

## Metodología para el diseño de sistemas de drenaje sanitario y pluvial

*Methodology for the design of sanitary and storm drainage systems*

Manuel M. Cabrera Delgadillo<sup>1\*</sup>, Guadalupe Sánchez Campos<sup>1</sup>,  
Juan Carlos Mejía Suárez<sup>1</sup>, Carmen Hernández Pastor<sup>1</sup>

Recibido: 19/08/2019

Aceptado: 10/09/2019

\*Autor de correspondencia

### Resumen

Se presenta el procedimiento de aplicación de un método propuesto para el dimensionamiento y diseño del drenaje sanitario y pluvial, mediante una secuencia de cálculo y su cuidado. Se busca incrementar la certidumbre de enterrar la tubería adecuada en suelos limo-arcillosos con baja resistencia a la compresión y alta deformación. Este incluye la valoración de requisitos y datos básicos de diseño, topografía y trazo, para el desarrollo del diseño hidráulico. Bajo consideración de las propiedades ingenieriles de las tuberías rígidas (Concreto) y flexibles (Plásticas), se da el paso A) Diseño hidráulico, que se verá afectado por la revisión del paso B) Análisis de hundimientos diferenciales del suelo al paso del tiempo, ante esta consideración, se propone revisar su funcionamiento, con el objeto de establecer una pendiente y geometría que se adecuen con la deformación estimada a futuro. En caso de requerirse se da el paso C) Revisión a presión interna, donde se establecen bases de diseño. En siguientes pasos D) Análisis de resistencia y capacidad de carga de la tubería, se revisa la resistencia de tubería rígida, y flexible. Se evalúa en E) Análisis sísmico, el desplazamiento axial de la tubería, condicionando el tipo de tubería a usar, finalmente los pasos F) Análisis de flotación. Análisis de compensación. En el apartado de resultados, se comenta la importancia y cuidados al proceso.

**Palabras clave:** hidráulica, tuberías, hundimientos, resistencia, aplastamiento, deformación, presión, sismo, flotación, compensación.

### Abstract

*The procedure for the application of a proposed method for the dimensioning and design of sanitary and rainwater drainage, by means of a calculation sequence and its care, is presented. The aim is to increase the certainty of burying the appropriate pipe in silty-clayey soils with low resistance to compression and high deformation. This includes the assessment of requirements and basic design data, topography and layout, for the development of the hydraulic design. Under consideration of the engineering properties of the rigid (Concrete) and flexible (Plastic) pipes, step A) Hydraulic design is undertaken, which will be affected by the revision of step B) Analysis of differential soil subsidence over time. In view of this consideration, it is proposed that their operation be revised, in order to establish a slope and geometry that is appropriate for the estimated future deformation. If required, step C) Internal pressure review is carried out, where design bases are established. In the following steps D) Analysis of resistance and load capacity of the pipe, the resistance of rigid and flexible pipe is reviewed. In E) Seismic analysis, the axial displacement of the pipe is evaluated, conditioning the type of pipe to be used, finally the steps F) Flotation analysis. Compensation analysis. In the results section, the importance and care of the process is commented on.*

**Keywords:** hydraulics, piping, sinking, resistance, compression, deformation, pressure, seismic, flotation, compensation.

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

## 1. INTRODUCCIÓN

Se presenta un desarrollo metodológico para proyectos de diseño de Sistemas de Drenaje Sanitario y Pluvial, derivado de un proceso continuo de evaluación de las mejores prácticas de diseño, esto se propone, debido a la importancia que deben darse a estos sistemas, pues desempeñan un papel fundamental en la protección de la vida y salud humana, además del resguardo al medio ambiente en las áreas urbanas, al ser usados como medio de desalojo de las aguas servidas y flujos pluviales en demasías.

Para describir la metodología propuesta, se presenta la aplicación de procedimientos y técnicas, para el cálculo y selección de tuberías para colectores sanitarios y pluviales, considerando las características geotécnicas del Valle de México, que significan un reto para todas las edificaciones e infraestructura necesaria para el desarrollo social y económico de sus habitantes.

La propuesta se apoya en criterios de desempeño y evaluación, que proporcionan la normatividad internacional ISO (*International Organization for Standardization*) y en algunos casos ASTM (*American Society for Testing and Materials o ASTM International*), que se usan también como referencia para el desarrollo de la normatividad en México, como las normas NOM (Normas Oficiales Mexicanas) y NMX (Normas Mexicanas), lo que da certeza en las adquisiciones públicas, al evitar la existencia de conflictos de interés, ante la intención de concurrir, el mayor beneficio para el desarrollo social y económico de los habitantes de zonas urbanas, con el menor costo posible de diseño, construcción, operación y mantenimiento durante la vida útil de los sistemas de alcantarillado.

El proceso de la secuencia propuesta, tiene el punto de control principal en la fase de Diseño Hidráulico, parte de este punto y conforme se evalúan los resultados se retorna a él, hasta concluir la secuencia con certitud. Cada fase con resultado positivo de su entregable (memoria de cálculo), confirma la validez y cumplimiento del objetivo de incrementar la certidumbre de usar la tubería adecuada al tipo de suelo. En especial la

metodología considera su aplicación en suelos limo-arcillosos, como los del Valle de México.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Antecedentes

Bajo el tradicional esquema de diseño y construcción, tan solo considerando materiales de conducción adecuados al funcionamiento hidráulico, es muy probable que el plazo de vida útil de los nuevos alcantarillados, coincida con el plazo de inversión, por lo que la rentabilidad de la inversión de capital se verá reducida o anulada. Es así que se debe considerar una infraestructura robusta con larga vida útil y con el menor costo posible. En ese sentido los materiales estandarizados responden a las actuales necesidades de resistencia y durabilidad, acompañados de innovadores procesos de construcción, que deben ser considerados desde el diseño. Es donde el conocimiento de la problemática, la reunión de la información pertinente al proyecto, la evaluación de soluciones por pasos y la verificación de resultados del proyecto, son cruciales para resolver un proyecto de infraestructura.

El suelo lacustre, característico del centro Valle de México, se compone de depósitos formados de manera predominante por partículas finas, limo y arcilla, tienen grandes contenidos de humedad los cuales llegan a un grado de saturación del 100%, tiene alta plasticidad (cuando el límite líquido es mayor al 50%), se caracterizan por su baja consistencia, baja capacidad de resistir carga, alta compresibilidad y alta deformación; características que son capaces de generar grandes asentamientos en las cimentaciones construidas sobre ellas y es un material impermeable. Los suelos arcillosos suelen hincharse cuando se exponen a la humedad (expansión de la arcilla) y se contraen cuando la humedad del suelo disminuye, esto representa un problema para las cimentaciones desplantadas en este tipo de suelo, ya que el suelo buscará separarse de la estructura al expandirse. Por lo que es importante considerar, el nivel de humedad del suelo donde se proyecte, lo que limita el tipo de cimentación para una tubería.

Se propone una secuencia de diseño al proyecto de drenaje que permita establecer de forma ordenada y eficiente la logística de las actividades. En la figura 1, se muestra el diagrama de la secuencia propuesta. El detalle de cada paso o fase se describe en adelante. La secuencia de cálculo y su cuidado, tiene el objetivo de incrementar la certidumbre de usar la tubería (Rígida o Flexible) de forma adecuada, para la construcción de un sistema de drenaje sanitario o pluvial.

## 2.2 Requerimientos de diseño

La supervisión y mantenimiento son una parte esencial en la operación del sistema de drenaje, es obligatorio en México, como en muchas partes del mundo, mantener la hermeticidad del sistema, que se prevé desde las etapas de diseño, construcción, y mantenerse durante su operación, conforme la norma oficial mexicana NOM-001-CONAGUA-2011, para evitar la infiltración de aguas subterráneas y ex-filtración de las aguas conducidas en el drenaje sanitario, definidas en calidad del agua en la norma NOM-002-SEMARNAT-1996; (SEMARNAT, 1998), considerando lo anterior, cualquier no cumplimiento de ambas normas, debido a desbordamientos o fugas del alcantarillado sanitario, debe evitarse, por los altos riesgos que representan a la salud y al medio ambiente, por tratarse de emisiones de aguas residuales sin tratar. Además, es de vital importancia eliminar todo tipo de riesgos que puedan generar dislocaciones, separación de tuberías, rupturas, que en consecuencia produzcan socavones que ponen en riesgo la vida y los bienes públicos y privados.

## 2.3 Datos básicos de diseño y topografía

Como es tradicional, el proyecto parte de la información topografía del entorno urbano, sobre el que se desarrollará la red de atarjeas o colector, en un plano de desarrollo geométrico e hidráulico, indicando por tramos, diámetro, longitud del colector, pendiente, material (rugosidad), niveles de base y clave de tubería, con referencia superficial o del terreno, indicados en los pozos de visita; además de señalarse la cuenca hidrológica urbana, que identifique de forma clara o aceptable, las zonas de influencia del funcionamiento hidráulico.

Deben cuantificarse el valor medio de aportación, tipo y cantidad de población que sirve el colector, ente otra información, que permita calcular la cantidad de aguas sanitarias producidas en condiciones actuales y estimadas a un horizonte de vida útil o planificado a la saturación, en correspondencia con la duración de los materiales a utilizar en su construcción; además evaluar la recepción de las aguas de escurrimiento por lluvia, lo que permite contemplar el gasto y condiciones hidráulicas de operación.

## 2.4 Propiedades ingenieriles de las tuberías

Se debe observar para la selección de tipos y materiales de tuberías, la normatividad aplicable al diseño de alcantarillados sanitarios y pluviales, que tiene como base en México la NOM-001-CONAGUA-2011, que entre sus objetivos se destaca [sic] “Establecer especificaciones mínimas de desempeño para los productos que integran los sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario, para asegurar la hermeticidad de éstos a largo plazo”, en consecuencia, se emplearán materiales y tuberías certificadas NMX, seguidas de ISO y con algunas excepciones ASTM y AWWA.

## 2.5 Tuberías y estructuras de concreto

La destrucción del concreto en los sistemas de alcantarillado, tiene un origen debido al ácido sulfúrico que producen ciertas bacterias cuando el oxígeno que se encuentra en la tubería tiende a agotarse. El Diseño por Durabilidad, se encarga de corroborar la capacidad que tienen las estructuras de soportar durante su vida útil, las condiciones físicas y químicas a las que están expuestas y es requisito establecido en la NTC-RSEE del RCCDMX (GOCDMX, 2017). Bajo la perspectiva de resistencia y durabilidad se consultan las normas mexicanas NMX-C-402-ONNCCE-2011 (ONNCCE, 2011) para tuberías de concreto reforzado y NMX-C-155-ONNCCE-2014 (ONNCCE, 2014) para las especificaciones del concreto, considerando estas; los elementos y tuberías de concreto a emplear en el drenaje, deberán ser manufacturados con Concreto con resistencia a la compresión mayor a los 34.5 MPa ( $350 \text{ kg/cm}^2$ ) con Cemento tipo CPP-RS, para tuberías Grado 3.

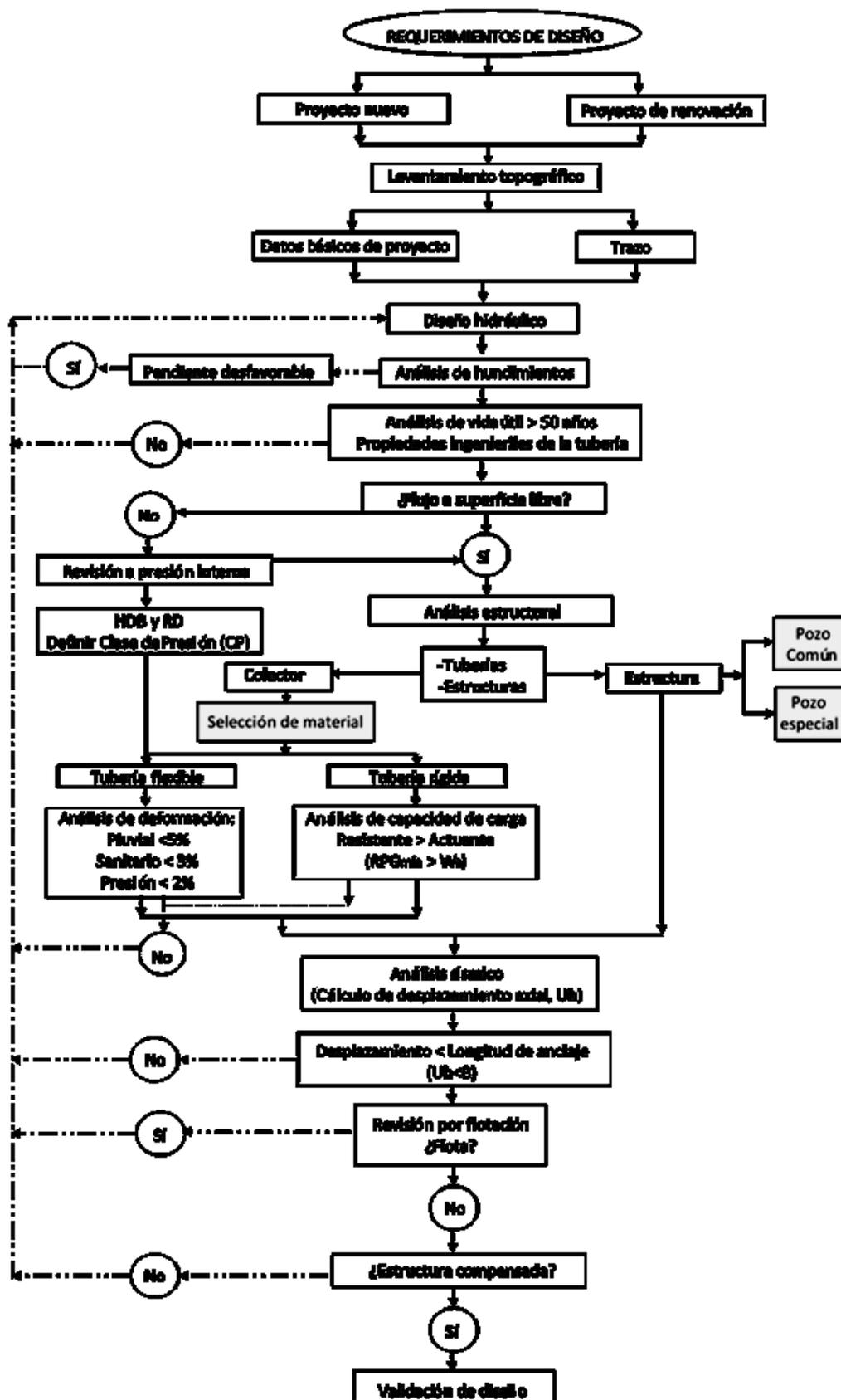


Figura 1. Esquema del proceso para el diseño de sistemas de drenaje sanitario y pluvial

Resistencia del concreto 34.5 MPa (350 kgf/cm<sup>2</sup>) y Grado 4 Resistencia del concreto 41.4 Mpa (420 kgf/cm<sup>2</sup>), siendo esto último la clasificación de la tubería con base en su capacidad de resistir cargas externas. Las anteriores especificaciones dan certeza sobre una esperanza de vida de las tuberías de concreto en 50 años. Es importante recabar de las especificaciones de la normatividad, el valor de Resistencia a la Primera Grieta (RPG), resultado de la Prueba de los Tres Apoyos, para considerar los valores en los cálculos de Resistencia al Aplastamiento para cada tubo a estudiar. Como alternativa de utilización, se tiene la tubería de concreto reforzado con revestimiento interior (CRRI). Esta tubería se fabrica bajo las mismas especificaciones contenidas en las tablas de tubo de concreto reforzado, siendo necesarios los Grados 3 y 4, con un revestimiento interior de PVC o PEAD. El revestimiento le otorga al concreto una protección adicional y permanente, cuando por proyecto se considere que la tubería puede estar expuesta a ambientes altamente corrosivos, además de mejorar el coeficiente de rugosidad.

## 2.6 Tuberías Plásticas

Como alternativa a los ataques químicos a los que está expuesta la tubería sanitaria, se tienen las tuberías plásticas. Bajo la perspectiva de resistencia, durabilidad, diámetro aplicable y estructuración, se consultan las normas mexicanas e internacionales siguientes: NMX-E-230-CNCP (CNCP, 2011) para tubos de pared estructurada anularmente de PCV-E; NMX-E-241-CNCP (CNCP, 2013) para tubos de pared corrugada PEAD-C; ISO 21138-3 (ISO, 2007) para tuberías de superficie externa estructurada o corrugada, tipo B, de PVC-E, de polipropileno (PP), PEAD-C y PEAD-E, y la extranjera ASTM F894 (ASTM, 2019) para tuberías de PEAD-E de espesor variable en pared interna lisa y

estructurada en externa para diámetros de 600 mm a 3,000 mm. Debe resaltarse de las tuberías plásticas, la inclusión en especificaciones de la prueba NCLS (*Notched, Constant Ligament-Stress*), con base en los resultados del ensayo NCLS se establece de 50 a 100 años la vida útil para las tuberías de PEAD-C y PEAD-E. Las tuberías PVC-E y PEAD-C, no tienen valor de HDB (ver apartado, revisión a presión interna), por no especificar resistencia de presión en su uso; contrariamente la tubería PEAD-E (estructurada) de estándar ASTM F894, posee HDB de 1.03MPa, por lo que puede ser aplicada en condiciones que exijan baja carga de presión. Un importante valor de especificación de las tuberías plásticas es la Rigidez de la tubería (PS), que es una medida de la resistencia a la deformación anular bajo una fuerza externa, requerido para cálculos de Resistencia al Aplastamiento.

## 2.7 Trazo geométrico

Se debe con el trazo favorecer que el flujo sea por gravedad, con especial atención en la ubicación de los pozos de visita en cruces de calles o para dividir tramos que excedan la longitud recomendada por labores de mantenimiento e inspección, además donde se efectuarán conexiones con otros tubos, cambios de dirección, cambio de pendiente, cambio de diámetro, y cambios de material de tuberías.

## 2.8 Diseño Hidráulico

En un sistema de drenaje solo debe de presentarse flujo a superficie libre, estado que cumple un flujo a gravedad y ventilado. Para simplificar el diseño, se consideran condiciones de flujo establecido y en estado permanente, el estado de flujo uniforme es el criterio que rige el área de la sección hidráulica mínima requerida, bajo la igualdad siguiente.

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = ARh^{2/3} \quad (1)$$

donde

Q, es el gasto en m<sup>3</sup>/s

N, es el coeficiente de rugosidad de Manning en s/m<sup>1/3</sup> (0.010 para PEAD-C)

S, es la pendiente (menor a 4%)

A, es el área en m<sup>2</sup>

Rh, es el radio hidráulico, en m

Se deben de cumplir dos condiciones importantes:

- Diseño recomendado al 80% de la capacidad hidráulica ( $y=0.80 D$ ), para drenaje sanitario, en donde “y” es tirante y “D” diámetro, permitiendo el flujo de gases al exterior y el acceso de presión atmosférica, o Diseño al 96% ( $y=0.96 D$ ) de llenado para drenaje pluvial.
- Velocidad permisible (v): mínima (0.6 m/s) y máxima (5.0 m/s) para tuberías plásticas.

Las variables a determinar a través de la ecuación (1) serán pendiente y diámetro. Debe prestarse especial atención en la aplicación del valor del coeficiente de rugosidad n de Manning, pues recientes investigaciones dan cuenta de una variación de su valor, en dependencia con el material, diámetro de tubería y velocidad del flujo, por lo que no debe considerarse como constante durante su uso y preverse su comportamiento, principalmente a velocidades menores a 2 m/s (Cabrera, 2012). En este paso conviene el uso de software de simulación matemática, para favorecer la revisión de los resultados y atender de forma adecuada y pronta, la solicitud de cambios en geometría, solicitados por los cambios que procuren las siguientes revisiones.

$$Cbp_p = Cbp_i - (ha * n) \quad (2)$$

donde

$Cbp_p$ , es la Cota de brocal o plantilla obtenida de la proyección, en msnm

$Cbp_i$ , es la Cota de brocal o plantilla inicial, en msnm

ha, es el valor de hundimiento anual del punto analizado, en m

n, es el número de años de la proyección

### 2.10 Revisión a presión interna

El drenaje pluvial y sanitario es restringido a un flujo como máximo a tubo lleno de sus tuberías, sin embargo, si los requerimientos de diseño o las probables condiciones de operación de los conductos, condicionan una carga de presión, es decir, niveles de operación de flujo entre la clave (nivel superior interior) de la tubería y la superficie del terreno, sin desbordar; o por impulsión del flujo mediante equipo de bombeo. En esas circunstancias, las tuberías de drenaje tradicionales no son aplicables, debido a su limitada resistencia a la presión interna, a tan

### 2.9 Análisis de hundimientos

Después de una primera solución hidráulica, es importante considerar los hundimientos regionales diferenciales y el efecto sobre la pendiente propuesta, generando un principal escenario posible de tendencia de deformación lineal, para 30 o más años, a lo largo del trazo de proyecto, con la intención de proponer un desnivel inicial y predecir la deformación en el perfil de diseño, con el objetivo de mantener un perfil de horizonte de deformación futura favorable al sentido del escurrimiento. Debido a su importancia, la autoridad gubernamental de la Ciudad de México, mantiene actualizado un mapa de hundimiento del suelo a través de los Atlas de riesgos de la CDMX, que representa las zonas donde el suelo tiene un movimiento vertical lento, debido a las condiciones de compresibilidad propias del suelo, producidas principalmente por la intensidad en la extracción del agua del subsuelo, que es considerado para valorar el desnivel a futuro, que afecte el perfil del colector o la pendiente de operación, lo que define el efecto a futuro del comportamiento hidráulico. Los niveles de brocal y plantilla proyectados a un horizonte futuro, se obtienen de aplicar la siguiente ecuación:

solo la prueba de hermeticidad hidrostática, comúnmente establecida en 0.05MPa (0.5bar) o neumática a 0.03MPa (0.3bar) mantenida durante 15 minutos, (CONAGUA, 2012); por lo que se puede optar por tuberías con Base de diseño Hidrostático (HDB), como parámetro de resistencia a la presión interna sostenida de trabajo. La capacidad de resistencia a presión interna de la tubería o CP, se puede calcular a partir de la HDB en función del espesor de pared (e), diámetro de la tubería (D), y el factor de diseño (FD) adecuado. Las ecuaciones aplicables se muestran a continuación:

Ecuación en términos del diámetro exterior y el espesor de pared.

$$CP = \frac{2e(HDB)(FD)}{De - e} \quad (3)$$

Ecuación en términos del diámetro interior y el espesor de pared.

$$CP = \frac{2e(HDB)(FD)}{D + e} \quad (4)$$

Donde

CP, es la Clase de Presión, en MPa

HDB, es la base de diseño hidrostático, en MPa el PVC debe tener un HDB de 27.58 MPa (4,000 psi) (AWWA, 2002), mientras que el PEAD tiene un HDB de 11.03 MPa (1600 psi) (AWWA, 2006)

FD, es el Factor de Diseño con valor de 0.5 para ambos materiales ( $FD = 1/FS$ ), adimensional

FS, es el Factor de Seguridad, adimensional

De, es el Diámetro exterior, en m

e, es el Espesor de pared, en m

D, es el Diámetro interior, en m

Debe identificarse la presión operativa máxima esperada y sostenida, definida como la Presión de Trabajo (PT), aplicada a la tubería con inclusión de las sobrepresiones recurrentes

(SPR) y ocasionales (SPO). En normas (GOCDMX, 2017), se prevé el uso de Factores de Carga, conforme la combinación de acciones.

Combinaciones de acciones permanentes y variables, multiplicadas por un factor de carga de 1.5

$$P_T(1.5) \geq CP \quad (5)$$

Combinaciones de acciones permanentes, variables y accidentales, multiplicadas por un factor de 1.1

$$P_T(1.5) \leq CP \quad (6)$$

Se considerará para diseño la más desfavorable.

$$(P_T + SP_O)(1.1) \leq CP \quad (7)$$

Considerando tuberías enterradas hasta 8 m de profundidad, y con requerimientos de resistencia a baja presión, es común solicitarlas para resistir una PT de 98 kPa (10 mca), con CP de trabajo 147 kPa (15 mca).

### 2.11 Análisis de resistencia y capacidad de carga de la tubería.

En el estudio de tipo de tubería a emplear se deben distinguir dos tipos, tuberías rígidas (Concreto) o flexibles (Plásticas). Es un hecho

que los tubos flexibles proporcionan una rigidez significativamente menor en comparación con las tuberías rígidas (Concreto); sin embargo, se comportan notablemente bien cuando son enterradas en el suelo, confinadas con materiales granulares.

### 2.12 Tubería rígida (concreto)

El análisis de capacidad de carga de la tubería, contempla. Carga actuante:

$$W_a = \frac{(W_c + W_L)FS}{F_L} \quad (8)$$

Donde

$W_a$ , es la carga actuante, en kg

$W_c$ , es la carga muerta sobre la tubería, en kg

$F_L$ , es el factor de lecho, que depende del tipo de cimentación y acostillado

FS, es el factor de seguridad, 1 para tubería de concreto reforzado.

Finalmente se compara la carga actuante contra la Resistencia a la Primera Grieta (RPG) (ONNCCE, 2011). Si el valor de la carga

actuante es menor al valor de la resistencia de la tubería, entonces se entiende que la tubería resiste la carga a la que está sometida.

$$RPG_{MIN} \geq W_a = \frac{(W_c + W_L)FS}{F_L} \quad (9)$$

### 2.13 Tubería flexible (plástica)

La revisión por resistencia estructural se basa en tres parámetros que son esenciales en el análisis y diseño de cualquier instalación de un conducto flexible: 1) Cargas muertas debido a la profundidad del relleno y cargas vivas debido al

tránsito de vehículos, 2) Módulo de reacción del suelo y 3) La rigidez de la tubería. Estos tres elementos se sintetizan en la ecuación conocida como de IOWA Modificada (Moser, 2008), y establece que:

$$\frac{\Delta y}{D_n} = \frac{(DL(W_c) + W_L)K}{(0.149PS + 0.061E') * 101.97} \quad (10)$$

Donde

$\Delta y$ , es la deformación del diámetro, en m

DL, es el factor de deflexión de retraso, constante adimensional con valor de 1.5

$W_c$ , es la carga muerta sobre la tubería, en kg

$W_L$ , es la carga viva sobre la tubería, en kg

K, es el coeficiente de plantilla, adimensional

PS, es la rigidez de la tubería, en kPa

$E'$ , es el módulo de reacción del suelo (resistencia del suelo al aplastamiento), en kPa

Se tiene que evitar el aplastamiento de la tubería por acción de cargas externas, a través de valuar dos parámetros importantes,  $E'$  que se define con las características de resistencia mecánica del material de suelo usado en el acostillado del tubo

y PS definido en la normatividad de la tubería, por pruebas de aplastamiento o en su defecto, mediante la siguiente expresión en función del RD.

$$PS = \frac{F}{\Delta y} = 4.47 \frac{E}{(RD - 1)^3} \quad (11)$$

Donde

E, es el Módulo de elasticidad de la tubería, en kg/cm<sup>2</sup>

### 2.14 Análisis sísmico

El análisis sísmico que se propone, se determina a partir del método pseudo-estático, mismo que

evalúa desplazamientos axiales del suelo y los transfiere a la tubería, la evaluación se realiza a partir de una comparativa, entre el

desplazamiento axial máximo de la tubería ( $U_p$ ) producto del sismo, contra la longitud de acoplamiento espiga-campana de la tubería, denominado “desplazamiento permitido (B)”.

La obtención de los desplazamientos axiales de la tubería, parte de ubicar la zona sísmica (México) del sitio en análisis con el programa o software SASID (ISCCDMX, 2019), recuperándose los valores de periodo de la capa

superficial del suelo ( $T_s$ ) y el coeficiente de la proporción de la aceleración ( $a_0$ ) de la gravedad, de acuerdo con el espectro sísmico de diseño evaluado con el programa. También, se requiere determinar la profundidad del estrato duro ( $H_s$ ), mediante un análisis geotécnico.

Se calcula el desplazamiento promedio de la junta “Up” con la ecuación siguiente:

$$U_p = a_1 U_h \quad (12)$$

Donde

$U_p$ , es el desplazamiento axial de la tubería, en m

$a_1$ , es el Coeficiente de transferencia de deformación axial (que está en función del área transversal y módulo de elasticidad de la tubería, así como del peso volumétrico del suelo y la longitud de la onda sísmica ( $\lambda^*$ ))

$U_h$ , es el desplazamiento axial del terreno, en m, que se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$U_h = \frac{T_s^2}{4\pi^2} a_0 g \cos \frac{\pi H_c}{2H_s} \quad (13)$$

Donde

$U_h$ , es el desplazamiento axial del terreno, en m (CFE, 2015)

$H_c$ , profundidad de enterramiento, m

$a_0$ , es el coeficiente adimensional de la proporción de la aceleración gravitacional, adimensional

$g$ , es la aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$

$H_s$ , la profundidad del estrato duro, m

Este análisis permitirá evaluar el riesgo por desacoplamiento de los tubos, y tomar las medidas necesarias en la selección del tipo de unión de la tubería, como parte de un diseño integral.

### 2.15 Análisis de flotación

Por lo general, la flotación no es una consideración de diseño para tuberías enterradas donde la tubería se encuentra llena o casi llena

de líquido o donde el agua subterránea está siempre por debajo de la tubería enterrada; sin embargo, este problema puede causar una reducción significativa del soporte del suelo alrededor de la tubería y permitir que la tubería se flexione por la presión hidrostática externa, por lo que debe de revisarse. En el estudio por flotación, se considerará una posición conservadora del nivel freático y se establece el siguiente procedimiento de revisión:

$$F_{VA} < P_T + P_{SS} + P_{SD} + P_{LC} \quad (14)$$

Donde

$F_{VA}$ , es la fuerza vertical ascendente o fuerza de flotación, en kg/m

$P_T$ , es el peso de la tubería, en kg/m

$P_{SS}$ , es el peso del suelo saturado, en kg/m

$P_{SD}$ , es el peso del suelo seco, en kg/m

$P_{LC}$ , es el peso del líquido contenido dentro de la tubería, en kg/m

La revisión por flotación se realiza a partir de comprender la fuerza vertical ascendente y balancearla o contrarrestarla con la carga de suelo de relleno de la zanja por arriba del lomo de tubería, contra la fuerza de flotación; tal relación debe ser mayor a 1.5 para mantener un Factor de Seguridad Mínimo.

### 2.16 Análisis de compensación

Este proceso consiste principalmente en el análisis de asentamientos diferenciales causados por someter el suelo nativo a esfuerzos mayores a los determinados por su resistencia mecánica. Además, sirve para garantizar un

comportamiento adecuado de la estructura de drenaje, frente al problema de asentamientos, evaluándose en consecuencia si el enterramiento y tubería, serán expuestos a propiciar hundimiento o levantamiento.

Según el incremento neto de carga aplicado al suelo del conjunto suelo-tubería o suelo-estructura, resulte positivo, nulo o negativo, la cimentación se denomina parcialmente compensada, compensada o sobre-compensada, respectivamente.

El cálculo del peso de la estructura, se obtiene mediante la expresión siguiente.

$$W_e = C_v + C_m \quad (15)$$

Donde

$W_e$ , es el peso de la estructura, en kg

$C_v$ , es la carga viva, en kg

$C_m$ , es la carga muerta, en kg

El peso del suelo desplazado se obtiene con la siguiente ecuación.

$$W_s = V * \gamma_s \quad (16)$$

Donde

$w_s$ , es el peso suelo desplazado, kg

$V$ , es el volumen de suelo desplazado, en  $m^3$

$\gamma_s$ , es la densidad del suelo desplazado, en  $kg/m^3$

Se obtiene el incremento de carga y se verifica el tipo de compensación.

$$\Delta W = W_e - W_s \quad (17)$$

Se definen como cimentaciones compensadas, aquellas en las que se busca reducir el incremento neto de carga aplicado al subsuelo, mediante excavaciones del terreno y uso de un cajón desplantado a cierta profundidad.

### 3. RESULTADOS

A continuación, se hace mención de los resultados más destacados que arroja la metodología:

- Certidumbre sobre el funcionamiento hidráulico a largo plazo, considerando la deformación diferencial del suelo por hundimientos, en la formación a futuro, de

un perfil longitudinal, favorable al sentido del escurrimiento.

- Selección adecuada de tuberías, en previsión de requerimientos de resistencia a cargas internas de presión y externas por enterramiento en suelos limo-arcillosos con baja resistencia a la compresión.
- Especial cuidado en la previsión de deformaciones diametrales, estimadas ante cargas externas, que no superen el valor de 2% para tuberías sometidas a presión, hasta 3% para tuberías plásticas aplicables al drenaje sanitario y menores al 5% para drenaje pluvial,

- Atender la normatividad nacional e internacional, para la selección de materiales que garanticen por lo menos una vida útil de 50 años, para incremento del beneficio económico y social.
- El análisis sísmico básico, servirá de apoyo para la selección de tuberías, al comparar la longitud de unión campana-espiga contra los desplazamientos axiales promedios y por tanto evitar en lo posible desacoplamientos o dislocamientos de uniones, privilegiando el uso de campanas largas o la ventaja que proveen las tuberías de PEAD de unión por termo fusión, con alta resistencia a la tensión y desplazamientos.
- Las revisiones finales por flotación y compensación, ayudarán a la estabilidad estructural entre tuberías, estructuras y suelo, evitando los defectos por dislocaciones.

#### 4. DISCUSIÓN

El servicio de saneamiento tiene como principal objetivo brindar a la población el desalojo de las aguas sanitarias y pluviales de manera segura; por lo que resulta de gran importancia el diseño apropiado del drenaje, considerando el mayor número de variables que pudieran afectar su funcionamiento, resistencia y estabilidad estructural, tanto a corto como a largo plazo, incluso se recomienda, no limitarse los análisis expuestos en este trabajo, esto mejorará las prácticas y conocimientos de la ingeniería, en

beneficio a la salud humana y protección de los acuíferos que proveen del recurso hídrico a la población, además de prevenir daños que pudiera ocasionar la falla del sistema de drenaje. Cada paso sorteado de forma ordenada y asertiva con apoyo de su memoria de cálculo respectiva, darán seguridad y forma a los entregables de proyecto.

#### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es importante y debe promoverse, la revisión del funcionamiento hidráulico inicial y con un horizonte de pronóstico de vida útil, considerando los hundimientos diferenciales del suelo y sismo, para la especificación de materiales a emplear en la plantilla y acostillado, que darán soporte estructural a las tuberías; así también su revisión por compensación y flotación para garantizar el comportamiento adecuado de cimentación, que evite asentamientos diferenciales del suelo nativo, causados por esfuerzos mayores a los determinados por su resistencia mecánica. El proceso y los elementos de cálculo anteriores, se aplican con el fin de extender la vida útil de los sistemas de drenaje pluvial y sanitario. Los beneficios se verán reflejados en una infraestructura con certidumbre sobre su resiliencia, economía en el largo plazo y seguridad a la población, bajo la ejecución de un proyecto con apego a: normas establecidas, prácticas aceptadas de ingeniería y desarrollos tecnológicos disponibles.

#### REFERENCIAS

- ASTM, (2019). ASTM F894. *Standard Specification for Polyethylene (PE) Large Diameter Profile Wall Sewer and Drain Pipe*. West Conshohocken, Pensilvania, USA.
- AWWA, (2002). *Manual M23 PVC Pipe - Design and Installation*, Second Edition, American Water Works Association, Denver, CO, USA.
- AWWA, (2006). *Manual M55 PE Pipe - Design and Installation*, First Edition, American Water Works Association, Denver, CO, USA.
- Cabrera, M. (2012), *Dinámica del coeficiente de rugosidad de Manning para tuberías de PEAD Corrugado*, XXII Congreso Nacional de Hidráulica, Asociación Mexicana de Hidráulica, Acapulco, Guerrero, México.
- CFE, (2015). *Manual de Diseño de Obras Civiles - Diseño por Sismo*, CFE-IIE, D.F. México.

- CNCP, (2011). NMX-E-230-CNCP-2011 “*Tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) sin plastificante de pared estructurada anularmente con junta hermética de material elastomérico para drenaje pluvial y sistemas de alcantarillado sanitario- Serie métrica – Especificaciones y métodos de ensayo*”. D.F. México, Publicación DOF 21 de octubre de 2011.
- CNCP, (2013). NMX-E-241-CNCP-2013 “*Industria del plástico-Tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) de pared corrugada con junta hermética de material elastomérico, utilizados en sistemas de alcantarillado sanitario- Serie inglesa- Especificaciones y métodos de ensayo*”. D.F. México, Publicación DOF 21 de junio de 2013.
- 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.
- GOCDMX, (2017). Gaceta oficial de la CDMX. *Normas Técnicas Complementarias para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones (NTC-RSEE-17)* (online). [Consultado el 15 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.smie.org.mx/layout/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-ciudad-mexico-2017.pdf>
- ISCCDMX, (2019). *Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México Normas Técnicas Complementarias y Sistema de Acciones Sísmicas de Diseño (SASID)*, (online). [Consultado el 15 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.isc.cdmx.gob.mx/servicios/servicio/normas-tecnicas-complementarias-y-sasid>
- ISO, (2007). ISO 21138-3. *Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage Structured-wall piping systems of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) - Part 3: Pipes and fittings with non-smooth external surface, Type B*. Vernier, Geneva, Switzerland.
- Moser, A., Folkman, S. (2008), *Buried Pipe Design*, Mc Graw Hil, USA. DOI: 10.1036/007147689X.
- ONNCCE, (2011). NMX-C-402-ONNCCE-2011, *Industria de la construcción-Tubos de concreto reforzado con junta hermética para alcantarillado sanitario y drenaje pluvial-Especificaciones y métodos de ensayo*. D.F. México, Publicación DOF 27 de octubre de 2011.
- ONNCCE, (2014). NMX-C-155-ONNCCE-2014, *Industria de la Construcción-Concreto hidráulico-dosificado en Masa-Especificaciones y Métodos de Ensayo*. D.F. México, Publicación DOF 26 de septiembre de 2014.
- 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). Metodología para el diseño de sistemas de drenaje sanitario y pluvial. *Aqua-LAC* Volumen 11(2), 85-96. doi: 10.29104/phi-aqualac/2019-v11-2-08



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