



Evaluación del deterioro de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial

Evaluation of the degradation of sanitary and storm drainage systems

Manuel M. Cabrera Delgadillo^{1*}, Guadalupe Sánchez Campos¹,
Juan Carlos Mejía Suárez¹, Carmen Hernández Pastor¹

Recibido: 19/08/2019

Aceptado: 25/09/2019

*Autor de correspondencia

Resumen

Se presenta una propuesta para el proceso de evaluación del deterioro de tuberías de drenaje, que se inscribe en la etapa de diagnóstico, dentro de un programa de acciones de mantenimiento, que se divide en las etapas: 1) Inspección, 2) Limpieza, 3) Diagnóstico y 4) Renovación, con objeto de retardar o corregir anomalías físicas y operacionales en los sistemas de drenaje sanitario y pluvial. Se describen anomalías, así como su recomendado orden de atención, teniendo como: Inmediato, destrucción de tubería; Alto, permiten infiltración y exfiltración del flujo, como dislocamientos o desacoplamientos; Medio, daños por deterioro de pared y obstrucciones, sin infiltración y exfiltración del flujo y Bajo, sin anomalías con flujo a superficie libre; que se agravan por bajo o nulo mantenimiento, potenciado por el paso del tiempo. El Diagnóstico, incluye I. Labores de inspección, incluye A. Estudios básicos del interior de conductos con técnicas de video inspección, B. Levantamiento Topográfico y C. Estudio de Aforos; II. Valoración de Estado General Actual, con valuación de 1. Estado Físico, 2. Estado Operacional y 3. Edad del colector; III. Estudios Complemento, considerando 4. Desarrollo Urbano, 5. Hundimiento diferencial del suelo y 6. Encharcamientos; IV. Valoraciones de Apoyo, para la selección de materiales para colectores, contemplando zonificación 7. Sísmica y 8. Geotécnica. La conservación de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial, es de interés o utilidad pública, por su naturaleza física y costo, debe ser entendida como elemento para el desarrollo social, pues contribuye en la salud y desarrollo de sus habitantes.

Palabras clave: Drenaje, diagnóstico, inspección, anomalías, valoración, riesgos, tuberías, renovación

Abstract

A proposal is presented for the process of evaluating the deterioration of drainage pipes, which is included in the diagnostic stage, within a program of maintenance actions, which is divided into the following stages: 1) Inspection, 2) Cleaning, 3) Diagnosis and 4) Renewal, with the aim of postponing or correcting physical and operational anomalies in the sanitary and rain drainage systems. Anomalies are described, as well as their recommended order of attention, having as Immediate, destruction of the pipe; High, allowing infiltration and exfiltration of the flow, such as dislocations or disconnections; Medium, damage due to wall deterioration and obstructions, without infiltration and exfiltration of the flow and Low, without anomalies with the flow to the free surface; which are aggravated by low or no maintenance, reinforced by the passage of time. Diagnosis includes I. Inspection tasks, includes A. Basic studies of the interior of ducts with video inspection techniques, B. Topographic Survey and C. Study of the capacity of the ducts; II. Current General State Assessment, with an evaluation of 1. Physical State, 2. Complementary Studies, considering 4. Urban Development, 5. Landfills; IV. Support Valuations, for the selection of materials for collectors, contemplating the zonification 7. Seismic and 8. The conservation of sanitary and pluvial drainage systems is of public interest or utility, due to its physical nature and cost, it must be understood as an element for social development, since it contributes to the health and development of its residents.

Keywords: Drainage, diagnostic, inspection, anomalies, assessment, risks, piping, renovation.

1 WT Diseño Sustentable S.C. mcabrera@wtds.mx; gsanchez@wtds.mx; jcmejia@wtds.mx; chernandez@wtds.mx

INTRODUCCIÓN

En México, la mayoría de las grandes urbes presentan un importante deterioro por erosión en las tuberías y estructuras de drenaje, debido a un medio atmosférico de gas o vapores de ácido sulfúrico, que se interpreta como vejez del material, derivado también por la edad de los conductos, la falta de supervisión y mantenimiento; lo que provoca insuficiencia del servicio, con la consecuente presencia de encharcamientos o formación de socavones, con efecto negativo a los bienes particulares y públicos.

Derivado de la supervisión del estado operacional de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial, se programan acciones de mantenimiento, que básicamente se divide en cuatro etapas: 1) inspección, 2) limpieza, 3) diagnóstico y 4) renovación, realizadas de forma periódica con objeto de retardar o corregir el deterioro del sistema.

El presente trabajo se centra en el diagnóstico del estado del sistema de alcantarillado, para dar paso a técnicas que procuren la renovación del servicio que prestan los drenajes a la sociedad, a través de tres principales opciones de intervención, siendo reparación, rehabilitación y sustitución.

Se describe un procedimiento de evaluación del estado funcional y estructural de tuberías, que identifica la razón y grado del deterioro de tuberías, ante la detección de problemas de funcionamiento hidráulico, mediante la valuación del medio físico que rodea el sistema de drenaje. Permite la generación de información relevante para la planeación de un proyecto de renovación, al proporcionar requerimientos, objetivos, alternativas de solución y beneficios, como elementos de valuación, para un anteproyecto de ingeniería básica, que permiten ser la base de la siguiente etapa de proyecto ejecutivo y construcción de la alternativa seleccionada.

Para describir el procedimiento de evaluación del estado funcional y estructural de tuberías, se contemplan las particularidades del sistema de drenaje de la Ciudad de México, con el reto de

mantener y ampliar una infraestructura robusta de drenaje, que data de finales del siglo XIX, presionada en su capacidad hidráulica, por el dinámico crecimiento demográfico, población flotante, torrentes considerables de lluvia, importante desarrollo longitudinal y afectada por fenómenos geotécnicos, principalmente el hundimiento diferencial del suelo blando y sismos.

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la zona de estudio

En el Valle de México existe un sistema de drenaje conformado por tuberías de gran diámetro, que permiten una amplia flexibilidad en la operación del sistema de drenaje. Esta flexibilidad se debe, entre otras razones, a la antigüedad del sistema y la incertidumbre de los parámetros que definen el caudal (densidad poblacional y torrentes en tiempos de lluvia). Esto implica tomar en cuenta para la operación del sistema, un gasto básico sanitario para un manejo dedicado en temporada de secas, al tránsito de aguas servidas (meses de noviembre a abril) y un gasto máximo extraordinario combinado en la temporada de lluvias (mayo a octubre).

En orden de diámetros e importancia operativa, destaca el drenaje profundo, apoyada por una red primaria de colectores, que desalojan la red secundaria conformada por atarjeas, que lo mismo desalojan aguas pluviales como servidas, no obstante, actualmente los estándares de diseño y normatividad aplicables al drenaje, exigen en México un sistema separado entre las aguas sanitarias y pluviales, para garantizar la operación adecuada de ambas redes y de las plantas de tratamiento. A excepción del drenaje profundo, las entidades responsables de la construcción, operación y mantenimiento, han documentado y atienden, una alta tasa de pérdida de la integridad estructural de tuberías, además de la reducción de la capacidad de conducción hidráulica en una importante fracción del sistema de colectores y atarjeas, por lo que se trabaja en un ambicioso e importante plan para rehabilitar tramos de tubería afectados.

2.2 Operación

La operación del sistema de drenaje, se ve afectada por la intensidad de las labores de mantenimiento, que de manera básica se trata del retiro de obstrucciones, causadas por defectos estructurales o por una acumulación de material. El material acumulado puede incluir aceites, grasas, sedimentos u otros materiales. Ciertos defectos estructurales provocan una mayor acumulación de sólidos que eventualmente bloquean la tubería. La intrusión de raíces, a través de defectos estructurales, es un contribuyente importante de bloqueos.

De acuerdo con la *American Society of Civil Engineers* y el folleto documento EPA 832-F-99-031 (EPA, 1999), el mantenimiento de tuberías debe estar considerado en un programa anual diversificado en porcentaje de actividades al año, que preponderantemente abarcan: *limpieza 29,90%; eliminación de raíces 2,90%; inspección de pozos de visita 19,80%; video inspección 6,80%, otras pruebas de apoyo (acústica, GPR, etc.) 7,80%*. El mismo documento destaca que *el 80% de los problemas ocurren en el 25% del sistema* (Hardin y Mecer, 1997).

El bajo o nulo mantenimiento incrementa las obstrucciones agravándose en el tiempo, hasta el punto de llegar a la Sustitución de tuberías, que representan costos mayores con respecto a la prevención.

También, en el folleto informativo de la EPA (EPA, 1991) se establecen variables que determinan la prioridad en el programa de mantenimiento [sic]:

- 1) *Edad: los sistemas más antiguos tienen un mayor riesgo de deterioro que los recién construidos.*
- 2) *Material de construcción: tuberías construidas con materiales más susceptibles a corrosión tienen un mayor potencial de deterioro y colapso. Tuberías no reforzadas de concreto, ladrillo y asbesto-cemento son ejemplos de tuberías susceptibles a corrosión.*
- 3) *Diámetro de tubería o capacidad de conducción: tuberías que reciben mayores gastos de aportación tienen prioridad sobre las que transportan gastos reducidos.*

4) *Ubicación: tuberías ubicadas en áreas con poca inclinación o que tienen una alta probabilidad de inundación tienen una mayor prioridad.*

5) *Tuberías a presión vs. tuberías de flujo por gravedad: tuberías con funcionamiento a presión tienen una mayor prioridad por encima de las de tienen un funcionamiento a superficie libre, considerando una equivalencia en diámetro, dada la complejidad de su limpieza y rehabilitación.*

6) *Condiciones subterráneas: la profundidad del nivel freático, la profundidad hasta el estrato rocoso, las características del suelo (clasificación, resistencia, porosidad, compresibilidad, susceptibilidad a heladas, erodabilidad y pH).*

7) *Potencial de corrosión: el sulfuro de hidrógeno (H_2S) es responsable por la corrosión de las tuberías, las estructuras y los equipos usados en sistemas de alcantarillado. Es necesario hacer un monitoreo de las condiciones en el interior de las tuberías e implementar tratamientos según sea necesario para prevenir el crecimiento de película bacteriana y la producción de gases de H_2S .*

Bajo las prioridades anteriores y detectadas irregularidades en la operación del drenaje, se verifica una inspección, como parte de la primera etapa de la evaluación del deterioro de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial.

2.3. Diagnóstico

Por la extensión de los sistemas, ausencia de programas de mantenimiento y otras razones, la identificación de colectores y tramos problemáticos, son en su mayoría bajo acciones correctivas, derivadas de reportes de encharcamientos, desbordamientos, detección tardía de socavones y desatenciones de anomalías, que no se identifican de forma temprana.

Una acción preventiva es el mapeo de la red de drenaje y relacionarlo con las advertencias que proporcionan los mapas de riesgo y entorno urbano. Sobre mapas o planos de infraestructura urbana son recomendables desarrollar las siguientes valuaciones o Valoraciones: a) estado

general, b) desarrollo urbano, según la información disponible c) hundimiento diferencial del suelo, d) encharcamientos, e) zonificación geotécnica y f) zonificación sísmica.

Cada una de las anteriores valuaciones o valoraciones, como se dispone llamarles en esta metodología, se propone desarrollar sobre la base de un plano general usado como índice o generar fichas particulares funcionales del colector o atarjea, que debe incluir la traza, información de desarrollo geométrico e hidráulico, indicando por tramos, diámetro, sentido del flujo, longitud del colector, pendiente, cuenca hidrológica urbana, material (rugosidad), con base en el proyecto original o información de catastro; así como, los datos básicos de proyecto, siendo la población beneficiada, gasto sanitario y el gasto pluvial con el cual se evalúa el funcionamiento hidráulico tanto en condiciones actuales como a condiciones de diseño.

Este ejercicio de mapeo, resulta valioso para la detección indirecta de problemas operacionales, apreciación de la calidad de las aguas conducidas; así como planificar labores de inspección, acciones de mantenimiento de conservación o correctivo, considerando la priorización recomendada en el folleto informativo de la EPA.

2.3.1 Labores de Inspección

- a. Acompañando el mantenimiento, que debe incluir la limpieza del colector, conviene en paralelo realizar labores de inspección que incluyan técnicas de inspección física, levantamientos topográficos y el monitoreo de los gastos, en la longitud total del colector o tramos particulares con el fin de diagnosticar el estado, grado de daño y medidas de remediación, describiéndose a continuación.
- b. Estudio de video inspección y sensores múltiples. La técnica de video inspección, implica la aplicación de la visión al interior de la tubería, mediante una videocámara instalada sobre un robot móvil a control remoto habilitado por llantas, cable de energía, cadena de rescate e izaje, circulando al interior de la tubería con apoyo geoespacial

controlado por computadora, lo que permite conocer la ubicación exacta de la anomalía detectada en tuberías mayores a 450 mm. Según el modelo y marca del equipo, se posee una visión de 360 grados en lo horizontal y 90 grados en vertical, apoyada por iluminación artificial, está limitada por la calidad de imagen que depende de la tecnología de los lentes disponible por fabricante, por lo que la técnica se ha restringido a las evaluaciones de juntas de tuberías, rupturas, fugas, salientes, intrusiones de raíz y obstrucciones.

- c. Los sensores múltiples son un método de apoyo al video inspección, funciona a partir de emisión de señales que permiten medir geometría, corrosión y la condición de las juntas. Existen en el mercado novedosas tecnologías que trabajan en conjunto con el video inspección, como el escaneo por láser, que permite una reconstrucción 3-D del interior de la tubería. Son equipos costosos y se requiere de una capacitación especializada.
- d. Estudio de levantamiento topográfico. Consiste en la lectura de niveles de base y clave de tubería, con referencia superficial o del terreno, medido al interior de los pozos de visita, para determinar la pendiente y niveles, entre pozos de visita, generalmente con un teodolito o estación total. Con los datos obtenidos en el levantamiento topográfico, se realiza la comparación de niveles contra proyecto, para la identificación histórica de desviaciones de niveles, por lo que la técnica está limitada a conocer el detalle de geométrico de los puntos extremos de los tramos entre pozos de vista, sin el detalle del estado intermedio, por lo que es complemento de la video inspección.
- e. Estudio de Aforos. Son recomendables para la medición del caudal de funcionamiento, para fines de verificación de capacidad de conducción y calidad de operación de colectores y atarjeas, siendo recomendables los métodos ASTM D5130-2014, para la medición de caudal en canal abierto indirectamente por el método de pendiente-área; ASTM-D5242-2013, para la medición de caudal con vertederos de placas delgadas y ASTM-D5243-2013 medición de flujo indirectamente en alcantarillas.

2.3.2 Valoración de Estado General Actual

Estado Físico

- En el siguiente paso de las labores de inspección, se evalúan las anomalías identificadas, entendiendo éstas como la desviación respecto del estado normal o previsible del interior de los conductos de drenaje. Es una práctica de comparación visual de las fotografías o videos levantados en campo, contra un catálogo que agrupa pictogramas que representan el tipo de anomalía, clasificada en cuatro categorías de atención, junto con un código de colores, el tramo de colector calificado como inmediato en rojo, alto en naranja, medio en amarillo y bajo en verde, en analogía a un semáforo vial.
- Inmediato, agrupa anomalías identificadas como destrucción de tubería, flujo a tubo lleno o en contrapendiente, siendo: Tubería colapsada con fisura. Tubería colapsada con exposición de terreno natural, Tubería inexistente (caverna), Contrapendiente.
- Alto, se debe a dislocamientos, fisuras y erosión de pared, que permite infiltración y exfiltración del flujo, contempla los daños: desacoplamiento, dislocaciones, acero de refuerzo expuesto y erosión en plantilla, acero de refuerzo expuesto, grietas, erosión en recubrimiento interno, filtraciones y estancamiento.
- Medio, abarca daños por erosión y deterioro considerable de pared y obstrucciones, sin infiltración y exfiltración del flujo, engloba las anomalías siguientes: fisuras pequeñas, obstrucción, erosión de pared (sin exponer el acero de refuerzo), conexiones a cuerpo de tubo (tratándose de colectores), desgaste en juntas o uniones y obstrucción por basura o azolve.
- Bajo, sin anomalías presentando una conducción con flujo a superficie libre.

Estado Operacional

Conviene en este punto de la metodología, realizar una simulación hidráulica, para interpretar el funcionamiento del colector en su estado actual. El establecimiento de un modelo

de simulación hidráulica, tiene el objetivo de identificar de forma anticipada o forense, inundaciones y anegamientos en sectores urbanos, que provocan pérdidas materiales y ocasionalmente humanas.

En ejercicio previo debe identificarse con la mayor precisión posible, la cuenca hidrológica urbana o el área de influencia para el colector o componente del sistema de drenaje, con la cual se apoye la estimación del gasto sanitario correspondiente a las descargas domiciliarias de la población, como gasto base de un hidrograma y se añade el gasto pluvial, del que al menos se construyan dos hidrogramas asociados a mínimo un periodo de retorno de 5 años y máximo 50 años o menos, según el riesgo que se requiera contemplar.

La importancia de usar modelos y estrategias de modelación, específicas para el ámbito de la hidrología urbana, reside en que las cuencas son cada vez más afectadas por los componentes urbanos, modificando en consecuencia el escurrimiento, principalmente en magnitud y tiempo en que se producen los escurrimientos máximos, resultando muy distintos a los debidos por condiciones naturales.

El conocimiento y detección de anomalías de operación, sobre el análisis del flujo en los sistemas de drenaje, permite la flexibilidad necesaria para diseñar, verificar y evaluar el efecto de nuevos elementos del sistema de drenaje para la posible utilización de los mismos, con una baja inversión.

El resultado es un perfil de flujo del colector, que demuestre la presencia de sobrepresiones o flujo a superficie libre en tramos del conducto, si se tienen datos de aforo y niveles de superficie del agua al interior de la conducción, se podrá calibrar el modelo hidráulico y contemplar con mejor aproximación el estado actual de funcionamiento del colector.

Con relación a este análisis hidráulico, los criterios de atención son:

- Inmediato para un flujo a presión relacionado a dos periodos de retorno, mínimo de 5 años y 50 años o menos; alto para flujos a presión relacionado al menos al periodo de retorno mínimo de 5 años; medio para flujos a

superficie en tramos con contrapendientes, o tubos aceptablemente llenos; Bajo para flujo a superficie libre.

Se tienen en esta etapa, dos condiciones de evaluación, el estado físico del colector y el estado hidráulico operacional, en condiciones actuales.

Edad del Colector

Se considera en importancia el tiempo de funcionamiento del colector, se establecen los siguientes estados:

- Inmediato aquellos con edades mayores a 75 años; alto entre el rango de 50 a 75 años; medio entre 30 a 50 años y bajo para los colectores que no superan los 30 años.

La calificación de grado de daño indicados, son una sugerencia y guía, que varía, según la experiencia y criterios de los organismos responsables de la operación del drenaje a nivel mundial. Esta práctica permite conocer y valorar tres criterios, para la priorización de acciones de renovación de colectores.

Los anteriores parámetros de evaluación son básicos e indispensables, para identificar el funcionamiento de colectores en su estado actual, sus tramos con problemas y conocer posibles consecuencias futuras sin correctivos a las anomalías, valuación conocida como “sin proyecto”.

Es recomendable el estudio del medio físico alrededor de los colectores, para identificar algunos factores que han deteriorado la operación del colector, deben tomarse en cuenta aspectos geográficos, urbanos, zonificación sísmica, geotécnica, hundimientos, encharcamientos, como medios, también importantes para identificar efectos directos sobre la operación de la red de drenaje, que se desarrollaran según la información disponible y que a continuación se describen.

2.3.4 Valoración del Desarrollo Urbano

Como medio auxiliar para la valoración del impacto social o de beneficio a la ciudadanía, en prevención de problemas de salud, socavones y encharcamientos, que además afectan la economía del desarrollo social, como el valor de los bienes públicos y privados, se asocia la

cuenca y desarrollo longitudinal del colector, con el uso del suelo. De acuerdo a la institución, secretaría o al área correspondiente, se recomienda recabar el plano de desarrollo urbano del área en estudio, que detalle los usos de suelo como son: habitacionales, habitacional mixto, comercios, espacios abiertos (áreas verdes, conjuntos deportivos, espacios lúdicos abiertos) y zonas Industriales.

Se propone valorar con el siguiente criterio de prioridad de atención.

- Inmediato, el uso habitacional y habitacional mixto como el más relevante, por el objetivo social; alto, los usos de suelo con oficinas y comercio; medio, las zonas industriales; y bajo a los espacios abiertos de áreas verdes, conjuntos deportivos, espacios lúdicos abiertos.

La anterior escala se propone en complemento a los criterios y valores de evaluación del estado general actual, desde el punto de vista numérico, se recomienda, contemplar una escala simple, acorde con el número de elementos de valoración, siendo de mayor importancia a menor la siguiente escala propuesta, con valor de 4 inmediato, 3 alto, 2 medio, 1 bajo.

2.3.5 Valoración de efectos por Hundimiento diferencial del suelo

La metodología aplica en especial para suelos limos-arcillosos; por lo que, los hundimientos diferenciales del suelo, son un factor importante que hay que considerar en el diseño, mantenimiento y conservación del drenaje sanitario y pluvial, ya que de ellos depende que a través del tiempo mejore su eficiencia hidráulica o en su defecto, lleguen a trabajar en contrapendiente. Estos planos se pueden elaborar con datos históricos que se tengan dentro del área de estudio de lecturas de niveles en puntos críticos de manera constante a lo largo de los años, en caso de que la zona no presente este fenómeno provocado por el tipo de suelo, se podrá omitir en la metodología.

Se realiza un siguiente análisis hidráulico, para un horizonte de diseño de al menos 30 años tomando en cuenta los hundimientos diferenciales tanto en el nivel del brocal y de la plantilla del colector. El gasto de revisión

considera las descargas domiciliarias de la población proyectada al horizonte de planeación futura (30 años), dentro del área de influencia de la cuenca hidrológica del colector original o considerando modificaciones probables futuras y el gasto pluvial, aplicando los mismos periodos de retorno usados en la estimación hidráulica o simulaciones del estado actual de funcionamiento del colector

Se recomienda en coherencia con los anteriores análisis hidráulicos, aplicar los criterios de evaluación descritos en el apartado 1.2.2.

Esta valoración permite apreciar el impacto a futuro sin proyecto y sus consecuencias.

2.3.6 Valoración de Encharcamientos

Plano elaborado con ayuda de la institución, secretaría o área encargada de la recopilación de reportes de encharcamientos o reportes de prensa, identificando su causa, medida correctiva, área de afectación e incidencia a lo largo de los años dentro del área de estudio. Si la información lo permite, es posible relacionar la incidencia de encharcamientos, con las condiciones de operación hidráulica, obtenidas de los apartados (Estado Operacional) y (Valoración) de efectos por Hundimiento diferencial del suelo, además de asociarlos con los periodos de retorno analizados y los criterios de evaluación anteriormente descritos.

2.3.7 Valoración de Zonificación Geotécnica

La evaluación por zonificación geotécnica contempla un análisis de capacidad de carga en diferentes puntos a lo largo del colector, en donde se evalúa la relación entre la carga actuante (carga muerta más carga viva) o diseño, afectada por un factor de seguridad (factor de carga en algunos reglamentos) y la relación de resistencia suelo-tubería al aplastamiento, tanto para tuberías rígidas (tuberías de concreto) como flexibles (tuberías plásticas). Tomando en cuenta que la mayoría de las tuberías existentes, son de concreto con alguna afectación, en primera instancia se revisa la resistencia a la primera grieta de un tubo de concreto grado 1, bajo la prueba de 3 apoyos. Cabe resaltar que el valor de resistencia de la primera grieta, mismo que se compara con el valor de la carga actuante calculada, se especifica en la norma NMX-C-

402-ONNCCE-2011, El factor de seguridad aplicado es de 1 para la primera grieta de acuerdo al *Concrete Pipe Design Manual*, (ACPA, 2011). El criterio de atención considera el tipo de cemento básico aplicable a tuberías de concreto, la cimentación o plantilla tipo B es de material granular compactado, la plantilla C es de material granular sin compactar y la plantilla D es material suelto.

Si la carga actuante es menor que la carga resistente a la primera grieta, considerante para las plantillas tipo B, C y D la evaluación es bajo, si sólo se resisten las plantillas tipo “B y C”, el criterio es medio. Por otro lado, si la resistencia se presenta para plantillas tipo “B”, el criterio es alto; mientras que, si no se resiste con ningún tipo de cimentación, la evaluación es inmediata.

2.3.8 Valoración de Zonificación Sísmica

La metodología de análisis está basada en el método de la deformación sísmica o pseudoestático descrito en el Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015). Dicho método se basa en estimar la amplitud del desplazamiento del suelo que rodea la estructura en función de parámetros dinámicos del sitio, tales como el periodo natural y la aceleración del terreno de acuerdo con la zonificación sísmica de la estructura.

La evaluación se realiza a partir de una comparativa entre desplazamiento axial máximo de la tubería (U_p) vs longitud de unión espiga-campana de la tubería, denominada “desplazamiento permitido (B)”.

Los criterios de atención consideran como bajo si $U_p < B$, medio si $U_p = B$, alto si $U_p > 1.1B$ e inmediato si $U_p > 2B$.

3. INGENIERÍA BÁSICA O ANTEPROYECTO Y PROYECTO EJECUTIVO

Una vez realizado el diagnóstico, es aplicable un ejercicio de priorización de intervenciones al drenaje y ordenar su remediación, sea para el total de la longitud de un colector o de tramos identificados con problemas o con diferentes grados de anomalías.

En todos los colectores o tramos, con mérito a remediar, se recomienda un anteproyecto o estudio de ingeniería básica, que recomiende opciones entre las técnicas de renovación disponibles, por méritos económicos, proceso constructivo y mejoras hidráulicas y estructurales que promuevan.

En esta etapa se consideran los resultados de las valoraciones anteriores y se contrastan con la generación de estados futuros de opciones de renovación, junto con simulaciones del estado funcional esperado y estimaciones básicas de costos.

4. ACCIONES DE RENOVACIÓN

De acuerdo al diagnóstico o en su caso anteproyecto o proyecto ejecutivo, la propuesta de renovación contempla tres grandes acciones, bajo un adecuado análisis ingenieril:

a) Reparación

Las técnicas de reparación intentan rectificar un daño local, y contempla técnicas sin zanja. La mayoría de estas técnicas no aumenta o mejora la capacidad estructural de los componentes; únicamente repara las anomalías locales debido a que la corrosión puede alcanzar el armado y debilitar aún más la estructura en tuberías de concreto reforzado. Algunas de estas técnicas pueden ser aplicadas a cajas y pozos de visita.

b) Rehabilitación

Las técnicas de rehabilitación se basan en la intervención de un componente de la tubería en el sistema de drenaje, incorporando todo o parte del material para mejorar el estado actual. La mayoría de las técnicas son métodos sin zanja mejorando además la capacidad estructural.

c) Sustitución

Las técnicas de sustitución son aquellas en las que se construye un componente nuevo dentro de la red de drenaje, adoptando la función de la tubería deshabilitada. Estas técnicas contemplan excavación, mejorando la capacidad hidráulica y estructural.

5. RESULTADOS

El diagnóstico propuesto, permite una evaluación permanente del estado o servicio que prestan los drenajes, a través de labores de campo y gabinete, que contribuyen en lo siguiente:

- Da valor a las labores de inspección con apoyo en técnicas y metodología, lo que permite dimensionar su importancia, en la planeación de acciones de mantenimiento.
- Describe un procedimiento de evaluación del estado estructural de tuberías, que identifica tipo y grado de anomalías, que afectan el estado normal o previsible del interior de los conductos de drenaje.
- Recomienda establecer un modelo de funcionamiento hidráulico, que permita conocer y evaluar la situación actual del alcantarillado, detectar alteraciones de operación y estudiar alternativas de mejora, con la flexibilidad necesaria para diseñar, verificar y evaluar el efecto de nuevos elementos del sistema de drenaje
- Tan solo el conocimiento del estado físico, funcional y edad de los colectores, permiten en lo mínimo establecer, objetivos y orden acciones para la renovación de colectores
- Resulta valioso tomar en cuenta mapas de riesgos y mapas o planos de aspectos geográficos, urbanos, zonificación sísmica, geotécnica, hundimientos, encharcamientos, para identificar importantes factores que han deteriorado la operación del colector.
- Permite una primera valoración del impacto social o de beneficio a la ciudadanía, al considerar la cuenca y desarrollo longitudinal del colector, con el uso del suelo, al procurar información como cantidad y tipo de

población a beneficiar, además que asociar esta información con el valor de catastro, se permite conocer el impacto a los bienes urbanos de la ciudad y población.

- Es posible dar forma a un Programa de renovación al reconocerse las necesidades y beneficios tangibles de proyecto, con base en el diagnóstico, evaluación y elaboración de anteproyecto o proyecto ejecutivo.

6. DISCUSIÓN

La conservación de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial, es de interés o utilidad pública, por su naturaleza física y costo, debe ser entendida como elemento para el desarrollo social, es una labor determinante en las perspectivas de largo plazo para el crecimiento socio económico de las urbes, pues contribuye en la salud, confianza y desarrollo de sus habitantes. Representa un servicio de bienestar social por lo que es elemental el buen funcionamiento de este y que dé cumplimiento a la NOM-001-CONAGUA-2011 en sus criterios de hermeticidad (CONAGUA, 2011) y a la NOM-002-SEMANART-1996 en criterios de calidad del agua (SEMARNAT, 1996), evitando en la medida de lo posible la falla del sistema ya que esto provocaría daños tanto en los bienes públicos como privados e inclusive daños mortales. Por lo que se requiere de acciones de mantenimiento y revisiones visuales periódicas para verificar el estado físico en el que se encuentra la red, con la finalidad de poder llevar a cabo reparaciones, rehabilitaciones o sustituciones preventivas para evitar la mayor cantidad de daños y con esto disminuir los costos de inversión en infraestructura sanitaria.

REFERENCIAS

- ACPA, (2011). *Concrete Pipe Design Manual*, American Concrete Pipe Association, Irving, TX, USA.
- ASTM, (2013). ASTM- D5242-92-2013. *Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water with Thin-Plate Weirs*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

7. CONCLUSIONES / RECOMENDACIONES

Se destaca la importancia de la etapa de diagnóstico, en el deber ser de un programa de mantenimiento, con énfasis en la evaluación del deterioro para todo o en parte de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial de cualquier ciudad.

En la metodología propuesta aplicable a cualquier sitio se destacan tres análisis: 1) valoración del estado general actual, que resulta en una evaluación básica de afecciones a los elementos de la red de drenaje, esta contempla el estado físico, operacional y edad del elemento de estudio. 2) estudios complemento, que involucra las valoraciones particulares de la zona donde se encuentra el colector, como desarrollo urbano, hundimiento diferencial del suelo (aplicable principalmente a zonas de suelos limo-arcillosos) y encharcamientos. 3) valoraciones de apoyo, que se incluyen para la selección adecuada de materiales para colectores o atarjeas en su proceso de rehabilitación, considerando zonificación sísmica y geotécnica.

Para la evaluación del deterioro del elemento de estudio, se recomienda establecer una valoración numérica a cada criterio de atención, asignando el mayor puntaje a la atención inmediata y el menor a la atención baja; además de asignar un puntaje a cada valoración propuesta y obtener una media ponderada por tramo o por elemento. Esto puede realizarse de manera gráfica con apoyo de la elaboración de fichas o planos de cada uno de los rubros mencionados en la etapa de diagnóstico con el fin de facilitar la evaluación de acuerdo a los criterios explicados para los colectores o atarjeas en estudio donde se plantee su renovación.

Es recomendable llevar un histórico de reportes de encharcamientos, socavones o fallas visibles del sistema de drenaje y en consecuencia procesar esta información para su uso confiable en futuro.

- ASTM, (2014). ASTM-D5130-95-2014. *Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water Indirectly by Slope-Area Method*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM, (2013). ASTM-D5243-92-2013. *Standard Test Method for Open-Channel Flow Measurement of Water Indirectly at Culverts*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- CFE, (2015). *Manual de Diseño de Obras Civiles - Diseño por Sismo CFE-IIE*, D.F. México.
- CONAGUA, (2012). NOM-001-CONAGUA-2011. *Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba*. D.F. México, Publicación DOF 9 de febrero de 2012.
- EPA, (1991). *Handbook: Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation*. U. S. Environmental Protection Agency. EPA 625-6-91-030 October 1991. Washington, D.C., USA.
- EPA, (1999). *Folleto informativo de operación y mantenimiento del alcantarillado*, EPA 832-F-99-031. United States Office of Water Environmental Protection Agency. Washington, D.C., USA.
- Hardin, D., Messer, C. (1997). *Old Data and New Tools-Maintaining the Sewers That Need It*. Proceedings of the WaterEnvironment Federation Conference on Collection Systems Rehabilitation and O&M Speciality.
- SEMARNAT, (1998). NOM-002-SEMARNAT-1996. *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y del tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal*. D.F. México, Publicación DOF 6 de abril de 1998.

Como citar este artículo:

Cabrera, M., Sánchez, G., Mejía, J., Hernández, C. (2019). Evaluación del deterioro de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial. *Aqua-LAC* Volumen 11(2), 111-120. doi: 10.29104/phi-aqualac/2019-v11-2-10



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license