

# CONSIDERACIONES AL DISEÑO DE DRENAJE SANITARIO Y PLUVIAL CON TUBERÍAS FLEXIBLES EN SUELOS BLANDOS

Manuel M. Cabrera Delgadillo

WT Diseño Sustentable, S.C., Calle Santa Catalina No. 318, Colonia Insurgentes San Borja, C.P. 03100, Ciudad de México, México  
E-mail: mcabrera@wtds.mx

## Introducción

El suelo sobre el que se asienta la Ciudad de México, representa un reto para todas las edificaciones e infraestructura necesaria para el desarrollo social y económico de sus habitantes. Los suelos profundos y suaves que alguna vez fueron un lago, junto con la extracción del agua del subsuelo, agudizan un proceso de subsidencia del terreno por la consolidación de las arcillas superficiales, con valores que van de los 2 a 36 cm por año promediando 13 cm por año para toda la ciudad.

En específico del sistema de drenaje sanitario y pluvial, el efecto del hundimiento, provoca la pérdida de la pendiente hidráulica y dislocación de las tuberías de concreto, lo que en el largo plazo reduce su funcionalidad y vida útil, en independencia al deterioro o consumo acelerado de las paredes debido a un medio atmosférico de gas o vapores de ácido sulfúrico. En este último aspecto, es bien sabido que las tuberías de concreto ofrecen revestimientos interiores y exteriores que mejoran la resistencia contra los ataques químicos, sin embargo, se requiere de un exhaustivo análisis especializado de cimentación, que resuelva las deformaciones lineales debido a hundimientos diferenciales y prevenga la ruptura de falla de la tubería por cargas externas e internas.

Como alternativa se presentan las tuberías plásticas, fabricadas en PVC, PEAD y Polipropileno, en sustitución a la tubería de concreto, donde los grandes diámetros demandados por el drenaje sanitario y pluvial, ya no son un obstáculo para la selección de las tuberías plásticas, pero requieren por su propia naturaleza mecánica, de especiales consideraciones para su aplicación, en especial al enterrarse en suelos blandos, típicamente clasificados también como plásticos, lo que resulta en una combinación incomoda para el ingeniero responsable del diseño de una conducción de drenaje.

Comprendiendo las características ingenieriles de una tubería plástica, proporcionadas por la norma de fabricación y normas de clase de resina, se propone un lineamiento para cuidar aspectos en el procedimiento de diseño de una conducción que sirva al drenaje sanitario y pluvial, destinado a enterrarse en un suelo fino limo-arcilloso con presencia de agua subterránea.

Dichas condiciones de suelo son comunes a la orilla y en el lecho de cuerpos de agua o como sedimento en terrenos que han sido o son inundables.

## Objetivo

Describir una secuencia de cálculo y su cuidado, que incremente la certidumbre de usar tubería plástica, en especial de Polietileno Corrugado de Alta Densidad, en suelos limo arcillosos con baja resistencia a la compresión, para la construcción de sistemas de drenaje sanitario y pluvial.

Comprender las propiedades ingenieriles de las tuberías de Polietileno Corrugado de Alta Densidad, que deben considerarse en el diseño de las conducciones de drenaje.

Comprender los criterios y análisis necesarios para desarrollar los cálculos que dan certidumbre de la resistencia de las tuberías plásticas a largo plazo ante la exposición de fuerzas externas como internas.

## Antecedentes

La Ciudad de México, presentó en 2017 el “Plan Agua para el Futuro CDMX”, (Aguirre, 2014), estrategia que incluye la rehabilitación, sustitución y ampliación del sistema local de drenaje profundo y semiprofundo, de tubería de red primaria (colectores), red secundaria (atarjeas) y colectores marginales, en un plazo de 30 a 50 años, por un monto equivalente a los 5 mil millones de dólares.

Por el plazo planteado, es muy probable que, de construir de forma tradicional, con estructuras y tuberías de concreto, el plazo de vida útil de los elementos a rehabilitar, sustituir o ampliar, coincida con el plazo de inversión, por lo que la rentabilidad de la inversión de capital se verá reducida o anulada. Es así que debe considerarse una infraestructura robusta con larga vida útil y con el menor costo posible.

Es donde el conocimiento de la problemática, la reunión de la información pertinente al proyecto, la evaluación de soluciones en pasos y la verificación de la opción de proyecto son cruciales para resolver un proyecto de infraestructura. En ese sentido cabe hacer la mención que la Ciudad de México desde el año 2013 participa en la iniciativa 100 Ciudades Resilientes (100RC, por sus siglas en inglés), la cual busca que dichas ciudades estén preparadas para la construcción de resiliencia urbana en torno a los desafíos sociales, económicos y físicos del siglo XXI.

La construcción de resiliencia en la ciudad depende de la evaluación de la vulnerabilidad y los impactos históricos, el entendimiento e interpretación de escenarios de riesgos futuros (por ejemplo, escenarios de cambio climático), así como del entendimiento de los procesos socioeconómicos y socio ecológicos que aumentan la vulnerabilidad relacionada con las tensiones más relevantes en la ciudad, (OR CDMX, 2016).

En relación a la vulnerabilidad e impactos históricos, se debe recordar que, desde tiempos precolombinos, se llevaron a cabo obras hidráulicas para manejar y controlar el nivel del agua de los lagos durante la temporada de lluvias y mitigar inundaciones, de una cuenca endorreica que tiene más de 9 mil kilómetros cuadrados, que incluye las entidades federativas de Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo y Tlaxcala con una pequeña zona en el estado de Puebla. Labores que se continuaron en la etapa colonial con un sentido diferente, llevando a la construcción de enormes drenes, tajos y túneles para secar los lagos y llevar el exceso de agua fuera de la cuenca, alterando el sistema lacustre, definiendo una nueva relación entre la lluvia y la sociedad.

La alteración de los sistemas lacustres generó un fuerte estrés hídrico por la presión que ejerce una de las megaciudades más pobladas del mundo, que extrae del subsuelo la fuente principal de suministro de agua potable de forma inadecuada, provocando el hundimiento del suelo y la dislocación del drenaje urbano.

## Consideraciones al diseño de drenaje sanitario y pluvial

En la segunda mitad del siglo XX, la Ciudad de México ha resuelto el problema del manejo de lluvias con grandes obras ingenieriles que han controlado la excedencia de lluvias en conjunto con el drenaje sanitario, generando un sistema de

drenaje mixto de grandes dimensiones, tanto longitudinales como diametrales, que inclusive ha alcanzado su estimación de vida útil; es afectado por los hundimientos superficiales regionales, reduciendo la eficiencia de su funcionamiento y provocando en la última década, sustituciones y reparaciones en puntos importantes de la ciudad, que son detectadas de forma muy tarde, a través de la presencia de socavones. Atendiendo la importancia del sistema local de drenaje profundo y semiprofundo, de tubería de red primaria (colectores), el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), realiza un estudio del estado de ésta infraestructura, detectando que el sistema profundo se ha mantenido de manera adecuada y que debe ser ampliado, lo que se ha traducido en los estudios y proyectos ejecutivos de los Túneles Indios Verdes y Miramontes, donde se requiere una inversión de 10 mil millones de pesos adicionales al presupuesto anual de la ciudad. En lo relativo a la red secundaria, compuesta de atarjeas y colectores de diámetros mayores a 1.50 m, se identifican 185 km de tuberías de drenaje que requieren su rehabilitación o sustitución. El reto de solución no se limita a lo económico, debe considerar construir sin impedir u obstruir la vida y operación de la gran ciudad, por lo que anticipar el proceso constructivo es importante.

En orden de prioridades al existir infraestructura de drenaje en la ciudad de México, se tienen en el primer orden los Proyectos de Reposición, destinados a sustituir un colector que ha concluido su vida útil y presenta graves daños estructurales; en seguida se agrupan aquellos que, sin presencia de importantes daños estructurales, ya alcanzan una vejez importante y se requiere aumentar su capacidad de conducción se denominan Proyectos de Ampliación, finalmente dos tipos, aquellos determinados como Proyectos de Mejoramiento, para aumentar o recuperar su eficiencia de conducción y Proyectos de Conservación, para mantener su buen funcionamiento.

Los proyectos de primera y segunda prioridad requieren de labores mayores de construcción, como lo es la zanja abierta o hincados de tuberías, por lo que se requiere de conocer el ambiente urbano e infraestructura subterránea alrededor del trazo del colector, para determinar la posibilidad de un trabajo de construcción de un nuevo colector paralelo al existente, o la necesidad de obras de desvío temporales, que trasvasen las aguas sanitarias entre subcuencas urbanas, por lo que un levantamiento topográfico a detalle es imperativo, lo mismo que la detección de infraestructura subterránea, lo que define el trazo y parte del proceso constructivo.

Coincidiendo con el análisis urbano se requieren conocer y evaluar los datos básicos, siendo cantidad y clase de población que servirá el colector, así como la cantidad de aguas servidas o aguas sanitarias producidas en condiciones actuales y de mejora en el suministro, además de estimar un horizonte de vida útil y económica del proyecto, si se estima crecimiento en ese periodo o es planificado a la saturación, además de evaluar la recepción de las aguas de escurrimiento por lluvia, lo que permite proponer el gasto de diseño y las condiciones hidráulicas de operación, evaluando la posibilidad de operar con carga de presión o en exclusivo flujo a superficie libre.

Debido a su importancia, la autoridad gubernamental de la Ciudad de México, mantiene actualizado un mapa de hundimiento del suelo a través del SACMEX, 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.

El conocimiento de la calidad de suelo en la traza del proyecto, según su granulometría y características mecánicas o

geotécnicas, son importantes para determinar, el modelo de cimentación, material y resistencia del acostillado por el tipo de tubería a emplear, estimando si los materiales a excavar son útiles al reciclaje o no; así como, para determinar lo necesario para el proceso de instalación de la tubería y su correcto enterramiento.

En el estudio de tipo de tubería a emplear se deben distinguir dos tipos, siendo tuberías Rígidas o Flexibles. Es un hecho que los tubos flexibles proporcionan una rigidez significativamente menor en comparación con las tuberías rígidas (ej. tuberías de concreto); sin embargo, se comportan notablemente bien cuando son enterrados en el suelo confinadas de materiales apropiados.

Reconocida la interacción suelo-tubería y efectos, se debe evaluar la combinación de un suelo blando con tubería rígida o tubería flexible con uso de suelo rígido, lo que determinará el método de estimación y resistencia de la tubería ante la carga de suelo o carga muerta sobre el tipo de tubería, cargas vivas, factores de plantilla, resistencia de acostillado. En consecuencia, la rigidez necesaria de la tubería tratándose de una tubería de PEAD corrugada y la pertinencia del uso de suelos ligeros para la cobertura a la tubería como la espuma volcánica (Tezontle en México).

Con un peso estimado de zanja con tubería, y bajo distintas condiciones de operación hidráulica del conducto, tubo lleno, vacío o con carga de presión, es pertinente revisar si existe un incremento neto de carga al subsuelo, respecto de las condiciones antes de proyecto y determinar su compensación, es decir, evaluar si el suelo recibe más carga que su condición original, el suelo recibe la misma carga que su condición original o el suelo recibe menos carga que su condición original. Evaluándose en consecuencia si el enterramiento y tubería, serán expuestos a propiciar hundimiento o levantamiento. Esto último también se asocia a flotación de la tubería, debido al empuje vertical ascendente por presencia de aguas subterráneas.

La revisión por flotación y compensación 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 y en el caso de las estructuras, la suma del peso total de la estructura, incluyendo muros, losa, etc. más la fuerza de adherencia (materiales arcillosos) en las caras exteriores de los muros, contra la fuerza de flotación; tal relación debe ser mayor a 1.5 para mantener un Factor de Seguridad Mínimo.

Es también importante conocer el peso de las distintas estructuras de pozo caja subterráneas al que se conectarán las tuberías, para la revisión de compensación y con tales valores, comparar con el diseño de zanja y tubería, para compensar entre los elementos que componen el drenaje sanitario y pluvial.

## Conclusiones

Considerando un suelo blando, con poca resistencia a la compresión, es importante para un sistema de drenaje de gran diámetro utilizando tuberías de PEAD Corrugado, estimar la relación suelo-tubería y estructuras complementarias, junto con los efectos de hundimiento regional, instantáneo y de largo plazo, la resistencia al aplastamiento de la tubería, compensación del suelo, flotación y proceso constructivo, para la predicción del comportamiento hidráulico del sistema sanitario y pluvial a futuro, para garantizar en el corto y largo plazo, su operación segura y económica.

## Referencias bibliográficas

Aguirre, D.R. (2014). *Plan Agua para el Futuro CDMX*, SACMEX, Ciudad de México, México.

Oficina de Resiliencia CDMX (2016). *Estrategia De Resiliencia De La Cdmx*, SEDEMA, 100 Resilient Cities, AECOM, A911, Ciudad de México, México.