

## Digestión de aguas residuales en cámaras modulares compactas por acción conjunta anaeróbica y aeróbica

Bernardo Espinosa / Adrián Contreras / Antonio Bojórquez

Facultad de Arquitectura Medio Ambiente y Soluciones, Universidad Autónoma de Yucatán-México

### Resumen

El Cuerpo Académico de Desarrollo Tecnológico de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Yucatán trabajó en una propuesta de solución frente a la contaminación de los mantos freáticos cercanos a la superficie utilizados para consumo humano que contara con un valor agregado adicional al de las tradicionales letrinas secas, como es la reutilización del agua. Con ese objetivo se exponen los resultados de un modelo experimental para 5 o más habitantes, de precio económico, bajo costo de instalación y mínimo mantenimiento. Estas plantas, para lugares que no disponen de drenaje sanitario, combinan digestión anaerobia, aeróbica por aireación extendida y lodos activados, en un módulo compacto de dimensiones reducidas que permiten procesos depuradores de líquidos cloacales con alto rendimiento (95%).

### Descriptor:

Depuración de las aguas residuales domiciliarias; Tratamiento de aguas residuales; Tecnologías ecológicas de bajo costo

### Abstract

*The Academic Body of Technological Development of the Faculty of Architecture of the Autonomous University of Yucatán, developed a solution proposal for the pollution of phreatic surfaces [o water tables], intended for human use, which could have an added value to traditional dry latrines, such as the reuse of water. With this purpose, we put forward the results of an experimental model for 5 or more inhabitants, which is economical, low-cost installation and requires little maintenance. These plants, for places without sanitary sewage, combine anaerobic digestion, aerobic digestion through extended ventilation and activated sludges, in a small-sized compact module, that allow high-performance (95%) purifying processes of sewage liquids.*

### Descriptors:

*Purifying of domestic residual waters; Residual waters treatment; Eco-friendly low-cost technologies*

Desde la invención de la fosa séptica, desarrollada por Donald Cameron en Inglaterra, de funcionamiento esencialmente anaeróbico, aparecieron muchas y distintas ideas. La forma natural de descomposición de la materia orgánica es por oxidación en exposición al aire. Pero a medida que se fue avanzando e indagando más y se tuvo acceso al ambiente microscópico, se observó que en la naturaleza hay varias formas de descomposición de la materia orgánica animal y vegetal y que algunas de ellas aparecen en la descomposición y asimilación de los alimentos, en los órganos digestivos de los animales. Se han estudiado procesos como la fermentación, la participación de las enzimas como catalizadores que pueden aumentar enormemente la velocidad de las reacciones, los distintos tipos de bacterias, su forma de reproducción, su ciclo de vida, los factores ambientales como la temperatura, la presión y la luz que las afecta o las favorecen. En nuestros tiempos, la biotecnología está aprendiendo a utilizar las bacterias, que desarrollan reacciones bioquímicas para lograr fines específicos, para lo cual crea las condiciones más favorables a cada proceso que desea realizar. En el tratamiento de aguas residuales, se ha planteado la discusión entre procesos aeróbicos (en presencia de oxígeno) o anaeróbicos (en ausencia de oxígeno). En el presente caso, se han combinado ambos, trabajando en condiciones de inundación del digestor modular. Lo que se ha hecho es, a partir de la observación de resultados, ir modificando parámetros hasta llegar a la situación en

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN | Vol. 24 N° III | 2008 | pp. 09-14 | Recibido el 28/11/07 | Aceptado el 07/04/08

la cual se basa el diseño final de las plantas de tratamiento "MAS" (figura 1), basadas en el modelo Bandepho modificado, conocido como "Oxidación Forzada".

**Planta depuradora**

Está compuesta de una cámara de rejillas, una unidad modular digestora y una cámara de cloración (foto 1).

*Cámara de rejillas:* las aguas residuales provenientes de una vivienda, pasan por ella, donde se las separa de sólidos no biodegradables y elementos extraños (foto 2).

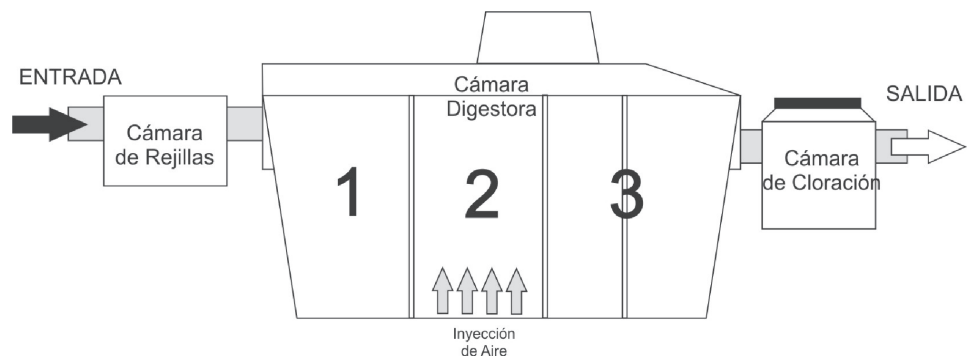
*Escurrimiento:* Se realiza con las pendientes habituales de una instalación primaria de desagües cloacales (2%-3%).

*Cámara digestora:* es de forma de prisma trapezoidal, con extremos verticales, dotada de un orificio de inspección, un ducto por donde llega el aire del soplador y un caño de 4", uno de entrada de los influentes y otro

de salida de los efluentes. Hasta para una capacidad de 300 habitantes se construyen en resina poliéster, reforzada con fibra de vidrio en cuatro capas (1 de Gelcoat, 2 de fibra de vidrio no tejida, 1 de fibra de vidrio tejida de alto peso). De allí en adelante se construyen en aleaciones de aluminio estructural y/o polietileno de alta densidad suficientemente resistente a los líquidos y grupos bacterianos que se desarrollan en el proceso.

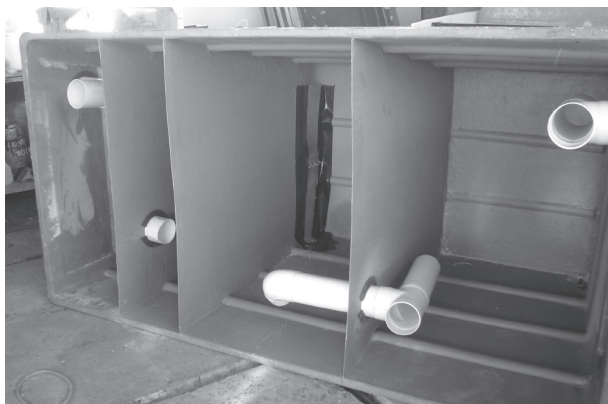
a) Primer compartimiento: Sedimentación primaria. Allí llegan las aguas residuales después de pasar por la Cámara de Rejas y, conforme van llegando, la materia orgánica más pesada se va depositando en el fondo del primer compartimiento y la materia orgánica más liviana va formando lo que se conoce como "costra", que proporciona un ambiente donde no hay oxígeno, en consecuencia, la descomposición de la materia orgánica es realizada por bacterias anaeróbicas. Se forman flóculos o gránulos anaeróbicos que son básicamente bacterias que van cayendo al

Figura 1  
Esquema descriptivo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales MAS en el esquema de cámara digestora monotanque



Fuente: elaboración propia

Foto 1  
Fotografía del interior del Prototipo de Planta de Tratamiento MAS en esquema mototanque



Fuente: elaboración propia

Foto 2  
Cámara de Rejillas con criba plástica y trampas de grasas y arenas de Planta Prototipo



Fuente: elaboración propia

fondo, formando lo que se conoce como lecho de lodos. En este proceso anaeróbico se produce también biogás, pero no se lo extrae, sino que se incorpora a los gases en movimiento producidos por inyección de aire.

b) Segundo compartimiento: Aireación. Los líquidos que llegan del primer compartimiento son aireados por un soplador de desplazamiento positivo de alta eficiencia, el que inyecta a través de un manifold de difusores, pequeñas burbujas de aire que aportan el oxígeno necesario para la vida y el crecimiento de las bacterias aeróbicas. Este tipo de bacterias son muy eficaces para destruir la parte sólida de las aguas residuales. El oxígeno proporcionado por los sopladores acelera considerablemente los procesos de oxidación. El tratamiento biológico consiste en que muchos tipos de microorganismos, principalmente bacterias, en un proceso continuo, realizan un ataque secuencial de los compuestos orgánicos contenidos en las aguas residuales. La presión del soplador es solamente la necesaria para vencer la carga hidráulica de la cámara digestora y producir una rotación de la materia contenida en el segundo compartimiento, que diluye la carga de aire insuflada. La materia así tratada pasa al tercer compartimiento por orificios practicados en el segundo mamparo y ya licuada y emulsionada con aire (foto 3).

c) Tercer compartimiento: También llamado de sedimentación secundaria. En este compartimiento, donde los líquidos se encuentran en calma, se produce la sedimentación de las bacterias aeróbicas por ser más pesadas que el agua. Periódicamente, mediante un sistema de electro-

válvulas automáticas, se direcciona adecuadamente parte del aire del soplador para movilizar esos sólidos sedimentados (lodos activados), evitando que muera el numeroso grupo de bacterias que lo forman. Así se eleva esa materia de alto contenido bacteriano, se la activa, se da lugar al incremento de la flora bacteriana aeróbica y se la conduce hasta el primer y segundo compartimiento, donde las bacterias aeróbicas contenidas en los lodos activados atacan la parte superior de la costra formada en el primer compartimiento, disminuyendo su espesor pero sin destruirla. Se ha observado que con ello se consigue un mejor comportamiento de toda la unidad digestora. La alta periodicidad durante el día, con un retorno del 50% de las bacterias sedimentadas, se traduce en una eficaz digestión de lodos que vuelve innecesario purgar durante años de operación. Al retirar lodos de este compartimiento luego de 5 años de funcionamiento, después de deshidratarlos se encontró que pesaban solo 1 kilo, masa despreciable frente al del volumen contenido en la cámara.

*Cámara de cloración:* Es un sistema automático que funciona dosificando el cloro en función del caudal de salida (foto 4). Se instala en la línea de descarga del efluente, que va a una cámara de contacto que retiene el líquido el tiempo necesario para lograr una adecuada desinfección. Puede realizarse con pastillas de cloro en los modelos pequeños y con diafragma o bomba dosificadora en los modelos para 50 o más personas. El tiempo de contacto es de 30 minutos o más.

Foto 3  
Compartimiento de Aireación de Planta Prototipo



Fuente: elaboración propia

Foto 4  
Cámara de cloración de planta prototipo



Fuente: elaboración propia

*Sistema de difusión de aire:* Está compuesto por tuberías para el transporte del caudal de aire generado por sopladores, desde estos hasta los módulos de difusión (foto 5).

*Módulo de difusión de aire:* Están compuestos por una válvula para la regulación del caudal circulante y una serie de difusores de aire de burbuja fina. Estos difusores tienen un diámetro de 100 mm, y están compuestos por un domo plástico y espumas elásticas de caucho, permitiendo el escape de finas burbujas que entregan a la masa líquida el oxígeno necesario, que puede trabajar en forma continua o discontinua. Con este sistema se logran altos rendimientos de oxígeno entregado por kilowatt consumido y bajos consumos de energía respecto a cualquier otro sistema de aireación.

*Control automático:* Todo el equipamiento puede ser comandado en forma automática (accionado por un timer programado) (foto 6). En el caso de mantenimiento de la unidad digestora, se puede activar manualmente desde un tablero con señales digitales. Cada equipo está accionado por un contactor independiente y cada uno de esos contactores está protegido por pastillas térmicas y relevadores electromagnéticos encapsulados.

*Equipamiento:* El equipamiento mecánico es mínimo y de excelente calidad. Está constituido por un soplador de aire y un tablero de control desde donde se activan las electroválvulas que periódicamente producen las inyecciones de aire dirigido para activar los sólidos del tercer compartimiento. En caso de falta de energía eléctrica, la

memoria del sistema de control está protegida por 2 años mediante pilas químicas.

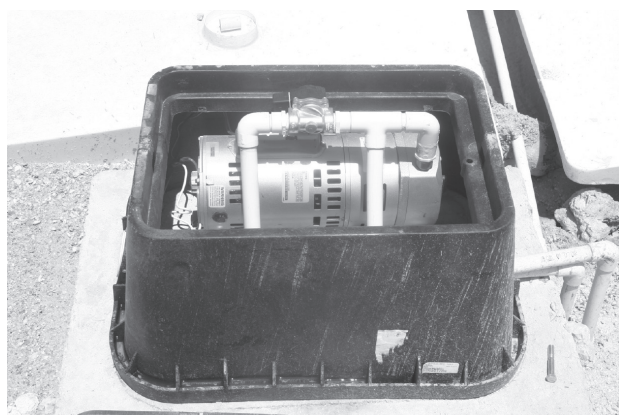
### Materiales y métodos utilizados

Se ha tomado como ejemplo el tratamiento realizado a las aguas residuales provenientes de un establecimiento escolar: Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Yucatán, en particular las aguas que provienen de los baños mixtos, que contienen un aporte muy superior en materia orgánica, papeles y grasas de jabón en comparación con las que se encuentran en descargas domiciliarias. El agua cruda es promedio de mañana y tarde y de las extracciones realizadas, a razón de una por mes, durante seis meses (DBO 1.200 mg/L; Sólidos Sedimentables en 10 min: 0,3 mg/L). En el caso de Aguas Residuales Domiciliarias, la DBO es del orden de 200 a 250 mg/L, que con una eficacia de 93% a 98% se reduce a menos de 30 mg/L.

### Métodos

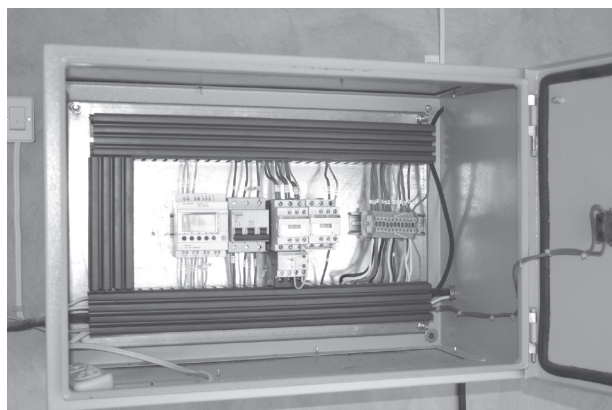
Las muestras –que se remitían inmediatamente al laboratorio que realizaba el ensayo, el mismo día de la extracción– se extrajeron colocando un recipiente de un litro, esterilizado, en la descarga del influente crudo y del efluente procesado, llenándolo completamente y luego tapándolo.

Foto 5  
Soplador de émbolos rotativos de la planta prototipo



Fuente: elaboración propia

Foto 6  
Controlador automático de planta prototipo



Fuente: elaboración propia

Determinaciones realizadas por el laboratorio [DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno; mg/L: Miligramos por litro; pH: Unidades de Hidrógeno potencial-UpH]: DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), Coliformes Fecales, pH, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Grasas y Aceites.

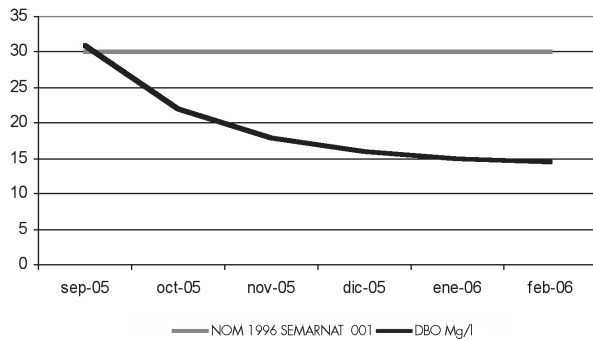
### Resultados y discusión

Elegimos para evaluar el trabajo del digestor una serie de ensayos realizados durante seis meses consecutivos, a razón de uno por mes (muestra simple). Se muestra

la variación medida de los parámetros recolectados a partir del ingreso de aguas crudas del establecimiento escolar ya mencionado (promedio de seis meses), comparados con los requerimientos de la NOM-1996-SEMARNAT-001 para cuerpo receptor tipo C (protección de vida acuática), el cual tiene los valores más estrictos de la norma (véanse gráficos 1, 2, 3, 4, 5 y 6).

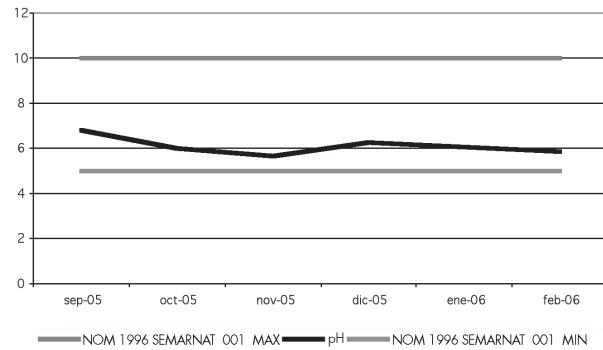
Se ha observado en la práctica que con este sistema son menores los tiempos de procesamiento de las aguas residuales (de 18 a 24 horas) y menores las superficies necesarias para que se realice el proceso.

Gráfico 1  
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) del efluente de establecimiento educativo, comparado con el exigido por la NOM-1996-SEMARNAT-001 para cuerpo receptor tipo C



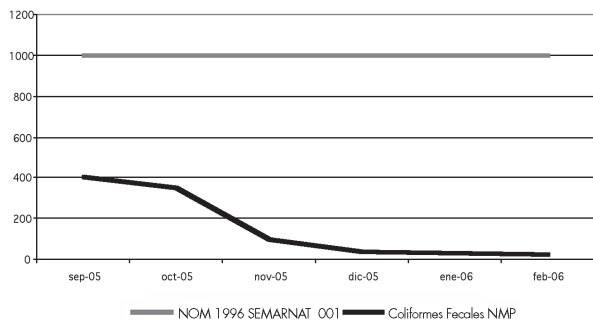
Fuente: elaboración propia

Gráfico 3  
pH del efluente de establecimiento educativo, comparado con el exigido por la NOM-1996-SEMARNAT-001 para cuerpo receptor tipo C



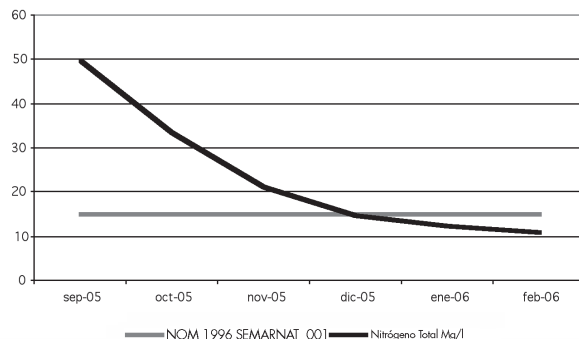
Fuente: elaboración propia

Gráfico 2  
Coliformes Fecales Totales del efluente de establecimiento educativo, comparado con el exigido por la NOM-1996-SEMARNAT-001 para cuerpo receptor tipo C.



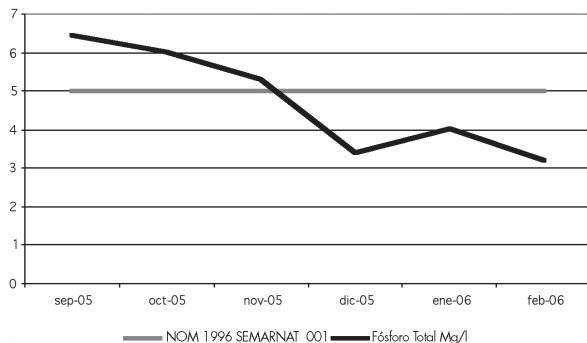
Fuente: elaboración propia

Gráfico 4  
Nitrógeno Total del efluente de establecimiento educativo, comparado con el exigido por la NOM-1996-SEMARNAT-001 para cuerpo receptor tipo C.



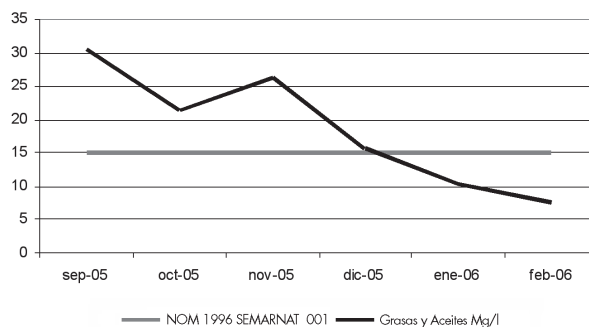
Fuente: elaboración propia

Gráfico 5  
Fósforo Total del efluente de establecimiento educativo, comparado con el exigido por la NOM-1996-SEMARNAT-001 para cuerpo receptor tipo C.



Fuente: elaboración propia

Gráfico 6  
Grasas y Aceites del efluente de establecimiento educativo, comparado con el exigido por la NOM-1996-SEMARNAT-001 para cuerpo receptor tipo C.



Fuente: elaboración propia

## Conclusiones

El sistema de digestión propuesto, ha permitido por combinación de la digestión anaeróbica, aeróbica por aereación extendida y lodos activados conseguir una digestión prácticamente completa de las aguas residuales. Se ha empleado en viviendas, hoteles, restaurantes, escuelas, guarderías, centros de proceso pesquero, terminales de autobuses, etc.

Los gráficos y datos expuestos muestran la eficacia del digester propuesto y de su sistema de funcionamiento en el cumplimiento de las pautas reglamentarias oportunamente establecidas. Cabe señalar que al biodigester se le han inoculado cepas bacterianas biotecnológicamente creadas sin mutagénicas para potenciar y acelerar la creación de biomasa durante los dos primeros meses de operación.

## Referencias bibliográficas

Casale D. I. (1951) *Manual de obras sanitarias domiciliarias e industriales*. Talleres Gráficos Gerardo Soria & Cia.

González M. S.; Guerra G. R.; Trupiano A. P.; Castañeda L. M.; Figueroa E. M.; Seghezze L. y Cuevas C. M. (2000) Tratamiento de líquidos cloacales pre-sedimentados en un reactor UASB, en regiones subtropicales. [http://www.asades.org.ar/averma/averma4\\_2000.htm](http://www.asades.org.ar/averma/averma4_2000.htm)

González, M. S.; Guerra G. R.; Trupiano A. P.; Figueroa E. M.; Seghezze L. y Cuevas C. M. (2000) Perfiles de actividad metanogénica específica en un reactor UASB, utilizado para el tratamiento de líquidos cloacales pre-sedimentados. [http://www.asades.org.ar/averma/averma4\\_2000.htm](http://www.asades.org.ar/averma/averma4_2000.htm)

Hernández, M. A. (2000) *Manual de Depuración Uralita*. Thomson Editores, España.

Metcalf y Eddy (1977) *Tratamiento y depuración de aguas residuales*. Edit. Labor.

Scientecmatrix (2002) <http://www.scientecmatrix.com>

Seoáñez, C. M. (s.f.) *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas de bajo costo*. Ediciones Mundi-Prensa.