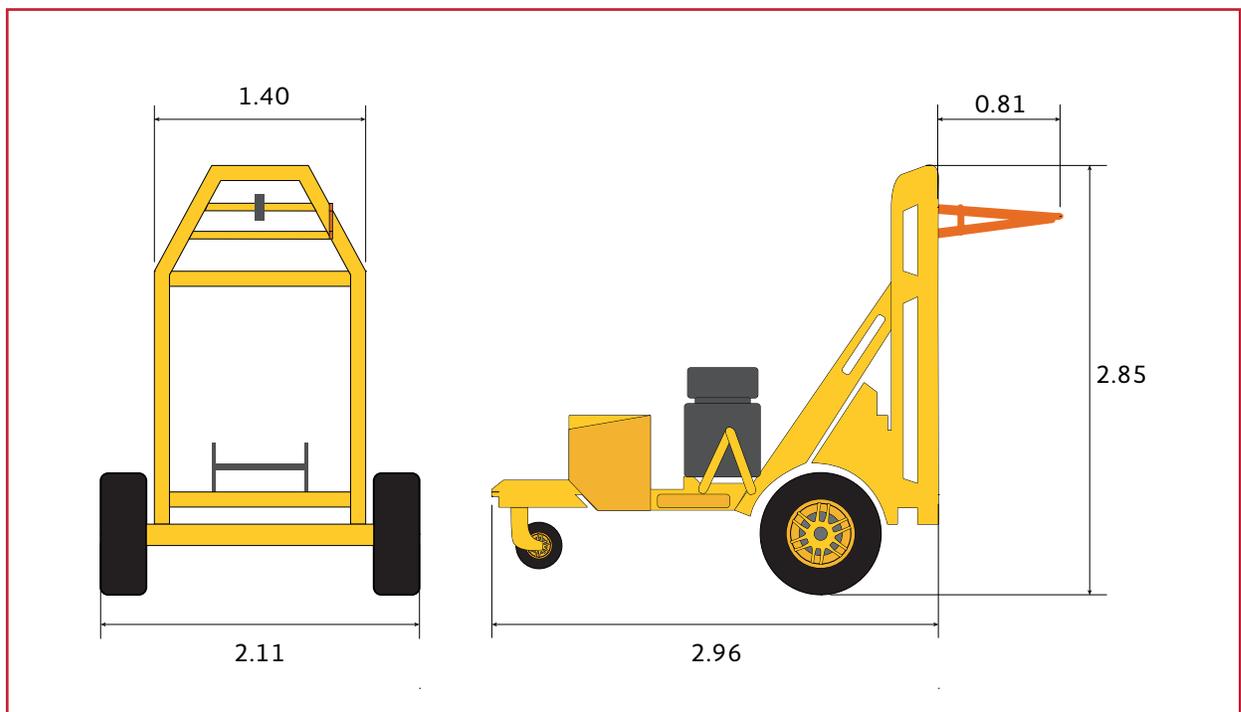
probable que no sea posible desviar o limitar el flujo para trabajos de reparación.

2.4.8. DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS Y RESIDUOS

La limpieza de las redes de drenaje y alcantarillado producen lodos y residuos que pueden ser un riesgo para los operadores y usuarios si estos no se manejan de forma adecuada.

Para el manejo de lodos y residuos deberán atenderse las disposiciones municipales, ya sea que se trasladen hacia un relleno sanitario o a una planta de tratamiento, para mayor referencia consultese el libro de *Tratamiento y disposición de lodos* del MAPAS.

Ilustración 2.22 Dimensiones generales de malacates



2.5. LIMPIEZA DE COLADERAS

- a) Si las coladeras están conectadas con el alcantarillado y no tienen cámaras de arena, no es necesario limpiarlas; cuando se cuenta con cámara de arena es necesario revisarla en forma periódica y retirar la arena; esta acción puede hacerse en forma manual, utilizando cucharas de varios tipos y añadiendo agua para la remoción de los sedimentos
- b) Sin embargo, la tendencia actual es hacerlo con máquinas provistas de dispositivos de absorción, previa inyección de agua y mediante bombeo al vacío
- c) Los aparatos modernos más usados para esta clase de operaciones son los camiones con alto poder de succión, capaces de retirar adoquines y elementos similares en volumen y peso
- d) En general, el material retirado de las alcantarillas debe ser depositado en un lugar donde no provoque problemas o bien, ser tratado para su disposición final

- e) Sistemas manuales de desazolve, como cucharas, cucharones y dragas. Se emplean cuando el sistema es accesible y la succión o presión no pueden remover sobre todo lodos y arena (Ilustración 2.23)

Los principales problemas en los sistemas de alcantarillado ocurren en:

- Las instalaciones sanitarias internas y conexiones domiciliarias
- La red de colectores e interceptores, por problemas de hundimiento o taponamiento

2.6. CONSTRUCCIÓN DE CONEXIONES DOMICILIARIAS

Las conexiones domiciliarias solo podrán ser construidas por personal autorizados por el organismo operador responsable del servicio.

Los escombros que se produzcan al picar la tubería cuando se construyan las conexiones domiciliarias no deben quedar en el interior de la tubería.

Ilustración 2.23 Desazolve de pozo de visita con cuchara por personal de ODAPAS, Nezahualcoyotl



Al efectuar el empotramiento de la tubería de la conexión domiciliaria con la tubería de la atarjea, debe tenerse cuidado de no dejar filtraciones en dicho sector.

Se recomienda que el organismo operador responsable del servicio cuente con un menú o variedad de baños sanitarios, de diferentes costos, para asesorar a los usuarios que deseen construir su baño. De esta manera, es posible asegurar que las instalaciones interiores serán adecuadamente construidas: con tuberías de ventilación, registros sanitarios y registros de separación de grasas.

Todo sistema de alcantarillado debe recibir mantenimiento en menor o mayor grado, con el propósito de que el sistema funcione adecuadamente y se eviten anomalías en la época de lluvias, lo cual ayuda a prolongar la vida útil del sistema.

Esta actividad debe llevarse a cabo en la época de estiaje, que es cuando los sistemas conducen caudales pequeños y es posible revisarlos con relativa facilidad, así como detectar daños. Es de esperarse que se tenga la presencia de sedimentos en el sistema debido a las bajas velocidades, para lo cual se requiere equipo apropiado para llevar a cabo esta actividad.

2.7. MANTENIMIENTO DE POZOS DE VISITA

Además de los taponamientos e inundación de pozos de visita, los problemas estructurales que generalmente se presentan son ruptura o pérdida de la tapa y el brocal (Ilustración 2.24a y b); grietas, fisuras y filtraciones internas o el colapso total o parcial del pozo (Ilustración 2.24c y d). Estas condiciones deben ser repara-

Ilustración 2.24 Fallas en pozos de visita



a) ruptura de tapa metálica



b) Ruptura de tapa de concreto



c) Colapso de pozo de visita de mampostería



d) Colapso de pozo de visita prefabricado

das de inmediato, siguiendo los procedimientos establecidos por los manuales de procedimientos, propios del organismo operador (ver libro de *Integración de un organismo operador* del MAPAS), como el que a manera de ejemplo se presenta a continuación para la reparación de un pozo de visita simple de mampostería que presenta grietas y filtraciones (ver secuencia de la Ilustración 2.25). Dicho procedimiento es aplicable a cualquier tipo de pozo de visita que presente grietas o fisuras, así como derrumbes parciales, no importando su material (concreto o materiales plásticos).

1. Cortar y retirar el concreto o pavimento al rededor del pozo, esto deberá realizarse siguiendo los lineamientos del reglamento de construcción de la zona, ya que en algunos casos, existen normas especiales para estos trabajos
2. Descubrir y retirar el brocal y la tapa (en este caso metálico)
3. Para facilitar las maniobras internas, lo más recomendable es retirar total o parcialmente el cono del pozo, principalmente si este está dañado o fisurado
4. Se debe colocar una cimbra interna, que deje un espacio mínimo entre 10 y 15 centímetros entre el muro del pozo y la cimbra. Cabe mencionar que esta cimbra puede ser metálica o de madera, prefabricada o construida en sitio. Además se debe colocar una cimbra externa para reconstruir el cono superior
5. Para evitar que los escombros o el concreto ingresen a la tubería se debe colocar una protección o cubierta en el fondo del pozo. Esto, además de evitar la intrusión de sólidos a la red, permitirá trabajar sin interrumpir el flujo. Además esta cubierta se debe colocar antes de iniciar los trabajos
6. Una vez instalada la cimbra, protegiendo el fondo, se deberá colar el cuerpo interno del pozo, este será a base de concreto con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$; tamaño nominal máximo del agregado grueso de un tercio del espacio entre el muro y la cimbra
7. Una vez fraguado el concreto se retira la cimbra, el tiempo requerido dependerá del tipo de cemento y aditivos utilizados. Puede variar entre 1 y 5 días. Durante este tiempo se debe acordonar y señalizar adecuadamente la zona de obra para evitar accidentes
8. Una vez retirada la cimbra, se debe restituir (si es que se requiere), el fondo del pozo, las bocas de las tuberías de llegada y salida, así como las medias cañas. En el caso de pozos de mampostería y concreto se deberá usar concreto de fraguado rápido
9. Se colocará un nuevo brocal con tapa
10. Se debe restituir el concreto o asfalto siguiendo las especificaciones de los reglamentos de construcción y obras públicas aplicables a la zona

Cuando se presenta un colapso mayor o daño en el fondo de un pozo de visita prefabricado de materiales plásticos, la solución será cambiar completamente el pozo, esto se realiza descubriendo completamente, el pozo dañado y colocando uno nuevo. En el caso de pozos de visita de concreto construidos a base de anillos, se deberán sustituir exclusivamente los anillos dañados (Ilustración 2.26).

Por otra parte, se recomienda contar con tapas de pozos de repuesto para reemplazar las dañadas por vehículos u otras causas.

Ilustración 2.25 Procedimiento de reparación y reforzamiento de pozo de visita (<http://infratechonline.com/manhole-rehabilitation>)



1. Ruptura de pavimento



2. Retiro de brocal y tapa



3. Ruptura del cono



4. Colocado de cimbra interna



5. Cubierta para fondo

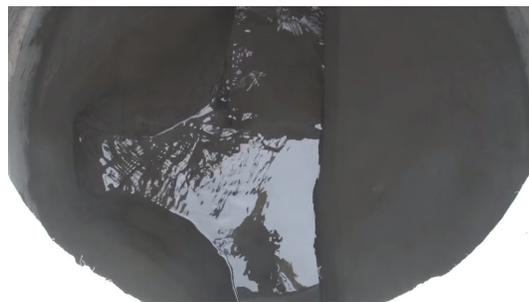


6. Colado

Ilustración 2.25 Procedimiento de reparación y reforzamiento de pozo de visita (<http://infratechonline.com/manhole-rehabilitation>) (continuación)



7. Retiro de cimbra



8. Restitución del fondo



9. Colocación de brocal y tapa nueva



10. Restitución de pavimento



a) Instalación de pozo de visita plástico



b) Colocación de cono prefabricado de concreto

2.8. SEGURIDAD E HIGIENE EN LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA

Los riesgos detectables más comunes para el personal que interviene en los trabajos de limpieza y mantenimiento de redes de saneamiento son: caída de personas al mismo nivel, caída de personas a distinto nivel, desplome y vuelco de los paramentos del pozo, golpes y cortes por el uso de herramientas manuales, sobreesfuerzos por posturas obligadas (por ejemplo, caminar de cuclillas), los derivados de trabajos realizados en ambientes húmedos, encharcados y cerrados, la electrocución, la intoxicación por gases, explosión por gases o líquidos, ataque de ratas, rotura del torno de sujeción en la boca del pozo, dermatitis por contactos con el cemento, infecciones y otros.

Dadas las graves consecuencias de algunos de los anteriores, deben adoptarse normas y medidas preventivas. Estas normas pueden resumirse en:

- Siempre que exista peligro de derrumbe se procederá a apuntalar según cálculos expresos del proyecto
- La excavación del pozo se hará entubándolo para evitar derrumbes sobre las personas
- A lo largo del recorrido se tenderá una soga a la que asirse para avanzar en casos de emergencia
- Se prohíbe la permanencia en solitario en el interior de pozos o galerías
- El ascenso o descenso a los pozos se realizará mediante escaleras normalizadas, firmemente ancladas a los extremos superior o inferior
- Los trabajadores permanecerán unidos al exterior mediante una soga anclada al cinturón de seguridad, tal que permita tanto la extracción del operario, tirando, como su localización en caso de rescate
- Se dispondrá a lo largo de toda la galería una manguera de ventilación (con impulsión forzada o no, según sea el caso) para evitar estados de intoxicación o asfixia
- Se prohíbe utilizar fuego para la detección de gases
- La detección de gases se efectuará mediante tubos calorimétricos, lámpara de minero, exposímetros, etcétera
- Se vigilará la existencia de gases nocivos. En caso de detección, se ordenará el desalojo inmediato, para evitar estados de intoxicación
- En caso de detección de gases nocivos, el ingreso y permanencia se efectuará pro-

tegido mediante equipo de respiración autónomo o semiautónomo

- Los pozos y galerías tendrán la iluminación suficiente para poder caminar por el interior. La energía eléctrica se suministrará a 24 V y todos los equipos serán blindados
- Se prohíbe fumar en el interior de un pozo o galería
- Al primer síntoma de mareo en el interior de un pozo o galería, se comunicará a los compañeros y se saldrá al exterior. El hecho debe ser puesto en conocimiento de la Dirección Facultativa
- Se prohíbe el acceso al interior del pozo a toda persona ajena al proceso de construcción operación o mantenimiento
- Los ganchos de cuelgue del torno estarán provistos de pestillos de seguridad, para evitar accidentes por caída de carga
- Alrededor de la boca del pozo y del torno se instalará una superficie firme de seguridad hecha con un entablado (tablones trabados entre sí)
- El torno se anclará firmemente a la boca del pozo de tal forma que transmita la menor cantidad de esfuerzos posible
- El torno estará provisto de cremallera de sujeción contra el desenroscado involuntario de la soga de recogida, para evitar accidentes
- El vertido del contenido del tubo del torno se realizará a una distancia mínima de 2 m (como norma general) de la boca del pozo, para evitar sobrecargas del brocal
- Se prohíbe almacenar o acopiar materiales sobre la traza exterior de una galería en fase de excavación, para evitar los hundimientos por sobrecarga

- Se prohíbe acopiar material en torno a un pozo a una distancia inferior a 2 metros

Las medidas de protección personal son:

- Casco de polietileno (preferible con barboquejo)
- Casco de polietileno con equipo de iluminación autónoma (tipo minería)
- Guantes de cuero
- Guantes de goma
- Botas de goma de seguridad con puntera reforzada
- Ropa de trabajo
- Equipo de iluminación autónoma (o semiautónoma)
- Cinturón de seguridad, clases A, B o C
- Manguitos o polainas de cuero
- Gafas de seguridad antiproyectiles
- Trajes para tiempo lluvioso
- Tapa de rejilla de seguridad para pozos: la rejilla puede incorporar banderas de advertencia retráctiles
- Ganchos para tapas de registro: para la fácil apertura de tapas de registro
- Triángulo soporte ligero para el equipo de seguridad: se coloca sobre la abertura y sostiene el equipo de seguridad, compuesto por arneses de sujeción y cable reforzado
- Conos de señalización: de color rojo y blanco, reflectantes
- Chaleco de advertencia con bandas reflectantes y bordes reforzados
- Caretas antigás
- Equipos de respiración autónoma en los casos necesarios

Cuando se entra a un pozo de visita se deben seguir las recomendaciones de seguridad para

espacios cerrados que marca la NOM-031-STPS-2011 y tener el equipo de protección de acuerdo con la NOM-017-STPS-2008.

2.9. RESPONSABILIDADES DE LOS USUARIOS

Los usuarios de un sistema de alcantarillado tienen gran parte de la responsabilidad en su operación y mantenimiento. A continuación se presentan algunas recomendaciones que los responsables del sistema deben comunicar permanentemente a los usuarios:

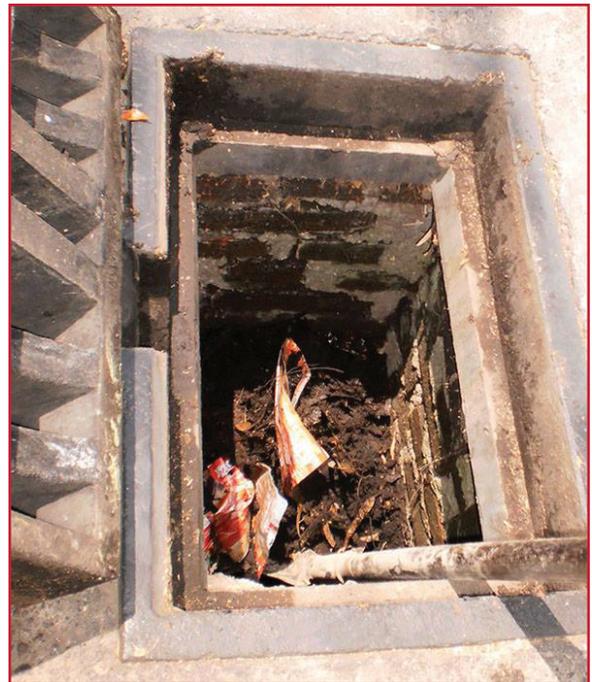
No debe utilizarse el sistema de alcantarillado sanitario para evacuar aguas de lluvia. Las aguas de lluvia arrastran partículas de suelo y arena que se sedimentan en las tuberías y con el tiempo pueden bloquearlas. (La fuerza de arrastre mínima de diseño de las tuberías permite la auto limpieza de partículas de 2.0 mm).

El sistema de desagües de la cocina o los lugares donde se cocina y se lavan enseres de cocina y comedor debe contar con cámaras de separación de grasas que deben ser limpiadas cada cuatro meses. La grasa es otra de las sustancias cuya acumulación bloquea las tuberías de alcantarillado.

Las tapas de los registros sanitarios o de separación de grasa deben ser herméticas para evitar que ingresen aguas de lluvia o aguas de lavado de patios, que luego se acumulan y bloquean las tuberías (ver Ilustración 2.27).

No deben arrojarse bolsas de plástico, pañales desechables, papel periódico u otros objetos similares en los inodoros.

Ilustración 2.27 Coladera obstruida



Se sugiere a los usuarios que, cuando menos, cada cuatro meses viertan agua caliente a punto de ebullición en su lavaplatos e inodoro para disolver y eliminar residuos de grasa.

2.10. REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS

Los sistemas de drenaje y alcantarillado sanitario, generalmente son sistemas antiguos (más de 20 años), construidos en su mayoría con tuberías de concreto.

Por lo general, el crecimiento poblacional y la densificación en muchas ciudades provoca que tuberías que fueron diseñadas para comunidades con casas de tres o cuatro habitantes y que posteriormente volvieron edificios de 10 a 20 departamentos, sean insuficientes, lo cual condiciona que todo el sistema debe ser renovado, más que rehabilitado.

También existe el caso que otras comunidades cuentan con una red adecuadamente diseñada, pero que no ha recibido el mantenimiento adecuado, por lo que para lograr niveles adecuados de funcionamiento requieren de un programa de rehabilitación.

Por tal motivo es que deben realizarse estudios para evaluar las capacidades de la infraestructura actual, considerando las condiciones reales de la población y el estado que guardan las redes y colectores existentes. Esto permitirá identificar los tramos que no tienen capacidad hidráulica para brindar adecuadamente el servicio.

Por otra parte es preciso evaluar el estado físico de la red de atarjeas, colectores y emisor, de acuerdo a las recomendaciones de inspección presentadas en el apartado 2.2.

Con la inspección se pueden determinar los aspectos que servirá para integrar un programa de mantenimiento y rehabilitación, entre los cuales se puede mencionar:

- a) Identificar áreas con problemas que requieren acción inmediata
- b) Identificar áreas con problemas potenciales
- c) Localizar la posición exacta de los problemas
- d) Integrar informes precisos, breves y significativos acerca de los problemas para integrar los programas de rehabilitación

A través de las inspecciones se puede tener certeza del estado real de las tuberías y permiten determinar exactamente cuál es la falla, si es una instalación inadecuada, mantenimiento incorrecto, reparaciones mal realizadas o asentamientos de la tubería.

De acuerdo con los informes de inspección y apoyándose de modelos de simulación hidráulica (como los presentados en los libros *Alcantarillado sanitario*, *Sistemas alternativos de alcantarillado sanitario y drenaje pluvial*, del MAPAS) se deben plantear las acciones correspondientes.

Generalmente las acciones que se definen son:

- **Remplazo:** Se deben reemplazar los tramos de tubería cuya capacidad hidráulica fue superada. Este remplazo puede ser del mismo diámetro de la tubería existente, modificando la pendiente y adecuado los pozos de visita o sustituir los tramos por tubería de diámetro superior al existente
- **Desvíos:** Se modificará el trazo de la red, el colector o emisor existente, para mejorar el funcionamiento hidráulica o evitar zonas de difícil acceso para el personal de mantenimiento o por cambios de uso de suelo
- **Rehabilitación:** Se realiza la reparación de tuberías colapsadas y/o, con daños menores y/o cuya capacidad hidráulica se incrementa al modificar su coeficiente de rugosidad
- **Refuerzo paralelo:** Hay casos donde la mejor solución es construir una línea paralela que aligere la carga de la tubería existente, por ejemplo en conducciones donde no se pueda interrumpir el flujo o donde el incremento de gasto a transportar supere la capacidad de la conducción, aún cuando esta sea rehabilitada

Estas actividades se pueden realizar por dos distintos métodos: convencionales (a zanja abierta) y rehabilitación de tuberías sin zanja.

El primer caso, a zanja abierta, se presenta de forma detallada en el libro *Alcantarillado sanitario* del MAPAS, por lo que en este apartado se presentarán exclusivamente alternativas de rehabilitación por métodos sin zanjas.

En la Ilustración 2.28 se presenta un diagrama de flujo para seleccionar el método más apropiado para rehabilitación o reemplazo, el cual se complementa con la Tabla 2.2, donde se presenta un resumen con las características

Ilustración 2.28 Alternativas de rehabilitación de colectores (Adaptado de Espinoza, 2013)

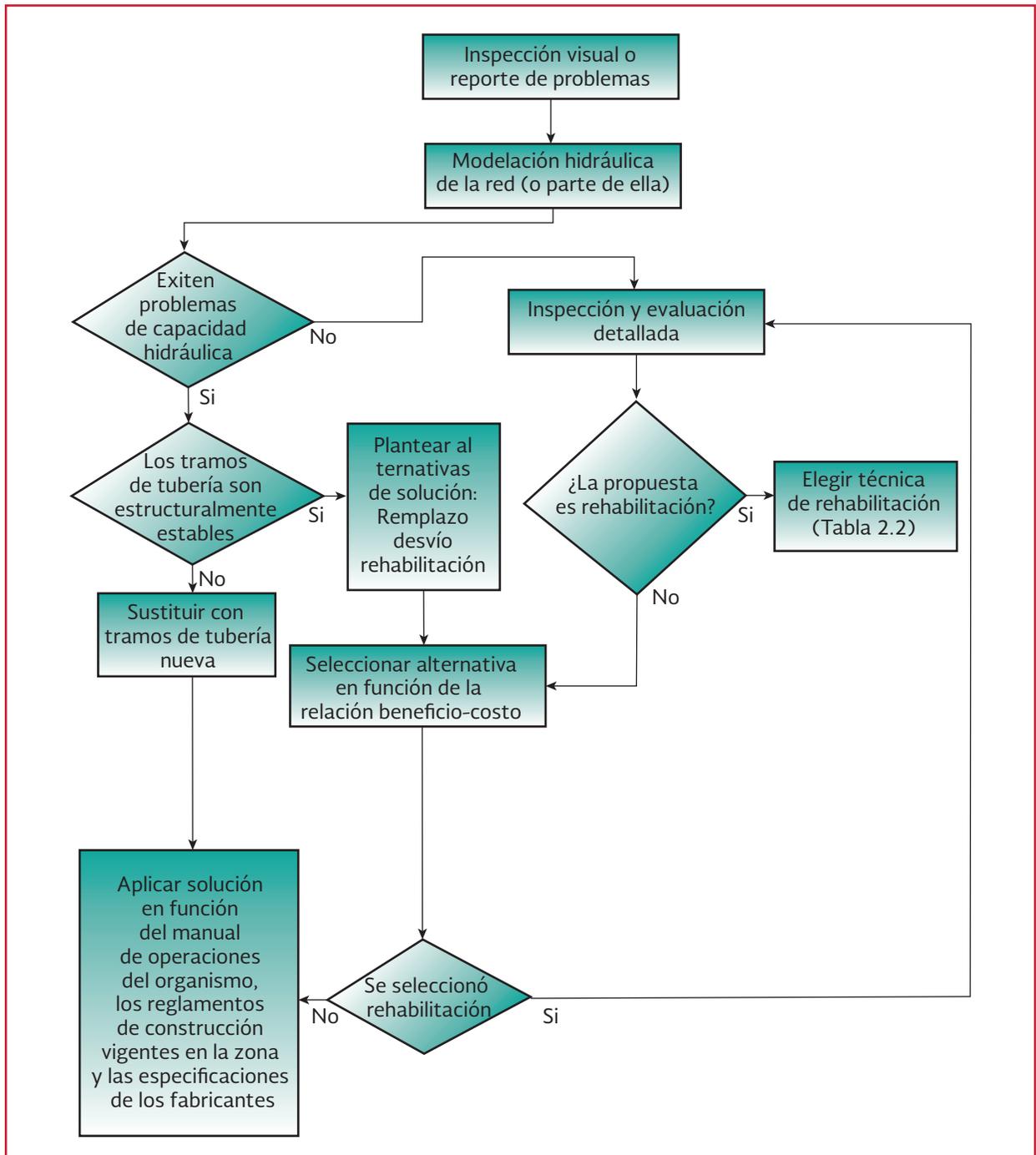


Tabla 2.2 Métodos de rehabilitación sin zanja (Adaptado de EPA, 1999)

Método		Rango de diámetros	Longitud máxima de aplicación	Material de la tubería nueva
		(mm)	(m)	
Expansión en línea	Reventamiento de tubería	100 - 600	230	PE, PP, PVC, GRP
Inserción de revestimiento	Embobinado espiral	150 - 2500	300	PE, PP, PP, PVDF
Revestimiento de endurecimiento en el punto de aplicación	Encamisado con manga continua	100 - 1600	300	PE, PP, PE/EPDM, PVC
Revestimiento con modificación de la sección transversal	Doblado y formación	100 - 400	210	PVC (Termoplástico)
Reparación puntual interna	Sellado puntual con robot	200 - 760	NA	Mezcla de cemento, resinas epóxicas

Nota: Los métodos de embobinado espiral, reparación robótica y endurecimiento de la tubería en el punto de aplicación sólo pueden ser utilizados para tuberías de flujo por gravedad.

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

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

PE: polietileno

PP: polipropileno

PVC: cloruro de polivinilo

PVDF: cloruro de polivinilideno

principales de cada método de rehabilitación sin zanja.

2.11. MÉTODOS DE REHABILITACIÓN SIN ZANJA

Cuando se identifique falta de capacidad hidráulica en tramos de tubería, cuyo mejoramiento no implique reconstrucción o reemplazo, podrán utilizarse técnicas de mejoramiento hidráulico. Estas pueden ir desde el mejoramiento del coeficiente de rugosidad con revestimientos internos o encamisados.

2.11.1. REHABILITACIÓN CON ENCAMISADO CON MANGA CONTINUA

El método de rehabilitación por encamisado con manga continua consiste en colocar den-

tro de la tubería existente una manga tubular flexible, que se adhiere a las paredes interiores de la tubería, gracias a la polimerización de una resina termoendurecible, previamente impregnada en la parte interna de la manga. La manga está compuesta de una estructura textil, concebida para resistir esfuerzos de presión y cortante.

Esta manga impregnada con resina se inserta a través de un pozo de visita mediante el sistema de inversión, es decir se coloca al inicio de la tubería y por medio de aire a presión se va deslizándose dentro de la tubería, volteando la manga para dejar la cara impregnada de resina del lado de la pared del tubo.

Después el proceso de inversión, se realiza el curado del revestimiento, el cuál se puede realizar por diversos métodos como la inyección de agua caliente o luz ultravioleta a lo largo de todo el tramo revestido.

Una vez concluido el curado del revestimiento, se debe enfriar mediante el agregado de agua fría.

El tubo formado por el revestimiento debe ser continuo entre pozos de visita y estar libre de fallas visibles, tales como: materiales extraños, puntos con ausencia de resina, descascarado de las capas, etcétera.

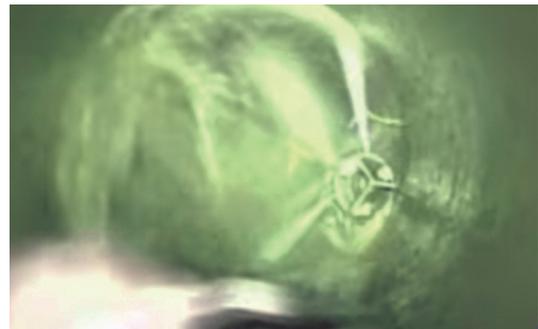
Cualquier defecto cuya presencia pueda perjudicar la integridad o resistencia del revestimiento deberá ser reparado por la empresa contratada.

La Ilustración 2.29 muestra un proceso típico de rehabilitación mediante el método de con encamisado con manga continua.

Ilustración 2.29 Rehabilitación de tubería por medio de encamisado de manga continua (Enrique Tedesco, 2009 y AST, 2015)



a) Inspección inicial de la tubería

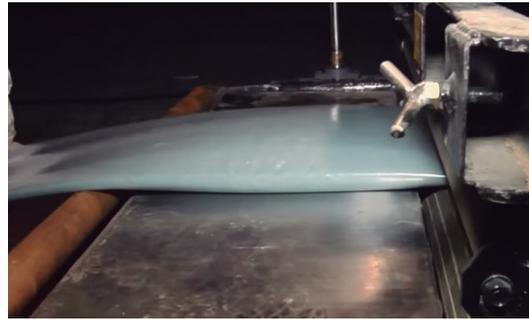


b) Limpieza de tubería

Ilustración 2.29 Rehabilitación de tubería por medio de encamisado de manga continua (Enrique Tedesco, 2009 y AST, 2015) (continuación)



c) Se prepara la resina



d) Se impregna la manga con la resina



e) La manga se coloca en el carrito para su traslado al sitio de aplicación



f) Se fija el extremo de la manga a la tubería



g) Por medio de aire a presión, la manga se inserta en la tubería



h) La resina se cura por medio de agua caliente, vapor o luz ultravioleta



i) Se corta el excedente de la manga



j) Revisión final y corte de las conexiones

2.11.2. REHABILITACIÓN CON EMOBINADO ESPIRAL

El proceso de embobinado en espiral (*Spiral Wound*) se realiza formando una tubería de PVC dentro de la tubería a rehabilitar. La formación de la tubería se hace enrollado en espiral una tira de PVC, que luego se presiona contra la superficie interior de la tubería existente. Este tipo de rehabilitación se utiliza para tuberías de 200 a 750 mm de diámetro (Ilustración 2.30).

Para rehabilitar tuberías de diámetros mayores a 750 mm, es por medio de una máquina bobinadora operada hidráulicamente que va rotando a medida que avanza dentro de la tubería y que va formando el nuevo tubo (Ilustración 2.31).

2.11.3. TRABAJOS PREVIOS

Para los dos métodos de rehabilitación descritos anteriormente se deben realizar las siguientes actividades previas a la instalación

Ilustración 2.30 Diagrama de rehabilitación, mediante el método de embobinado espiral

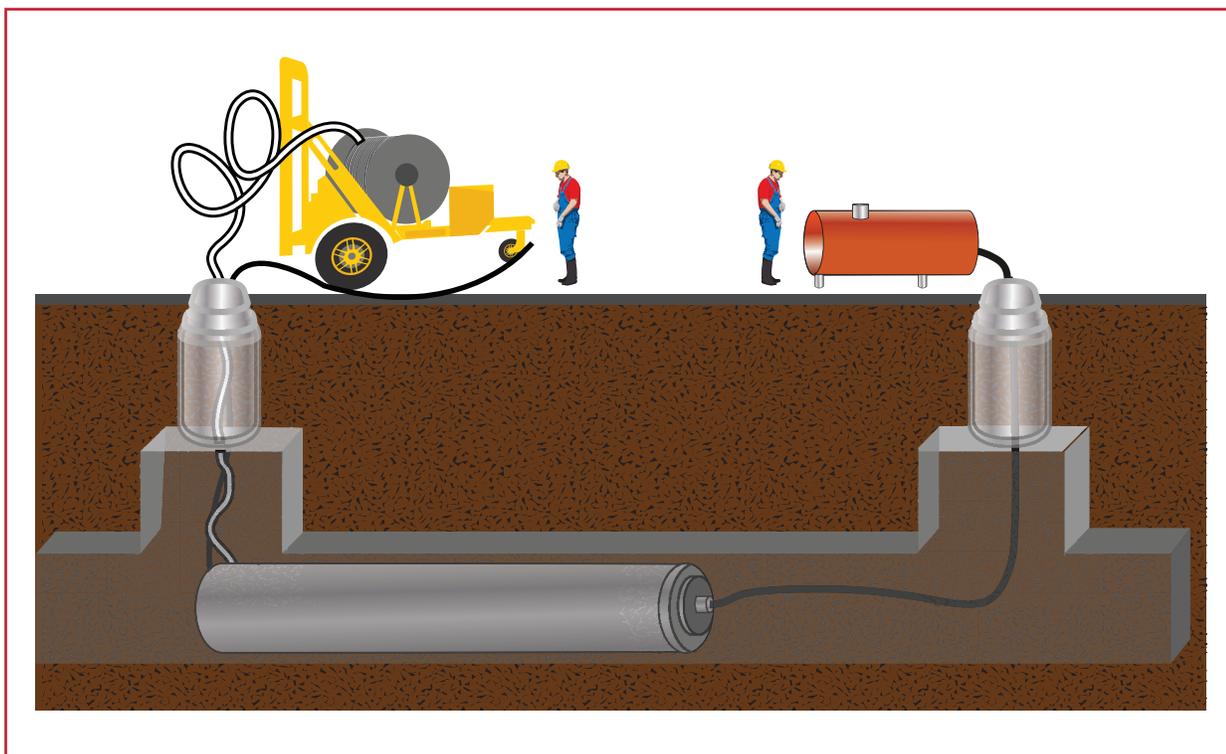


Ilustración 2.31 Maquinas bobinadora rehabilitando tubería de gran diámetro (extraídas de www.plumbermag.com y trenchless-australasia.com, respectivamente)



- Limpieza de la tubería a rehabilitar, por medio de equipo de presión y vacío (apartado 2.4.5)
- Inspección con cámara para verificar que el estado interior de la tubería no ha variado significativamente desde la inspección de diagnóstico (apartado 2.2.1)
- Eliminación de obstáculos existentes al interior de la conducción a rehabilitar, tales como restos de concreto, sedimentos, raíces, acometidas penetrantes (apartado 2.4.2)
- Derivación (*bypass*) del flujo para el tramo a rehabilitar durante el tiempo que duren los trabajos de rehabilitación
- Limpieza del tramo inmediatamente antes de la introducción de la manga o perfil de PVC, comprobando previamente el estado de la conducción

Una vez concluida la rehabilitación, se deberá realizar una inspección final con cámara para verificar el resultado del trabajo efectuado.

2.11.4. REVENTAMIENTO DE TUBERÍAS

El reventamiento de tubería (*pipe bursting*) es un método de sustitución en el cual se revienta el tramo de tubería dañada y simultáneamente se coloca en su lugar un tubo nuevo. Mediante un motor hidráulico se introducen por un costado del tramo de tubería a sustituir una serie de barras ligadas unas a otras por una unión elástica. En el otro extremo, se sujetan a un cono rompedor de diámetro superior a la tubería dañada, al que se fija también el tramo de tubo nuevo. Invertiendo el sentido de giro del motor hidráulico es arrastrado todo en conjunto. En el avance el cono rompe la tubería,

empotra los tramos en el terreno circundante y arrastra simultáneamente el nuevo tubo que generalmente es de polietileno en bobina o tubos soldados (si el diámetro lo impide). Se considera que el terreno se ve afectado en una distancia de 1.5 veces el diámetro del nuevo tramo de tubo instalado (Ilustración 2.32).

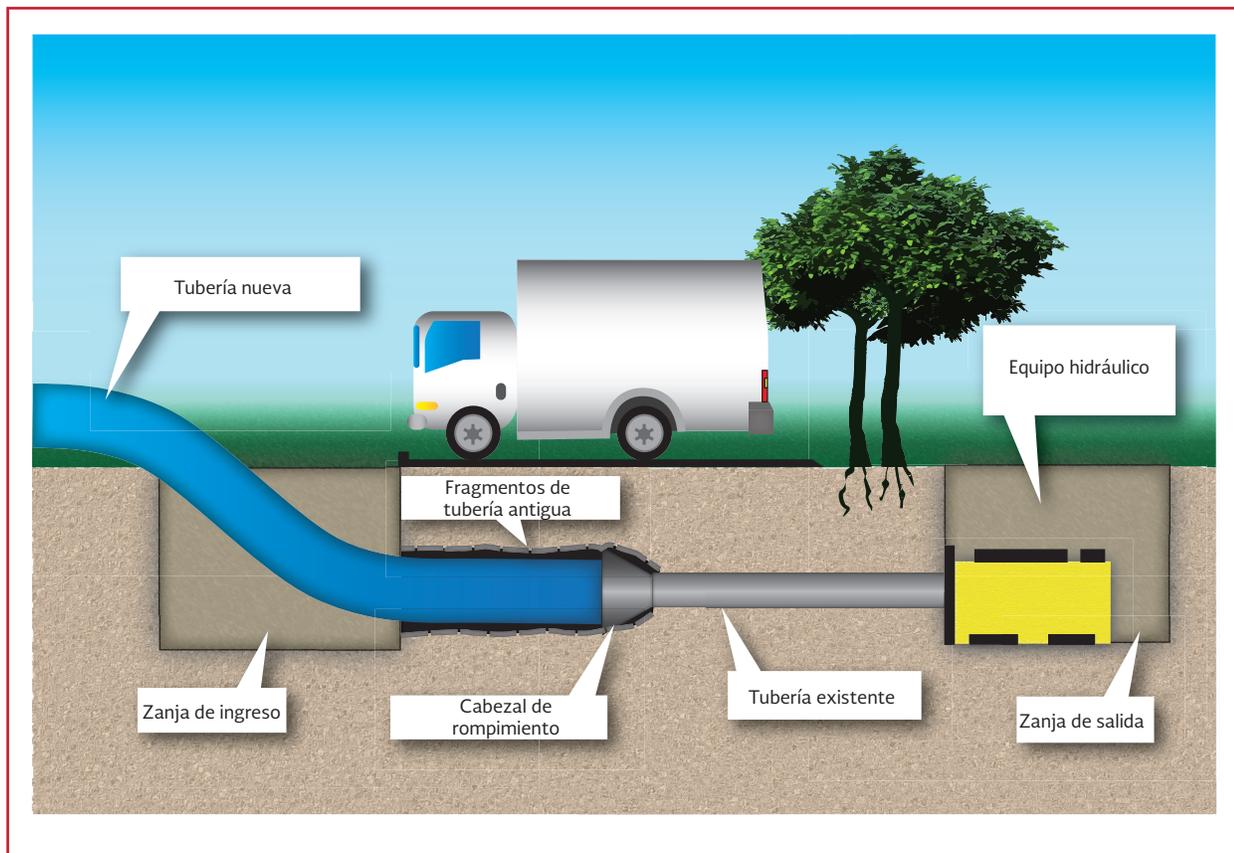
Durante la instalación, la antigua tubería es utilizada como guía. La cabeza de expansión (parte del cono de rotura y expansión) incrementa el área de la sección disponible para facilitar el ingreso de la nueva tubería y para incrementar la sección disponible en caso de requerir el aumento del diámetro; este incremento puede ser hasta de dos diámetros mayor que el diámetro existente.

La principal ventaja de este sistema es la posibilidad de aumentar el diámetro original y esto ofrece una ventaja decisiva sobre otras técnicas de inserción de tubería que pueden reducir o solo mantener el diámetro sustituido.

Existen dos técnicas para el reventamiento de tubería; estático y dinámico. En el primer caso la cabeza de expansión es jalada desde un extremo y es aplicable para tuberías de hasta 200 mm de diámetro; Para redes colectores y emisores donde las tuberías tienen diámetros entre 200 y 1 200 mm o están enterradas a mayor profundidad, se emplea el método dinámico, en el cual un equipo neumático unido a la cabeza de expansión transmite energía cinética para fracturar la tubería existente.

El rendimiento de instalación de los equipos puede llegar hasta los 300 m/día. Aunque el método requiere de la apertura de dos zanjas para el ingreso y salida de la nueva tubería, en el caso de la zanja de ingreso se requiere una longitud de 3

Ilustración 2.32 Reventamiento o bursting (adaptación de hstrial-ahayes5.homestead.com)



veces la profundidad de la zanja (profundidad de la tubería a nivel de fondo o plantilla), mientras que en la zanja de salida su longitud es de promedio entre 2 y 3 m por 1.00 m de ancho.

2.11.5. 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*®) 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 (EPA, 1999).

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 Ilustración 2.33 muestra una sección transversal típica del revestimiento deformado, y en posición luego del ser reformado.

2.11.6. SELLADO PUNTUAL CON ROBOT

Un robot multifunción puede operar en pequeños diámetros, inyectando diversos tipos de resinas en las pequeñas fisuras. Si la fisura es importante y/o la presión alta, hay que tomar precauciones antes de aplicar este sistema.

El mecanismo de revestimiento plástico se acopla a un robot de relleno, que se posiciona dentro de la tubería y cercano al punto a rehabilitar (Ilustración 2.34). Otros sistemas repararán la tubería colocando un encamisado con una chapa de acero o una manga de polietileno previamente tratadas con resina epoxi para ser pegadas en el interior, este método es adecuado para fisuras considerables pero para poca presión de servicio.

2.11.7. MANEJO DE ALBAÑALES

Cuando se realiza una rehabilitación por algún método sin zanja, se debe tomar en consideración que los albañales se tapan durante la instalación de la manga o encamisado.

Para solventar esta situación se debe realizar el siguiente procedimiento.

1. Antes de iniciar la rehabilitación, por cualquiera de los métodos sin zanja se debe limpiar la tubería con alguno de los procedimientos indicados en el apartado 2.4 (Ilustración 2.35a)
2. Se deberá cubrir con tapones especiales de caucho o PVC los albañales, los cuales son suministrados por los fabricantes de las mangas o encamisados. Dependiendo el diámetro de la tubería, esto se realizara por medio de un robot (Ilustración 2.35b y c) o de forma manual por un operario
3. Una vez concluido el procedimiento de rehabilitación, todos los albañales quedan obstruidos por el encamisado, por lo que se deberá barrenar y cortar la sec-

Ilustración 2.33 Tubo recuperado a través de encamisado (recuperado de <http://www.construnario.com>)



Ilustración 2.34 Robot multifunción (www.dnk-water.com)



ción correspondiente a cada albañal, ya sea por medio de un robot (Ilustración 2.35d y e) o de forma manual por un operario

2.11.8. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE REHABILITACIÓN SIN ZANJA

Una obra de mantenimiento de redes de drenaje y alcantarillado está restringida a un número limitado de puntos de acceso, en muchas ocasiones, el área de trabajo es muy limitada y deben considerarse los aspectos de movilidad, acarreos y la seguridad de los trabajadores y peatones. Las técnicas para la rehabilitación se deben seleccionar considerando las limitaciones del sitio, las características del sistema y los objetivos del proyecto. Es por éstas razones que los sistemas de rehabilitación sin zanja presentan las siguientes ventajas con respecto a los métodos convencionales:

- Los proyectos de rehabilitación sin zanjas disminuyen el riesgo de contaminación durante los trabajos de sustitución o mantenimiento y con eso se protege la integridad de los cuerpos receptores

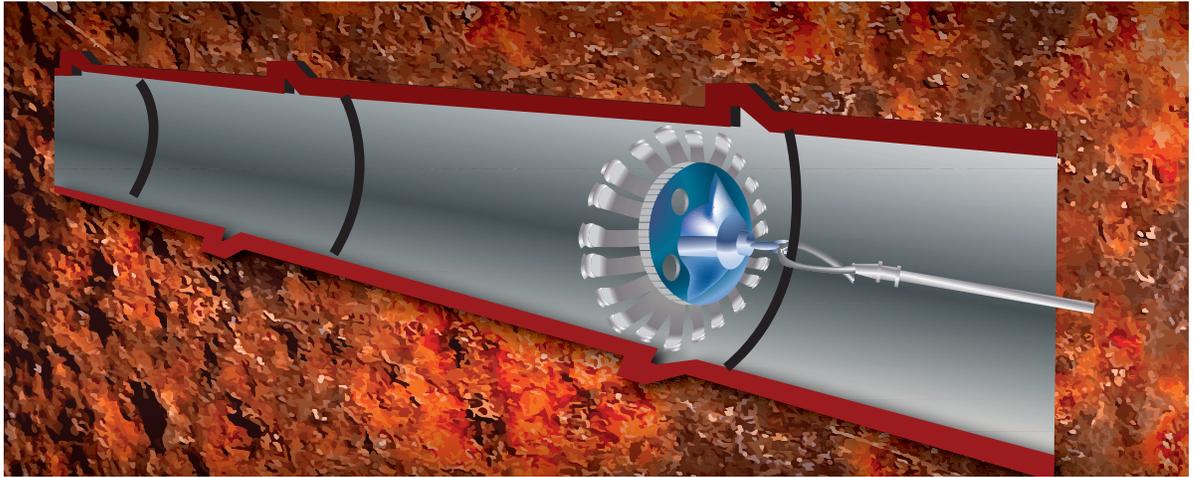
de agua que están potencialmente expuestos a altas concentraciones contaminantes

- 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 el ecosistema
- En ciudades las obras de mantenimiento pueden alterar las actividades de los ciudadanos que viven y que trabajan en las áreas cercanas a la obra; la rehabilitación sin zanjas permite 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
- Los nuevos materiales plásticos de alto rendimiento tienden a reducir la rugosidad de la tubería a diferencia de los materiales de concreto ya envejecidos

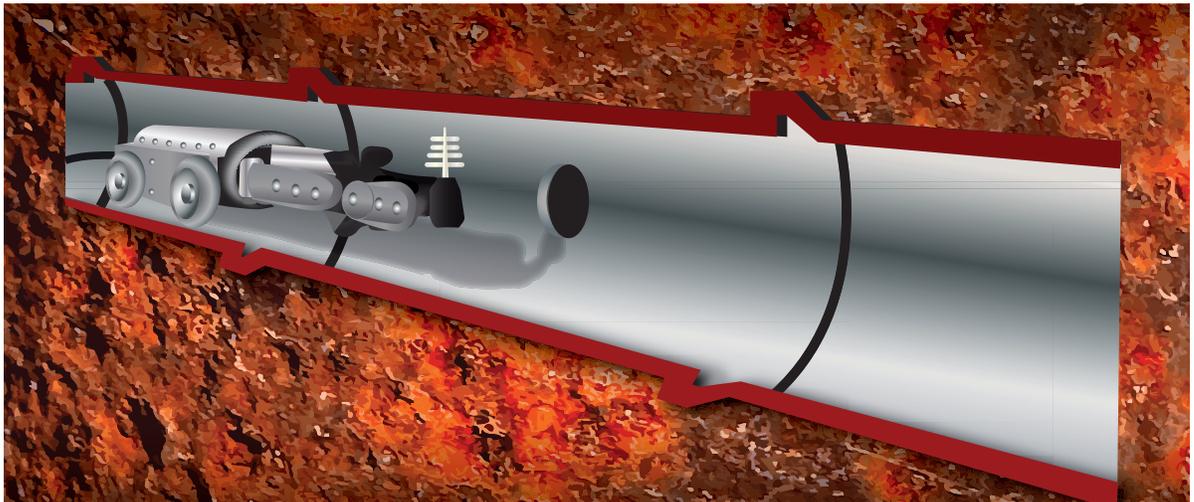
2.11.9. DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE REHABILITACIÓN SIN ZANJA

Cada método de rehabilitación sin zanjas tiene limitaciones específicas y deben ser consideradas antes de tomar la decisión de que método utilizar, por ejemplo:

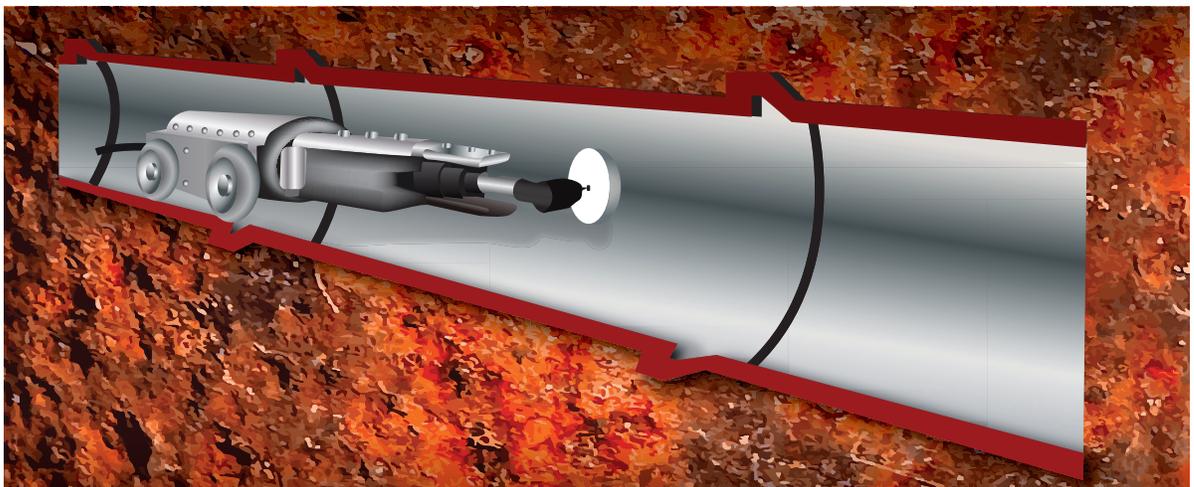
Ilustración 2.35 Procedimiento de restitución de albañales



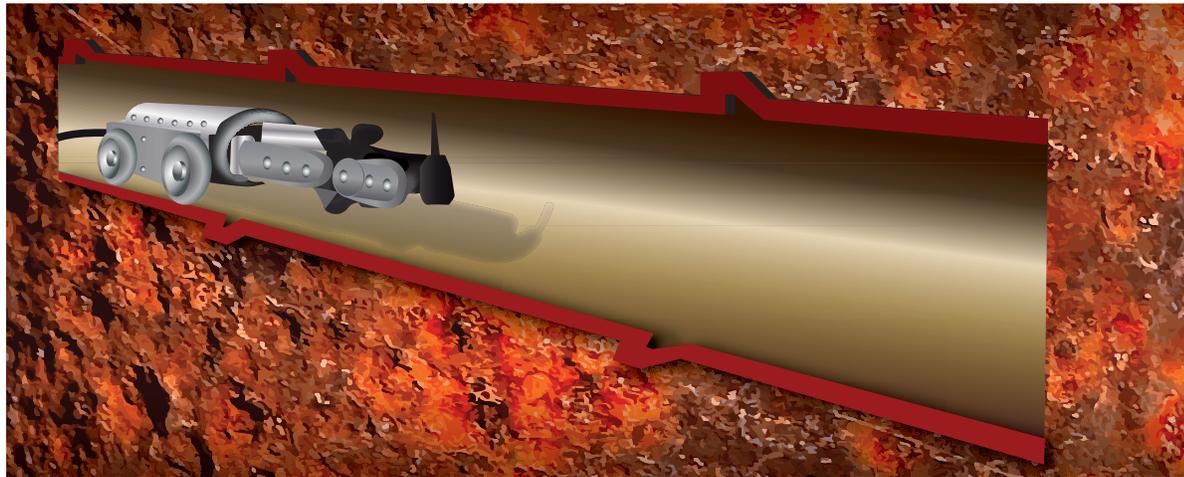
a) Limpieza interna de la tubería



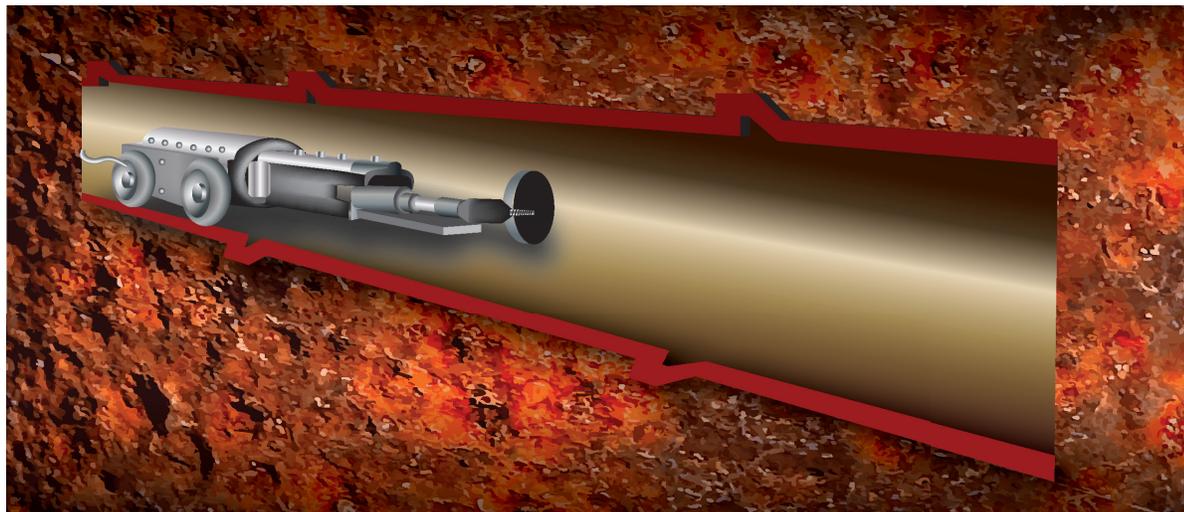
b) Ingreso de robot con tapón de PVC



c) Protección del albañal con tapón de PVC



d) Ingreso de robot con sierra



e) barreno de la conexión del albañal

- Están limitados a ciertos diámetros y longitudes, tal como se muestra en la Tabla 2.2
 - Los métodos de inserción de revestimiento, los de revestimiento con endurecimiento en el punto de aplicación y el de revestimiento con modificación de la sección transversal, reducen el diámetro de la tubería, lo cual podría disminuir la capacidad hidráulica del sistema
 - La mayoría de las aplicaciones sin zanjas requieren para la rehabilitación que un tramo esté fuera de operación por un período de 24 horas, como mínimo. El tratar de coordinar con los usuarios 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 aumen-

tar el riesgo y la responsabilidad al cliente y al contratista y debe tenerse en consideración que cuando se planifica la rehabilitación sin zanjas, se deben coordinar los proyectos de obras y servicios públicos de otras dependencias con los proyectos de rehabilitación del alcantarillado.

2.12. REFORZAMIENTO EXTERNO CON TUBERÍAS DE CONCRETO

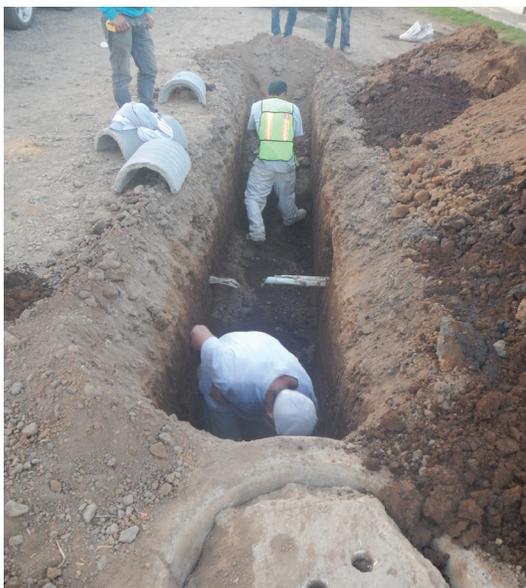
Este procedimiento se aplica, principalmente cuando se requiere mejorar la resistencia estructural de la conducción, por ejemplo cuando una tubería se encuentra en una calle donde se incrementa el flujo vehicular (cuando se pavimenta una calle o se convierte en una vía principal); también en aquellos casos donde la tubería sufre rupturas o rajaduras longitudinales en la parte superior y, dado que no se considera flujo

a presión, es posible solo recubrir con concreto la parte dañada.

Para el caso del reforzamiento de la tubería en todo el tramo se siguen los siguientes pasos:

- Se realizará la excavación hasta descubrir la tubería, dejando la zanja refinada. Se colocará tablaestacado de acuerdo con las características del terreno (Ilustración 2.36a)
- El reforzamiento de la tubería se llevará a cabo utilizando concreto; es necesario colocar un encofrado de madera o metálico que coincida con la campana de la tubería. Este refuerzo de concreto generalmente tiene un espesor de 7.5 cm
- Cuando la tubería presenta grietas en su parte superior, se puede cubrir la falla con una media caña de concreto o PVC y recubrir todo el segmento de tubería con concreto (Ilustración 2.36b)

Ilustración 2.36 Reforzamiento externo de tubería de concreto



a) Excavación de zanja



b) Reforzamiento de tubería

- Los siguientes pasos son los mismos que en una renovación de colectores: se rellena y compacta para luego reponer el pavimento según sea el caso
- Concluidos los trabajos, se procede a una limpieza general de las zonas afectadas

Este tipo de reforzamiento se puede realizar a cualquier tipo de tubería, siempre que no sea para flujo a presión y no se requiera mejorar las condiciones internas o hidráulicas de la conducción.

2.13. ELABORACIÓN DE UN PLAN FODA

Para seleccionar el método de rehabilitación a utilizar en un sitio en particular, se debe realizar una comparación de los costos económicos, culturales y sociales es determinante. Para ello, se puede utilizar un análisis de Fuerzas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), que tiene como objetivo el identificar y analizar las fuerzas y debilidades de una institución, o parte e esta, así como también las oportunidades y amenazas, que presenta la selección de una alternativa u otra.

El desarrollo de un FODA toma en consideración muchos y diferentes factores internos y externos para así maximizar el potencial de las fuerzas y oportunidades minimizando así el impacto de las debilidades y amenazas. De forma general se realiza de la siguiente forma.

- a) **Análisis interno.** Para el análisis interno será necesario conocer las fuerzas al interior que intervienen para facilitar el logro de los objetivos, y sus limitaciones que impiden el alcance de las metas de una

manera eficiente y efectiva. En el primer caso estaremos hablando de las fortalezas y en el segundo de las debilidades. Como ejemplos podemos mencionar:

- Personal capacitado para realizar la rehabilitación
- Disponibilidad de materiales necesarios
- Contar con los recursos financieros
- Tener en disponibilidad los equipos y herramientas necesarias para esta actividad

- b) **Análisis externo.** Es necesario analizar las condiciones o circunstancias ventajosas de su entorno que la pueden beneficiar; identificadas como las oportunidades; así como las tendencias del contexto que en cualquier momento pueden ser perjudiciales y que constituyen las amenazas, con estos dos elementos se podrá integrar el diagnóstico externo. Algunos ejemplos son:

- Las condiciones políticas
- La legislación
- La situación económica
- Las posibles afectaciones a la vialidad
- Las instituciones que deben que pueden ser requeridas para los trabajos, por tener instalaciones en el sitio como CFE, compañías telefónicas o de gas

- c) La información que ha obtenido en los pasos a) y b) se deben vaciaren el formato de la tabla Tabla 2.3

Tabla 2.3 Formato general para análisis FODA

Análisis	Positivo	Negativo
Interno	Fuerzas	Debilidades
Externo	Oportunidades	Amenazas

La Tabla 2.4 muestra un ejemplo de un análisis FODA para la ejecución de un trabajo de sustitución de un tramo de tubería por método con zanja tradicional

d) De esta manera, se tiene la información completa y clasificada con la cual se

puede determinar que opción es la que maximice las fuerzas y oportunidades; para así, reducir las debilidades y amenazas que pongan en riesgo la ejecución de los trabajos.

Tabla 2.4 Ejemplo de un análisis FODA

Análisis	Positivo	Negativo
	Fortalezas	Debilidades
Interno	El departamento cuenta con el personal capacitado y activo con experiencia que poseen las habilidades necesarias para llevar a cabo el trabajo	Infraestructura antigua, equipos y vehículos que rebasan su vida útil
	Se cuenta con el adecuado registro de proveedores para los materiales necesarios en la rehabilitación	Autonomía operativa limitada
	Se tiene disponibilidad para el proceso de compra y la requisición es autorizada por el Jefe de Adquisiciones y por el Jefe de Recursos Materiales	No se cuenta con una vinculación adecuada entre la información de las diferentes direcciones
		Se cuenta con un presupuesto limitado, que no garantiza la ejecución completa de la obra
	Oportunidades	Amenazas
Externo	Apoyo relevante del Gobierno Local	Dependencia política
	La comunidad está consiente de la necesidad de la rehabilitación	Condiciones meteorológicas adversas durante los trabajos
	Existen fuentes de financiamiento alternativas que pueden aplicarse a la rehabilitación	Existencia de obras inducidas, de las que no se cuenta con la información completa
	Se tiene definida la responsabilidad y realización de tramites ante el Ayuntamiento	La rehabilitación se realizará en una vialidad de alta afluencia vehicular
		Cambio de administración de Gobierno antes o durante la ejecución de la obra



3

PROBLEMAS Y ACCIONES DE MEJORA EN LA OPERACIÓN DE REDES DE DRENAJE Y ALCANTARILLADO

3.1. PROBLEMAS COMUNES

En consecuencia de lo anterior, pueden aparecer los siguientes, que pueden considerarse síntomas de un mal funcionamiento del sistema de alcantarillado:

3.1.1. CONEXIONES DOMICILIARIAS

El principal problema que se tiene en las instalaciones sanitarias internas y conexiones domiciliarias es: el taponamiento de las tuberías, ocasionado por arrojar en los baños, papeles, trapos y objetos sólidos inapropiados

- Roturas de tuberías
- Problemas de capacidad hidráulica
- Pérdidas de agua
- Hundimientos
- Contaminación del terreno o capa freática con vertidos industriales
- Infiltraciones a la tubería desde el terreno

3.1.2. REDES DE ATARJEAS, COLECTORES E INTERCEPTORES

3.1.2.1. Causas externas

Los problemas más importantes que pueden detectarse en las conducciones de saneamiento pueden deberse a:

Las causas externas más habituales son:

1. Causas externas
2. Errores de diseño, de construcción de las conducciones
3. Defectos de ejecución
4. Deficiencia en la calidad de los elementos de la red
5. Deficiente inspección y correcto retiro de materiales de construcción antes de la puesta en marcha del sistema

- Rotura de las conducciones y elementos accesorios por sobrecargas excesivas, tanto estáticas como dinámicas (tráfico pesado, excesos en la compactación, etcétera)
- Rotura de las tuberías por asentamientos propios o inducidos por otras construcciones próximas
- Acción sobre los conductos de otros servicios realizados en el subsuelo, como tuberías de abastecimiento, gas, electri-

cidad y perforaciones o roturas por excavaciones debidas a una obra (sondeos, obras de edificación)

- Ataques externos a las tuberías por agresividad del terreno, corrientes vagabundas, penetración de raíces, etcétera
- Ataque por el interior de los conductos debidos a vertidos ácidos, productos corrosivos o agresividad bacteriana sobre el hormigón de la conducción (formación de sulfuro de hidrógeno en zonas no ventiladas o zonas de decantación de materia orgánica)
- Daños por acometidas defectuosas
- Vertidos de residuos sólidos que obstruyen la conducción

3.1.2.2. Errores de cálculo y diseño

Entre los errores de cálculo y diseño, los más habituales son:

- Erróneo dimensionamiento mecánico con sobrevaloración de las cargas y sobrecargas que actúan sobre las conducciones
- Insuficiencia de la capacidad portante de las alcantarillas por las que entra la carga de la red y que puede provocar fallos por presión interior
- Falla por el esfuerzo cortante que existe entre las uniones tubo-pozo por asentamientos diferenciales, al no haberse previsto en el proyecto uniones elásticas (empaques o conexiones flexibles) entre estos elementos

- Erosión de las tuberías por tramos con excesiva velocidad debido a pendientes elevadas o, por el contrario, debido a un proyecto de pendientes muy bajas que pueden ocasionar obturaciones y fermentación de los detritos orgánicos
- Perturbaciones hidráulicas e hidrodinámicas originadas por: cambios de sección con disposición errónea, encuentros de alcantarillas con ángulos próximos a los 90° o cambios bruscos de dirección

3.1.2.3. Defectos de ejecución

Los defectos de ejecución más habituales son:

- Instalación de tubos con diferente capacidad mecánica a la prevista o de tubos insuficientemente curados
- Mal confinamiento del relleno de zanja
- Sobrecarga de los conductos por daños ocasionados por la maquinaria de compactación o de tráfico de maquinaria pensada durante la ejecución de la obra
- Punzonamiento o entrada en flexión de los conductos por la colocación directa sobre roca, o por ausencia de nichos, o por el material de relleno vertido directa y bruscamente sobre la conducción
- Pérdida de la pendiente por defectos de alineación o de asiento
- Empleo de juntas de baja calidad o ejecución defectuosa de las uniones, principalmente de los tubos de concreto que se juntan con mortero pueden

provocar pérdidas de la conducción o introducción de aguas provenientes del exterior

3.1.2.4. Deficiencia en la calidad de los elementos de la red

Entre las deficiencias de calidad de los elementos de la red, suelen ser las más habituales:

- Baja calidad de los tubos, pozos y otros elementos, principalmente las juntas de unión
- Corrosión de los elementos metálicos de la red (equipos de bombeo, válvulas de compuerta y piezas especiales) por falta de protección antioxidante, que puede ocasionar graves accidentes al personal operativo de conservación y mantenimiento

3.1.3. DESCRIPCIÓN DE PROBLEMAS MÁS COMUNES

3.1.3.1. Pérdida de capacidad

Generalmente es consecuencia de una capa de sedimentos en la tubería, formada en los tramos de baja pendiente o de baja velocidad del flujo, causada, a su vez, por un bajo caudal de aguas servidas. Es frecuente encontrar viviendas que, a pesar de contar con la conexión domiciliar de alcantarillado, no hacen buen uso del servicio por malos hábitos y costumbres; en consecuencia, el tramo transporta un bajo caudal. Muchas veces la solución de este problema es el rediseño y cambio total del tramo afectado.

3.1.3.2. Obstrucciones

Una de las funciones más importantes en el mantenimiento de un sistema de alcantarillado es la remoción de obstrucciones.

Grasas. Normalmente las zonas aledañas a mercados y restaurantes presentan mayor incidencia de obstrucciones por grasas. Cuando estas llegan a las redes de alcantarillado, se endurecen y progresivamente forman obstrucciones de sebo que obstruyen las tuberías. Se presentan con mayor incidencia en tramos de baja pendiente y en tuberías rugosas, como las de concreto.

Trapos, plásticos y vidrios. Es frecuente encontrar estos materiales obstruyendo las tuberías; su incidencia es mayor en zonas donde hacen mal uso del servicio de alcantarillado, por ejemplo, casas donde arrojan trapos, cartones y plásticos en la taza sanitaria o en la calle, donde arrojan basura a las cámaras de inspección.

Raíces. Las obstrucciones por raíces son más frecuentes en donde las redes de alcantarillado están ubicadas en zonas verdes arboladas. Las raíces penetran por las juntas o roturas de las tuberías y pueden llegar a causar obstrucciones completas. Estas obstrucciones pueden removerse con equipos corta raíces y también con la aplicación de sulfato de cobre.

Arenas y piedras. Estos materiales penetran con mayor incidencia en las calles con superficies de tierra o con lastres, que, por causa de tuberías rotas o pozos de visita sin tapa, penetran en el alcantarillado sanitario. También se forma arena y sedimento en tramos con muy poca pen-

diente debido a la descomposición que sufre la materia orgánica.

3.1.3.3. Roturas

Las roturas y fallas que se presentan en las redes de alcantarillado pueden ser resultado de algunas de las siguientes ocurrencias:

Soporte inapropiado del tubo

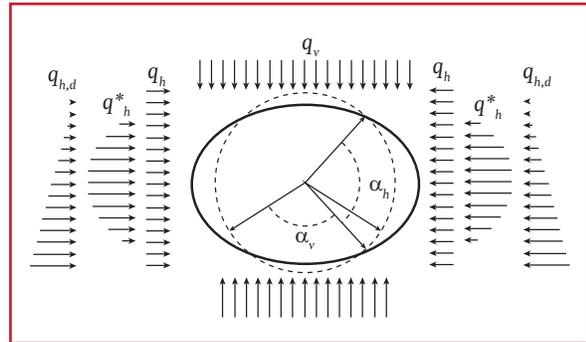
Cuando se hace un correcto acostillamiento de la tubería. Al contrario, si la tubería se coloca sobre una cama de apoyo correctamente construida, la capacidad de la tubería para soportar cargas se incrementará.

Las tuberías colocadas en zanjas con un relleno mal compactado tienen grandes probabilidades de colapsar debido a las cargas vivas que se aplican sobre ellas. En este caso, el personal de operación y mantenimiento, cuando realice la reparación de la tubería afectada, deberá darle una compactación adecuada al material de relleno para que la tubería quede perfectamente confinada y pueda transmitir correctamente las cargas al suelo en vez de absorberlas.

Las presiones verticales y horizontales resultantes no se distribuyen de forma regular. Las cargas verticales del suelo, las cargas superficiales y las cargas vivas se distribuyen simétricamente al rededor del eje vertical de la tubería sobre toda su anchura y es aceptable asumir una distribución uniforme a través de la anchura total de la tubería.

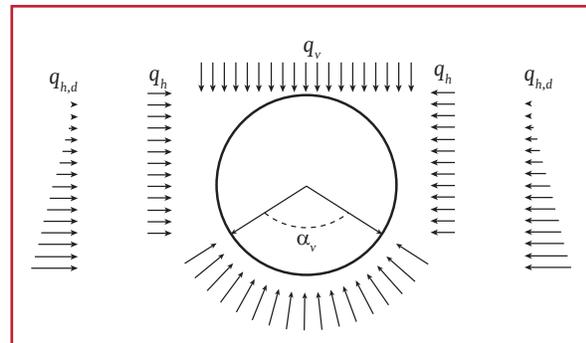
Cuando la tubería está apoyada sobre una plantilla granular, se asume que la distribución de esfuerzos, por la reacción a todas las cargas verticales está dirigida en dirección vertical y distribuida uniformemente sobre la proyección horizontal del ángulo de apoyo vertical, observe la Ilustración 3.1.

Ilustración 3.1 Distribución de la presión circunferencial para tubería apoyada sobre plantilla granular



Por otra parte, si la tubería se apoya sobre una base de concreto, en forma de cuna, se asume que la distribución de esfuerzos por la reacción de todas las cargas verticales está dirigida de forma radial y distribuida uniformemente sobre la cuerda del ángulo de apoyo vertical definido por la base de concreto, observe la Ilustración 3.1.

Ilustración 3.2 Distribución de la presión circunferencial para tubería rígida apoyada sobre base de concreto



donde:

- q_v = Presión vertical resultante por las cargas inducidas
- q_h = Presión horizontal resultante por las cargas verticales
- $q_{h,v}$ = Presión horizontal variable en función del empuje lateral
- q_h^* = Presión horizontal del relleno debida a la deformación de la tubería
- α_v = Angulo de incidencia de la presión vertical
- α_h = Angulo de incidencia de la presión horizontal

Movimiento del suelo

Se presenta durante un sismo e implica la reconstrucción total del tramo fallado. Este problema origina principalmente el desenchufamiento de las tuberías que se unen por medio de coples o de unión espiga-campana, regularmente en las tuberías soldadas como el acero no producen grandes problemas. En muchos casos, la reposición de las tuberías rígidas por tuberías flexibles con uniones también flexibles soluciona el problema.

Daños causados por otras instituciones

Cuando se reparan calles o se colocan líneas de electricidad, es muy frecuente que se dañen las tuberías de alcantarillado. El personal de operación y mantenimiento debe prever esta situación, indicando la ubicación y profundidad de las tuberías de alcantarillado, a fin de evitar derramamientos de aguas negras.

Raíces

Cuando el problema de raíces se acentúa, estas llegan a fracturar las tuberías, por tanto, es necesario cambiar los tramos afectados.

3.1.3.4.Vandalismo

Los problemas asociados con el vandalismo son bien conocidos. La sustracción de tapas de hierro fundido deja las cámaras de inspección al descubierto, lo que causa problemas de obstrucción de los colectores. Este problema se acentúa en redes de alcantarillado a campo traviesa o ubicadas en las márgenes de los ríos, quebradas y acequias; el personal de operación y mantenimiento deberá sellar las tapas con asfalto y arena o concreto si es necesario, a fin de evitar estos problemas.

Además, deberá realizar un recorrido periódico y frecuente de estas líneas para reparar los daños con la premura del caso, y evitar daños mayores.

3.1.3.5.Conexiones cruzadas con pluviales

Con frecuencia se presentan las conexiones clandestinas de aguas pluviales, lo que causa reboses del alcantarillado sanitario durante las lluvias. Esto representa un peligro inminente para la salud y la propiedad. El personal operativo deberá ubicar estas conexiones y evaluar la red de alcantarillado aguas arriba del lugar de ocurrencia de los reboses.

3.2. ACCIONES PARA UNA OPERACIÓN EFICIENTE

Para que un sistema de alcantarillado opere de forma eficiente, es necesario tomar acciones preventivas para evitar los problemas descritos en la sección anterior. Dentro de las acciones más importantes a considerar destacan las siguientes:

- Control del proyecto, control de la construcción y de la calidad de los elementos a utilizar en la red de saneamiento
- Señalización de la red de conductos en el exterior por medio de placas de plástico sobre las paredes de edificios o mediante postes indicadores situados a la altura de los ojos. Cada tipo de conducción (abastecimiento, saneamiento, gas, etc.) se identificará mediante una placa de diferente color
- Control de los vertidos
- Conservación y mantenimiento de la red
- Normas y reglamentos para la seguridad personal

El control de los vertidos debe quedar garantizado por la existencia y cumplimiento de una ordenanza o reglamento de vertidos que permitan una explotación económica de la red y garantice un funcionamiento correcto de las depuradoras.

La conservación y mantenimiento de la red comprende tres funciones:

- La primera consistirá en realizar el inventario de las redes con la revisión en campo y recolección de datos
- La elaboración de planos con toda la información y documentación actualizada recopilada durante las visitas de inspección, limpieza y mantenimiento
- Una vez realizado el inventario de la infraestructura, la función de la inspección visual en campo, con cámaras de TV, es básica para poder desarrollar la investigación del estado de las tuberías

En relación a la seguridad del personal y a la ergonomía de su trabajo, deben adoptarse medidas especiales, tanto en el proyecto y en la ejecución como en las tareas de mantenimiento y limpieza de la red.

3.2.1. CONSERVACIÓN DEL ALCANTARILLADO

Un plan de mantenimiento adecuado de la red existente, debe considerar la antigüedad de la misma. Se puede hacer una clasificación aproximada en función de la edad:

- Redes con antigüedad superior a 50 años. Son redes que probablemente necesiten ser renovadas, no tanto por su deterioro estructural como por sus efectos hidráulicos
- Redes con antigüedad de 20 a 50 años. Teniendo en cuenta los materiales em-

pleados y la época en que se construyeron, quizá requieran un análisis global al estilo de los realizados en otros países, considerando, además, que los países desarrollados calculan el deterioro anual de las redes en dos a tres por ciento. Probablemente una parte requiera renovación; otra parte seguirá siendo adecuada para el nivel hidráulico y estructural exigido

- Redes con menos de 20 años de vida. Estas redes deben entrar rápidamente en un programa de mantenimiento, tras un análisis previo, para valorar su estado real, y lograr que la mayoría de estas redes cumplan con la finalidad prevista

3.2.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La mayoría de las obstrucciones ocurren dentro de las casas o propiedades, en las instalaciones sanitarias, así como en las conexiones domiciliarias. Por tanto, las labores de mantenimiento preventivo comienzan en las viviendas de los usuarios. En consecuencia deben ser corregidas por los mismos usuarios

Se debe hacer un uso apropiado del servicio de alcantarillado, siguiendo las siguientes recomendaciones para evitar la obstrucción de los colectores de menor tamaño.

No verter a los lavaderos residuos de comida, papeles, plásticos, ni otro material que pudiera ocasionar obstrucciones en la red.

No arrojar al inodoro papeles, toallas higiénicas, trapos, vidrios, aguas de lavado o con contenido de grasas, ni otros objetos extraños al desagüe.

Los usuarios (domésticos y comerciales) que cuentan con trampas internas de grasas deberán realizar la limpieza frecuente del recipiente de retención de grasas de acuerdo a lo siguiente.

3.2.2.1. Limpieza de la trampa de grasas

- Retirar la tapa de la trampa de grasas poniéndola a un costado, con cuidado para no romperla
- Retirar las grasas sobrenadantes de la trampa de grasas con un recipiente pequeño (una vez a la semana)
- Retirar las grasas que se encuentren en las paredes y en la tubería de entrada y salida de la trampa de grasas
- Obstruir la salida de agua de la trampa de grasas con una esponja y retire el agua vertiéndola por la parte superior de la T de salida
- Retirar los residuos que se hayan asentado en el fondo de la trampa de grasas. Limpiar con agua y esponja, y vuelva a colocar la tapa

3.2.2.2. Mantenimiento de los tanques interceptores

- Cuando se hayan acumulado bastantes sólidos y natas, se deberán limpiar los tanques; de lo contrario, se corre el ries-

go de que los lodos salgan y perjudiquen el funcionamiento de los colectores

- Una vez al año, al menos, se debe inspeccionar el nivel de lodos en el tanque
- El tanque debe ser limpiado cuando la capa del lodo sedimentada se encuentre a 30 cm del deflector de salida o cuando el fondo de la capa de espuma se halle a unos 8 cm del deflector
- Para medir la altura de lodos y la profundidad del líquido, se utilizará una vara o tabla graduada con trapos o toallas blancas amarradas en un extremo, que se hace descender hasta el fondo del tanque. La altura de la mancha negra que queda sobre los trapos blancos será la altura correspondiente a los sedimentos
- El espesor de la nata se medirá utilizando una vara a la que se haya fijado una aleta con bisagra. La vara se introduce en la capa de nata hasta que la aleta se ponga en forma horizontal; al levantar la vara, se podrá ver el fondo de la capa de nata y saber a qué profundidad se encuentra; con la misma vara se podrá determinar la profundidad del dispositivo de descarga; la diferencia entre estas dos medidas debe ser mayor a 8 cm, de lo contrario se deberá lavar el tanque
- Los lodos deben ser extraídos del tanque utilizando una bomba y ser llevados a un relleno sanitario o planta de tratamiento
- Durante la limpieza del tanque se deberá tener mucho cuidado con los gases tóxicos que salen del lodo. De preferencia, ninguna persona debe ingresar al tanque. Si es forzoso el ingreso, el tanque debe ser previamente ventilado por un largo tiempo, y a la persona que ingrese se le atará una cuerda a la cintura, suje-

tada en su otro extremo por una persona fuerte que pueda sacarlo si al trabajador le llegaran a afectar los gases

La responsabilidad de la limpieza y el mantenimiento debe ser una tarea compartida entre usuarios y el organismo operador, lo cuál puede estar sujeto a la propia reglamentación estatal o municipal. Sin embargo, de la experiencia recopilada, esta función debería ser realizada por el personal del organismo operador, en virtud que el manejo y disposición de lodos debe hacerse de acuerdo a los lineamientos presentados en el libro de *Manejo y disposición de lodos*, del MAPAS y los costos que se deriven de esta actividad, deberán ser considerados dentro de la tarifa por servicio de alcantarillado.

3.2.2.3. Limpieza de las atarjeas y colectores

- En función de la antigüedad de la tubería y la pendiente de la misma, se deben identificar los tramos críticos de la red, que merecen mantenimiento más frecuente, y los no críticos, aquellos que necesitan mantenimiento más espaciado
- La frecuencia de mantenimiento para los tramos críticos será de seis meses y para los no críticos un año
- Se deberá realizar la limpieza de los tramos iniciales de los colectores con chorros de abundante agua o con el vehículo succionador, iniciando con los albañales exteriores
- Se deberá realizar la limpieza manual de las alcantarillas y los albañales empleando barras o varillas de acero
- Se deberá abrir las tapas de los pozos de visita aguas abajo y aguas arriba del tra-

mo afectado y esperar dos horas antes de ingresar, para permitir una adecuada ventilación de los gases tóxicos que se producen en las alcantarillas

3.2.2.4. Limpieza de dispositivos simplificados de inspección

Como parte del programa de mantenimiento de los colectores se deberá realizar la limpieza de los tramos a través de los dispositivos de inspección:

- Los pozos de visita ubicados en las cabezas de atarjea deberán limpiarse con chorros de agua o empleando cables o varillas por lo menos dos veces por año, utilizando equipo succionador
- Los tubos de inspección deberán ser lavados con chorros de agua por lo menos una vez al año, utilizando equipo succionador
- Las cajas de paso ubicadas en los cambios de pendiente, diámetro y dirección deberán ser limpiados con abundante agua por lo menos una vez al año

3.2.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo es el conjunto de trabajos necesarios para corregir algún problema que se presente durante el funcionamiento de los colectores. El planteamiento de las principales actividades de mantenimiento correctivo, así como los materiales, accesorios y procedimientos que se mencionan en el presente manual solo son una recomendación. El mantenimiento correctivo comprende la intervención de los colectores en los siguientes casos:

- Obstrucciones
- Colapsos
- Rehabilitación de colectores
- Reemplazo de colectores
- Construcción y reconstrucción de pozos de visita
- Cambio y reposición de tapa de pozos de visita

3.2.3.1. Obstrucciones

Se producen cuando un tramo de tubería es obstruido por algún objeto o acumulación de sólidos que impiden en forma total o parcial el flujo normal de los desagües, y se genera consecuentemente el represamiento. Estas obstrucciones generalmente son producto del arrojado de materiales en los pozos de visita (destapados o con tapa deteriorada o rota) o la sedimentación de materiales por la poca velocidad de arrastre en el tramo.

El mantenimiento correctivo comprende la eliminación de estos obstáculos o elementos extraños de los colectores, mediante el empleo de barrenas con varilla y a través de las bocas de inspección de los pozos de visita. Se utilizará también agua a presión o equipo succionador.

El procedimiento para el desarrollo de esta actividad se describe a continuación:

- Ubicación del tramo de la tubería a ser desatorada
- Traslado de personal, equipo y herramienta a la zona de trabajo
- Señalización en la zona de trabajo
- Introducción de agua a presión
- Introducción de accesorios metálicos a la tubería, como varillas o sondas

Si no se resolvió el problema, efectuar las siguientes actividades:

- Determinar la longitud desde el pozo de visita hasta donde se estima se ubique la obstrucción de algún objeto
- Excavar hasta encontrar la obstrucción
- Cortar la clave de la tubería en forma rectangular, para extraer el objeto obstruido

3.2.3.2. Colapso

Cuando ya no es posible solucionar el problema de obstrucción a través de los pozos de visita, y se verifica que existe un colapso de la tubería u obstrucción de la misma por un material difícil de remover, se procede a realizar una excavación en una longitud aproximada de 12 m aguas abajo de la obstrucción, según la profundidad del colector y el material del terreno en que se encuentre.

Descubierta la tubería, se procede a realizar dos orificios, el primero en la zona afectada para extraer los materiales acumulados, y el segundo a 2.50 m aproximadamente del primero, el cual servirá para evacuar el agua acumulada. En todo momento se debe evitar que la zanja se inunde y se debe utilizar varillas más gruesas (de diámetro de ½” a ¾”) a partir del primer orificio, con lo cual se deshace la obstrucción.

Efectuada la limpieza, se deberá evaluar el estado del colector, a fin de determinar la necesidad de su rehabilitación (cambio o reforzamiento): verificar que la tubería se encuentra en buenas condiciones, de lo contrario, se procede a repararla sellando primeramente las aberturas, colocando tuberías de PVC (media luna), vaciando

un dado de concreto, rellenando y compactando la zanja excavada y finalmente reponiendo el pavimento afectado (si lo hubiera). Si la tubería estuviera en malas condiciones, se procederá a rehabilitarla.

3.2.3.3. Rehabilitación de Atarjeas y colectores

La rehabilitación de los colectores se puede dar de dos formas, con métodos sin zanjas (comentados en el apartado 2.11) y por métodos convencionales a zanja abierta. Estos últimos se presentan ampliamente en el libro *Alcantarillado sanitario* de MAPAS.

3.2.3.4. Reemplazo de colectores

El procedimiento para reemplazo de colectores es el siguiente:

- Traslado de personal, equipo, herramientas y materiales a la zona de trabajo
- Desvío de las aguas servidas (si fuera necesario, el agua residual deberá bombearse aguas abajo)
- Taponado del colector, en el pozo de visita aguas arriba
- Rotura de pavimento, si lo hubiere
- Excavación de zanja
- Retiro de la tubería deteriorada
- Refine y nivelación del fondo de la zanja
- Colocación de puntos de nivel, con equipo topográfico, respetando la pendiente de diseño
- Preparación de la cama de apoyo con arena compactada
- Instalación de la tubería con elementos de unión, debidamente alineada tanto en

la parte superior y como en el costado de la tubería

- Destaponado del colector
- Prueba hidráulica
- Relleno y compactación de zanja
- Reposición de pavimento, si lo hubiera
- Retiro de escombros y limpieza de la zona de trabajo

3.2.3.5. Construcción y reconstrucción de pozos de visita

Esta actividad se realizará cuando se detecten deterioros, fallas o fracturas en algunas partes constitutivas de los pozos de visita y que pueden originar filtraciones o representar algún peligro para el tránsito y los peatones. Esta actividad podrá ser:

- Reconstrucción del solado
- Reconstrucción de media caña
- Reconstrucción de cuerpo de pozo de visita
- Reposición de techo de pozos de visita

A continuación, se describen los principales pasos para el mantenimiento correctivo de cuerpo y fondo de pozos de visita.

- Traslado de personal, equipo, herramientas y materiales a la zona de trabajo
- Abrir las tapas de los pozos de visita aguas arriba y aguas abajo del pozo de visita afectado por lo menos 15 minutos antes de ingresar a realizar los trabajos
- Taponado de llegadas de tuberías al pozo de visita
- Desvío de las aguas servidas (si fuese necesario, el agua residual deberá bom-

bearse aguas abajo)

- Limpieza del fondo del pozo de visita

3.2.3.6. Cambio y reposición de tapa de pozos de visita

Los cambios o reposición de brocales y tapas para pozos de visita generalmente se realizan por los siguientes motivos:

- Por deterioro debido al tiempo transcurrido
- Por sustracción por terceras personas
- Por el peso que debe soportar

En todos los casos se deben cambiar todos los brocales para evitar riesgos que traigan consecuencias que lamentar. A continuación, se describen los principales pasos para el mantenimiento correctivo de brocales y tapas de pozos de visita.

- Traslado de personal, equipo, herramientas y materiales a la zona de trabajo.
- Rotura de pavimento, si lo hubiera

Si el brocal con tapa, del pozo de visita, se encuentran en mal estado, efectuar una o todas de las siguientes actividades:

- Cambio de brocal con tapa para pozo de visita mediante: retiro del brocal o tapa deteriorados, instalación de brocal de fierro fundido con concreto y colocación de tapa
- Reposición de tapa de pozo de visita
- Reposición del pavimento si lo hubiera
- Retiro de escombros y limpieza de la zona de trabajo

3.2.4. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Con la finalidad de mantener en buen estado de conservación un sistema de drenaje y alcantarillado, resulta necesario elaborar un plan de mantenimiento preventivo, para lo cual se requiere contar con planos actualizados de las redes de alcantarillado, en donde se especifiquen diámetros, profundidades, elevaciones de los brocales, sentidos de escurrimiento y la ubicación de las descargas de aguas residuales en canales, arroyos, ríos, etc. En estos planos se deberá marcar las zonas de la red que han presentado problemas y que requieren mantenimiento preventivo o correctivo.

Con la información recopilada y ordenada se podrá elaborar un programa y un presupuesto anual de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo puede comprender las siguientes acciones:

- Inspección periódica
- Lavados
- Limpieza con equipo manual o hidroneumático
- Acarreos

En sistemas de alcantarillado se debe considerar un programa en el que se incluyan inspecciones visuales que permitan obtener conocimiento completo de las condiciones de la infraestructura y componentes del sistema de alcantarillado. Estas inspecciones deben ser externas e internas. Se debe prestar atención a zonas colapsadas en el suelo y zonas con acumulación de agua. También, se debe examinar a detalle la condición física de los cruces de arroyos, caminos, los zanjeados, las tapas de pozos de visita y en general de todos los

elementos del sistema, tal como se presentó en los apartados 2.2 y 2.3. Una forma sencilla pero eficiente para llevar un control es a través de formatos como el mostrado en la Tabla 3.1:

Para colectores de gran diámetro es recomendable una inspección interna, de preferencia caminar al interior de la conducción. Se requiere inspeccionar minuciosamente y a detalle la condición del brocal, de la tapa, así como las paredes del pozo y de la conducción (parte superior de las marcas de flujo regular).

De igual manera, para mantener un funcionamiento apropiado en los sistemas de alcantarillado, el mantenimiento y limpieza debe considerar un programa en el que se incluyan actividades orientadas a la eliminación de suciedades, obstrucciones, incluso situaciones que puedan desenlazar en problemas de taponamiento. Al realizar actividades de limpieza es necesario que se conozcan las regulaciones y normatividad referentes al manejo de los residuos orgánicos y fluidos peligrosos.

Existen varias técnicas en función al componente o elemento del sistema de alcantarillado, tal como se presentó en el apartado 2.4, los cuales se deben registrar a través de formatos como por ejemplo el mostrado en la Tabla 3.2.

Tanto para el caso de las actividades de inspección y limpieza la columna de observaciones se debe aprovechar para indicar problemáticas particulares, antigüedad del componente, etcétera.

Una forma de contabilizar y dar seguimiento oportuno a las actividades de inspección y limpieza es mediante un formato como el que se propone en la Tabla 3.2.

Tabla 3.1 Programa de inspección de los sistemas de drenaje y alcantarillado

No	Actividades de inspección	Frecuencia		Método o procedimiento	Cantidad	Costo	Observaciones	Responsable de verificación
		Semana	Mes					
1	Descargas domiciliarias							
2	Red de atarjeas							
3	Pozos de visita							
5	Red de colectores							

Tabla 3.2 Programa de limpieza para los sistemas de drenaje y alcantarillado

No	Actividades de limpieza	Zona o tramo a limpiar	Fecha programada	Método o procedimiento	Personal encargado	\$ Costo	Observaciones	Responsable de verificación
1	Descargas domiciliarias							
2	Red de atarjeas							
3	Sub colector							
4	Colector							
5	Emisor							

Tabla 3.3 Resumen de actividades de inspección y limpieza de los sistemas de drenaje

No	Componente de infraestructura	Actividades de inspección		Actividades de limpieza		Responsable de verificación
		Cantidad	\$ Costo total	Cantidad	\$ Costo total	
1	Descargas domiciliarias					
2	Red de atarjeas					
3	Pozos de visita					
4	Red de colectores					
5	Colectores					
6	Emisores					



4

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ALCANTARILLADO SANITARIO

Los sistemas alternativos de alcantarillado sanitario son utilizados en situaciones en las cuales los sistemas convencionales de alcantarillado no son viables.

El uso de alcantarillados convencionales es, en general, preferible en cuanto a su desempeño y mantenimiento. Sin embargo, en áreas con topografía accidentada o en terrenos planos el uso de esos sistemas puede requerir excavaciones profundas que aumentarían en forma significativa el costo de un sistema convencional.

En estos casos, el uso de sistemas alternos de alcantarillado puede brindar una mejor relación beneficio costo. Estos sistemas generalmente usan tuberías que son de menor diámetro y de poca pendiente, o que se ajustan al contorno del terreno, con lo cual se reduce la cantidad de excavación y los costos de construcción.

En el libro de *Sistemas alternativos de alcantarillado sanitario* del MAPAS se presentan las características básicas y consideraciones de diseño para tres sistemas en específico:

- Sistema de alcantarillado por vacío (SAV)
- Sistema de alcantarillado por presión

(SAP)

- Redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos (RASAS)

En este capítulo se presentan recomendaciones generales de mantenimiento para estos tres sistemas.

4.1. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO POR VACÍO

Debido a la complejidad de los equipos de vacío, el personal de operación debe ser capacitado adecuadamente para mantener un sistema de alcantarillado por vacío. Las primeras instalaciones de este tipo presentaron fallas funcionamiento y de deficiente mantenimiento, derivado principalmente de la poca capacitación de los operadores para hacer frente a los problemas de la operación diaria. Derivado de estas experiencias los fabricantes reconocieron la necesidad y en consecuencia mejoraron la asistencia técnica y generaron una serie de los manuales de operación y mantenimiento para ayudar al personal en su labor. La Ilustración 4.1, muestra el diseño clásico de un sistema de alcantarillado por vacío.

Ilustración 4.1 Diseño clásico de un sistema de alcantarillado por vacío (Adaptado de Airvac, 2008)



Las tareas de operación y mantenimiento para sistemas de alcantarillado vacío se pueden dividir en:

- Actividades para el funcionamiento normal (operación normal)
- Tareas de mantenimiento preventivo
- Acciones de reparación de emergencia

Cada uno de estos incisos se puede dividir aún más en las tareas relacionadas con las válvulas de vacío y de la estación de vacío.

4.1.1. TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Válvulas de vacío

La cámara colectora es el elemento de interacción entre la presión de gravedad y la presión de vacío en la red. La cámara superior contiene una válvula que permite la evacuación del agua residual de la cámara inferior y el ingreso de aire al sistema (Ilustración 4.2).

Dependiendo del comportamiento histórico de la ocurrencia de emergencias de un sistema, se requiere un programa de inspección periódica

de las válvulas de vacío. Como punto de partida, se sugiere una inspección quincenal de cada válvula. Un operador con experiencia aprende a identificar los sonidos de una válvula y sus dispositivos de control puede anticipar una falla y por lo tanto evitarla (Ilustración 4.3).

Como se menciona en el libro de *Sistemas alternativos de alcantarillado sanitario*, del MAPAS, el funcionamiento de un SAV depende en gran medida de la interacción agua-aire dentro de las tuberías, por lo que se deben inspeccionar los respiraderos de las cámaras colectoras para evitar obstrucciones y acumulación de líquido.

Como parte de un programa anual de mantenimiento se debe considerar la limpieza exterior del mecanismo sensor de nivel y los respiraderos de la cámara colectora.

En las zonas donde se tienen altos niveles de sales en el agua, se recomienda establecer un programa de sustitución de válvulas de vacío cada tres o cuatro años y en intervalos de seis años, se recomienda sustituir los sellos y conexiones de válvulas.

Por ello, el organismo operador debe llevar un registro de las actividades de mantenimiento y reparación de cada una de las válvulas, prefe-

Ilustración 4.2 Cámara colectora para SAV

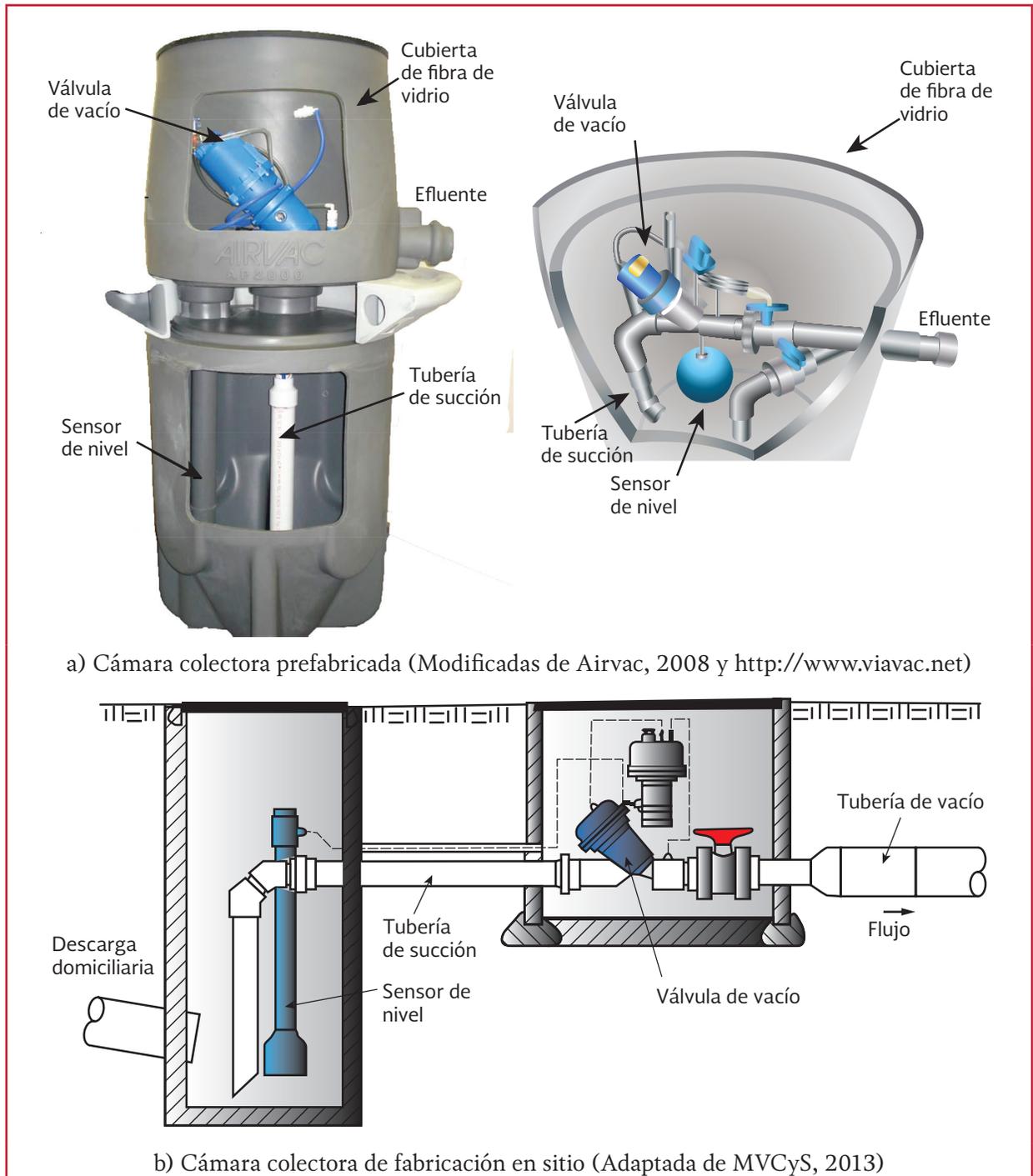


Ilustración 4.3 Verificación de válvula de vacío (AIRVAC, 2013)



rentemente colocar una placa metálica en cada una con la fecha y tipo de acción realizada, así aunque el personal de mantenimiento cambie o se pierdan los archivos, se podrá tener el control del servicio que requieren las válvulas. A demás el contar con una base de datos, con la ubicación de cada válvula y cualquier mantenimiento preventivo o reparación realizada, permitirá identificar zonas problemáticas.

Estaciones de vacío

Una estación de vacío contiene un tanque, bombas de impulsión para drenado, bombas de vacío para crear la presión negativa y un panel de control de todo el sistema. Se emplea como unidad de transporte y regulación de residuos, trabajando de la siguiente forma: Las bombas de vacío crean una presión negativa en el tanque y la red de tuberías, éstas se activan automáticamente cuando el nivel de vacío llega a un nivel predeterminado; las aguas residuales se acumulan en el tanque colector que cuenta con bombas de impulsión, para enviar el volumen acumulado a una planta de tratamiento o punto de conexión.

Las estaciones de vacío tienen entre dos y cuatro bombas de vacío, dos bombas de impulsión,

un tanque de recolección y un panel de control (Ilustración 4.4).

Los componentes específicos varían de una estación a otra, al igual que los detalles de la operación y el mantenimiento requerido. Algunos procedimientos de mantenimiento comunes a todos los sistemas de vacío incluyen un registro diario de:

- Horas de funcionamiento de las bombas de vacío y de descarga
- Niveles en el tanque de vacío (Ilustración 4.5a)
- Lecturas del amperímetro (consumo de energía)
- Niveles de aceite

Los procedimientos semanales deben incluir:

- Comprobación de terminales de la batería y estado de la batería del generador de reserva
- Comprobación de los sellos herméticos en las bombas de descarga de aguas residuales, que evitan la pérdida de vacío del sistema (Ilustración 4.5b)

El mantenimiento preventivo anual debe incluir como mínimo la inspección de válvulas de retención en las tuberías de descarga de aguas residuales y evacuación de gases.

4.1.2. ACCIONES DE REPARACIÓN DE EMERGENCIA

Un mal funcionamiento en un sistema de vacío se produce en uno de tres lugares: la válvula de vacío, la red de tuberías o la estación de vacío. Las averías en esta última son generalmente la falla de una bomba (o el motor) y una avería de

Ilustración 4.4 Arreglo general de una estación de vacío (EPA, 1991)

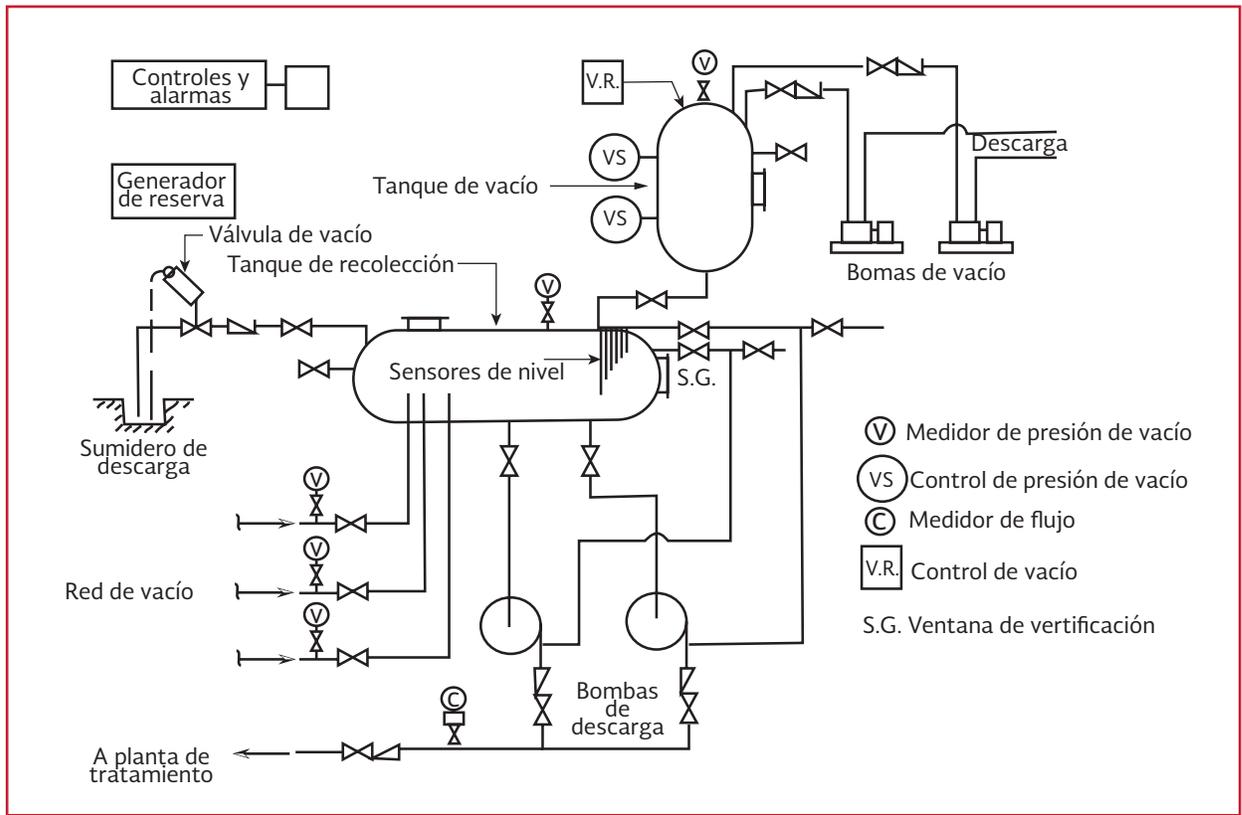
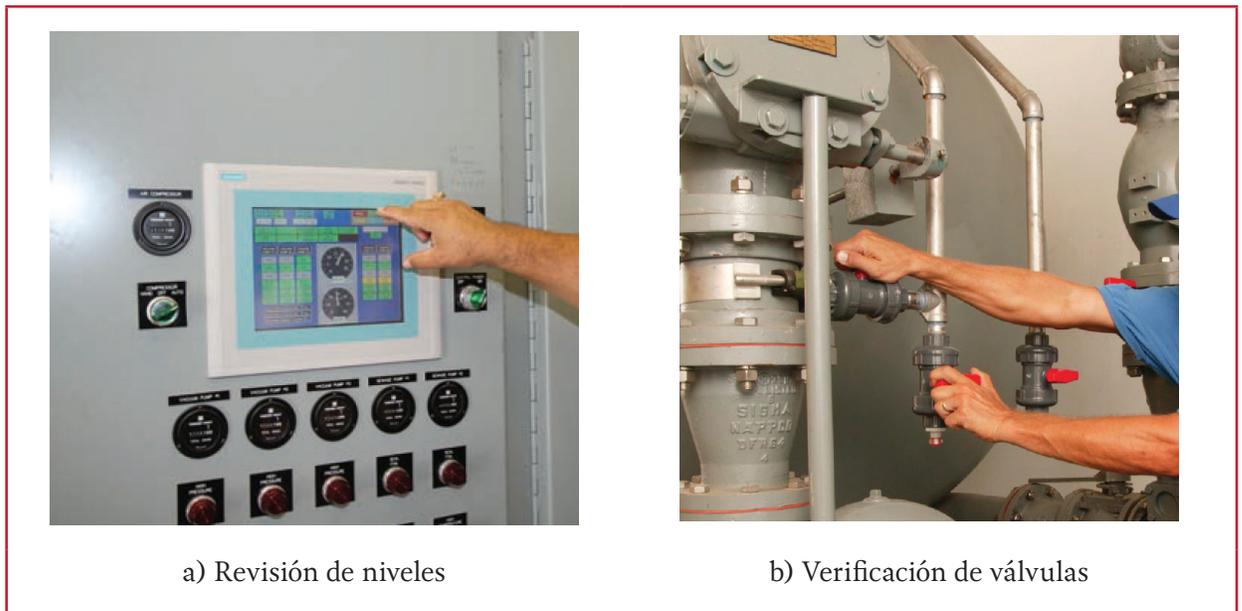


Ilustración 4.5 Procedimientos de mantenimiento en estaciones de vacío



control eléctrico y el libro *Pruebas, puesta en servicio, operación y mantenimiento de equipo y materiales electromecánicos* del MAPAS, presenta metodologías de mantenimiento para estos equipos.

Si la falla se presenta en la válvula de vacío y ésta se mantiene cerrada, lo más común es que el usuario experimente una acumulación de aguas residuales en, o cerca de su casa y una llamada de queja será la forma de identificación del dispositivo dañado. Generalmente la solución más rápida a este problema es la sustitución del sensor de nivel.

Si el sistema experimenta una caída de presión de vacío, el sistema se apagará de forma automática, se emitirá una señal de alarma o las bombas de vacío estarán trabajando más tiempo de lo normal. Esto se produce cuando existe una fuga en la red.

Una fuga de vacío es causada por una rotura de tubería o un mal funcionamiento de alguna válvula de vacío. Las rupturas en la tubería por lo general son el resultado de obras en las cercanías de la conducción (por ejemplo, instalación de líneas telefónicas o de gas); como acción inmediata se debe aislar el área para proceder a la reparación o sustitución del tramo dañado.

El mal funcionamiento de las válvulas que se traducen en la caída de presión de vacío ocurre cuando la válvula se queda en posición abierta o cuando la cámara colectora se llena continuamente y aumenta los ciclos de operación. Esto puede ocurrir cuando a la cámara ingresa un flujo ajeno a la descarga doméstica, ya sea por una fuga de la red de agua potable dentro de la

vivienda, la ruptura de la tapa o el ingreso de agua pluvial.

En estos casos, la reparación del elemento dañado resolverá el problema.

El procedimiento para localizar la fuente de la caída de presión de vacío es:

1. Cerrar todas las válvulas de las tuberías que alimentan el tanque colector y observar si el vacío se acumula. Si no es así, el problema está entre el tanque, en las bombas de descarga o en las juntas del arreglo
2. Si el vacío se eleva se debe abrir, una por una, cada válvula de entrada al tanque colector para identificar el sector que tiene problemas
3. Una vez identificada, se debe cerrar la línea correspondiente y permitir que el resto del sistema siga operando con normalidad
4. Cuando el resto de la red alcanza los niveles óptimos de vacío, cerrar nuevamente todas las válvulas de ingreso al tanque. A veces aplicar la presión de vacío de forma súbita en la tubería con problemas puede corregir el error de funcionamiento. Por tanto, se debe abrir la válvula de la línea con problemas y verificar si la presión se mantiene o no
5. Después de aislar la sección de problemas, se debe realizar un recorrido por el sector para localizar la falla. A menudo, esto se puede lograr por el sonido de succión que emiten los respiraderos y puede ser escuchado por un vecino o por el personal de mantenimiento desde la ventana del vehículo

6. Una vez localizada la válvula descompuesta, se debe bombear el agua acumulada en la cámara colectora y eliminar todos los residuos de la válvula y sensor; posteriormente se deberá realizar el procedimiento de reparación o sustitución según corresponda
7. Si no se identifican válvulas averiadas, se deberá buscar alguna obra o construcción subterránea que pudiera haber causado una rotura en la tubería
8. Si la fuga no fue causada por una obra inducida, se deberán aislar todos los ramales, si la fuga persiste, entonces ésta se encuentra en la línea principal, en caso contrario, se podrá aislar el ramal en el que se encuentra. Esto se realiza abriendo cada una de las válvulas y midiendo el nivel de presión de vacío en la línea principal
9. La reparación de la tubería dañada se realiza siguiendo los procedimientos de reparación específicos por el manual de operaciones del organismo o las especificaciones del fabricante de la tubería

De acuerdo con EPA (1977), se recomienda asignar cuatro horas-hombre por año, por conexión para el mantenimiento preventivo.

Del análisis de los programas de mantenimiento y reparación de SAV existentes, el tiempo total asignado al mantenimiento preventivo y correctivo va desde cuatro horas por conexión por año en sistemas con pocos problemas a más de 30 horas por conexión por año en los sistemas con problemas significativos.

La empresa AIRVAC®, realizó estudios para determinar el tiempo necesario para locali-

zar una válvula descompuesta y promedió un tiempo de 21 minutos, entre que ocurrió la falla y que el personal de operación encontró la válvula dañada. La interrupción del servicio se produjo durante este mismo período de tiempo. Un componente clave en la operación continua es un sistema de alarma eficaz, junto con la disponibilidad y preparación del personal de mantenimiento.

4.2. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO POR PRESIÓN

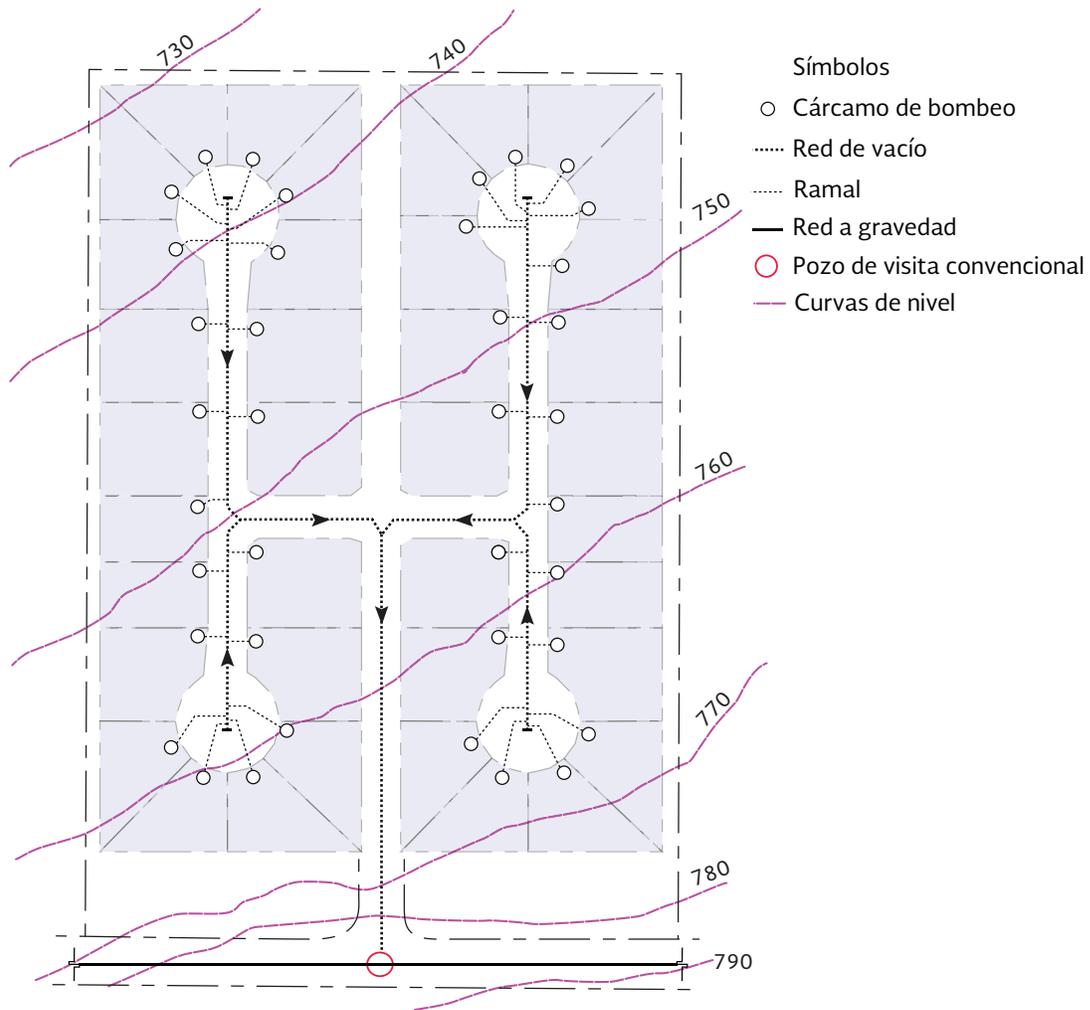
El sistema de alcantarillado por presión (SAP) utiliza la fuerza suministrada por bombas que conducen las aguas residuales desde cárcamos ubicados en cada vivienda hasta el sitio para su tratamiento por medio de una red de tuberías a presión (Ilustración 4.6).

En los sistemas alternativos la plantilla y el relleno son similares a los de conducciones de agua potable ya que se utilizan tuberías plásticas por su facilidad de instalación y propiedades mecánicas. Cuando se instala una tubería de estas características se debe prestar especial atención durante la construcción para evitar que la tubería se dañe.

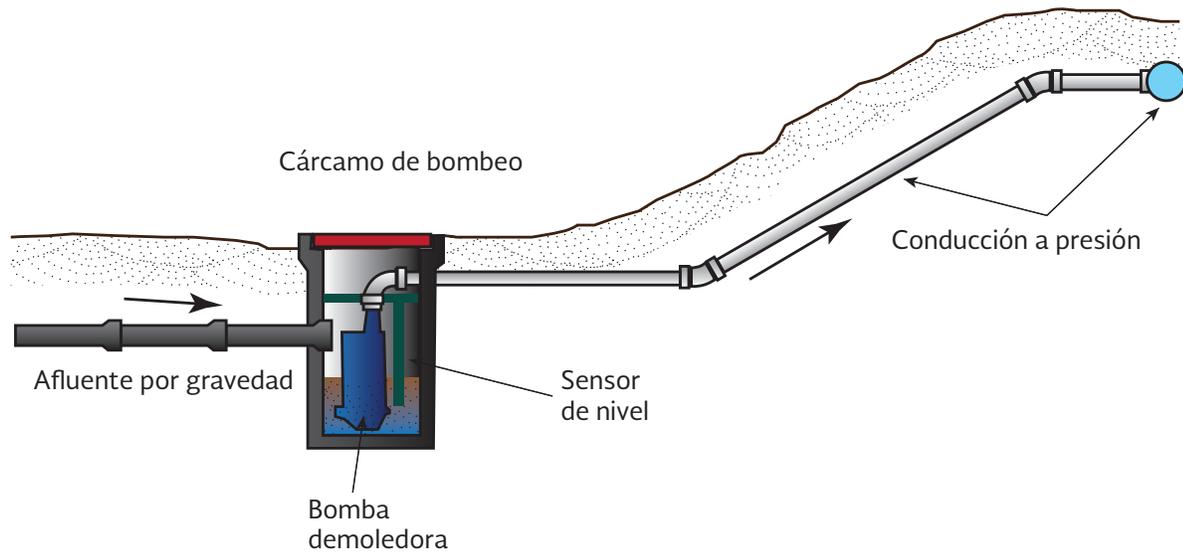
De forma general algunas directrices para la instalación de tubería de plástico, en relación a los procedimientos de construcción se especifica lo siguiente (EPA, 1977):

- El ancho de la zanja debe él igual o mayor que la suma del diámetro exterior de la tubería, más 30 cm
- La profundidad de plantilla debe ser al menos de 10 cm

Ilustración 4.6 Diseño clásico de un sistema de alcantarillado por presión



a) Arreglo general de un sistema de alcantarillado por presión (adaptado de EPA 1977)



b) Perfil de un sistema de alcantarillado por presión con bomba trituradora

- Material de plantilla no debe exceder de 1.0 cm de tamaño nominal
- El acostillado alrededor de la tubería debe hacerse en capas de 7.5 cm (3 pulgadas) compactando de acuerdo con la especificación del estudio de mecánica de suelos
- Antes de la prueba de presión, los tubos se deben llenar completamente (dejando expuestas las juntas para su inspección)
- Se deben realizar las pruebas de hermeticidad que establece la norma oficial NOM-001-CONAGUA-2011
- En el sitio donde se instalan las tuberías, se debe analizar la existencia de obras inducidas y su posible afectación durante los trabajos

Cualquier sistema que utiliza numerosas instalaciones de bombeo y otros equipos electromecánicos requiere una cantidad significativa de actividades de operación y mantenimiento. Estas actividades se pueden agrupar en dos tipos:

- Operación y mantenimiento de equipos electromecánicos
- Operación y mantenimiento de la red de drenaje (sistema de tuberías)

Debido a que el funcionamiento de una red de alcantarillado por presión funciona de la misma forma que una red de agua potable, las consideraciones de operación y mantenimiento de los sistemas electromecánicos se apegan a la información presentada en el libro *Pruebas, puesta en servicio, operación y mantenimiento de equipo y materiales electromecánicos* del MAPAS.

Por su parte el mantenimiento de tuberías se apega a lo estipulado en el libro de *Mantenimiento y Reparación de Tuberías y Piezas Especiales*, de MAPAS.

En lo que respecta al manejo de las fosas y tanques sépticos, la información correspondiente se encuentra en el libro *Saneamiento básico* del MAPAS.

La responsabilidad de la limpieza y el mantenimiento debe ser una tarea compartida entre usuarios y el organismo operador, lo cuál puede estar sujeto a la propia reglamentación estatal o municipal. Sin embargo, de la experiencia recopilada, esta función debería ser realizada por el personal del organismo operador, en virtud que el manejo y disposición de lodos debe hacerse de acuerdo a los lineamientos presentados en el libro de *Manejo y disposición de lodos*, del MAPAS y los costos que se deriven de esta actividad, deberán ser considerados dentro de la tarifa por servicio de alcantarillado.

Sin embargo, dado que en este caso se conducen aguas residuales, una fuga en la red no solo disminuye la eficiencia de conducción del sistema, sino que también puede representar un grave riesgo a la salud pública y puede contaminar los mantos acuíferos, por lo que los programas de inspección y mantenimiento preventivo deben ser más estrictos que para una red de distribución de agua potable.

De las experiencias recopiladas de algunos sistemas de alcantarillado por presión, instalados en los Estados Unidos de América, los principales problemas que ocurren son (EPA, 1977):

- Falla de los sensores de encendido y apagado de las bombas
- Ruido excesivo en los equipos de bombeo
- Alto consumo energético
- Baja eficiencia energética
- Cortos circuitos
- Calor excesivo en los equipos electromecánicos
- La bomba se retira del tanque, se inspecciona la corrosión, la campana de succión, se limpia y se de mantenimiento (si es necesario)
- Se inspeccionan las válvulas de retención (*check*) y de seccionamiento
- La bomba se coloca en su posición y se verifica que funcione adecuadamente

La información de operación y mantenimiento de *Grandview Lake, Indiana* en un periodo de dos años presentó el reporte de fallas de la Tabla 4.1.

Por su parte en los SAP de *Miami* (uno de los más antiguos) se realiza una inspección de mantenimiento preventivo anual para cada unidad (arreglo de tanque séptico y bomba), la cual consiste en lo siguiente:

Una cuadrilla de dos personas normalmente requiere 30 minutos para completar un procedimiento. Por tanto, este programa de mantenimiento preventivo, equivale a 1 hora-hombre al año. Además, el mantenimiento se complementa con la sustitución de sensores de nivel, interruptores y accesorios del panel de control cada dos años. Uno de estos sistemas, que contiene 26 unidades y gracias a este programa de mantenimiento, solo se a presentado una reparación de emergencia en 3 años.

Tabla 4.1 Resumen de incidencia de fallas en un periodos de dos años en el SAP de Grandview Lake, Indiana (Adaptado de EPA, 1977)

Causa	Incidencias			Porcentaje de incidencia
	Instalados por el personal del organismo	Instalados por fabricante	Total	
Falla del motor de la bomba	52	14	66	14%
Falla de la bomba demoledora	25	3	28	6%
Falla eléctrica	66	5	71	16%
Falla del panel de control	23	12	35	8%
Falla en las tuberías antes del tanque séptico	41	12	53	12%
Falla en las tuberías de la red después del tanque séptico	11	10	21	5%
Infiltraciones a la red	56	1	57	13%
Falla en el sistema colector	7	7	14	3%
Instalación inadecuada	9	4	13	3%
Reparaciones menores	81	17	98	21%

4.3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO SIN ARRASTRE DE SÓLIDOS

Las redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos (RASAS) conducen el agua residual por gravedad desde un tanque séptico hasta el sitio para su tratamiento o a un cárcamo de bombeo para su desalojo a otra red de alcantarillado o a una planta de tratamiento (Ilustración 4.7).

La mayoría de los sólidos del agua residual son removidos por el tanque séptico, lo cual reduce el potencial de obstrucción del sistema y permite que se usen tuberías de diámetro menor, tanto en las tuberías en ramales aguas abajo de los tanques sépticos como en los colectores principales (EPA, 2000).

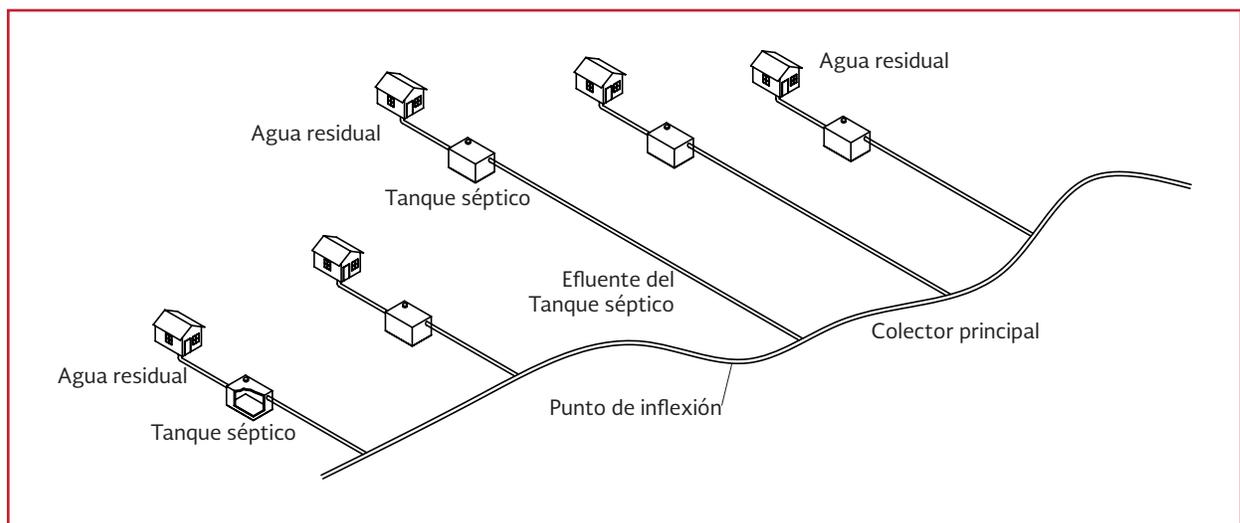
Los requisitos de operación y mantenimiento de las redes de alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos (RASAS) son generalmente simples, especialmente si no existen estaciones de bombeo.

La limpieza de los colectores principales se puede realizar por medio de inyección de agua a una velocidad entre 1.5 y 5 m/segundo, dependiendo de las características particulares de la tubería.

Se debe tener un programa de limpieza de los tanques sépticos para prevenir que los sólidos entren a los colectores principales. El intervalo de tiempo necesario para esta actividad se define en el diseño del tanque, el cual se presentan en el libro *Saneamiento básico* del MAPAS y en promedio es entre tres y cinco años.

Cuando se utilizan estaciones de bombeo, como es el caso de áreas de baja elevación en donde se recolectan residuos de fuentes múltiples, las inspecciones deben hacerse en forma diaria o semanal. Se debe mantener un registro de todas las actividades de supervisión y mantenimiento realizado. También se debe llevar un estricto control de reportes de fallas, accidentes y mal funcionamiento del sistema. El libro *Pruebas, puesta en servicio, operación y mantenimiento de equipo y materiales electromecánicos* del MAPAS.

Ilustración 4.7 Diseño clásico de un sistema de alcantarillado de pequeño diámetro por gravedad



Una buena manera de monitorizar el funcionamiento del sistema es el aforo regular del caudal; en el libro *Medición de caudal* de MAPAS se presentan diversas alternativas para este proceso.

El organismo operador debe ser responsable de todos los componentes del RASAS para asegu-

rar un alto grado de confiabilidad. Por lo que se debe tener un adecuado control de todos los elementos que conforman la red y establecer programas de mantenimiento para cada uno de ellos y de los caminos o áreas de acceso a los mismos.

CONCLUSIONES

Para que todo sistema de drenaje y alcantarillado opere de manera eficiente debe contar con una política de operación, la cual debe ser acorde con el diseño del sistema. Una adecuada política de operación permitirá que el sistema funcione correctamente, se eviten daños a la red y se reduzcan las molestias a los usuarios.

Dentro de las políticas de operación de la red deben estar contemplados programas de mantenimiento preventivo y correctivo, así como maniobras de compuertas y bombes en determinados sitios y horarios, con el propósito de que el sistema funcione de manera óptima. Los programas mantendrán en buenas condiciones a todas las tuberías y todas las estructuras que conforman el sistema.

En redes convencionales, en todo momento se tratará que las tuberías de la red trabajen a superficie libre; sin embargo, cuando se presenten lluvias mayores a los niveles correspondientes al periodo de diseño es de esperarse que trabajen a presión, por ello se debe contar con las medidas necesarias para aminorar los daños y molestias.

Para que un sistema de alcantarillado funcione de manera eficiente se deben tomar en cuenta las acciones siguientes:

- Que el sistema tenga un programa de mantenimiento preventivo y correctivo a fin de mantener las tuberías libres de basura o roturas y con ello, mantener la velocidad del flujo dentro del intervalo de velocidad mínima y máxima permisibles
- Contar con políticas de operación para el gasto base
- Elaborar y respetar las políticas de operación que se diseñen para operación normal y extraordinaria



BIBLIOGRAFÍA

- Airvac. (2008). Airvac System, Design Manual, Rochester, Indiana.
- Airvac. (2011). Airvac System, Understanding vacuum sewer technology, Rochester, Indiana.
- Airvac. (2013). Airvac System, Cost-saving options in wastewater collection, Indiana.
- Asociación de Fabricantes de Tubos de Concreto A.C. (sin año). Mantenimiento y conservación de las redes de alcantarillado. ATCO. México.
- CEAT (sin año). Manual de operación y mantenimiento del sistema de saneamiento. Comisión Estatal del Agua de Tamaulipas, México.
- Comisión Nacional del Agua (2009). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Alcantarillado sanitario. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Consortio Hidrotec-AFA (2010). Manual de operación y mantenimiento para el sistema de alcantarillado sanitario del municipio de San Cristóbal. Versión 2. Consortio Hidrotec-AFA. Cartagena de Indias, Colombia.
- Empresa de Servicios Públicos E.S.P. (sin año). Manual de operación del sistema de alcantarillado para la Empresa de Servicios Públicos de Buenavista E.S.P. Empresa de Servicios Públicos E.S.P., Buenavista, Córdoba.
- EPA (1977), *Alternatives for small wastewater treatment system, Pressure sewer/Vacuum sewer*, Office of research and monitoring, Washington, D.C, EEUU.
- EPA (1991). Design Manual: Alternative Wastewater Collection Systems. EPA Office of Water. EPA Office of Research & Development. Cincinnati, Ohio. EPA 625/1-91/024.
- EPA (2010), Folleto informativo de sistemas descentralizados Alcantarillado por gravedad de diámetro reducido, Office of research and monitoring, Washington, D.C, EEUU.
- Espinosa García C. (2005). Manual de mantenimiento de los sistemas de alcantarillado sanitario. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, Nicaragua.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (MVCyS),. (2009), *Guía de diseño*

- de alcantarillado por vacío*, dirección nacional de saneamiento, Lima, Perú.
- Ministerio del Agua (2007). Manual de operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado sanitario en áreas rurales. Ministerio del Agua, Viceministerios de Servicios Básicos, La Paz, Bolivia.
- Movilla-Quintero J.A. y Araujo-Peña A.E. (2012). Manual de operación y mantenimiento de redes de alcantarillado sanitario. Empresa de Servicios Públicos de Valledupar Emdupar S.A. E.S.P. Valledupar • CESAR
- O.P.S (2005). Operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado en el medio rural. Organización Panamericana de Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, Perú.
- Vactor (2004) Dimension Specifications, Illinois, EE.UU.
- Vactor (2006) Boquillas para equipos de todas las marcas Illinois, EE.UU.
- Vactor (2009) Vactor 2100 Plus a powerful partner, Illinois, EE.UU.

TABLA DE CONVERSIONES DE UNIDADES DE MEDIDA

Sigla	Significado	Sigla	Significado
mg	miligramo	kg/m ³	kilogramo por metro cúbico
g	gramo	l/s	litros por segundo
kg	kilogramo	m ³ /d	metros cúbicos por día
mm	milímetro	Sm ³ /h	condiciones estándar de metro cúbico por hora
cm	centímetro	Scfm	condiciones estándar de pies cúbicos por minuto
m	metro	°C	grados Celsius
ml	mililitro	psia	libra-fuerza por pulgada cuadrada absoluta
l	litro	cm/s	centímetro por segundo
m ³	metro cúbico	m/s	metro por segundo
s	segundo	HP	caballo de fuerza (medida de energía)
h	hora	kW	kilowatt
d	día	UNT	unidades nefelométricas de turbiedad
mg/l	miligramo por litro		

Longitud

Sistema métrico	Sistema Inglés	Siglas
1 milímetro (mm)	0.03	in
1 centímetro (cm) = 10 mm	0.39	in
1 metro (m) = 100 cm	1.09	yd
1 kilómetro (km) = 1 000 m	0.62	mi
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 pulgada (in)	2.54	cm
1 pie (ft) = 12 pulgadas	0.30	m
1 yarda (yd) = 3 pies	0.91	m
1 milla (mi) = 1 760 yardas	1.60	km
1 milla náutica (nmi) = 2 025.4 yardas	1.85	km

Superficie

Sistema métrico	Sistema inglés	Siglas
1 cm ² = 100 mm ²	0.15	in ²
1 m ² = 10 000 cm ²	1.19	yd ²
1 hectárea (ha) = 10 000 m ²	2.47	acres
1 km ² = 100 ha	0.38	mi ²
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in ²	6.45	cm ²
1 ft ² = 144 in ²	0.09	m ²
1 yd ² = 9 ft ²	0.83	m ²
1 acre = 4 840 yd ²	4 046.90	m ²
1 milla ² = 640 acres	2.59	km ²

Volumen/capacidad

Sistema métrico	Sistema inglés	Siglas
1 cm ³	0.06	in ³
1 dm ³ = 1 000 cm ³	0.03	ft ³
1 m ³ = 1 000 dm ³	1.30	yd ³
1 litro (L) = 1 dm ³	1.76	pintas
1 hectolitro (hL) = 100 L	21.99	galones
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 in ³	16.38	cm ³
1 ft ³ = 1 728 in ³	0.02	m ³
1 onza fluida EUA = 1.0408 onzas fluidas RU	29.57	mL
1 pinta (16 onzas fluidas) = 0.8327 pintas RU	0.47	L
1 galón EUA = 0.8327 galones RU	3.78	L

Masa/peso

Sistema métrico	Sistema inglés	
1 miligramo (mg)	0.0154	grano
1 gramo (g) = 1 000 mg	0.0353	onza
1 kilogramo (kg) = 1 000 g	2.2046	libras
1 tonelada (t) = 1000 kg	0.9842	toneladas larga
Sistema Inglés	Sistema métrico	
1 onza (oz) = 437.5 granos	28.35	g
1 libra (lb) = 16 oz	0.4536	kg
1 stone = 14 lb	6.3503	kg
1 hundredweight (cwt) = 112 lb	50.802	kg
1 tonelada larga = 20 cwt	1.016	t

Temperatura

$$^{\circ}C = \frac{5}{9}(^{\circ}F -$$

$$^{\circ}F = \frac{9}{5}(^{\circ}C) + 32$$

Otros sistemas de unidades		Multiplicado por	Sistema Internacional de Unidades (SI)	
Unidad	Símbolo	Factor de conversión	Se convierte a	
Longitud				
Pie	pie, ft.,'	0.30	metro	m
Pulgada	plg, in,"	25.40	milímetro	mm
Presión/esfuerzo				
Kilogramo fuerza/cm ²	kg _f /cm ²	98 066.50	pascal	Pa
Libra/pulgada ²	lb/ plg ² , PSI	6 894.76	pascal	Pa
atmósfera técnica	at	98 066.50	pascal	Pa
metro de agua	m H ₂ O (mca)	9 806.65	pascal	Pa
mm de mercurio	mm Hg	133.32	pascal	Pa
bar	bar	100 000.00	pascal	Pa
Fuerza/ peso				
kilogramo fuerza	kg _f	9.80	newton	N
Masa				
libra	lb	0.45	kilogramo	kg
onza	oz	28.30	gramo	g
Peso volumétrico				
kilogramo fuerza/m ³	kg _f /m ³	9.80	N/m ³	N/m ³
libra /ft ³	lb/ft ³	157.08	N/m ³	N/m ³
Potencia				
caballo de potencia	CP, HP	745.69	watt	W
caballo de vapor	CV	735.00	watt	W
Viscosidad dinámica				
poise	μ	0.01	pascal segundo	Pa s
Viscosidad cinemática				
viscosidad cinemática	v	1	stoke	m ² /s (St)
Energía/ Cantidad de calor				
caloría	cal	4.18	joule	J
unidad térmica británica	BTU	1 055.06	joule	J
Temperatura				
grado Celsius	°C	tk=tc + 273.15	grado Kelvin	K

Nota: El valor de la aceleración de la gravedad aceptado internacionalmente es de 9.80665 m/s²

Longitud								
de / a	mm	cm	m	km	mi	milla náutica (nmi)	ft	in
mm	1.000	0.100	0.001					
cm	10000	1.000	0.010				0.033	0.394
m	1 000.000	100.000	1.000	0.001			3.281	39.370
km			0.001	1.000	0.621	0.540	3 280.83	0.039
mi			1 609.347	1.609	1.000	0.869	5 280.000	
nmi			1 852.000	1.852	1.151	1.000	6 076.115	
ft		30.480	0.305				1.000	12.000
in	25.400	2.540	0.025				0.083	1.000

Superficie								
de / a	cm ²	m ²	km ²	ha	mi ²	acre	ft ²	in ²
cm ²	1.00						0.001	0.155
m ²	10 000.00	1.00					10.764	1 550.003
km ²			1.000	100.000	0.386	247.097		
ha		10 000.00	0.010	1.000	0.004	2.471		
mi ²			2.590	259.000	1.000	640.000		
acre		4 047.00	0.004	0.405	0.002	1.000		
ft ²	929.03	0.09					1.000	0.007
in ²	6.45						144.000	1.000

Volumen								
de / a	cm ³	m ³	L	ft ³	gal. EUA	acre-ft	in ³	yd ³
cm ³	1.000		0.001				0.061	
m ³		1.000	1 000.000	35.314	264.200			1.307
L	1 000.000	0.001	1.000	0.035	0.264		61.023	
ft ³		0.028	28.317	1.000	7.481			0.037
gal. EUA		0.004	3.785	0.134	1.000		230.974	
acre-ft		1 233.490				1.000		
in ³	16.387		0.016		0.004		1.000	
Yd ³		0.765		27.000				1.000

Gasto								
de / a	l/s	cm ³ /s	gal/día	gal/min	l/min	m ³ /día	m ³ /h	ft ³ /s
l/s	1.000	1 000.000		15.851	60.000	86.400	3.600	0.035
cm ³ /s	0.001	1.000	22.825	0.016	0.060	0.083		
gal/día		0.044	1.000			0.004		
gal/min	0.063	63.089	1 440.000	1.000	0.000	5.451	0.227	0.002
l/min	0.017	16.667	0.000	0.264	1.000	1.440	0.060	
m ³ /día	0.012	11.570	264.550	0.183	0.694	1.000	0.042	
m ³ /h	0.278		6 340.152	4.403	16.667	24.000	1.000	0.010
ft ³ /s	28.316			448.831	1 698.960	2 446.590	101.941	1.000

Eficiencia de pozo			
de	a	gal/min/pie	l/s/m
gal/min/pie		1.000	0.206
l/s/m		4.840	1.000

Permeabilidad							
de	a	cm/s	gal/día/Pie ²	millones gal/día/acre	m/día	pie/s	Darcy
cm/s		1.000	21 204.78		864.000	0.033	
gal/día/pie ²			1.000		0.041		0.055
millón gal/día/acre				1.000	0.935		
m/día		0.001	24.543	1.069	1.000		1.351
pie/s		30.480			26 334.72	1.000	
Darcy			18.200		0.740		1.000

Peso									
de	a	grano	gramo	kilogramo	libra	onza	tonelada corta	tonelada larga	tonelada métrica
Grano (gr)		1.000	0.065						
Gramo (g)		15.432	1.000	0.001	0.002				
Kilogramo (kg)			1 000.000	1.000	2.205	35.273			0.001
Libra (lb)			453.592	0.454	1.000	16.000			
Onza (oz)		437.500	28.350			1.000			
t corta				907.180	2 000.000		1.000		0.907
t larga				1 016.000	2 240.000		1.119	1.000	1.016
t métrica				1 000.000	2 205.000		1.101	0.986	1.000

Potencia									
de	a	CV	HP	kW	W	ft lb/s	kg m/s	BTU/s	kcal/s
CV		1.000	0.986	0.736	735.500	542.500	75.000	0.697	0.176
HP		1.014	1.000	0.746	745.700	550.000	76.040	0.706	0.178
kW		1.360	1.341	1.000	1 000.000	737.600	101.980	0.948	0.239
W				0.001	1.000	0.738	0.102		
ft lb/s					1.356	1.000	0.138	0.001	
kg m/s		0.013	0.013	0.009	9.806	7.233	1.000	0.009	0.002
BTU/s		1.434	1.415	1.055	1 055.000	778.100	107.580	1.000	0.252
kcal/s		5.692	5.614	4.186	4 186.000	3 088.000	426.900	3.968	1.000

Presión								
de	a	atmósfera	Kg/cm ²	lb/in ²	mm de Hg	in de Hg	m de H ₂ O	ft de H ₂ O
atmósfera		1.000	1.033	14.696	760.000	29.921	10.330	33.899
kg/cm ²		0.968	1.000	14.220	735.560	28.970	10.000	32.810
lb/in ²		0.068	0.070	1.000	51.816	2.036	0.710	2.307
mm de Hg		0.001	0.001	0.019	1.000	0.039	0.013	0.044
in de Hg		0.033	0.035	0.491	25.400	1.000	0.345	1.133
m de agua		0.096	0.100	1.422	73.560	2.896	1.000	3.281
ft de agua		0.029	0.030	0.433	22.430	0.883	0.304	1.000

Energía									
de	a	CV hora	HP hora	kW hora	J	ft.lb	kgm	BTU	kcal
CV hora		1.000	0.986	0.736				2 510.000	632.500
HP hora		1.014	1.000	0.746				2 545.000	641.200
kW hora		1.360	1.341	1.000				3 413.000	860.000
J					1.000	0.738	0.102		
ft.lb					1.356	1.000	0.138		
kgm					9.806	7.233	1.000		
BTU					1 054.900	778.100	107.580	1.000	0.252
kcal					4 186.000	3 087.000	426.900	426.900	1.000

Transmisividad				
de	a	cm ² /s	gal/día/pie	m ² /día
cm ² /s		1.000	695.694	8.640
gal/día/ft		0.001	1.000	0.012
m ² /día		0.116	80.520	1.000

Conversión de pies y pulgadas, a metros												
ft, in/m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0.000	0.025	0.051	0.076	0.102	0.127	0.152	0.178	0.203	0.229	0.254	0.279
1	0.305	0.330	0.356	0.381	0.406	0.432	0.457	0.483	0.508	0.533	0.559	0.584
2	0.610	0.635	0.660	0.686	0.711	0.737	0.762	0.787	0.813	0.838	0.864	0.889
3	0.914	0.940	0.965	0.991	1.016	1.041	1.067	1.092	1.117	1.143	1.168	1.194
4	1.219	1.245	1.270	1.295	1.321	1.346	1.372	1.397	1.422	1.448	1.473	1.499
5	1.524	1.549	1.575	1.600	1.626	1.651	1.676	1.702	1.727	1.753	1.778	1.803
6	1.829	1.854	1.880	1.905	1.930	1.956	1.981	2.007	2.032	2.057	2.083	2.108
7	2.134	2.159	2.184	2.210	2.235	2.261	2.286	2.311	2.337	2.362	2.388	2.413
8	2.438	2.464	2.489	2.515	2.540	2.565	2.591	2.616	2.642	2.667	2.692	2.718
9	2.743	2.769	2.794	2.819	2.845	2.870	2.896	2.921	2.946	2.972	2.997	3.023
10	3.048	3.073	3.099	3.124	3.150	3.175	3.200	3.226	3.251	3.277	3.302	3.327
11	3.353	3.378	3.404	3.429	3.454	3.480	3.505	3.531	3.556	3.581	3.607	3.632
12	3.658	3.683	3.708	3.734	3.759	3.785	3.810	3.835	3.861	3.886	3.912	3.937
13	3.962	3.988	4.013	4.039	4.064	4.089	4.115	4.140	4.166	4.191	4.216	4.242
14	4.267	4.293	4.318	4.343	4.369	4.394	4.420	4.445	4.470	4.496	4.521	4.547
15	4.572	4.597	4.623	4.648	4.674	4.699	4.724	4.750	4.775	4.801	4.826	4.851
16	4.877	4.902	4.928	4.953	4.978	5.004	5.029	5.055	5.080	5.105	5.131	5.156
17	5.182	5.207	5.232	5.258	5.283	5.309	5.334	5.359	5.385	5.410	5.436	5.461
18	5.486	5.512	5.537	5.563	5.588	5.613	5.639	5.664	5.690	5.715	5.740	5.766
19	5.791	5.817	5.842	5.867	5.893	5.918	5.944	5.969	5.994	6.020	6.045	6.071
20	6.096	6.121	6.147	6.172	6.198	6.223	6.248	6.274	6.299	6.325	6.350	6.375
21	6.401	6.426	6.452	6.477	6.502	6.528	6.553	6.579	6.604	6.629	6.655	6.680
22	6.706	6.731	6.756	6.782	6.807	6.833	6.858	6.883	6.909	6.934	6.960	6.985
23	7.010	7.036	7.061	7.087	7.112	7.137	7.163	7.188	7.214	7.239	7.264	7.290
24	7.315	7.341	7.366	7.391	7.417	7.442	7.468	7.493	7.518	7.544	7.569	7.595
25	7.620	7.645	7.671	7.696	7.722	7.747	7.772	7.798	7.823	7.849	7.874	7.899
26	7.925	7.950	7.976	8.001	8.026	8.052	8.077	8.103	8.128	8.153	8.179	8.204
27	8.230	8.255	8.280	8.306	8.331	8.357	8.382	8.407	8.433	8.458	8.484	8.509
28	8.534	8.560	8.585	8.611	8.636	8.661	8.687	8.712	8.738	8.763	8.788	8.814
29	8.839	8.865	8.890	8.915	8.941	8.966	8.992	9.017	9.042	9.068	9.093	9.119
30	9.144	9.169	9.195	9.220	9.246	9.271	9.296	9.322	9.347	9.373	9.398	9.423
31	9.449	9.474	9.500	9.525	9.550	9.576	9.601	9.627	9.652	9.677	9.703	9.728
32	9.754	9.779	9.804	9.830	9.855	9.881	9.906	9.931	9.957	9.982	10.008	10.033
33	10.058	10.084	10.109	10.135	10.160	10.185	10.211	10.236	10.262	10.287	10.312	10.338
34	10.363	10.389	10.414	10.439	10.465	10.490	10.516	10.541	10.566	10.592	10.617	10.643
35	10.668	10.693	10.719	10.744	10.770	10.795	10.820	10.846	10.871	10.897	10.922	10.947

La segunda columna es la conversión de pies a metros; las siguientes columnas son la conversión de pulgadas a metros que se suman a la anterior conversión.

Tabla de conversión de pulgadas a milímetros								
Pulgadas	0	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
0	0	3.175	6.35	9.525	12.7	15.875	19.05	22.225
1	25.4	28.575	31.75	34.925	38.1	41.275	44.45	47.625
2	50.8	53.975	57.15	60.325	63.5	66.675	69.85	73.025
3	76.2	79.375	82.55	85.725	88.9	92.075	95.25	98.425
4	101.6	104.775	107.95	111.125	114.3	117.475	120.65	123.825
5	127.0	130.175	133.35	136.525	139.7	142.875	146.05	149.225
6	152.4	155.575	158.75	161.925	165.1	168.275	171.45	174.625
7	177.8	180.975	184.15	187.325	190.5	193.675	196.85	200.025
8	203.2	206.375	209.55	212.725	215.9	219.075	222.25	225.425
9	228.6	231.775	234.95	238.125	241.3	244.475	247.65	250.825
10	254.0	257.175	260.35	263.525	266.7	269.875	273.05	276.225
11	279.4	282.575	285.75	288.925	292.1	295.275	298.45	301.625
12	304.8	307.975	311.15	314.325	317.5	320.675	323.85	327.025
13	330.2	333.375	336.55	339.725	342.9	346.075	349.25	352.425
14	355.6	358.775	361.95	365.125	368.3	371.475	374.65	377.825
15	381.0	384.175	387.35	390.525	393.7	396.875	400.05	403.225
16	406.4	409.575	412.75	415.925	419.1	422.275	425.45	428.625
17	431.8	434.975	438.15	441.325	444.5	447.675	450.85	454.025
18	457.2	460.375	463.55	466.725	469.9	473.075	476.25	479.425
19	482.6	485.775	488.95	492.125	495.3	498.475	501.65	504.825
20	508.0	511.175	514.35	517.525	520.7	523.875	527.05	530.225
21	533.4	536.575	539.75	542.925	546.1	549.275	552.45	555.625
22	558.8	561.975	565.15	568.325	571.5	574.675	577.85	581.025
23	584.2	587.375	590.55	593.725	596.9	600.075	603.25	606.425
24	609.6	612.775	615.95	619.125	622.3	625.475	628.65	631.825
25	635.0	638.175	641.35	644.525	647.7	650.875	654.05	657.225
26	660.4	663.575	666.75	669.925	673.1	676.275	679.45	682.625
27	685.8	688.975	692.15	695.325	698.5	701.675	704.85	708.025
28	711.2	714.375	717.55	720.725	723.9	727.075	730.25	733.425
29	736.6	739.775	742.95	746.125	749.3	752.475	755.65	758.825
30	762.0	765.175	768.35	771.525	774.7	777.875	781.05	784.225

Fórmulas generales para la conversión de los diferentes sistemas

Centígrados a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F}=9/5^{\circ}\text{C}+32$
Fahrenheit a Centígrados	$^{\circ}\text{C}=5/9 (^{\circ}\text{F}-32)$
Réaumur a Centígrados	$^{\circ}\text{C}=5/4 ^{\circ}\text{R}$
Fahrenheit a Réaumur	$^{\circ}\text{R}=4/9 (^{\circ}\text{F}-32)$
Réaumur a Fahrenheit	$^{\circ}\text{F}=(9/4^{\circ}\text{R})+32$
Celsius a Kelvin	$^{\circ}\text{K}=273.15+^{\circ}\text{C}$
Fahrenheit a Rankine	$^{\circ}\text{Ra}=459.67+^{\circ}\text{F}$
Rankine a Kelvin	$^{\circ}\text{K}=5/9^{\circ}\text{Ra}$

Factores químicos de conversión					
	A	B	C	D	E
Constituyentes	epm a ppm	ppm a epm	epm a gpg	gpg a epm	ppm a ppm CaCO ₃
calcio Ca ⁺²	20.04	0.04991	1.1719	0.8533	2.4970
hierro Fe ⁺²	27.92	0.03582	1.6327	0.6125	1.7923
magnesio Mg ⁺²	12.16	0.08224	0.7111	1.4063	4.1151
potasio K ⁺¹	39.10	0.02558	2.2865	0.4373	1.2798
sodio Na ⁺¹	23.00	0.04348	1.3450	0.7435	2.1756
bicarbonato (HCO ₃) ⁻¹	61.01	0.01639	3.5678	0.2803	0.8202
carbonato (CO ₃) ⁻²	30.00	0.03333	1.7544	0.5700	1.6680
cloro (Cl) ⁻¹	35.46	0.02820	2.0737	0.4822	1.4112
hidróxido (OH) ⁻¹	17.07	0.05879	0.9947	1.0053	2.9263
nitrate (NO ₃) ⁻¹	62.01	0.01613	3.6263	0.2758	0.8070
fosfato (PO ₄) ⁻³	31.67	0.03158	1.8520	0.5400	1.5800
sulfato (SO ₄) ⁻²	48.04	0.02082	2.8094	0.3559	1.0416
bicarbonato de calcio Ca(HCO ₃) ₂	805.00	0.01234	4.7398	0.2120	0.6174
carbonato de calcio (CaCO ₃)	50.04	0.01998	2.9263	0.3417	1.0000
cloruro de calcio (CaCl ₂)	55.50	0.01802	3.2456	0.3081	0.9016
hidróxido de calcio Ca(OH) ₂	37.05	0.02699	2.1667	0.4615	1.3506
sulfato de calcio (CaSO ₄)	68.07	0.01469	3.9807	0.2512	0.7351
bicarbonato férrico Fe(HCO ₃) ₃	88.93	0.01124	5.2006	0.1923	0.5627
carbonato férrico Fe ₂ (CO ₃) ₃	57.92	0.01727	3.3871	0.2951	0.8640
sulfato férrico Fe ₂ (CO ₄) ₃	75.96	0.01316	4.4421	0.2251	0.6588
bicarbonato magnésico Mg(HCO ₃) ₂	73.17	0.01367	4.2789	0.2337	0.6839
carbonato magnésico (MgCO ₃)	42.16	1.02372	2.4655	0.4056	1.1869
cloruro de magnesio (MgCl ₂)	47.62	0.02100	2.7848	0.3591	1.0508
hidróxido de magnesio Mg(OH) ₂	29.17	0.03428	1.7058	0.5862	1.7155
sulfato de magnesio (MgSO ₄)	60.20	0.01661	3.5202	0.2841	0.6312

epm = equivalentes por millón

ppm = partes por millón

gpg = granos por galón

p.p.m. CaCO₃ = partes por millón de carbonato de calcio



ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Esquema de una red de alcantarillado sanitario	2
Ilustración 1.2 Tubería de una red de atarjeas (ODAPAS, Nezahualcoyotl)	2
Ilustración 1.3 Construcción de pozo de visita (ODAPAS, Nezahualcoyotl)	3
Ilustración 1.4 Colector para una red de alcantarillado sanitario (ODAPAS, Nezahualcoyotl)	3
Ilustración 1.5 Planta de tratamiento de aguas residuales municipales	4
Ilustración 2.1 Diferentes tipos de inspección visual	6
Ilustración 2.2 Fotografía de inspección por iluminación con lámparas (recuperada de http://www.amtecsurveying.com)	7
Ilustración 2.3 Inspección por medio de cámaras	8
Ilustración 2.4 Robots para inspección de alcantarillado	9
Ilustración 2.5 Procedimientos de inspección de redes de alcantarillado	10
Ilustración 2.6 Control de alineación de las tuberías	11
Ilustración 2.7 Problemas frecuentes en los pozos de visita	12
Ilustración 2.8 Barrena con varillas para desazolve	12
Ilustración 2.9 Uso de barrena con varillas para desazolve de tubería	13
Ilustración 2.10 Maquinaria para barrena con varillas	13
Ilustración 2.11 Diferentes tipos de barrenas mecánicas para máquinas rotativas	14
Ilustración 2.12 Malacate, draga boca de pescado y draga convencional	17
Ilustración 2.13 Extracción de sedimentos y lodos de las tuberías utilizando draga y malacates	18
Ilustración 2.14 Accesorios diversos de dragado	19
Ilustración 2.15 Platillos dragadores	20
Ilustración 2.16 Draga arranca raíces	21
Ilustración 2.17 Equipo de alta presión para limpieza de redes de alcantarillado	22
Ilustración 2.18 Limpieza de las tuberías con equipo de alta presión (Dirección de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado, Xonacatlan)	22
Ilustración 2.19 Equipo de presión y vació (Adaptado de Vactor®, 2009)	23
Ilustración 2.20 Limpieza de las tuberías con equipo de presión y vació	24
Ilustración 2.21 Perímetro de trabajo de un equipo de presión y vació (Adaptado de Vactor, 2004)	30
Ilustración 2.22 Dimensiones generales de malacates	31
Ilustración 2.23 Desazolve de pozo de visita con cuchara por personal de ODAPAS, Nezahualcoyotl	32
Ilustración 2.24 Fallas en pozos de visita	33

Ilustración 2.25 Procedimiento de reparación y reforzamiento de pozo de visita (http://infratechonline.com/manhole-rehabilitation)	35
Ilustración 2.26 Restitución de pozos de visita prefabricados	37
Ilustración 2.27 Coladera obstruida	39
Ilustración 2.28 Alternativas de rehabilitación de colectores (Adaptado de Espinoza, 2013)	41
Ilustración 2.29 Rehabilitación de tubería por medio de encamisado de manga continua (Enrique Tedesco, 2009 y AST, 2015)	43
Ilustración 2.30 Diagrama de rehabilitación, mediante el método de embobinado espiral	46
Ilustración 2.31 Maquinas bobinadora rehabilitando tubería de gran diámetro (extraídas de www.plumbermag.com y trenchless-australasia.com , respectivamente)	46
Ilustración 2.32 Reventamiento o bursting (adaptación de hstrial-ahayes5.homestead.com)	48
Ilustración 2.33 Tubo recuperado a través de encamisado (recuperado de http://www.construnario.com)	49
Ilustración 2.34 Robot multifunción (www.dnk-water.com)	50
Ilustración 2.35 Procedimiento de restitución de albañales	51
Ilustración 2.36 Reforzamiento externo de tubería de concreto	53
Ilustración 3.1 Distribución de la presión circunferencial para tubería apoyada sobre plantilla granular	60
Ilustración 3.2 Distribución de la presión circunferencial para tubería rígida apoyada sobre base de concreto	60
Ilustración 4.1 Diseño clásico de un sistema de alcantarillado por vacío (Adaptado de Airvac, 2008)	72
Ilustración 4.2 Cámara colectora para SAV	73
Ilustración 4.3 Verificación de válvula de vacío (AIRVAC, 2013)	74
Ilustración 4.4 Arreglo general de una estación de vacío (EPA, 1991)	75
Ilustración 4.5 Procedimientos de mantenimiento en estaciones de vacío	75
Ilustración 4.6 Diseño clásico de un sistema de alcantarillado por presión	78
Ilustración 4.7 Diseño clásico de un sistema de alcantarillado de pequeño diámetro por gravedad	81

TABLAS

Tabla 2.1 Boquillas para equipo de presión y vacío, adaptado de Vactor, 2006	24
Tabla 2.2 Métodos de rehabilitación sin zanja (Adaptado de EPA, 1999)	42
Tabla 2.3 Formato general para análisis FODA	54
Tabla 2.4 Ejemplo de un análisis FODA	55
Tabla 3.1 Programa de inspección de los sistemas de drenaje y alcantarillado	69
Tabla 3.2 Programa de limpieza para los sistemas de drenaje y alcantarillado	69
Tabla 3.3 Resumen de actividades de inspección y limpieza de los sistemas de drenaje	69
Tabla 4.1 Resumen de incidencia de fallas en un periodo de dos años en el SAP de Grandview Lake, Indiana (Adaptado de EPA, 1977)	80

