

# Redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos: una alternativa para la ciudad de Mérida, Yucatán, México

Espadas Solís A.<sup>1</sup>, García Sosa, J.<sup>1</sup> y Castillo Borges, E.<sup>2</sup>

*Recibido: 28 de agosto de 2006 – Aceptado: 19 de abril de 2007*

## RESUMEN

Las obras convencionales de recolección y tratamiento para las aguas residuales de nuestras poblaciones generan altos costos de construcción, operación y mantenimiento, debido a la poca pendiente y excesiva dureza del suelo yucateco. Las redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos son una alternativa no convencional que permite reducir los costos de adquisición de tuberías y materiales, de excavación de zanjas y pozos de visita, así como los requerimientos de bombeo en el desalojo de las aguas residuales domésticas de los centros urbanos. Las redes de alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos están formadas por tuberías generalmente de plástico con diámetros pequeños (mínimo de 5 cm.), las cuales reciben el agua decantada proveniente de los tanques sépticos o interceptores domiciliarios conectados a la red. Las tuberías pueden trabajar llenas o parcialmente llenas y las aguas residuales sedimentadas fluyen impulsadas por la inclinación de la tubería o por el tirante de agua contenida en el tanque séptico. Para resolver la carencia de servicio de alcantarillado sanitario en la ciudad de Mérida, se propone instalar en cada una de las zonas urbanas de tamaño moderado, redes de alcantarillas por gravedad de pequeño diámetro que colecten y conduzcan las aguas residuales provenientes de los tanques sépticos existentes, o de los tanques interceptores nuevos, a la planta de tratamiento de grado secundario. En el análisis, a nivel de anteproyecto, los beneficios identificados de esta propuesta resultaron mayores que los costos identificados en el mismo.

**Palabras clave:** alcantarillado, drenaje, redes de alcantarillado de pequeño diámetro.

## Sewer systems without dragging of solids: an alternative for Merida city, Yucatan, Mexico

### ABSTRACT

Due to the little slope and excessive hardness of soil in Yucatan, conventional works as recollecting and treatment for residual water, generate high costs of construction, operation and maintenance. The systems of sewers without dragging of solids are not a conventional alternative to reduce the costs of: pipes and materials acquisition, excavation of trenches and manholes, as well as the requests of pumping pressure during the discharge of the urban residual water. The networks of sanitary sewers without dragging of solids are formed by pipes generally made of plastic with small diameters (minimum of 5 cm), which receive the overflow water originated from septic tanks or home interceptors connected to the network. The pipes can work at their full capacity or at less than their full capacity and the sedimented residual water flows prompted by the slope of the pipes or by the water column pressure from the septic tank. To solve the lack of sanitary sewer system services in the city of Merida, it is proposed to install in each one of the urban zones of moderate size, networks of small diameter drains working by gravity to collect and conduct the residual water, originated from the existing septic tanks, or the new interceptor tanks, to the secondary processing plant. The preliminary analysis of this proposal showed that the benefits obtained from it are worth the corresponding change of costs.

**Keywords:** sewer system, drainage, networks of sewer system of small diameter.

<sup>1</sup> Profesor de Carrera, Cuerpo Académico de Hidráulica e Hidrología. FI-UADY. E-mail: [esolis@uady.mx](mailto:esolis@uady.mx)

<sup>2</sup> Profesor de Carrera, Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental. FI-UADY

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas para la recolección y tratamiento de aguas residuales diseñados con criterios convencionales, demandan elevados costos de construcción y operación a sus usuarios, particularmente en lugares con topografías planas y suelos duros. Por tal motivo, muchas comunidades carentes de este servicio están enfrentando severos problemas en la obtención del financiamiento para proporcionar a sus ciudadanos las instalaciones necesarias para el manejo de sus aguas residuales domésticas. Los países en desarrollo se encuentran entre los más afectados por el costo excesivo del alcantarillado sanitario, situación que se manifiesta en la reducción de la cobertura de este importante beneficio.

En el año 2004, para México (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2006), el 78.6% de los 101.4 millones de personas que habitaban en viviendas particulares contaban con alcantarillado, por lo que cerca de 21.7 millones de habitantes carecen de alcantarillado sanitario, como es el caso de la ciudad de Mérida, capital del estado de Yucatán.

Los altos costos de los alcantarillados sanitarios por gravedad, diseñados con criterios convencionales, se deben principalmente a:

- La necesidad de colocar las alcantarillas con pendientes uniformemente hacia abajo y la magnitud suficiente para crear velocidades autolimpiantes que transporten el agua y los sólidos a través de las alcantarillas.
- El criterio de determinar los diámetros de las alcantarillas con el fin de conducir una gran variedad de gastos de aguas residuales, lo cual deriva en la instalación de tuberías de diámetros considerablemente grandes que rara vez trabajan a su máxima capacidad.
- El requerimiento de ubicar pozos de visita regularmente espaciados para la inspección, ventilación y limpieza de las alcantarillas, lo cual implica la construcción de una cantidad significativa de estas obras complementarias.

Con el fin de reducir los costos que los usuarios deben desembolsar por el servicio de alcantarillado, se han desarrollado diferentes tecnologías innovadoras y de bajo costo. Entre las más recientes se encuentran las Redes de Alcantarillado Sin Arrastre de Sólidos (RASAS), conocidas también como Redes de Alcantarillado Decantadas (RAD), las cuales están formadas por tuberías de pequeño diámetro que trabajan por gravedad. Desde 1961, éstas fueron utilizadas extensamente en Australia para

resolver los problemas ocasionados por el mal funcionamiento de los tanques sépticos, en áreas donde las viviendas están muy esparcidas y no se justifica la construcción de un alcantarillado convencional; su uso comprobó que este tipo de alcantarillado es mucho menos costoso en su construcción y mantenimiento, que las alcantarillas convencionales. En los Estados Unidos de Norteamérica se tienen las experiencias de varios poblados como Webstone, Winsconsin (1974) y Mt. Andrew, Alabama (1975) (Otis, R. J., 1986). En Brasil el método fue desarrollado por el profesor S.E. Sinamon en 1979 y se encuentran instalados y funcionando algunas redes, como la del pequeño poblado de Brotas, en el estado de Ceará (Acevedo-Netto, 1992).

## DESCRIPCIÓN DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO SIN ARRASTRE DE SÓLIDOS (RASAS)

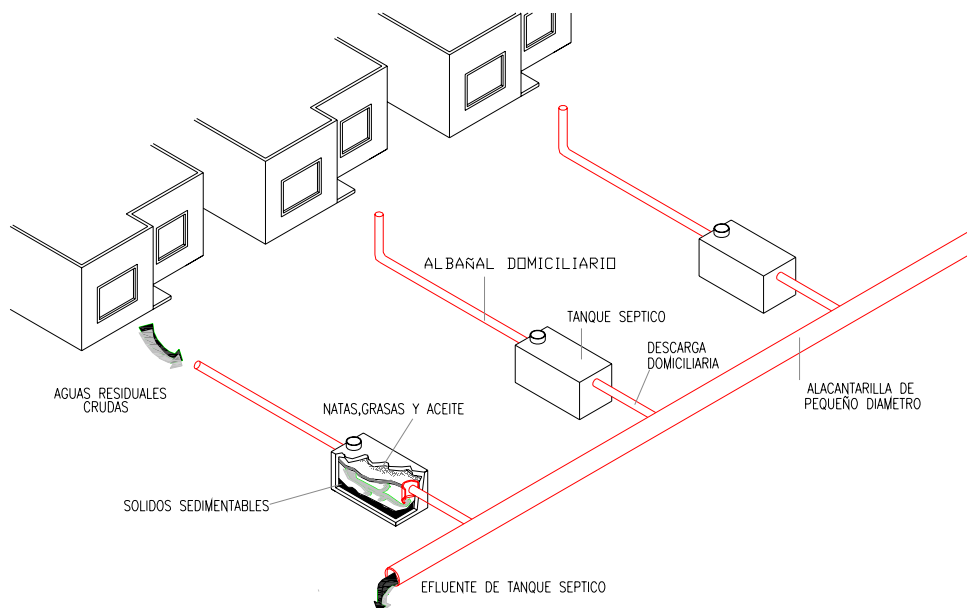
Las RASAS son pequeñas tuberías de plástico, colocadas frecuentemente con pendiente uniforme hacia abajo, las cuales colectan los efluentes de los tanques interceptores de las viviendas conectados a la red y las conducen al sitio de tratamiento y disposición final previamente seleccionado. Los tanques interceptores son parte integral de la red y tienen la importante función de retener la arena, natas y otros sólidos contenidos en las aguas de desecho provenientes de la vivienda, eliminando de este modo la necesidad de mantener velocidades autolimpiantes (capaces de transportar sólidos) en los conductos. La experiencia norteamericana en la operación del sistema de alcantarillado de Mt. Andrew, Alabama, indica que pueden permitirse pendientes planas, o incluso hacia arriba, en los conductos sin necesidad de incrementar el mantenimiento (Simmons *et al.*, 1982).

El tipo de escurrimiento que se presenta en estas redes involucra reflujos, sobrecargas y muchas transiciones entre flujo a tubo lleno y flujo a tubo parcialmente lleno. Sin embargo, después del llenado inicial de los tramos bajos, toda el agua localizada en la entrada alcanzará la salida. Es obvio que algunos tramos permanecerán llenos durante toda la operación de la red. En todo caso, la descarga de la red debe estar más abajo que la entrada de agua más baja y que cualquier vivienda servida por la red.

El modelo de red de alcantarillado de pequeño diámetro puede considerarse una combinación técnica del método de eliminación individual mediante tanques sépticos y una red de recolección del efluente sedimentado de esos tanques, la cual no requiere alcantarillas con una pendiente definida. También se

le puede considerar como una innovación de los sistemas de alcantarillado de baja presión con bombas para efluentes de tanques sépticos.

Las RASAS están compuestas por los elementos siguientes: albañal domiciliario, tanque interceptor y red de alcantarillas con sus obras complementarias (Fig. 1), mismos que se describen a continuación.



**Figura 1.** Componentes de redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos.

Fuente: Elaboración propia.

### Albañal domiciliario

Estas tuberías transportan los desechos líquidos de una o de un grupo de viviendas a la entrada del tanque interceptor. Cuando una sola vivienda alimenta al tanque, la tubería puede proyectarse como un albañal domiciliario; si son conexiones múltiples, las tuberías deben diseñarse como redes simplificadas. En ambos casos, debe procurarse alcanzar al tanque con una reducida profundidad, lo cual evita costosas excavaciones y pérdida de energía hidráulica. No deben descargarse aguas pluviales a los tanques. Las conexiones o albañales domiciliarios deben tener de 7.5 a 10.0 cm. de diámetro y pendiente suficiente (2% cuando menos) para garantizar el transporte de los sólidos contenidos en las aguas residuales al tanque interceptor.

### Tanque interceptor

El tanque interceptor es el elemento de los alcantarillados decantados que recibe los gastos variables de agua con partículas sólidas, provenientes de una o varias viviendas y entrega a la red de alcantarillas gastos relativamente constantes de aguas

con bajos contenidos de sólidos sedimentables. Los tanques sépticos convencionales bien diseñados y construidos pueden cumplir las funciones de los tanques interceptores. Estos tanques son parte integral y esencial de las RASAS, ya que de su eficiente desempeño depende el buen funcionamiento de las alcantarillas y sus necesidades de mantenimiento.

Las funciones de los tanques son permitir la sedimentación, digestión y almacenamiento de los sólidos contenidos en las aguas residuales, eliminando con esto la necesidad de arrastrar los materiales a través de las tuberías, y en consecuencia, permitiendo la instalación de las alcantarillas con pendientes de cualquier signo (hacia abajo o hacia arriba) que requieren poco mantenimiento. No menos importante es la función reguladora que también tienen estos tanques, ya que al amortiguar las variaciones de los flujos que reciben, descargan a la red gastos promedios menores a los estimados en sistemas convencionales, lo cual hace posible el empleo de tuberías de poca capacidad (pequeño diámetro), que tienen un funcionamiento hidráulico

mejor que los grandes colectores, debido a que no necesitan manejar gastos extremos (caudales muy pequeños en ciertos momentos y caudales muy grandes en otros momentos).

#### **Red de alcantarillas y obras complementarias**

La red está conformada muy frecuentemente por tuberías de cloruro de polivinilo (PVC) de pequeño diámetro, cuyo tamaño mínimo va de 5 a 10 cm. A diferencia de las alcantarillas convencionales, las de pequeño diámetro no se instalan necesariamente con pendiente uniforme hacia abajo, ni con alineamiento rectilíneo entre cada dos pozos de visita, ya que al no existir el transporte de materiales sólidos que puedan obstruir las tuberías, se les permite cambios de dirección por medio de curvas.

Las tuberías de conexión de los tanques sépticos a la red, llamadas descargas domiciliarias, deben ser de diámetro igual o menor a las alcantarillas para evitar la obstrucción de éstas.

Entre los elementos accesorios de la red se encuentran los pozos y registros de limpieza, las cajas de paso y las estaciones de bombeo. Los pozos y registros sirven para la inspección, limpieza y ventilación de las alcantarillas; los registros de limpieza son más utilizados que los pozos de visita por razones económicas y por impedir las infiltraciones y el paso de otros materiales. Los pozos de visita se recomiendan en las uniones de varios colectores y en los cambios bruscos de dirección. Las estaciones de bombeo se emplean cuando se quieren conectar viviendas situadas por abajo del nivel de la red decantada; deben evitarse al máximo, debido a sus altos costos de operación y mantenimiento, así como a la vulnerabilidad de su funcionamiento.

### **ANÁLISIS DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO SIN ARRASTRE DE SÓLIDOS COMO PROPUESTA DE PROYECTO PARA LA CIUDAD DE MÉRIDA**

#### **Antecedentes**

La ciudad de Mérida, capital del estado de Yucatán, México, carece de la infraestructura básica para brindar a sus habitantes los servicios de alcantarillado sanitario; sólo cuenta con ocho redes de alcantarillas independientes entre sí que se ubican en sendos fraccionamientos de la localidad. Estas redes son de diseño convencional y cubren alrededor del 1.5% de la población actual.

La mayor parte de los predios disponen sus aguas residuales domésticas en el mismo sitio en el que se generan, a través de tanques sépticos que descargan a pozos de absorción conectados directa o

indirectamente al acuífero subterráneo. Este método de disposición final de los desechos líquidos ha causado la contaminación con materia orgánica y bacteriológica de las aguas subterráneas ubicadas en los primeros niveles del acuífero de la ciudad que, además, es la única fuente de abastecimiento de agua para consumo humano.

En 1981, el Gobierno del Estado inició la construcción de las obras principales (emisor y colectores) del sistema de alcantarillado sanitario convencional de Mérida, pero los trabajos fueron suspendidos por la falta de recursos económicos, quedando instalados alrededor de 6000 m de tubería de concreto reforzado con diámetros de 2.44 m y 2.13 m al noreste de la ciudad.

En 1992, a petición del gobierno del estado de Yucatán, la Comisión Nacional del Agua (CNA) desarrolló el plan maestro del alcantarillado sanitario para la ciudad de Mérida compuesto de 9 alternativas distintas de solución. La alternativa óptima propone la construcción de tres plantas de tratamiento, ubicadas una al oriente y dos al poniente de la localidad, aprovecha la infraestructura instalada en 1981 en el noreste de la ciudad e incluye la construcción de 32 estaciones de bombeo para evitar excavaciones profundas originadas por la escasa pendiente del terreno natural. Nuevamente por la escasez de recursos se interrumpió la continuación de este proyecto.

#### **Lineamientos generales del proyecto**

Debido a las características topográficas y el tipo de suelo en la ciudad de Mérida, los costos de construcción y operación de las obras convencionales de drenaje sanitario son muy elevados, en comparación con otras localidades de la República Mexicana. Esta situación favorece la instalación de RASAS en la ciudad de Mérida, para lo cual es recomendable considerar los siguientes lineamientos generales en la elaboración de un proyecto:

- Utilizar la infraestructura sanitaria existente que se conserve en buen estado, particularmente los tanques sépticos construidos por toda la ciudad.
- Descargar a la red únicamente aguas residuales de tipo doméstico, no desechos industriales ni aguas pluviales.
- Evitar el escurrimiento de las aguas a contra flujo, el cual, aunque es permitido en este tipo de redes, podría incrementar la frecuencia de limpieza de alcantarillas.

- Minimizar el empleo de equipos electromecánicos, debido al alto costo de la energía eléctrica y a la alta vulnerabilidad de estas instalaciones ante amenazas naturales.
- Plantear soluciones diferentes para el manejo de las aguas residuales en zonas de la localidad que presenten condiciones topográficas y de desarrollo urbano especiales.

#### Descripción general del proyecto

En lugar de construir numerosas estaciones de bombeo para concentrar las aguas residuales de toda la ciudad a únicamente dos o tres puntos de vertido, mediante una red de colectores de grandes diámetros, se propone instalar en cada una de las zonas urbanas de tamaño moderado (uno o varios fraccionamientos adyacentes), redes de alcantarillas por gravedad de pequeño diámetro que colecten y conduzcan las aguas provenientes de los tanques sépticos existentes, o de los tanques interceptores nuevos, a la planta de tratamiento de grado secundario, cuyo efluente puede descargarse a través de pozos de absorción ubicados en la zona correspondiente, sin aumentar la contaminación del acuífero subterráneo por materia orgánica y disminuyendo los riesgos para la salud pública.

El proceso de tratamiento secundario basado en los filtros biológicos de flujo ascendente es el más recomendado para depurar los efluentes provenientes de tanques sépticos. Como medio filtrante puede utilizarse material pétreo o plástico. La operación y mantenimiento de estos filtros es muy sencilla, ya que no incluye equipo mecánico y sólo requiere limpiar o sustituir periódicamente parte del medio filtrante.

En las zonas o viviendas cuyos tanques sépticos no puedan conectarse a las alcantarillas decantadas, debido a una mayor profundidad de la cota de salida de agua o se encuentran ubicados en sitios inaccesibles, se recomienda instalar en cada predio, reactores biológicos anaerobios de flujo vertical en lugar de los tanques sépticos convencionales, ya que aquéllos tienen eficiencias de tratamiento superiores a la de éstos y requieren mínima operación y mantenimiento, o bien, plantear una solución específica para cada uno de esos casos en función de las condiciones que presenten.

#### Identificación de beneficios del proyecto

El empleo, por zonas, de las redes de alcantarillado sanitario de pequeño diámetro con pendiente variable y flujo por gravedad para recolectar las aguas residuales domésticas de la ciudad de Mérida, Yucatán., presenta numerosas ventajas frente a los

sistemas convencionales de grandes diámetros que trabajan por gravedad y bombeo. Entre estos beneficios se citan los siguientes:

- Los diámetros de las tuberías pueden ser menores a los mínimos permitidos en alcantarillados convencionales (20 cm.), debido a que los tanques interceptores retienen arena, natas y otros sólidos problemáticos, que pueden causar obstrucciones, y a que atenúan los flujos recibidos, reduciendo el caudal pico esperado en la red a un gasto promedio racional.
- Las pendientes de las tuberías pueden ser pequeñas, ya que las velocidades mínimas de flujo no tienen el objetivo de transportar la arena y otros sólidos a través de las alcantarillas. Las tuberías pueden instalarse con la misma configuración topográfica del terreno, inclusive con pendientes hacia arriba, lo cual permite mantener la mínima profundidad requerida.
- El equipo de bombeo (en caso de ser necesario) es menos costoso, ya que los tanques sépticos o interceptores amortiguan los grandes gastos pico y retienen la mayor parte de los sólidos sedimentables.
- Los pozos de visita son eliminados porque pueden permitir la entrada de aguas y arenas a las alcantarillas. En su lugar se instalan sencillos registros de limpieza.
- Las tuberías de pequeño diámetro pueden ser manejadas con facilidad en tramos de gran longitud durante su tendido, generándose pocas y herméticas juntas de construcción que reducen el problema de infiltración y fugas.
- Los costos de construcción (adquisición de materiales, excavación de zanjas y pozos de visita, instalación de tuberías, etc.) se reducen significativamente. En la ciudad de Mérida se tiene la ventaja adicional que la mayor parte de las viviendas cuentan con su tanque séptico.
- Disminuyen los costos de operación y mantenimiento de la red, ya que no requiere equipo electromecánico y la limpieza de tuberías y cajas es menos frecuente que en sistemas convencionales.
- El paso de las aguas residuales por los tanques sépticos o interceptores puede eliminar la necesidad de instalar estructuras de tratamiento

primario y, en consecuencia, las de manejo de lodos primarios en la planta central.

- El proyecto propuesto brinda la posibilidad de construir y poner inmediatamente en servicio el alcantarillado de cualquier zona de la ciudad de Mérida, ya que las redes de recolección son independientes unas de otras y, en consecuencia, no es necesario esperar a que se concluya un sistema general para conectar a él la red construida en una zona determinada.
- Por la misma razón citada, se facilita la gestión del financiamiento requerido para la obra por etapas, reduciendo el riesgo de abandonar infraestructura inconclusa, debido a la suspensión de los trabajos por falta de recursos económicos.
- Se propicia el empleo intensivo de accesorios de consumo reducido de agua potable, ya que el transporte de las aguas residuales sin sólidos sedimentables sólo requiere que pequeños volúmenes de agua sean descargados a la red para fluir sin peligro de obstruir las tuberías.
- Se conserva el patrón de flujo subterráneo que se presenta en la ciudad de Mérida, debido a que no requiere esquemas de inyección de agua al acuífero a gran escala, ya que los puntos de descarga de aguas residuales tratadas serán numerosos y distribuidos por toda la ciudad. Este patrón de flujo subterráneo asegura que el gradiente inverso, que se produce actualmente, afecte a una zona limitada, es decir, con esta propuesta existe un menor riesgo de contaminar las áreas de extracción de agua para consumo humano que con otras alternativas que plantean descargar grandes volúmenes de aguas residuales en pocos sitios de vertido.
- Se minimiza la vulnerabilidad del servicio de alcantarillado ante fallas eléctricas, muy frecuentes en nuestra ciudad en época de huracanes, debido a que el sistema propuesto de recolección de aguas residuales funciona por gravedad y su funcionamiento no depende de la operación de equipos de bombeo.

### Identificación de costos del proyecto

Para poder implementar en la ciudad de Mérida las redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos, las autoridades competentes en este servicio tienen que comprometerse a realizar una serie de acciones orientadas a prevenir y controlar los inconvenientes que implica la operación de este tipo de alcantarillado. Entre las acciones más importantes se pueden citar:

- Normar el servicio de limpieza de los tanques sépticos existentes y de proyecto para garantizar que sus efluentes se encuentre libres de partículas sólidas sedimentables y, de este modo, puedan fluir por las tuberías de pequeño diámetro sin obstruirlas.
- Vigilar que todos los tanques sépticos o interceptores cuenten con tuberías de ventilación instaladas apropiadamente para evitar el paso de gases tóxicos, corrosivos y ofensivos a la red de alcantarillas que pueden crear problemas de mantenimiento y aceptación pública.

### CONCLUSIONES

Existen tecnologías innovadoras de bajo costo que han sido incorporadas con éxito al diseño, construcción y operación de nuevos sistemas de alcantarillado sanitario en diferentes países, pero, desafortunadamente, en México no existen experiencias al respecto.

Los beneficios identificados en el análisis cualitativo de prefactibilidad tecnológica de un proyecto, basado en el empleo de redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos para la ciudad de Mérida, resultaron mayores que los costos identificados en el mismo.

Para tomar una decisión final respecto al empleo de estos sistemas, se requiere, primero, elaborar el proyecto ejecutivo del sistema de alcantarillado que incluya una evaluación social completa; segundo, construir las obras de recolección y tratamiento en una zona de tamaño moderado de la ciudad de Mérida, Yucatán; tercero, ponerlas en operación por el tiempo que permita estudiarlas y comprobar en la práctica sus documentadas virtudes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-Netto, José M. (1992). Tecnologías Innovadoras y de Bajo Costo Utilizadas en los Sistemas de Alcantarillados, Serie Técnica No. 29, Organización Panamericana de la Salud.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente. (1987). Redes de Alcantarillado Simplificado, Manual Técnico 1.
- Comisión Nacional del Agua. (1995). Lineamientos Técnicos para la Elaboración de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, CNA.
- Environmental Protection Agency. (1991). Alternative Wastewater Collection Systems Manual, Washington, D.C. EPA.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2006). Estadísticas a propósito del Día Mundial del Agua. Recuperado el 11 de abril de 2007 de:  
<http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/estadisticas/2006/agua2006.pdf>.
- Mara, D.D. and G.S. Sinnatamby. (1986). Rational Design of Septic Tanks in Warm Climates, The Public Health Engineer.
- Otis, Richard J. (1986). Small Diameter Gravity Sewers: An Alternative for Unsewered Communities, Environmental Protection Agency (EPA).
- Otis, Richard J. y Duncan Mara. (1986) Diseño de Alcantarillado de Pequeño Diámetro.
- Perkins, Richard J. (1990). Onsite Wastewater Disposal, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.
- Simmons, J.D., J.O. Newman and C.W. Rose. (1982). Small-Diameter, Variable Grade, Gravity Sewers for Septic Tank Effluent. In: On-Site Sewage Treatment. Proceedings of the Third National Symposium on Individual Small Community Sewage Treatment. American Society of Agricultural Engineers (ASAE).

---

Este documento se debe citar como:

Espadas Solís A., García Sosa, J. y Castillo Borges, E. (2007). **Redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos: una alternativa para la ciudad de Mérida, Yucatán, México.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 11-1, pp.61-67, ISSN: 1665-529X.