



Comparativa de metodologías para el diseño de redes de alcantarillado sanitario **Comparison of methodologies for the design of sanitary sewer networks**

A. Montejo¹, Diana I. Montejo A.², M. Arroyo², A. Honorato³, S.A. Zamora^{3*}

¹Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, Universidad Veracruzana

²Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Veracruzana

³Departamento de Posgrado, Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, Universidad Veracruzana

*Autor de correspondencia

Recibido 12 de noviembre 2018; recibido en forma revisada 02 de diciembre 2018; aceptado 12 de diciembre 2018

RESUMEN

El proceso de diseño de una red de alcantarillado varía según los criterios aplicados, y debido a la diversidad de planillas de cálculo desarrolladas para tal fin, los procesos de revisión pueden resultar demorados. En el presente trabajo, se analizan tres tipos de proyectos diferentes, los cuales fueron realizados bajo criterios distintos y en diferentes estados de la república mexicana. Las planillas de cálculo desarrolladas en Microsoft Excel®, contienen información diferente y en algunos casos, datos coincidentes, por lo que a través de este trabajo se propone unificar el contenido de dichas planillas y uniformar criterios de diseño. Esta propuesta se fundamenta principalmente en los criterios propuestos por la Comisión Nacional del Agua.

Palabras clave: alcantarillado, metodologías, diseño.

ABSTRACT

The process of designing a sewerage network varies according to the criteria applied, and due to the diversity of spreadsheets developed for this purpose, the review processes may be delayed. In the present work, three types of different projects are analyzed, which were carried out under different criteria and in different states of the Mexican Republic. The spreadsheets developed in Microsoft Excel®, contain different information and in some cases, matching data, so through this work we propose to unify the content of these spreadsheets and standardize design criteria. This proposal is based mainly on the criteria proposed by the National Water Commission.

Key words: sewerage system, methodologies, design.

INTRODUCCION

Los sistemas de alcantarillado o sistemas de drenaje son la obra de infraestructura más importante, al menos desde el punto de vista ecológico, tanto de las grandes ciudades como de pequeñas localidades, ya que constituyen el medio a través del cual se desalojan todas las aguas utilizadas por la población (aguas residuales o aguas negras), comercios e industrias asentadas en la zona (Pérez, 2013). Cabe señalar de acuerdo con lo anterior, que no es menos importante el sitio donde finalmente se depositarán dichas aguas y la calidad final de las mismas, es decir, el tipo de planta o sistema de tratamiento de aguas negras que se utilizará y su capacidad (Torres, 2012). Por lo tanto, los sistemas de alcantarillado sanitario y las plantas de tratamiento requieren de un diseño adecuado, acorde a las características del lugar y de la población donde se van a construir (Espadas, et al. 2017).

Los sistemas de alcantarillado sanitario pueden diseñarse como sistemas combinados, aguas negras y agua de lluvia, o bien como sistemas separados (Ospina, et al. 2010), es decir, una red para aguas negras y una red para agua de lluvia, de manera independientes. Generalmente un sistema de alcantarillado sanitario integra varios componentes, entre los cuales se incluyen los siguientes elementos: atarjeas colectoras, interceptores, emisores, plantas o sistemas de tratamiento, estaciones de bombeo depósito final y obras accesorias (CONAGUA, 2019). El destino final de esta agua dependerá del tipo de tratamiento que se le aplique, pudiendo ser un cuerpo de agua, reutilización para riego, recarga de mantos acuíferos, etc. Basado en lo anterior, el objetivo general de este trabajo es unificar criterios de cálculo para el diseño de una red de alcantarillado para la propuesta de una planilla que contenga los elementos básicos para el cálculo hidráulico de una red completa de alcantarillado.

METODOLOGÍAS

El análisis hidráulico para el diseño de una red de alcantarillado varía de acuerdo con los criterios aplicados, para el presente análisis se tomaron como base los criterios propuestos por la Comisión Nacional del Agua (Figura 1; CONAGUA, 2019).

Gastos de diseño.

Se establece el criterio de valorar el gasto de dotación de drenaje sanitario como un porcentaje del gasto de consumo de agua potable.

$$Q_{AN} \text{ (L/s)} = 80\% \cdot Q_{med}^{APOT} \text{ lts/hab/d}$$

Dónde:

Q_{AN} = gasto medio de las aguas negras en litros por segundo.

Q_{med}^{APOT} = gasto medio de la aportación en litros por habitante por día.

Para los fraccionamientos industriales y comerciales, el desarrollador deberá de analizar el porcentaje de la dotación que se verterá al drenaje sanitario, considerando que parte del agua de consumo debe de emplearse en el reúso del proceso industrial y también en las áreas verdes.

Los gastos de diseño que se emplean en los proyectos de alcantarillado sanitario de acuerdo con CONAGUA (2019) incluyen: el Gasto medio, Gasto mínimo, Gasto máximo instantáneo y Gasto máximo extraordinario.

Los tres últimos se determinan a partir del primero. El sistema de alcantarillado sanitario debe construirse herméticamente por lo que no se adicionará al caudal de aguas residuales el volumen por infiltraciones.



Fig. 1 Criterios propuestos por la Comisión Nacional del Agua

Gasto medio

El gasto medio se define como el valor del caudal de aguas residuales en un día de aportación promedio al año. Para calcular el gasto medio de aguas residuales, se requiere definir la aportación de aguas residuales de las diferentes zonas identificadas en los planos de uso de suelo.

La *aportación* es el volumen diario de agua residual entregado a la red de alcantarillado, la cual es un porcentaje del valor de la dotación de agua potable.

En zonas habitacionales, se adopta como aportación de aguas residuales el 75% de la dotación de agua potable, considerando que el 25 % restante se consume antes de llegar a las atarjeas.

En función de la población y de la aportación, el gasto medio de aguas residuales en cada tramo de la red se calcula con:

$$Q_{med} = \frac{A_p \times A}{86400}$$

Dónde:

Q_{med} = gasto medio de aguas residuales en litros por segundo.

A_p = aportación en litros por metros cuadrados al día o litros por hectárea diarios.

A = área de la zona industrial comercial o pública.

86400= número de segundos durante un día completo.

Gasto mínimo

De acuerdo con CONAGUA (2019), se considera gasto mínimo al menor de los valores de escurrimiento que normalmente se presentan en una tubería. Este valor es igual a la mitad del gasto medio. El gasto mínimo (Q_{min}) se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_{min} = 0.5Q_{med}$$

Dónde:

Q_{min} = Gasto mínimo

Q_{med} = Gasto medio de aguas residuales.

El gasto mínimo corresponde a la descarga de un excusado de 6 litros, dando un gasto de 1.0 l/s. Este será el gasto mínimo al inicio de una atarjea. Este valor es igual a la mitad del gasto medio.

En la Tabla 1, se muestran los valores del gasto mínimo que deben ser usados en el diseño de atarjeas para las diferentes tuberías que existen en el mercado. Además, se observa que el límite inferior es de 1.0 l/s, lo que significa que en los tramos iniciales de las redes de alcantarillado, cuando resulten valores de gasto mínimo menores a 1.0 l/s, se deben usar este valor en el diseño.

Gasto máximo instantáneo

El gasto máximo instantáneo es el valor máximo de escurrimiento que se puede presentar en un instante dado. Su valor, es el producto de multiplicar el gasto medio de aguas residuales por un coeficiente M, que en el caso de la zona habitacional es el coeficiente de Harmon.

En el caso de zonas habitacionales, el coeficiente M está dado por la siguiente fórmula:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

Dónde:

P = es la población servida acumulada hasta el punto final, aguas abajo, del tramo de tubería considerada, en miles de habitantes.

Tabla 1. Gasto mínimo de agua residual con inodoros de 6 litros según el diámetro (CONAGUA, 2019).

Diám (cm)	No de descargas simultáneas	Aportación por descarga (l/s)	Gasto mín (l/s)
10 - 25	1	1.0	1
30 - 40	2	1.0	2
45 - 46	3	1.0	3
50 - 55	4	1.0	4
60 - 63	5	1.0	5
65	6	1.0	6
70	7	1.0	7
75 - 76	8	1.0	8
80	9	1.0	9
85	10	1.0	10
90 - 91	12	1.0	12
100	15	1.0	15
107 - 110	17	1.0	17
120 - 122	23	1.0	23
130	25	1.0	25
140	28	1.0	28
150 - 152	30	1.0	30
160	32	1.0	32
170	35	1.0	35
180 - 183	38	1.0	38
190	41	1.0	41
200	44	1.0	44
213	47	1.0	47
244	57	1.0	57
305	74	1.0	74

En tramos con una población acumulada menor de 1000 habitantes, el coeficiente M es constante e igual a 3.8. Para una población acumulada mayor que 63,454 habitantes, el coeficiente M se considera constante e igual a 2.17, es decir, se acepta que su valor a partir de esta cantidad, no sigue la ley de variación establecida por Harmon. El coeficiente M en zonas industriales, comerciales o públicas presenta otra ley de variación. Siempre que sea posible, debe hacerse un aforo del caudal de agua residual en las tuberías existentes para determinar sus variaciones reales. De no disponer de esta información, el coeficiente M podrá ser de 1.5 en zonas comerciales e industriales.

Gasto máximo extraordinario

El gasto máximo extraordinario es el caudal de aguas residuales que considera aportaciones de agua que no forman parte de las descargas normales, como bajadas de aguas pluviales de azoteas, patios, o las provocadas por un crecimiento demográfico explosivo no considerado (CONAGUA, 2019).

En función de éste gasto se determina el diámetro adecuado de las tuberías, ya que se tiene un margen de seguridad para prever los caudales adicionales en las aportaciones que pueda recibir la red. Para el cálculo del gasto máximo extraordinario se establece la siguiente fórmula:

$$Q_{\max ext} = C_s \times Q_{\max inst}$$

Dónde:

C_s = Coeficiente de seguridad.

$Q_{\max inst}$ = Gasto máximo instantáneo.

En el caso de aportaciones normales el coeficiente de seguridad será de 1.0; para condiciones diferentes, este coeficiente puede definirse mayor a 1 y como máximo 1.5 bajo aprobación de la autoridad local del agua y dependiendo de las condiciones particulares de la localidad.

Variables hidráulicas

Velocidades

De acuerdo con CONAGUA. (2019), las velocidades deben ser clasificadas como velocidades máximas y mínimas, como se representan en la Tabla 2, y estas varían con respecto a los materiales que se utilicen.

Tabla 2. Velocidades máximas y mínimas permisibles.

Material	Velocidad (m/s)	
	Máxima	Mínima
Acero (sin revestimiento, revestido y galvanizado)	3	0.3
Concreto reforzado	5	
Concreto simple		
Fibrocemento		
Polietileno alta densidad (PEAD)		
Poli (cloruro de vinilo (PVC)	3	
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)		

a) *Velocidad mínima:*

Se considera aquella con la cual no se permite depósito de sólidos en las atarjeas que provoquen azolves y taponamientos. La velocidad mínima permisible es de 0.3 m/s, para el gasto mínimo de 1 L/s, considerando el gasto mínimo y para comportamiento a tubo lleno mediante el gasto máximo extraordinario de 0.6 m/s calculado.

Adicionalmente, debe asegurarse que el tirante calculado bajo éstas condiciones, tenga un valor mínimo de 1.0 cm, en casos de pendientes fuertes, y de 1.5 cm para casos normales.

b) *Velocidad máxima:*

Es el límite superior de diseño, con el cual se trata de evitar la erosión de las paredes de las tuberías y estructuras de drenaje sanitario. La velocidad máxima permisible para los diferentes tipos de material se muestra en la Tabla 2. Para su revisión se utiliza el gasto máximo extraordinario calculado.

Las pendientes deberán seguir hasta donde sea posible el perfil del terreno, con objeto de tener excavaciones mínimas, pero tomando en cuenta las restricciones de velocidad y de tirantes mínimos del apartado anterior y la ubicación y topografía de los lotes a los que se darán servicio.

Cuando la pendiente del terreno es muy fuerte, resulta conveniente considerar en el diseño tuberías que permitan velocidades altas, en particular para tramos cortos que no sean mayores de 8 m/s.

En la Figura 2 se describen las pendientes mínimas recomendadas para los diferentes tipos de tuberías. Estas pendientes podrán modificarse en casos especiales previo análisis particular y justificación en cada caso, si fuese necesario o según las condiciones.

Pendientes

El objeto de limitar los valores de pendientes es evitar, hasta donde sea posible, el azolve y la erosión de las tuberías. Para el caso de pendientes pronunciadas, donde no se pueda seguir la pendiente del terreno, será necesario hacer escalonamiento en el perfil de la línea de drenaje, utilizando para este caso tuberías que no sean afectadas por el sulfuro de hidrógeno que se produce en las caídas libres.

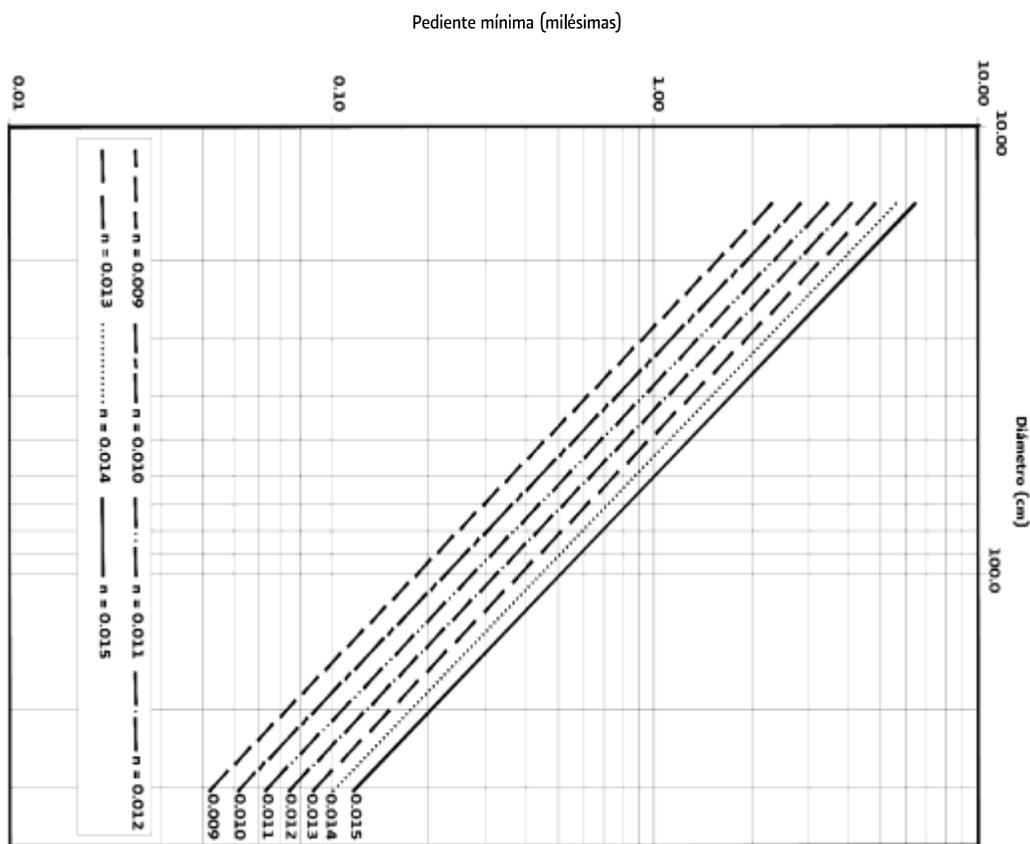


Fig. 2 Pendiente mínima para v= 0.6. m/s a tubo lleno.

Diámetros

El diámetro seleccionado, estará en función de los diferentes tipos de tuberías.

a) Diámetro mínimo

La experiencia en la conservación y operación de los sistemas de alcantarillado a través de los años, ha demostrado que para evitar obstrucciones, el diámetro mínimo en las tuberías debe ser de 20 cm (8 in) para casos especiales, previamente justificados podrá emplearse un diámetro mínimo de 15 cm (6”).

b) Diámetro seleccionado

Profundidades de zanjas

Las tuberías se instalan superficialmente, o enterradas, o bien pueden ser instaladas combinando ambas características, lo cual dependerá de la topografía, tipo de tubería y también de las características del terreno.

Cabe señalar que normalmente las tuberías para drenaje pluvial se instalan de forma enterrada como se muestra en la Figura 3.

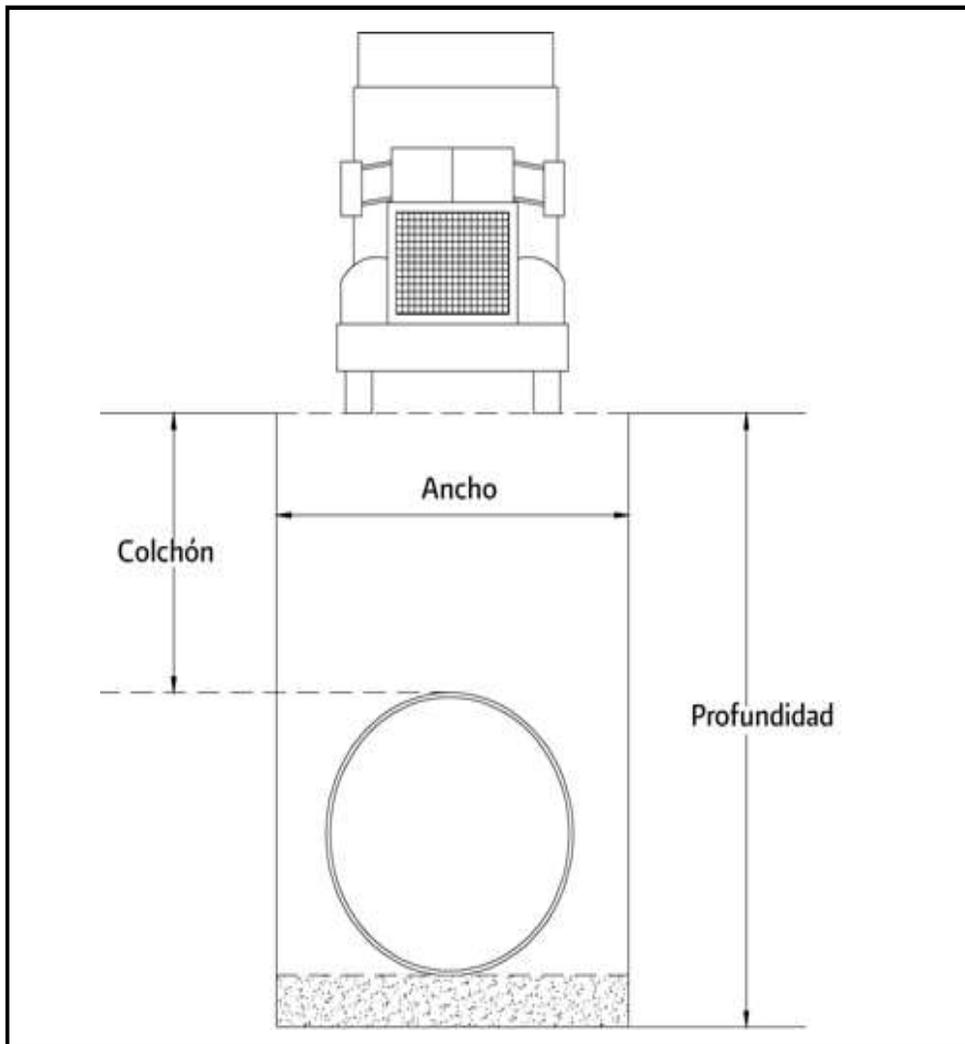


Fig. 3 Características de una zanja

Para obtener la máxima protección de las tuberías se recomienda colocarlas en zanjas, de acuerdo a lo señalado en las especificaciones de construcción del fabricante. La profundidad de las excavaciones de la zanja para las tuberías queda definida por los factores siguientes:

Profundidad mínima o colchón mínimo.

Depende de la resistencia de la tubería a las cargas exteriores. La figura 3 indica, a través de un croquis, las características básicas de una zanja.

1. ***Topografía y trazo.*** Influyen en la profundidad máxima que se le da a la tubería.
2. ***Velocidades máximas y mínimas.*** Están relacionadas con las pendientes de proyecto.
3. ***Existencia de conductos de otros servicios.***
4. ***Economía en las excavaciones.***

Los factores principales que intervienen para el colchón son el tipo de tubería a utilizar, el tipo de terreno en la zona de estudio y las cargas vivas que puedan presentarse.

Profundidad mínima

Según CONAGUA, (2019), la profundidad mínima de la zanja debe ser adecuada para:

- Evitar rupturas del conducto ocasionadas por cargas vivas, mediante un colchón mínimo que es función de la resistencia del tubo. Los principales factores que intervienen para definir el colchón mínimo son: material de tubería, tipo de terreno y las cargas vivas probables.
- Permitir la correcta conexión del 100% de las descargas domiciliarias al sistema

de alcantarillado, con la consideración de que el albañal exterior.

Profundidad máxima.

La profundidad máxima está en función de la topografía del lugar, evitando excavar demasiado; será aquella que no ofrezca dificultades constructivas mayores durante la excavación, de acuerdo con la estabilidad del terreno en que quedará alojada la tubería, variando en función de las características particulares de la resistencia a la compresión o rigidez de las tuberías, haciendo el análisis respectivo en el que se tomará en cuenta el material de relleno, grado de compactación, las posibles cargas vivas y el factor de carga proporcionado por la plantilla a usar. La experiencia ha demostrado que entre 3.00 y 4.00 metros de profundidad, el conducto principal puede recibir directamente los albañales de las descargas y que, a profundidades mayores, resulta más económico el empleo de atarjeas laterales. Si la topografía tiene pendientes fuertes, se debe hacer un estudio económico comparativo entre el costo de excavación contra el número de pozos de visita.

Plantilla o cama. El espesor de la plantilla o cama será de 10 cm siendo el espesor mínimo sobre el eje vertical de la tubería de 5 cm.

Obras accesorias

Pozos de visita

a) ***Clasificación de los pozos de visita fabricados en obra.***

En tipo de pozo de visita debe construirse, dependiendo del diámetro de la tubería de salida y del tipo y diámetro de las tuberías que entroncan a 45 ó 90 grados en el pozo. El número máximo de tuberías que pueden descargar en un pozo de visita son tres y debe existir una tubería de salida.

b) ***Separación entre pozos de visita.***

La separación máxima entre los pozos de visita debe ser la adecuada para facilitar las operaciones de inspección y limpieza. Se recomiendan las siguientes distancias de acuerdo con el diámetro. La tabla 3 indica las separaciones entre pozos de visita.

Tabla 3. Separación entre pozos de vista

Diámetro (m)	Separación (m)
0.20-0.76	125-135
0.90-1.22	175-190
Mayores de 1.22	250-275

c) *Cambios de dirección.* Si el diámetro de la tubería es de 61 cm o menor, los cambios de dirección son hasta de 90 grados, y deben hacerse con un solo pozo común. Si el diámetro es mayor de 61 cm y menor o igual que 122 cm, los cambios de dirección son hasta 45 grados, y deben hacerse con un pozo especial. Si el diámetro es mayor de 122 cm y menor o igual a 305 cm, los cambios de dirección son hasta 45 grados, y deben hacerse en un pozo caja de deflexión. Si se requieren dar deflexiones más grandes que las permitidas, deberán emplearse el número de pozos que sean necesarios, respetando el rango de deflexión permisible para el tipo de pozo.

Estructuras de Caída

a) *Caídas libres*

En pozos de visita común, especial 1 o especial 2, la caída libre es hasta de 50 cm para tuberías hasta de 25 cm de diámetro. En este caso, la caída libre se mide de la plantilla del tubo de llegada a la clave del tubo de salida. En pozos común o especial 1, con tuberías de entrada y salida de 30 a 76 cm de diámetro, la caída libre es de hasta un diámetro (el mayor). En este caso la caída libre se mide de la plantilla del tubo de entrada hasta la plantilla del tubo de salida.

b) *Caídas adosadas (CA)*

Esta estructura se construye sobre tuberías de entrada hasta de 25 cm de diámetro, con caídas hasta 200 cm, y se adosa a pozo común, especial 1 o especial 2. En este caso, la caída se mide de la clave del tubo de entrada a la clave del tubo de salida.

c) *Pozos con caída (CP)*

Se construyen sobre tuberías de entrada y salida de 30 a 76 cm de diámetro; no admiten entronques y la caída es hasta de 300 cm. En este caso, la caída se mide de la plantilla del tubo de entrada hasta la plantilla del tubo de salida.

d) *Caída escalonada (CE)*

Se construyen sobre tuberías de entrada y salida mayores de 76 cm de diámetro; no admiten entronques y la caída es hasta de 250 cm. En este caso, la caída se mide de la plantilla del tubo de entrada a la plantilla del tubo de salida.

En la Tabla 4 se indica que tipo de caída debe construirse dependiendo del diámetro de la tubería y cuál es la altura máxima que debe tener dicha caída.

Tabla 4. Tipos de estructura de caída.

TIPO DE CAÍDA	DIÁMETROS (cm)	ALTURA DE LA CAÍDA (cm)
Libre en pozo común, especial 1 o especial 2	Diámetro de entrada 20 a 25	50
Caída adosada a pozos común, especial 1 o especial 2	Diámetro de entrada de 20 a 25	200
Libre en pozo común o especial 1	Diámetro de entrada y salida 30 a 76	Un diámetro (el mayor)
Pozo con caída	Diámetro de entrada de 30 a 76	300
Estructura de caída escalonada	Diámetro de entrada y salida mayor de 76	250

* la altura de la caída para cada caso se calcula siguiendo las indicaciones de los párrafos anteriores.

Conexiones

Debido a los cambios de diámetro que existen en una red de tuberías, resulta conveniente definir la forma correcta de conectar las tuberías en los pozos de visita.

Desde el punto de vista hidráulico se recomienda que las conexiones, se igualen en los niveles de claves. Con este tipo de conexión, se evita el efecto del remanso aguas arriba. Atendiendo a las características del proyecto, se pueden efectuar las conexiones de

las tuberías, haciendo coincidir las claves, los ejes o las plantillas de los tramos de diámetro diferente. Para facilitar los trabajos de inspección y mantenimiento se han establecido separaciones máximas entre los pozos de visita. Desde el punto de vista hidráulico es conveniente que en las conexiones se igualen los niveles de las claves de los conductos por unir. En la Figura 4 se ilustran las conexiones clave con clave, plantilla con plantilla y eje con eje.

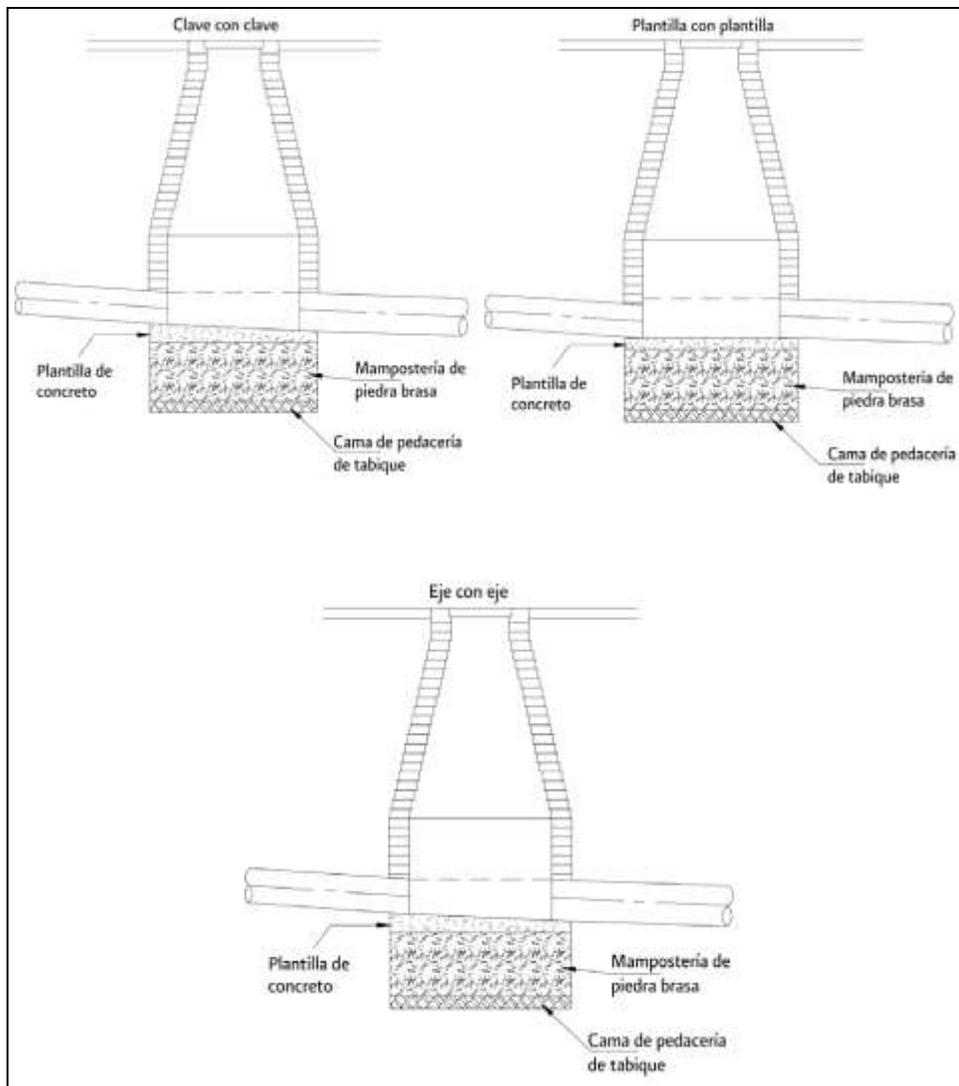


Fig. 4. Conexiones en los pozos de visita (CONAGUA, 2000)

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la práctica nos encontramos con varias metodologías de cálculo para determinar los diámetros y parámetros hidráulicos de un sistema de drenaje sanitario. En ocasiones más que diferentes metodologías se tratan de formatos de tablas de diseño diferentes, donde cada proyectista especifica los parámetros que a su criterio son necesarios. Tener esta variedad de criterios ocasiona que tanto el proyectista como la institución encargada de la autorización del proyecto no siempre estén de acuerdo en la metodología seguida, ocasionando esto modificaciones o correcciones a los proyectos que de tener criterios establecidos evitarían correcciones y por lo tanto tiempo en la elaboración del proyecto de alcantarillado sanitario. Para poder llegar a un criterio de unificación se realizó una comparativa de las diferentes tablas utilizadas, se revisaron los proyectos de 3 diferentes zonas del País:

- Veracruz, donde el proyecto lo autorizó el Sistema de Agua y Saneamiento – SAS–

- Morelia, proyecto realizado para tesis de titulación
- Colima, también con un proyecto realizado para tesis de titulación

Finalmente se dará la propuesta de una tabla general.

PROYECTO COLECTOR 7 COLONIAS

Este proyecto fue revisado por el Sistema de Agua y Saneamiento del municipio de Veracruz (SAS). Se trata de un colector que tiene como finalidad la conducción e intersección de las aguas negras del sistema 7 colonias hasta la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Cabeza Olmeca. Los datos que utilizan para el cálculo de los parámetros hidráulicos se muestra en la Tabla 5. Esta tabla sólo contiene los datos para el cálculo del funcionamiento hidráulico y es necesario contar con las relaciones de gasto a tubo parcialmente lleno entre gasto a tubo lleno tanto para el gasto mínimo como para el gasto máximo extraordinario para poder obtener las relaciones de tirante al diámetro.

Tabla 5. Formato usado por el Sistema de Alcantarillado y Saneamiento (SAS).

Tramo	Longitud			Población servida		Gastos de A.N l/s					Funcionamiento Hidráulico							
	Propia	Tributaria	Acumulada	Hab	Hab	Mín	Medio	Harmon	Máximo	Máximo	Pend.	Diam	Tubo lleno		V efectiva m/s		Tirantes cm	
	m	m	m	Tributaria	Acumulada				Instantáneo	Extraordinario			Q l/s	V m/s	Min	Max	Min	Max
											miles	cm						

PROYECTO EJECUTIVO DE ALCANTARILLADO SANITARIO DEL FRACCIONAMIENTO VALLE DEL CORRAL EN SANTIAGO, MANZANILLO, COLIMA.

Este proyecto fue realizado por Alpe Construcciones S.A de C.V., no se menciona si algún organismo lo revisó y fue presentado

como proyecto de titulación en la licenciatura en ingeniería civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. La tabla que usa para el cálculo hidráulico se muestra dividida en dos partes por cuestiones de formato (Tabla 6a y 6b).

Tabla 6a. Formato usado en el proyecto del Fraccionamiento Valle del Corral en Manzanillo Colima.

Tramo	Longitudes metros			Población servida Acum	Coef de Harmon	Gastos de Aguas Negras				S Pend. miles	□ Diam cm
	Propia tramo	Tributaria m	Acumulada tramo			Mínimo	Medio	Máximo Instantáneo	Máximo Extraordinario		

Tabla 6b. Formato usado en el proyecto del Fraccionamiento Valle del Corral en Manzanillo Colima.

Funcionamiento Hidráulico										Elevaciones	
Tubo lleno		Q _{min} /Q _{lleno}	V _{min} /V _{lleno}	Velocidades efectivas				d _{min} /D	d _{min}	Terreno	Plantilla
Q l/s	V m/s			V _{min}	Q _{max.ext} /Q _{lleno}	V _{max.ext} /V _{lleno}	V _{max.ext}				

La primera diferencia que encontramos con la tabla que usa el SAS es que no calcula la población servida tributaria, este dato puede omitirse ya que la población que se usa para determinar el gasto es la población servida acumulada. No hay diferencia entre los gastos calculados y la diferencia mayor radica en que incluye las relaciones Q_{min}/Q_{lleno} , V_{min}/V_{lleno} , $Q_{max.ext.}/Q_{lleno}$, $V_{max.ext.}/V_{lleno}$ y d_{min}/D , no incluye el tirante máximo, dato que la tabla que usa el SAS si lo incluye y además, ésta anexa

columnas para elevaciones de terreno y elevaciones de platilla.

Esta tabla está considerada para utilizar varias relaciones de gasto a tubo parcialmente lleno contra gasto totalmente lleno y utilizar el monograma de las normas de CONAGUA, (Figura 5) entrando con las relaciones de gasto y encontrado en este valor las relaciones de velocidad y tirante.

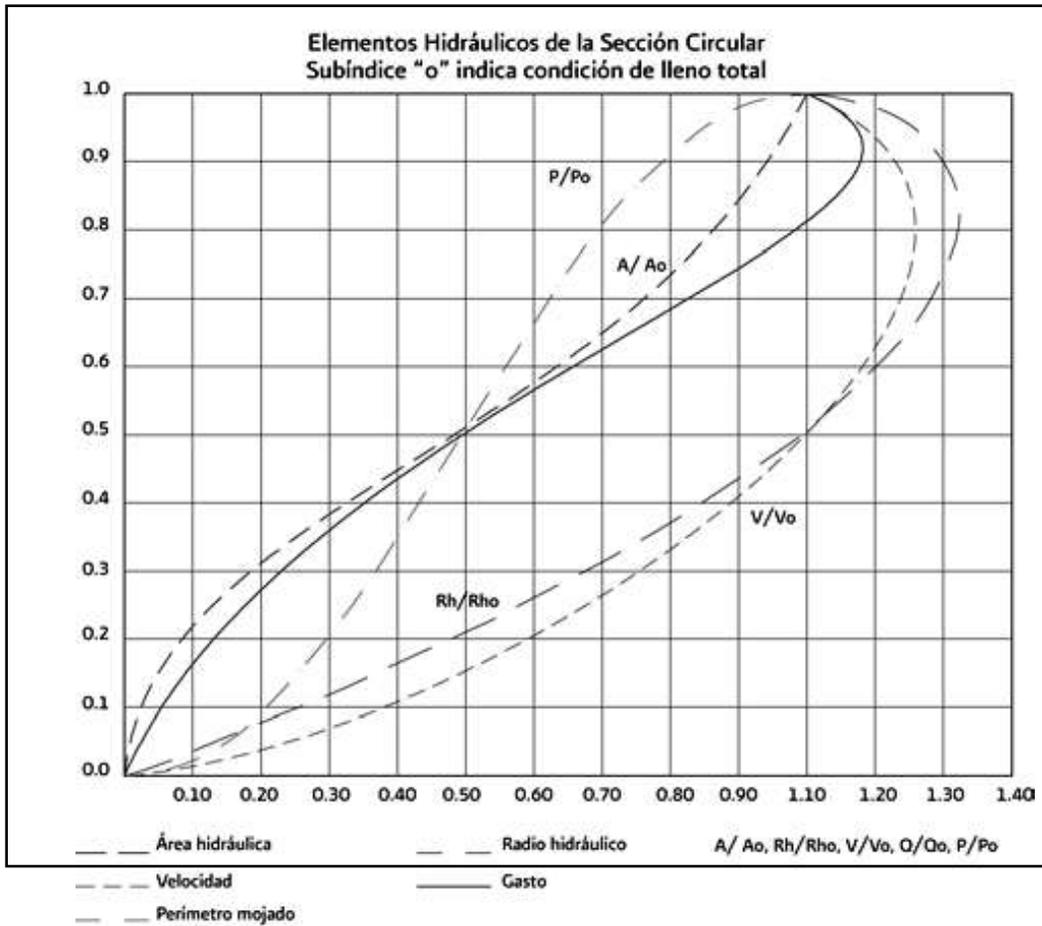


Figura 5. Elementos hidráulicos de la sección circular.

PROYECTO DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA EL CONJUNTO HABITACIONAL HACIENDA DEL MONTE, UBICADO EN LA CIUDAD DE MORELIA MICHOACÁN

En este proyecto no hace mención si algún organismo operador lo revisó, solo sabemos que fue diseñado bajo las normas de CONAGUA. La tabla 7a y 7b, usada para el diseño hidráulico, se presentan a continuación:

Tabla 7a. Formato usado en el proyecto del Conjunto Habitacional Hacienda del Monte en Morelia Michoacán.

Tramo	Pozo	Longitudes (m)			PSA	Gastos de Aguas Negras				Q _{total} l/s	Pend. miles	□ cm
		Propia	Tributaria	Acumulada		Mínimo Q _{min}	Medio Q _m	Máx. prev Q _{max.prev}	Máx Ext Q _{max.ext}			

Tabla 7b. Formato usado en el proyecto del Conjunto Habitacional Hacienda del Monte en Morelia Michoacán.

Funcionamiento Hidráulico		Velocidad (m/s)				Tirante (cm)			
Tubo lleno		Q_{min}/Q_{lleno}	Mínima	$Q_{max.ext}/Q_{lleno}$	Máxima	Q_{min}/Q_{lleno}	Mínimo	$Q_{max.ext}/Q_{lleno}$	Máximo
Q l/s	V m/s								

Esta tabla tiene parámetro en común con la tabla del proyecto de Colima, agrega una columna más para un gasto total, que no sería más que el mismo gasto máximo extraordinario, por lo cual se puede omitir. En tal tabla se repite la relación de Q_{min}/Q_{lleno} para obtener la velocidad a tubo parcialmente lleno y lo mismo para el tirante a tubo parcialmente lleno tanto para el mínimo como para el máximo. Tal y como está la tabla no es posible calcular ni la velocidad mínima ni máxima, de igual manera los tirante mínimos y máximos ya que es necesaria saber las relaciones V_{min}/V_{lleno} ,

$V_{max.ext}/V_{lleno}$, d_{min}/D y $d_{max.ext}/D$ obtenidas a partir de Q_{min}/Q_{lleno} y $Q_{max.ext}/Q_{lleno}$ utilizar las fórmulas que aparecen en el manual de alcantarillado sanitario de la CONAGUA en el diseño hidráulico.

Las siguientes tablas (Tabla 8a y 8b) muestran los datos que tienen en común las tres tablas de los proyectos analizados previamente y con base a ésta, se realiza una propuesta de tabla que contiene los valores necesarios y los comentarios pertinentes de acuerdo con lo observado en la realización de los proyectos analizados.

Tabla 8a. Comparativa de tablas.

Proyecto	Tramo	Longitudes metros			Población servida		Coef de Harmon	Gastos de Aguas Negras			
		Propia m	Tributaria m	Acumulada m	Tributaria Hab	Acumulada Hab		Mínimo	Medio	Máximo Instantáneo	Máximo Extraordinario
Morelia	X	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X
Colima	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X
SAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 8b. Comparativa de tablas.

Q_{total} l/s	S Pend. miles	□ Diam cm	Funcionamiento Hidráulico										Elevaciones		
			Tubo lleno		Q_{min}/Q_{lleno}	V_{min}/V_{lleno}	Velocidades efectivas				d_{min}/D	d_{min}	$d_{max.ext}$	Terreno	Plantilla
			Q L/s	V m/s			V_{min}	$Q_{max.ext}/Q_{lleno}$	$V_{max.ext}/V_{lleno}$	$V_{max.ex}$					
X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	-	X	X	-	-
-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X
-	X	X	X	X	-	-	X	-	-	X	-	X	X	-	-

En ninguno de los proyectos especifican si el diámetro a utilizar es diámetro interior, exterior o si solo mencionaron el nominal, pero para facilidad de cálculo se recomienda especificar mínimo el diámetro interior y exterior, ya que el diámetro interior es el utilizado en los cálculos y el exterior para obtener la

profundidad mínima de plantilla dejando un colchón mínimo de 90 cm. Se propone la siguiente tabla (tabla 9) para unificar los cálculos en el diseño del sistema de alcantarillado.

Tabla 9. Formato de tabla propuesta.

Tramo	Longitud			Población Servida		Gastos (lps)					Pendientes (miles)	Diámetro		
	Propia (m)	Tributaria (m)	Acumulada (m)	Propia (hab)	Acumulada (hab)	Q _{min}	Q _{med}	Harmon	Q _{max.inst}	Q _{max.ext}		Nominal (cm)	Interior (cm)	Exterior (cm)

Funcionamiento hidráulico								COTA DE TERRENO		COTA DE PLATILLA		ALTURA DE POZO	
TUBO LLENO				Vel. Efect (m/s)		Tirantes h (cm)		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
r _h (m)	Área (m ²)	Q (lps)	V (m/s)	Min	Max	Min	Max	M	M	M	M	M	M

Aunado a la propuesta de la incorporación de los datos que se considera debe llevar la tabla para cálculo, se propone que la relación de tirantes se obtenga con las siguientes expresiones, correspondientes a la gráfica de la

Figura 6 que presenta CONAGUA, (2019). Esto se realizó para evitar errores de apreciación en la lectura de la gráfica y lograr automatizar el cálculo mediante una hoja de Excel.

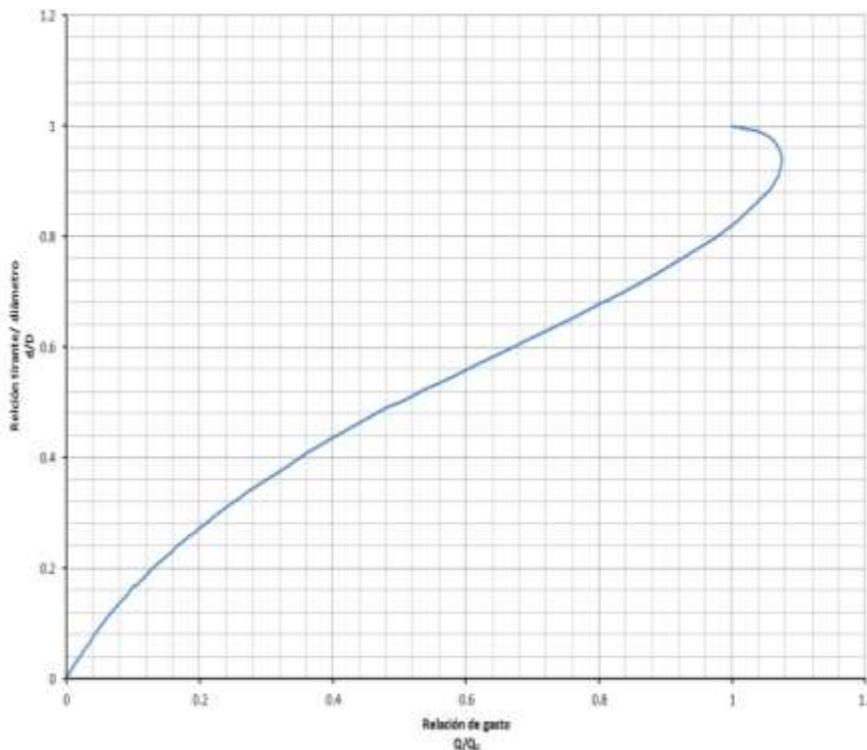


Figura 6. Relación Gasto/tirante

Para la elaboración de la Figura 5, donde se aprecia la relación entre el gasto y el tirante, se tomaron las siguientes relaciones de gastos y diámetros:

Para $Q/Q_0 < 0.009$

$$\frac{d}{D} = 1E + 10 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^5 - 3E + 08 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^4 + 3E + 06 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^3 - 12499 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^2 + 33.289 \left(\frac{Q}{Q_0} \right) + 0.0002$$

Para $0.009 \leq Q/Q_0 < 0.797$

$$\frac{d}{D} = 7.6777 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^5 - 17.47 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^4 + 15.259 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^3 - 6.5392 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^2 + 2.0394 \left(\frac{Q}{Q_0} \right) + 0.0611$$

Para $0.797 \leq Q/Q_0 < 1.075$

$$\frac{d}{D} = 19.29 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^3 - 53.01 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^2 + 49.165 \left(\frac{Q}{Q_0} \right) - 14.627$$

Para $1 \leq Q/Q_0 < 1.075$ en la parte donde la curva se regresa

$$\frac{d}{D} = -144856 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^5 - 747090 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^4 - 2E06 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^3 + 2E06 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^2 - 819704 \left(\frac{Q}{Q_0} \right) + 169084$$

CONCLUSIONES

En el presente estudio se mostraron las variables básicas de diseño de las redes de alcantarillado, resaltando esquemáticamente nomogramas, tablas y figuras de diseño, las cuales funcionan como una guía importante para estudiantes y complementos para los diseñadores de las redes de alcantarillado.

Existen varios criterios de diseño de los sistemas de alcantarillado, hasta el día de hoy, la mejor propuesta está en los resultados que se han obtenido basados en la experiencia del proyectista, para ello, es importante considerar unificar los criterios para obtener una propuesta óptima.

Para el diseño de los sistemas de alcantarillado se tomó en consideración la propuesta de la Comisión Nacional del Agua, propuesta que se basa en la

determinación de los datos básicos, gastos de diseño, variables hidráulicas, profundidades de zanja, obras accesorias, conexiones y diseño hidráulico, más sin embargo faltaría complementar con criterios basados en las fallas de las redes de alcantarillado, así como considerar la experiencia de los diseñadores.

El diseño de la tabla propuesta a partir de las comparaciones permite unificar criterios de cálculo en el diseño de un sistema de alcantarillado, respetando las normas emitidas por la CNA. A través de su aplicación, no sólo contribuirá con la propuesta de un diseño más uniforme, sino a su vez permitirá que los procesos de revisión para los organismos operadores de los sistemas municipales se ejecuten de manera más rápida y expedita.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales. Fair-Geyer-Okun. Editorial Limusa Wiley.

CONAGUA. (Comisión Nacional del Agua), (2019) Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Alcantarillado Sanitario, México, México: Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales.

Espadas Solís, A., & García Sosa, J., & Castillo Borges, E. (2007). "Redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos: una alternativa para la ciudad de Mérida, Yucatán, México." *Ingeniería*, 11 (1), 61-69.

Ospina, Zuñiga, O. E., Ramírez, Arcila, H. (2010), "Metodología para la valoración

sanitaria de sistemas de acueducto y alcantarillados", *Dyna*, 166, pp. 178-185.

Pérez, Rafael, M. (2013), "Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras", Ecoe Ediciones.

Proyecto Colector 7 Colonias

Proyecto De Alcantarillado Sanitario Para El Conjunto Habitacional Hacienda Del Monte, Ubicado En La Ciudad De Morelia Michoacán. (2019). Tesis. Aurelio López Méndez.

Proyecto Ejecutivo De Alcantarillado Sanitario Del Fraccionamiento Valle Del Corral En Santiago, Manzanillo, Colima. (2010). Tesis. Jesús Hugo Manuel Vargas Gutiérrez.

Proyectos de Sistemas de Alcantarillado.
Araceli Sánchez Segura. Editorial
Prentice Hall. Isbn: 9789701859636

Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas
residuales. Aurelio Hernández Muñoz,
ISBN: 978-84-380-0357-2, editorial
Colegio de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

Teoría y cálculo de las redes de saneamiento
urbanas. José Luis Pulido Carrillo. ISBN:
8493043710

Torres, Lozada, P. (2012), “Perspectivas del
tratamiento anaerobio de aguas residuales
domésticas en países en desarrollo”,
Revista EIA, Vol. 9, N° 18, pp 115-119.