

Señor Director

NUEVAS CREACIONES

Superintendencia de Industria y Comercio

E. S. D.

Superintendencia de Industria y Comercio



Radicado: 16046704 45 Folios: 45
Dependencia: Desc Fecha: 2016-08-02 16:56:48
Tipo aplicación: Respuesta a requerimiento

SV

Trámite : 011 Evento : 378 Actuación : 444

Referencia : Expediente No. **16.046.704**
Asunto : Solicitud de patente para: **"SISTEMA Y PROCESO
MULTIFUNCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES"**
Solicitante : CASTELLANOS ROLDAN, MARCO ANTONIO
Fecha de solicitud : 24 de febrero de 2016

RESPUESTA A EXAMEN PRELIMINAR

ANDRÉS RINCÓN USCÁTEGUI, identificado como aparece al pie de mi firma, en mi condición de apoderado del solicitante de la patente de la referencia, doy respuesta al Oficio 3349, notificado por fijación en lista el 05 de abril de 2016, para lo cual solicité plazo adicional el 01 de junio de 2016.

I. MODIFICACIONES AL PLIEGO REIVINDICATORIO

En respuesta al examen de patentabilidad el solicitante decide aportar un nuevo capítulo reivindicatorio conformado por 14 reivindicaciones en las que se han incluido las siguientes modificaciones:

1. La reivindicación 1 fue modificada para recitar "pantanos artificiales de flujo subterráneo" en lugar de "pantanos artificiales".
2. Las reivindicaciones 15 a 18 fueron eliminadas del pliego reivindicatorio.
3. El término "al menos" fue eliminado de las reivindicaciones 8 y 13.

"EXCELENCIA LEGAL EN UN MUNDO SIN FRONTERAS"

BOGOTÁ - Edificio Siski - Carrera 4 No. 72 - 35 - Código Postal 110221 - Tel. (57-1) 347 3611 - Fax (57-1) 211 8650 - Fax in U.S.A: (1-305) 675 7743 - COLOMBIA
MEDELLÍN - San Fernando Plaza - Carrera 43 A No. 1 - 50 - Torre Protección Oficina B52 - Código Postal 050021 - Tel: (57-4) 520 4760 / (57-4) 326 0789 / (57) 317 365 8663 / (57) 318 532 2365 - COLOMBIA
BARRANQUILLA - Calle 64 No. 50-20 - Oficina 201 - Código Postal 080002 - Barrio El Prado - Tel. (57-5) 3 51 64 40 - COLOMBIA

4. La expresión "sistema" fue reemplazada por el término "módulo".

Estas modificaciones se ajustan al artículo 34 de la Decisión 486 de 2000 y no constituyen una ampliación de la protección que correspondería a la divulgación contenida en la solicitud inicial.

A pesar de eliminar materia del pliego reivindicatorio originalmente presentado, mi representada no renuncia a la protección que pueda obtener sobre dicha materia y se reserva el derecho de presentar una solicitud divisional que la contenga durante el trámite de la presente solicitud.

II. EN CUANTO A LAS OBJECIONES A LA DESCRIPCIÓN

En cuanto a las objeciones relacionadas con la descripción, se modificaron las unidades del capítulo descriptivo al Sistema Internacional de Unidades. Adjunto se encuentra el capítulo descriptivo modificado. Por lo tanto, se superan las objeciones.

III. EN CUANTO A LAS OBJECIONES RELATIVAS A UN USO O SEGUNDO USO

En cuanto a las objeciones elevadas a la reivindicación 14 por supuestamente ser un uso, respetuosamente discrepamos y señalamos que la presente invención es un sistema de tratamiento de agua residual integrado por una serie de componentes relacionados entre sí, que de manera independiente no podrían obtener la calidad de tratamiento del agua residual. Por tal razón, se aclara que el sistema de tratamiento de aguas puede estar vinculado a recibir las aguas residuales en una casa o varias casas que se encuentren cerca, o en localidades rurales o semiurbanas.

IV. EN CUANTO AL PAGO DE TASA ADICIONAL POR EL NÚMERO DE REIVINDICACIONES

Presento junto con este escrito el comprobante de pago de tasa adicional para el estudio de 4 reivindicaciones.

V. EN CUANTO A LAS SUPUESTAS OBJECIONES DE CLARIDAD

1. En cuanto a las objeciones a la reivindicación 1 relacionadas con el término “pantanos artificiales”, dicho término ha sido aclarado para recitar “pantanos artificiales de flujo subterráneo”, el cual es sustentado en la página 3 del nuevo capítulo descriptivo. Así mismo, los pantanos artificiales de flujo subterráneo se encuentran descritos en las Figuras 13 a 15. Por lo tanto, el término se describe de manera menos general y la objeción se ve superada.
2. En cuanto a las objeciones a la reivindicación 1 por hacer referencia a una reivindicación de producto “sistema”, dicho término fue sustituido por el más apropiado “módulo”. Por lo tanto, se supera la objeción.
3. En cuanto a las objeciones a la reivindicación 1 por el uso de la abreviación “FAFA”, dicha abreviación se sustituyó por el término técnico “Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente”. Por lo tanto, se supera la objeción.
4. En cuanto a las objeciones al capítulo reivindicatorio por mencionar características funcionales, en este respecto discrepamos ya que dichas características objetadas en las reivindicaciones 5, 6 y 9 son necesarias mencionarlas, puesto que describen y aclaran cómo el sistema en conjunto logra la eficiencia divulgada. Dichas características son entendidas por una persona versada en la materia y además, se encuentran debidamente soportadas en la descripción, por lo tanto, la objeción es injustificada.
5. En cuanto a las objeciones a las reivindicaciones 1, 8 y 13 por los términos “al menos” y “por lo menos”, dichos términos fueron eliminados de las reivindicaciones 8 y 13. Con respecto al uso de dicho término en la reivindicación 1, discrepamos en la objeción y señalamos que en el documento de patente se divulga que el sistema de tratamiento de agua residual puede ser integrado por un elemento de los mencionados, no obstante en caso de volumen o carga orgánica mayor, se pueden instalar más de dichos elementos, como lo son los biodigestores anaeróbicos o los pantanos artificiales de flujo subterráneo, lo cual no es impreciso ni desconocido para una persona versada en la materia. Por lo tanto, se superan las objeciones referentes a los términos imprecisos.

VI. EN CUANTO A LAS OBJECIONES POR FALTA DE UNIDAD DE INVENCION

En respuesta a las objeciones por falta de unidad de invención, las reivindicaciones 15 a 18 fueron eliminadas del pliego reivindicatorio. Por lo tanto, las reivindicaciones restantes 1 a 14 pertenecen a un único grupo inventivo identificado como el Sistema para el tratamiento de aguas residuales, superando las objeciones de unidad de invención.

VII. PETICIÓN

Teniendo en cuenta que la presente solicitud cumple con los requisitos de los artículos 26 y 27 de la Decisión 486 de 2000 y considerando que se ha dado respuesta a cada una de las observaciones de la Dirección de Nuevas Creaciones con respecto a otros aspectos que tienen que ver con la patentabilidad de la invención, solicito a su Despacho continuar con el trámite administrativo correspondiente.

VIII. ANEXOS

1. Nuevo pliego reivindicatorio conformado por **14** reivindicaciones;
2. Copia del nuevo capítulo descriptivo.
3. Comprobante de pago de tasas por reivindicaciones adicionales;

Señor Director,


ANDRÉS RINCÓN USCÁTEGUI

C.C. 79.780.910 de Bogotá

T.P. 114.908

REIVINDICACIONES MODIFICADAS

1. Un sistema para el tratamiento de aguas residuales o STAR, que consiste en los siguientes 7 módulos en serie:

Módulo 1) recolección y pase por una caja reguladora de volumen de entrada con desfogue.

Módulo 2) un pre-tratamiento consistente en cribas para separación de sólidos y canales desarenadores.

Módulo 3) un primer tratamiento secundario ó biológico anaerobio constituido de por un biodigestor o un sistema biodigestores anaerobios.

Módulo 4) canalización a lechos de secado para la eliminación de lodos generados en los tratamientos biológicos anaerobios.

Módulo 5) un segundo tratamiento biológico de naturaleza anaerobia que consiste en su paso por al menos un sistema Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, y el retorno de lodos al lecho de secado del módulo 4.

Módulo 6) un tercer tratamiento biológico de naturaleza aerobia que consiste en el paso por al menos un depósito que se constituye como pantanos artificiales de flujo subterráneo.

Módulo 7) un tratamiento terciario que consiste en su paso por una unidad de desinfección por contacto con cloro o un proceso de luz ultravioleta.

2. El STAR de la reivindicación 1 en donde el módulo 1, el flujo constante se consigue al paso de una caja reguladora (8), tubo para el influente (9), tubo para desfogue que se acciona en caso de exceso de volumen (10), marco guía (11), compuerta reguladora de salida de operación manual (12), tubo de salida de la caja reguladora (13).
3. El STAR de la reivindicación 1 ó 2 en donde el módulo 2 el flujo atraviesa por un tubo de entrada que viene de la caja reguladora (13), luego por un canal de 30 cm (14) con dos rejillas, una de tamiz grueso (15) de barras de solera de 3.75 cm de ancho y 0.94 cm de espesor con una separación entre barras de 4.86 cm, y luego por una rejilla de tamiz fino (16), de barras de solera de 2.54 cm de ancho y 0.94 cm de espesor con separación entre barras de 2.54 cm, continúa por uno de dos canales desarenadores (19), cuyo acceso está limitado por una compuerta de operación manual (18) y un vertedero tipo sutro (20) para facilitar la sedimentación y mantener una velocidad de

flujo constante y controlada de 0.30 m/seg que permanece homogénea durante todo el proceso.

4. El STAR de la reivindicación 1, 2 ó 3 en donde el módulo 2 requiere además de un sistema de bombeo que se utiliza en caso de no contar con una diferencia de altura mínima (con respecto a la rasante del tubo) de 1.50 m del tubo de llegada con el pretratamiento y que consiste de: un cárcamo de bombeo y tubería de succión de los equipos de bombeo (21), sistema de bombas (22), válvulas check y de vástago fijo (23), salida a caja reguladora de velocidad en la parte superior del biodigestor (24), continúa la conexión hacia una caja reguladora de velocidad (24b).

5. El STAR de la reivindicación 1, 2, 3 ó 4 en donde el módulo 3 el flujo de agua pretratada atraviesa por un biodigestor anaerobio que comprende:

Una caja de entrada (24c) cuando no hay sistema de bombeo, tubo de llegada (25), subdivisión que forma 2 compartimentos (26, 27), y el primero (26) posee a su vez dos zonas tolvadas (28, 29), conectado por una serie de tubos comunicantes (30) a 1.50 m de altura (31) con el siguiente compartimento secundario (27) con una zona tolvada (32) con un tubo de salida (33) que comunica con el quinta modulo; en cada tolva un tubo para salida de lodos (37), que continúa por una caja de válvulas para la eliminación de estos sólidos de cada tolva (38), encima de cada zona tolvada se encuentra una tapa para mantenimiento de tolvas (34, 35, 36), sistema de tuberías para la recolección del biogás en cada compartimento (40) y cajas concentradoras de biogás donde se hace pasar por una capa de zeolitas que capturan el metano y el dióxido de carbono (41) y en donde el biodigestor se conforma de un total de 6 cámaras; donde se lleva a cabo el proceso de sedimentación y formación de lodos, minimizando el arrastre de sólidos en el fondo, permitiendo un flujo de agua a velocidad constante que permanece más tiempo cerca de las zonas tolvadas, la altura de los tubos de entrada (25) y comunicantes (30) es importante para que el flujo de agua sea adecuado para favorecer la sedimentación y la biodigestión en las zonas tolvadas, favoreciendo la sedimentación y el proceso de digestión anaerobia;

6. El STAR de la reivindicación 1, 2, 3, 4 ó 5 en donde el módulo 4, se lleva a cabo la eliminación de lodos que se forman tanto en el módulo anterior 3 como en el módulo

5 subsecuente, se conforma de dos lechos de secado, uno contiguo al módulo 3 y otro contiguo al módulo 5 con una diferencia de nivel entre sí, y que comprende: dos depósitos hechos de material concreto con barda perimetral de 1.5 m de altura, se integra con un tubo de PVC entrada (52) de lodo que se genera en las tolvas del biodigestor o del FAFA, compuerta (52b), canal distribuidor (52c), losa disipadora (52d), fondo de arcilla mezclada con cal para evitar filtraciones al subsuelo (53), tubo perforado para recolección de lixiviado (54), capa de grava gruesa (55), capa de grava mediana (56), capa de arena (57), salida del tubo de recolección (58) cárcamo para concentración de lixiviados (59), y en donde los lodos acumulados de los módulo 3 ó 5 se retiran después de 6 meses de operación del sistema por carga hidráulica a través de las válvulas de vástago fijo (38) localizadas a un costado de cada tolva sin requerir bombeo.

7. El STAR de la reivindicación 1, 2, 3, 4, 5 ó 6 en donde el módulo 5, se lleva a cabo el tratamiento biológico anaerobio que consiste en un sistema de filtrado anaerobio de flujo ascendente ó FAFA, que es un tanque de concreto caracterizado porque tiene un arreglo hidráulico a gravedad, que evita el uso de bombas, aprovechando el desnivel del terreno, y porque se conforma de los siguientes elementos:
 - a. Cajas de válvula para purga de lodo (42), una caja de llegada por donde ingresa el agua y luego pasa por dos cajas semicirculares de distribución secundaria ubicadas sobre la losa superior (43), estas cajas reparten el agua de manera uniforme hacia el fondo del reactor y proporcionan un mejor control y limpieza natural, la canalización de las aguas se realiza a través de tubería de PVC (44).
 - b. De la caja de distribución secundaria el agua se dirige al fondo (45), que separa 40 cm de la losa inferior al medio filtrante, y asciende el flujo a la cama del medio filtrante por diferencias de presión, el medio filtrante o empaque son piedras bola de río o tezontle exclusivamente de diámetros de 10 a 15 cm (45b), que ocupa de manera uniforme el volumen del FAFA hasta una altura de 25 cm antes de las canaletas colectoras;
 - c. los gases que se generan en las cajas de distribución se eliminan mediante disipadores (51), las zonas de los canales recolectores laterales (46), canal recolector central (47), canal concentrador y recolector adosado al frente (48),
 - d. en la parte superior del FAFA se encuentran tres canales recolectores, dos en

los extremos de los lados más largos del reactor (46) y uno en el centro (47), cada uno tiene una profundidad de 15 cm y tienen paredes desbordantes rectas que conducen el agua tratada a un cuarto canal colector general ubicado a la orilla del lado ancho del FAFA (48) salida del agua tratada del canal frontal (49), la cual se dirige a la caja concentradora/distribuidora (49b) y luego hacia el sexto módulo; tapas para mantenimiento y verificación en los canales laterales (50), desfogue y ventilación de biogás para evitar el deterioro de la losa del FAFA (51).

8. El STAR de la reivindicación 1, 2, 3, 4, 5, 6 ó 7 en donde el módulo 6, consiste en un tratamiento biológico aerobio conformado por un sistema de un pantano artificial de flujo subterráneo, donde a partir de dos pantanos, éstos se encuentran conectados con una relación largo – ancho desde 1: 2 hasta 2:2 y se caracterizan por ser depósitos de concreto delimitados (61), recubiertos desde el fondo y hasta la parte superior externa de paredes por una geo-membrana impermeable (78) sellada térmicamente y fijada a las paredes con solera de aluminio (79) con lo que se impide la infiltración al subsuelo, se alimentan del flujo proveniente del FAFA a través de la caja concentradora/distribuidora (49b), y donde cada uno de estos depósitos además comprende:
 - a. tubo para el influente (63) y tubo de entrada al pantano (63b), tubo para entrada al pantano bidireccional con el objeto de lograr que el flujo del agua en tratamiento se realice uniformemente (64), tubo conector (65) y tubo bidireccional (66) de cada lado, estos tres tubos 64, 65 y 66 son distribuidores del flujo y permite que éste se realice como flujo pistón y que sea homogéneo,
 - b. un tubo o más independientes que funcionaran como inyectores de aire para aumentar el volumen de oxígeno en los pantanos cuando las cargas orgánicas sean altas con equipo que utilice energía solar (67),
 - c. en la base de los pantanos artificiales de flujo subterráneo se forma un estrato con una altura de entre 0.70 a 0.75m de grava, conformando una zona de grava gruesa de río rodada o tezontle de 10 a 12.5 cm (68), y una zona de grava de río rodada o tezontle mediana de 4 a 7.5 cm (69),
 - d. sobre este estrato se coloca material vegetal plantas del tipo tule (70), nivel de agua (71), capa de 10 cm de grava de río rodada de 2.5 cm para evitar el calentamiento del agua en el pantano y evitar malos olores (72),

- e. tubo con perforaciones recolector del efluente y que corre a lo largo (73), este tubo se prolonga (73b) hacia la caja recolectora (74) y determina el nivel de agua en los pantanos artificiales de flujo subterráneo, en la parte baja y antes del codo se colocan piezas especiales de PVC para que permita el movimiento giratorio del tubo (73b) y así fomentar el crecimiento de la rizoma de la planta (70), tubo recolector del agua tratada y se utiliza como salida hacia la caja de contacto con cloro (75), en el mismo tubo recolector (73) se va a conectar otro sistema para inyectar aire a presión y así remover el acumulamiento de lodos que causa que el flujo no se realice adecuadamente; material pétreo o tezontle (77).
9. El STAR de la reivindicación 8 donde la planta tipo tule es de la especie *typha domingensis* Pers ó *Typha latifolia* que pertenecen a la familia *Pragmatis typha*, la cual a través de sus raíces, transmite oxígeno atmosférico al interior del pantano artificial de flujo subterráneo, generando áreas aerobias que permiten la reducción de la DBO, de los SST, de fósforo y de azufre amoniacal.
10. El STAR de la invención de conformidad con la reivindicación 8 ó 9 donde el sistema de pantanos comprende un depósito o más conectados en paralelo y con una relación largo – ancho desde 1: 2 hasta 2:2.
11. El STAR de la invención de conformidad con la reivindicación 8, 9 ó 10 donde el sistema de pantanos podrá contar con un sistema de aireación adicional que consiste en tubería horizontal de PVC de 2.5 cm de diámetro, perforada de la mitad hacia abajo para evitar que los sólidos la tapen y conectada a una bomba que funciona con celdas solares, estas líneas serán adicionales a la de salida del pantano, el cual deberá contar con una adaptación para inyectar aire y disminuir el acumulamiento de sólidos.
12. El STAR de la reivindicación 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 u 11, en donde el módulo 7, comprende un tratamiento terciario que se constituye de una caja de contacto con cloro, que es un depósito de concreto que comprende: tubo del influente que proviene de los pantanos (80), tinaco almacén de solución de hipoclorito de calcio (81), tubo de entrada del cloro (82), segmentos (83) delimitados por paredes comunicados en zig-zag (84), tubo de salida del agua tratada (85), podrá utilizarse un

sistema de desinfección con luz ultravioleta.

13. El STAR de la invención de conformidad con la reivindicación 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 9, 10, 11 ó 12 donde se incluye un biodigestor anaerobio o un sistema de biodigestores anaerobio en el módulo 3.
14. El STAR de la invención de conformidad con la reivindicación 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 9, 10, 11, 12 ó 13 que podrá utilizarse para el tratamiento de las aguas residuales en una casa o varias casas que se encuentren cerca ó en localidades rurales o semiurbanas.

CBB\CBB\ID-457692\WPC22523

SISTEMA Y PROCESO MULTIFUNCIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La invención se refiere a un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales (STAR) para conformar una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), caracterizada por la relación funcional y estructural entre sus componentes.

ANTECEDENTES

Las aguas residuales se definen como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y similares, así como la mezcla de ellas e incluyen aguas pluviales. El tratamiento de limpieza de las aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente de uso humano. Las aguas residuales pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: mediante tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y bombas, a una planta de tratamiento municipal. Aunque los procesos de tratamiento de agua residual pueden tardar unas horas, generalmente implican gran gasto de energía por el uso de equipo de bombeo y porque requieren de personal con cierto grado de especialización para su operación y mantenimiento.

Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales; en el caso de México se refiere a la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, en la cual se establecen los límites máximos de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales; se establecen algunos parámetros físicos, químicos y biológicos y sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Municipales en Operación 2012 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), al cierre de 2011, se registraron 2,289 plantas de tratamiento de agua en operación, con una capacidad instalada de 137,082 lt/seg; de ellas las tecnologías de "lodos activados" y de "lagunas de estabilización" son las que representan en el mercado nacional el mayor número de caudal tratado y plantas instaladas respectivamente (CONAGUA), (Figuras 1A y 1B).

De manera general el tratamiento de aguas residuales comienza por el tratamiento primario que se refiere al asentamiento de sólidos, aquí se hace una separación física inicial de sólidos grandes (basura) presentes en la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas, aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente el flujo se hace pasar por un desarenador (separador de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria que separa los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para eliminar metales disueltos (plomo y fósforo principalmente) se utilizan reacciones de precipitación. Continúa un tratamiento secundario que consiste en el tratamiento biológico de la materia orgánica presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente; la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica

sólida ocurre por la acción de bacterias. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar el tratamiento terciario, procesos adicionales que pueden implicar la desinfección, filtración, microfiltración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural o al terreno superficial, al subsuelo, etc. Las diferencias intrínsecas entre cada uno de los procesos da como resultado diferencias en la eficiencia del sistema, ya sea desde el punto de vista de su facilidad de operación o de la calidad final del agua tratada.

Los tratamientos secundarios pueden basarse en la tecnología de lodos activados con algunas variaciones en sus mecanismos, por ejemplo: los fangos ó lodos filtrantes, las camas filtrantes ó camas de oxidación donde se forman películas biológicas de oxidación en el material de la cama (carbón, piedra caliza, plásticos, etc), sistemas de placas rotativas y espirales de movimiento lento que se sumergen en las aguas y también se crean películas bióticas, reactores biológicos de cama o de filtros, filtros biológicos, por mencionar algunos. Los lodos activados son un proceso biológico utilizado para la depuración natural (biorremediación) de las aguas residuales que consiste en mezclar y airear el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) en un tanque denominado reactor; primero ocurre un tratamiento aerobio de las aguas residuales, debido a la presencia de un cultivo aeróbico de microorganismos en suspensión que oxidan la materia orgánica y luego ocurren otros procesos de biodegradación u oxidación de la materia orgánica disuelta y de biosíntesis ó producción de nueva biomasa celular, la finalidad es la producción de un clarificado ó agua sin materia orgánica en suspensión y baja en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), y en Sólidos Suspendidos Totales (SST) que es materia orgánica suspendida. La tecnología con lodos activados implica el uso de bombas entre los tanques de aireación y de sedimentación, además de equipos de compresores de aire para suministrar oxígeno disuelto y promover el crecimiento de organismos biológicos que remueven substancialmente materia orgánica y un sistema de retorno de lodos para mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación, de hecho las plantas de lodos activos conocidas en el estado de la técnica cuentan con una variedad de posibles modificaciones. El efluente puede ser sometido a otro tratamiento (terciario) antes de ser utilizado. (Winkler M.A., 1998. Ramalho R.S. 2003.).

Otro ejemplo de tratamiento secundario son las lagunas, éste también es un método de biorremediación basado en la actividad microbiana, son depósitos construidos mediante excavación y compactación de la tierra que almacena agua de cualquier calidad por un periodo determinado; constituyen un tratamiento alterno ya que permiten un manejo sencillo del agua residual, la recirculación de nutrientes y la producción primaria de alimento en la cadena alimenticia. Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden una o varias series de lagunas las cuales se clasifican principalmente dependiendo del tipo de reacción biológica predominante, que puede ser: anaerobias, aerobias, facultativas o de oxidación. El tratamiento inicial se lleva a cabo en una laguna anaerobia, la cual se diseña principalmente para la remoción de SST y parte de la fracción soluble de materia orgánica disminuyendo la DBO. En el siguiente tratamiento en la laguna facultativa se remueve la mayoría de la fracción remanente de la materia orgánica suspendida por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas; el último paso de una serie de sistemas lagunares se lleva a cabo en lagunas de maduración donde ocurre la remoción de patógenos y nutrientes (principalmente Nitrógeno). Las lagunas de estabilización son particularmente adecuadas para países tropicales y subtropicales dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación,

sin embargo constituyen la tecnología de tratamiento de aguas residuales más costosa ya que requiere la inversión en extensiones grandes de terreno lo cual puede ser una limitante si además no existe disponibilidad de terreno. (Romero Rojas J.A. 2005; Sasse, L. 1998; Seabloom y Hanson 2004).

5 Otro sistema de tratamiento son los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), éstos son reactores de lecho de relleno utilizados en la reducción de materia orgánica disuelta con la ayuda de microorganismos anaerobios, que se encuentran adheridos sobre la superficie del material de relleno. Los FAFA son un componente ocasional de plantas de tratamiento, el agua residual es alimentada al filtro a través del fondo, y el flujo del agua ascendente pasa a través de un cuerpo poroso, llevándola
10 al contacto con una fina biopelícula de microorganismos adheridos a la superficie, o floculados, donde se realiza el proceso de degradación anaerobia. Los filtros anaerobios generalmente operan, con razonable eficiencia de remoción de carga contaminante (ésta se expresa como unidades de masa por unidad de tiempo aportada en una descarga de aguas residuales), en el rango de 25 a 38 °C. El principal problema con los sistemas de FAFA es el frecuente taponamiento debido al diseño de los
15 canales y al diámetro del estrato de piedra utilizado; esto dificulta y encarece su operación. (Gallego D., Montoya, J. y Valverde J. 2007; Malina, J., y Pohland, F. 1992).

El número de patentes encontradas que cumplen con los requerimientos de agua residual municipal es muy pequeño, la primera de ellas surge en 2001 y a la fecha las patentes relacionadas
20 con el tema, son muy reducidas. China es, por mucho, el país que más está trabajando en el desarrollo de sistemas de tratamiento que no hacen uso de energía eléctrica y que usan tratamientos biológicos y físicos, por ejemplo la solicitud PCT/CN2010/073031 se refiere en sistema de tratamiento donde combina un colector, una zona de ajuste, un filtro, un tanque aerobio/anaerobio con múltiples etapas, un biorreactor, una zona de oxidación catalítica y una zona de filtro de carbón activado donde
25 el efluente cumple con la norma nacional. Entre otros ejemplos citamos a la solicitud de patente US 5,951,866 se refiere al uso de un bioreactor tipo pantano: que implica el uso de tubos subterráneos para evitar el congelamiento del agua y es diseñado así para climas fríos o nórdicos; y la patente US 6,517,723 se refiere a un bioreactor que combina tratamientos anóxicos con tratamientos aeróbicos, es un sistema de lodos activados y tiene filtros de membrana sumergidos para pasar de un sistema a
30 otro.

La patente MX 265382 "Proceso anaerobio para el tratamiento de aguas residuales utilizando pantanos artificiales", forma parte del estado del arte previo más cercano a la invención, de hecho la invención deriva del procedimiento reivindicado en dicha patente que consiste en 5 etapas: 1)
35 pretratamiento que puede contar con un cárcamo de bombeo, 2) digestores anaerobios, 3) filtros anaerobios de flujo ascendente, 4) pantanos artificiales de flujo subterráneo múltiple con una relación largo ancho de 1:2, 5) sistemas para la deshidratación de lodos provenientes de los biodigestores anaerobios. La eficiencia lograda es de hasta el 85 %. El sistema se puede modular en función del agua residual y así establecer el número de elementos a utilizar. Se describe la estructura del
40 biodigestor, construido de concreto armado con espesor de 0.20 m, tanto en los muros como en la losa de sedimentación, al interior se secciona con tres tolvas para lograr captar todo el lodo como producto de la mineralización de la materia orgánica, misma que podrá ser retirada por efecto de carga hidráulica ya que se instalan seis válvulas de desfogue de forma lateral al biodigestor; también se encuentra seccionado en dos grandes depósitos para seleccionar el agua que ya está procesada
45 pero cuidando que el movimiento del agua se realice de manera uniforme. Debido a la producción de

gases como metano y bióxido de carbono se instalan unas salidas en la parte superior de la losa para conducirlo a una cámara que contienen en la parte superior un estrato de zeolitas, para mitigar el olor. Posteriormente se circula el agua por el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA). Este elemento tiene dos cajas distribuidoras de gasto para un mejor control y limpieza natural, la canalización de las aguas se realiza a través de tubería de cobre de 7.5 cms de diámetro, con el objeto de lograr una mayor duración ante los rayos ultravioleta. El agua se deposita en la parte baja del FAFA y por diferencias de presión tenderá a subir, la ubicación adecuada de los tres canales de aluminio recolectará el agua en la parte superior, pasando por un medio inerte de piedra bola de río o tezontle de diámetro mayor a 12.5 cms, parte donde se genera una biomasa que elimina a la materia orgánica. Este proceso ayuda a la mineralización depositándose estos elementos en el fondo y posteriormente podrá ser retirado por medio de dos válvulas laterales del FAFA. El objeto de este elemento es lograr disminuir el DBO y SST en un 45% adicional al obtenido en el biodigestor, para lo cual se tendrá un tiempo de residencia hidráulica de 24 horas. El afluente obtenido del FAFA se distribuye luego en pantanos artificiales de flujo subterráneo, obteniéndose una eficiencia de purificación del 85%. El sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) objeto de la presente invención si bien se basa en el procedimiento descrito en la patente MX 265382, incluye una serie de modificaciones indispensables para un eficiente desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), estas modificaciones son el resultado del trabajo experimental desarrollado con el primer proyecto, de manera que en esta invención se provee de todos aquellos elementos que conforman un STAR y una PTAR más eficientes. En la descripción detallada se identifican los cambios críticos que determinan una mejor eficiencia del sistema.

El sistema de tratamiento de aguas de la invención (STAR) ha sido analizado en una planta de tratamiento (PTAR) en condiciones específicas que más adelante se detallan y cumple con la normatividad mexicana, específicamente con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 que indica los valores máximos permisibles de contaminantes en descargas para aguas residuales en aguas y bienes nacionales, por lo que se obtiene un agua de calidad y con posibilidad de uso. Es importante remarcar que no hay otras normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

El STAR y la PTAR de la invención proveen de elementos necesarios que mejoran su funcionamiento y eficiencia en condiciones de volumen extremas es decir tanto en aquellas situaciones en donde el aporte de agua es muy variable y el volumen puede ser muy elevado por la precipitación pluvial, y situaciones en donde por la geografía del lugar el volumen es muy escaso y por consiguiente el acumulamiento de sólidos en el agua es mayor.

El STAR y la PTAR de la invención son adecuadas para cubrir localidades con menos de 2,500 habitantes, solamente en México existen más de 188 mil localidades así que representan el 98% del total de localidades del país, y representan al menos la cuarta parte de la población, el 23%. Es importante mencionar que la NOM-01-SEMARNAT-1996 establece que este tipo de localidades no están obligadas a instalar una planta, pero continúan afectando al medio ambiente, se trata de aproximadamente 26'220,000 habitantes que realizan descargas de aguas residuales sin tratamiento a los ríos, el problema de contaminación se agrava si se suma a lo que aportan las ciudades medias

con una población de 35 mil habitantes; el STAR de la invención y la PTAR de la invención son una excelente aportación para la resolución de este problema sin consecuencias negativas como lo son la contaminación con otros productos químicos, alto consumo de energía o la dependencia de tecnologías complejas que requieren personal especializado para su operación y mantenimiento. La mayoría de las pequeñas localidades se encuentran ubicadas en el medio rural y las autoridades no cuentan con recursos económicos que les permitan operar la infraestructura existente, por lo que se vuelve una situación urgente el proporcionar un sistema de tratamiento de aguas residuales que sea de bajo costo en el consumo de energía, que no utilice productos químicos y que su operación sea posible sin personal calificado.

A continuación se describe de manera detallada las etapas del sistema de tratamiento, las partes que lo conforman y las instalaciones que debe incluir.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LAS FIGURAS:

Figura 1.A: Caudal tratado por tipo de STAR en México (Inventario Nacional de Plantas municipales de potabilización tratamiento de aguas residuales en operación, Diciembre 2011 CONAGUA).

Figura 1.B: Porcentaje de STAR instalados en México. (Inventario Nacional de Plantas municipales de potabilización tratamiento de aguas residuales en operación, Diciembre 2011 CONAGUA).

Figura 2: Diagrama de flujo del sistema que muestra 7 etapas. DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), SST (sólidos en suspensión totales).

Figura 3: Perfil hidráulico del STAR de la invención, se esquematizan los equipos principales de las 7 etapas de tratamiento del STAR y su disposición, que incluye: caja reguladora de entrada con desfogue (1), pretratamiento (tratamiento primario) consistente en cribas para separación de sólidos y canales desarenadores (2); biodigestor anaerobio (3); filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) (5); lechos de secado (4); pantanos artificiales de flujo subterráneo (6); canal de contacto con cloro (tratamiento terciario) (7).

Figura 4.A: Esquema Planta de la caja reguladora. Se indican: la caja (8), el tamaño de la caja puede variar en función al tamaño de la tubería del drenaje de aguas negras, el tubo para el influente (9), tubo para desfogue o demasías (10), marco guía (11), compuerta reguladora de salida de operación manual (12), tubo de salida de la caja reguladora (13) con interconexión al pretratamiento.

Figura 4.B: Esquema Corte de la caja reguladora. Se indican: la caja (8), el tamaño de la caja puede variar en función al tamaño de la tubería del drenaje de aguas negras, el tubo para el influente (9), tubo para desfogue o demasías (10), compuerta reguladora de salida de operación manual (12), tubo de salida de la caja reguladora (13) con interconexión al pretratamiento.

Figura 4.C: Aspecto de la compuerta. Se indica: marco guía (11).

Figura 5.A: Esquema Corte del sistema de pretratamiento con sistema de bombeo. Se indican: tubo de entrada que viene de la caja reguladora (13), un canal de llegada (14) con dos rejillas, una de

tamiz grueso (15) rejilla de tamiz fino (16), escalinata para mantenimiento (17), compuertas de operación manual (una para cada desarenador) (18), canales desarenadores (19), vertedor sutro o proporcional (20), cárcamo de bombeo y tubería de succión de los equipos de bombeo (21), sistema de bombeo (22), válvulas check y de vástago fijo (23).

5

Figura 5.B: Esquema Planta del sistema de pretratamiento con sistema de bombeo; muestra dos desarenadores. Se indican: canal de llegada (14) con dos rejillas, una de tamiz grueso (15) rejilla de tamiz fino (16), escalinata para mantenimiento (17), compuertas de operación manual (una para cada desarenador) (18), canales desarenadores (19), vertedor sutro o proporcional (20), sistema de bombeo (22), válvulas check y de vástago fijo (23), salida a caja reguladora de velocidad en la parte superior del biodigestor (24), continúa la conexión hacia una caja reguladora de velocidad (24b).

10

Figura 6.A: Aspecto del sistema de pretratamiento sin sistema de bombeo durante su construcción. Se indican: rejilla de tamiz fino (16), canales desarenadores (19).

15

Figura 6.B: Aspecto del sistema de pretratamiento sin sistema de bombeo que muestra el orden de las rejillas. Se indican: rejilla de tamiz grueso (15) y rejilla de tamiz fino (16).

Figura 6.C: Aspecto del sistema de pretratamiento sin sistema de bombeo que muestra la rejilla de tamiz grueso en operación.

20

Figura 6.D: Aspecto de las dos cajas desarenadoras. Se indican: rejillas de tamiz fino (16), canales desarenadores (19), vertedor sutro o proporcional (20), caja de entrada (24c).

25

Figura 7.A: Esquema del biodigestor anaerobio: Corte de uno de los dos compartimentos que se requieren en el biodigestor, se indican: Caja de entrada (24c) cuando no hay sistema de bombeo, tubo de llegada (25), subdivisión que forma 2 compartimentos (26, 27), y el primero (26) posee a su vez dos zonas tolvadas (28, 29), conectado por una serie de tubos comunicantes (30) a 1.50 mts de altura (31) con el siguiente compartimento secundario (27), con una zona tolvada (32), un tubo de salida (33) y tubo para salida de lodos (37); encima de cada zona tolvada se encuentra una tapa para mantenimiento de tolvadas (34, 35, 36).

30

Figura 7.B: Esquema del biodigestor anaerobio: Planta con los dos trenes de tratamiento, se indican: subdivisión que forma 2 compartimentos (26, 27), y el primero (26) posee a su vez dos zonas tolvadas (28, 29), conectado por una serie de tubos comunicantes (30), zona tolvada (32), tubo de salida (33), tubo para salida de lodos (37), caja de válvulas para la eliminación de los sólidos de cada tolva (38).

35

Figura 7.C: Planta de la losa superior del biodigestor (39) con seis tapas para mantenimiento de tolvadas (34, 35, 36), caja de entrada (24c) cuando no hay sistema de bombeo, tubo de llegada (25), tubo de salida (33), caja de válvulas para la eliminación de los sólidos de cada tolva (38), sistema de tuberías para la recolección del biogás en cada compartimento (40) y cajas concentradoras de biogás donde se hace pasar por una capa de zeolitas para su filtración (41).

40

Figura 7.D: Diseño para salida de lodos, se indican: tubo para salida de lodos (37), con respiradero para succionar aire (37a), con tapón de mantenimiento (37b), que tiene conexión hacia una caja de

45

válvulas para la eliminación de estos sólidos de cada tolva (38), válvula de compuerta (38a), nivel de agua máximo (n1), nivel de agua extraordinario (n2).

Figura 8.A: Esquema que indica el funcionamiento y diseño de un biodigestor convencional.
(Reynolds y Richards, 1996).

Figura 8.B: Aspecto de la caja reguladora de velocidad (24b) y su localización con respecto a los biodigestores.

Figura 8.C: Aspecto y ubicación de la caja de válvulas (38) para purga de lodo de los biodigestores y disposición de las tres válvulas de vástago fijo.

Figura 8.D: Aspecto de la losa de los biodigestores, se ubican la caja de captación de biogás (41), las tapas (34), (35) y (36) y la caja reguladora de velocidad (24b).

Figura 9.A: Esquema corte del sistema de filtrado (FAFA), se indican: Caja semicircular distribuidora del agua en proceso y proveniente de los biodigestores (43), serie de tubos de PVC, forrados con mortero cemento-arena y armado con malla de gallinero (44) y que se continúan de manera vertical hasta conectar con el falso fondo en donde descargan (45), la zona donde se encuentra el material pétreo filtrante (45b), las zonas de los canales recolectores laterales (46), canal concentrador y recolector adosado al frente (48), salida del agua tratada del canal frontal (49).

Figura 9.B: Esquema planta del sistema de filtrado (FAFA), se indican: Cajas de válvula para purga de lodo (42), cajas semicirculares distribuidoras del agua en proceso y proveniente de los biodigestores (43), serie de tubos de PVC, forrados con mortero cemento-arena y armado con malla de gallinero (44) y que se continúan de manera vertical hasta conectar con el falso fondo en donde descargan las zonas de los canales recolectores laterales (46), canal recolector central (47), canal concentrador y recolector adosado al frente (48), tapas para mantenimiento y verificación en los canales laterales (50), desfogue y ventilación de biogás para evitar el deterioro de la losa del FAFA (51).

Figura 9.C: Aspecto de canal recolector central (47) del efluente del FAFA, se aprecian las dos cajas semicirculares (43) en disposición simétrica y las series de tubos (44).

Figura 9.D: Aspecto de las cajas de llegada (43).

Figura 10.A: Esquema corte de los lechos de secado. Se indican: tubo de entrada (52) de lodo proveniente del FAFA y del biodigestor, compuerta (52b), losa disipadora (52d), fondo de arcilla mezclada con cal para evitar filtraciones al subsuelo (53), tubo perforado para recolección de lixiviado (54), capa de grava gruesa (55), capa de grava mediana (56), capa de arena (57), salida del tubo de recolección (58) cárcamo para concentración de lixiviados (59).

Figura 10.B: Esquema planta de dos lechos de secado contiguos una para el biodigestor y otro para el FAFA. Se indican: tubo de entrada (52) de lodo proveniente del FAFA y del biodigestor, compuerta (52b), canal distribuidor (52c), losa disipadora (52d), tubo perforado para recolección de lixiviado (54), cárcamo para concentración de lixiviados (59), muro-pasillo con escalinatas que separa a los dos

lechos de secado debido a la diferencia de niveles (60)

Figura 10.C: Aspecto exterior de los lechos de secados, se muestran: tubo de entrada de lodo proveniente del biodigestor, compuerta (52b), canal distribuidor (52c), fondo de arcilla mezclada con cal para evitar filtraciones al subsuelo (53) y pasillo de acceso (60).

Figura 11.A: Esquema planta de los pantanos artificiales. Se indican: perímetro de muro de concreto (61), caja concentradora/distribuidora proveniente del FAFA (62), tubo para entrada al pantano bidireccional con el objeto de lograr que el flujo del agua en tratamiento se realice uniformemente (64), tubo conector (65) y tubo bidireccional (66) de cada lado, estos tres tubos 64, 65 y 66 son distribuidores del flujo y nos permite que éste se realice de manera homogénea como flujo pistón, el tubo 66 tiene a su vez salidas a lo largo a cada 1.50 mts. Se incluye un tubo independiente inyector de aire para aumentar el volumen de oxígeno cuando las cargas orgánicas sean altas con equipo que utilice energía solar (67), zona de grava gruesa de 10 a 12.5 cms (69), zona de grava mediana de 5 a 7.5 cms (68), plantas del tipo tule (70), caja recolectora (74).

Figura 11.B: Esquema corte de los pantanos artificiales. Se indican: caja concentradora/distribuidora proveniente del FAFA (62), tubo para el influente (63) y tubo de entrada al pantano (63b), tubo bidireccional (66), zona de grava gruesa de 10 a 12.5 cms (69), zona de grava mediana de 5 a 7.5 cms " (68), plantas del tipo tule (70), nivel de agua (71), capa de 10 cm de grava de 2.5 cms para evitar el calentamiento del agua en el pantano y evitar malos olores (72), tubo con perforaciones recolector del efluente corre a lo largo (73), este tubo se prolonga (73b) hacia la caja recolectora (74) y determina el nivel de agua en los pantanos, en la parte baja y antes del codo se colocan piezas especiales de PVC para que permita el movimiento giratorio del tubo (73b) y así fomentar el crecimiento de la rizoma de la planta (70), caja recolectora (74), tubo recolector del agua tratada y se utiliza como salida hacia la caja de contacto con cloro (75), en el mismo tubo recolector (73) se va a conectar otro tubo (76) para inyectar aire a presión para remover el acumulamiento de lodos que causa que el flujo no se realice adecuadamente, material pétreo (77).

Figura 11.C: Aspecto de la geo-membrana que sobresale en el perímetro de los pantanos (78) y es sostenida en la orilla con una solera de aluminio (79), caja concentradora/distribuidora proveniente del FAFA (62), capa de grava de 2.5 cms (72).

Figura 11.D: Aspecto de los pantanos con las plantas tipo tule (70) y aún sin plantas donde se observa la capa de grava (72).

Figura 12.A: Corte de la caja de contacto con cloro. Se indican: tubo del influente que proviene de los pantanos (80), tinaco almacén de solución de hipoclorito de calcio (81), segmentos (83) delimitados por paredes comunicados en zig-zag (84), tubo de salida (85).

Figura 12.B: Planta de la caja de contacto con cloro. Se indican: tubo del influente que proviene de los pantanos (80), tinaco almacén de solución de hipoclorito de calcio (81), tubo de entrada del cloro (82), segmentos (83) delimitados por paredes comunicados en zig-zag (84), tubo de salida (85).

Figura 13: Esquema de distribución espacial de las siete etapas, indica la distribución paralela de dos

pantanos artificiales de flujo subterráneo, incluye 2 sistemas de biodigestión. Se indica la ubicación de la caja concentradora (49b) que recibe el efluente del FAFA.

Figura 14: Esquema de distribución espacial de las siete etapas, indica la distribución paralela de 4 pantanos artificiales de flujo subterráneo, incluye 2 sistemas de biodigestión. Se indica la ubicación de la caja concentradora (49b) que recibe el efluente del FAFA.

Figura 15: Esquema de distribución espacial de las siete etapas, indica la distribución paralela de 8 pantanos artificiales de flujo subterráneo, incluye 4 sistemas de biodigestión. Se indica la ubicación de la caja concentradora (49b) que recibe el efluente del FAFA.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION:

Se denomina aguas residuales aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua.

Se les llama también aguas servidas, aguas negras o aguas cloacales. Son residuales o servidas pues, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno. Para cuantificar el grado de contaminación y poder establecer el sistema de tratamiento más adecuado de las aguas residuales, se utilizan varios parámetros expresados en la Norma Oficial Mexicana vigente.

La presente invención es un conjunto de procedimientos y equipos para el tratamiento de aguas residuales, se basa en tratamientos conocidos en el estado de la técnica pero incluyen una serie de modificaciones realizadas tanto en el orden de los pasos como en los mismos equipos, la disposición o el orden de muchas de sus partes es esencial para obtener el desempeño esperado, y son resultado de la evaluación de numerosas modificaciones realizadas durante la etapa experimental; en su conjunto resultan en un Sistema de Tratamiento de Aguas residuales (STAR) más eficiente que guía la construcción de en una Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) más eficiente. La calidad del agua tratada con el STAR y la PTAR de la invención cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 para las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

El STAR y la PTAR de la invención están diseñados para atender desde una casa hasta comunidades de 30 mil habitantes o más de existe área disponible para instalar la PTAR, y tiene la posibilidad de incrementar su capacidad en la medida en que se aporten nuevos elementos en cada una de las diferentes etapas, sin necesidad de sustituir los elementos que se encuentran operando, y simplemente se requiere añadir módulos y adaptarlos. En esta descripción se provee de los elementos necesarios que mejoran el funcionamiento y eficiencia del STAR y de la PTAR en condiciones de volumen extremas es decir, tanto en aquellas situaciones en donde el aporte de agua es muy variable y el volumen puede llegar a ser muy elevado por la precipitación pluvial, y situaciones en donde por la geografía del lugar el volumen es muy escaso y por consiguiente el acumulamiento de sólidos en el agua es mayor. También es un sistema de muy flexible adaptación a las variaciones

de carga en las aguas residuales, las cuales además no siguen un patrón determinado, así como a las variaciones geográficas del lugar y del terreno; el STAR de la invención se adapta sin perder la eficiencia en el sistema de depuración.

5 Los desechos o contaminantes orgánicos son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Los índices para medir la
10 contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en agua, o la demanda biológica de oxígeno (DBO). Los parámetros o variables que se utilizaron como referencia para determinar la calidad del agua, para la evaluación del STAR de la invención, fueron: Los Sólidos suspendido totales (SST) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

15 El parámetro más utilizado es la DBO, esta se define como la concentración de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos, presentes en el agua o añadidos a ella para efectuar la medición, en la oxidación de toda la materia orgánica presente en la muestra de agua. Generalmente en las aguas de origen doméstico este valor fluctúa entre los 200 a 300 mg/lit y puede llegar a ser de 500 mg/lit. El valor de DBO debe ser inferior a 8 mg/lit para ser considerada al agua como potable, sin
20 embargo, para las plantas de tratamiento de agua residual en general es suficiente con obtener una DBO menor a 100 mg/lit, de acuerdo con las normas oficiales, el agua así tratada puede ser descargada a un afluente natural sin representar una fuente de contaminación de dicho afluente tal que dañe al medio ambiente. La PTAR de la invención garantiza la obtención de una DBO de 75 mg/lit, y modificando varios parámetros de la misma, se pueden obtener niveles de DBO menores de
25 30 mg/lit, hemos conseguido obtener una disminución de DBO a un nivel de 15 mg/lit; con estos valores la descarga del agua tratada con la PTAR de la invención puede hacerse incluso en ríos o cuerpos de agua con clasificación C, es decir, que tienen vida acuática, de acuerdo con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

30 Los sólidos suspendidos totales (SST) de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103 – 105 °C hasta peso constante; el incremento de peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos, si el material suspendido taponar el filtro y prolonga la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales puede dar un estimativo
35 de los sólidos suspendidos totales. Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida, en un intervalo de 4 a 20.000 mg/lit.

El STAR de la invención está conformado básicamente por un tren de siete etapas indispensables cuyos elementos están conectados en serie, mismos que se ilustran en la figura 2 y 3.
40 Las condiciones de entrada del agua residual son: SST > 400 mg/lit, pudiendo llegar hasta 500 mg/lit; y DBO > 350mg/lit, las condiciones de salida con el STAR de la invención son: SST<70 mg/lit pudiendo llegar a ser de 15 mg/lit; y una DBO <100 mg/lit pudiendo llegar a estar en el rango de 30 a 15 mg/lit, por lo que la eficiencia puede llegar a ser del 95 al 100%. En una topografía inclinada del terreno donde se localice la PTAR, el tren de 7 etapas funciona sin necesidad de un cárcamo de
45 bombeo entre la etapa 2 y la etapa 3. Si la topografía es plana, solamente se requiere el cárcamo de

bombeo entre las etapas 2 y 3 ya que el resto son instalaciones localizadas por encima del nivel topográfico y los desniveles entre las etapas 3 a 7 se generan de manera que no requiere de bombeo. En la figura 3 se ilustra la disposición de los 7 elementos o etapas donde entre las etapas 2 y 3 existe un desnivel suficiente para su operación sin bombeo.

5

El esquema de etapas de tratamiento que presenta el STAR que se ilustra en la figura 3 comienza con una caja reguladora de entrada con desfogue (1), continúa con el pretratamiento (tratamiento primario) consistente en cribas para separación de sólidos y canales desarenadores (2); seguidos de una serie de tres diferentes tratamientos biológicos (tratamientos secundarios) primero por unas fosas sépticas tolvadas donde se acumulan y degradan biosólidos por vía biológica anaerobia (biodigestor) (3); posteriormente el agua efluente pasa a un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) donde continúa la degradación biológica de material orgánico contaminante (5); después el agua residual pasa por un sistema de pantanos artificiales de manera subterránea conocidos como Vegetated Submerged Bed, (VSB) (6) (Seabloom y Hanson (2004) Constructed wetlands: A Critical Review of Wetland Treatment Processes. University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management.) para un pulimiento del agua y finalmente pasa a un canal de contacto con cloro (tratamiento terciario) (7) para poder verterlo a una tubería que lo conducirá a un río cercano. El STAR incluye la etapa 4 que no es parte del tratamiento pero es esencial para el funcionamiento del mismo, es un lecho de secado para limpiar tanto el FAFA como el biodigestor de los lodos acumulados (4).

Una de las características más importantes que describen al STAR de la invención es la facilidad de ser instalada en un terreno con declive o pendiente, lo cual determina que el flujo sea por gravedad, esto hace del STAR un sistema eficiente sin requerimiento de energía (sistemas de bombeo) para su funcionamiento. En la figura 3 se presenta un esquema del perfil hidráulico del STAR que incluye los datos sobre el declive del terreno en cada una de sus etapas así como la disposición que debe guardar los equipos de las 7 etapas entre sí o bien cada parte de los equipos entre sí, cuando tal disposición o dimensiones resulten necesarias para el desempeño de la PTAR. Cuando se cuenta con una diferencia de 1.50 mts entre el nivel de arrastre del tubo con respecto al terreno natural donde se va a construir la planta de tratamiento se puede garantizar que el proceso no requiere de energía para su operación, si no existiese esta diferencia de nivel, el problema se resuelve con la instalación de un cárcamo de bombeo entre las etapas 2 y 3.

Primera etapa: regulación del volumen de entrada.

La operación del sistema descrito en la patente MX 265382 incluía el desfogue colocado como parte integral del pretratamiento a solo una distancia de 30 cm de la primera rejilla gruesa, esta situación fue valorada experimentalmente y se determinó que esto ocasionaba baja eficiencia del sistema, ya que las infiltraciones de aguas pluviales al drenaje, y la variación del volumen de aguas servidas durante el día, ocasionaron que no se lograran obtener buenos resultados en el control de entrada del agua a la planta de tratamiento; pudimos concluir que las grandes variaciones en el volumen de carga debido a las infiltraciones pluviales, resultaban en una reducción en la eficiencia del sistema descrito en esta patente.

Lo anterior dio lugar a la inclusión de un paso previo de regulación de aguas de entrada, en este caso consiste en la inclusión de una caja reguladora de volumen que resultó en una solución adecuada para controlar las variaciones de flujo del agua residual, causado por el consumo de los

habitantes (en la mañanas es mayor el uso del agua porque se utiliza para las actividades e higiene en los hogares; por las mismas razones en la tarde el volumen es medio; por la noche el uso del agua es mínimo) además de aquellas situaciones donde se presentan infiltraciones importantes de agua pluvial. La inclusión de la caja reguladora de entrada es una de las modificaciones que caracterizan al STAR de la presente invención y que resultó ser un paso necesario para el funcionamiento del sistema en lo referente al manejo del volumen, su uso es fácil ya que es de operación manual, con esta caja reguladora el volumen se puede mantener a un flujo constante.

De acuerdo con el diagrama de la figura 4.A y de la figura 4.B, la primera etapa del STAR de la invención consiste en el paso del agua proveniente del drenaje por la caja reguladora de entrada que consiste del cárcamo de la caja (8), el tamaño de la caja puede variar en función del tamaño de la tubería del drenaje de aguas negras, un tubo para el influente (9), un tubo para desfogue o demasías (10) con un marco guía que indica el nivel al cual se debe realizar el desfogue, una compuerta reguladora de operación manual (12), un tubo de salida para interconectar con el pretratamiento (13).

El agua de drenaje llega a la caja en tuberías de concreto al STAR, entre los cuales debe existir una diferencia de nivel de 1:50 mts; esta diferencia de nivel puede aprovecharse desde las etapas 1 y 2 pero puede aplicarse en las etapas 2 y 3. La caja reguladora funciona como un pozo de visita pero que además contiene una compuerta que permite controlar el flujo de entrada a la STAR y un marco guía de acero y posteriormente se coloca una duela de madera, con el cual se desfoga el agua excedente en caso necesario, tal y como lo marca la normatividad, en las figuras 4.A y 4.B se ilustra el aspecto de la caja con la disposición de entradas y salidas en la vista de planta y de corte.

Durante la operación del sistema, la etapa de regulación del volumen de agua es crítica para mejorar en gran medida la eficiencia del sistema en general ya que solo ingresa el volumen que puede soportar el sistema. La inclusión de la caja reguladora de volumen no solo permitió un buen funcionamiento de toda la PTAR sino que mejoró el desempeño esperado y que se cumpla con los parámetros establecidos.

Segunda etapa: pretratamiento.

Continúa el sistema con la segunda etapa de pre-tratamiento o tratamiento primario, consistente en el paso del agua por un cribado grueso para separación de sólidos mayores, en esta etapa ya no se requiere un control del volumen de agua residual que ingresa a la planta sino que solo ocurre una disminución de la velocidad del agua y se garantiza un gasto constante para mantener la velocidad de flujo homogénea durante todo el proceso, en las figuras 5.A y 5.B se ilustran los elementos del pretratamiento y su disposición.

El pre-tratamiento consiste en el flujo del agua que viene de la caja reguladora (13) por un canal de entrada con un mínimo de 30 cm de ancho (14), con 2 cribas ó rejillas inclinadas (15, 16) de limpieza manual, separadas entre sí por una distancia de 0.30 mts. La primera rejilla es de barras de solera de 3.75 cms de ancho y 0.9 cms de espesor con una separación entre barras de 2.54 cms; la segunda rejilla es de barras de solera de 3.75 cms de ancho y 0.94 cms de espesor con separación entre barras de 1.27 cms, estas medidas del espacio entre las barras a rejillas son las adecuadas para tamizado grueso para separación de sólidos de gran tamaño que comúnmente ocasionan problemas en operaciones posteriores (como bolsas, botellas de plástico, hojas, piedras y otros

objetos,) y para limpieza manual de acuerdo a Crites y Tchobanoglous, 2000, y que en el caso de una PTAR municipal, se considera el concepto de ahorro en la operación y mantenimiento. En seguida el canal se bifurca y continúa por dos canales longitudinales de tipo horizontal (19) con una compuerta de entrada de operación manual para cada uno (18) para determinar cuál de los dos canales se va a utilizar en tanto que el otro puede ser sometido a limpieza o mantenimiento, estos dos canales son desarenadores del agua residual y al final pasa por vertedores tipo sutro proporcional al final de cada canal, hechos de placa de acero de 0.625 cms (20) para mantener una velocidad máxima del flujo del agua de 0.30 m/seg para así permitir que las arenas se sedimenten. En estos canales desarenadores por efecto de equilibrio entre las fuerzas de fricción del líquido y los sólidos, se provoca la sedimentación de partículas como cenizas, trozos de cascarón de huevo, astillas de huesos, semillas, y otros fragmentos de tamaño y peso similar, denominadas comúnmente como arenas que se depositan en el fondo permitiendo su remoción de forma manual. Sus dimensiones varían en función al gasto que va a tratar la planta.

Es importante recalcar que el principal parámetro a controlar en esta operación es la velocidad horizontal del flujo, la velocidad con la que viene de la caja reguladora es ideal, pero al final de la segunda etapa se requiere un cambio de velocidad que usualmente se consigue con un canal Parshall o con un vertedor proporcional o sutro (Reynolds y Richards, 1996; Metcalf y Eddy, Inc., 2003; Crites y Tchobanoglous, 2000) colocado al final del canal. De manera acertada al final de cada canal desarenador del pre-tratamiento se encuentran ubicados vertederos proporcionales (20) que controlan la velocidad horizontal del flujo.

Como se ha mencionado, el desnivel natural del terreno donde se va a construir la planta de tratamiento es un factor importante, ya que si contamos con una diferencia general de 1.50 mts del nivel de arrastre del tubo con respecto al terreno natural, garantiza que no se ocuparan equipos de bombeo. En las figuras 5.A y 5.B se ilustra la 2ª etapa cuando no existe una diferencia de nivel de mínimo 1.50 mts entre esta etapa y la siguiente, entonces se incluye un sistema de bombeo (21, 22, 23, 24) y se señala la conexión con una caja reguladora (24b) que no se ilustra, esta disminuye la velocidad de llegada. En las figuras 6.A a 6.D se muestra el aspecto de los elementos de la 2ª etapa cuando no se requiere sistema de bombeo.

Los desarenadores de flujo horizontal utilizados son convenientes ya que no requieren de implementos mecánicos ni químicos para la remoción de este tipo de partículas contaminantes del agua. El hecho de que se hayan construido dos canales y que puedan aislarse el uno del otro es una práctica aceptada y recomendada en este tipo de sistemas, ya que permite una operación ininterrumpida del canal ante las labores de mantenimiento y operación requeridas cotidianamente. El efluente del pre-tratamiento es concentrado en una caja colectora a partir de la cual ingresa a las cajas de distribución de flujo de los biodigestores.

Finalmente el agua residual libre de sólidos gruesos y arenas se acumulará en una caja simplemente concentradora (24c) que se señala en la figura 6D y que se utiliza cuando no se requiere sistema de bombeo, a partir de la cual pasará al siguiente tratamiento al desbordar preferentemente por acción de la gravedad si la pendiente del terreno lo facilita, sin embargo durante el desarrollo del STAR se probó un sistema de bombeo (21, 22, 23, 24 y 24b) para el flujo del agua hacia el equipo de tratamiento de la etapa 3 (biodigestor anaerobio), el bombeo puede ser accionado por energía solar.

En el ejemplo 1 se describe la manera cómo se realiza la evaluación para la segunda etapa. La 2ª etapa del STAR de la invención presentó una buena remoción de partículas.

Las etapas contiguas: 3, 5 y 6 conforman juntas al tratamiento biológico ó secundario característico del STAR de la invención, donde refieren una serie de métodos de remoción de contaminantes orgánicos particulados y solubles para conseguir la calidad de agua adecuada para la descarga final según indica la normatividad mexicana, estos tratamientos son biológicos, básicamente anaerobios: biodigestores (etapa 3), filtros de flujo ascendente (FAFA) (etapa 5) y pantanos artificiales de flujo subterráneo (etapa 6) los cuales no requieren la extensión o área de los de flujo sub-superficial; además el subterráneo no genera mal olor ni se desarrollan larvas de mosquitos, además se obtiene mejor calidad de agua comparado con los sub-superficiales. A continuación se describen de manera detallada cada una de las siguientes etapas.

Es importante señalar que una de las características que tienen las siguientes etapas del STAR de la invención es que en ninguna de ellas tomadas de manera independiente se obtiene una calidad esperada para el tipo de tratamiento al ser evaluado de manera parcial, sin embargo, esto no tiene relevancia ya que el objetivo es obtener una calidad de agua aceptable bajo las normas hasta el final del proceso independientemente de que en las etapas intermedias no se logre la eficiencia esperada para el tipo de tratamiento. La importancia de los tratamientos del STAR de la invención: uno primario, tres secundarios y uno terciario, dispuestos como 7 etapas de manera seriada o como un tren de procesos, es que la suma de estos resulta en un agua de calidad aceptable bajo las normas y tiene este STAR una eficiencia del 90% hasta un 100% según la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

Tercera etapa: biodigestión.

La tercera etapa corresponde a la biodigestión anaeróbica; conforme con las definiciones de diversos autores (Crites y Tchobanoglous, 2000; Metcalf y Eddy, Inc., 2003; Reynolds y Richards, 1996; Lee y Dar Lin, 1999) el sistema de un biodigestor es un tanque séptico ya que tiene las funciones de sedimentar, almacenar y digerir en el fondo de cada cámara, sólidos suspendidos totales que se encuentren en el agua residual cruda.

Una de las características del STAR de la invención se refiere al diseño del biodigestor, comprende 6 zonas tolvadas necesarias para el desempeño requerido en esta etapa, durante el desarrollo del sistema se ensayaron inicialmente solo 3 compartimientos tolvados y por la experiencia acumulada al incrementar el número de tolvadas se llegó a la conclusión de utilizar los 6 compartimientos que se esquematizan en las figuras 7.A a 7.D, 8.B y 8.D; como referencia, en la figura 8.A se indica el funcionamiento de una biodigestor convencional. De manera que para la presente invención, el sistema se constituye de un biodigestor que se encuentra dividido a lo ancho en 2 compartimientos ó módulos, cada uno a su vez subdividido longitudinalmente en 2 compartimientos más (26 y 27), y el primero tiene 2 zonas o cámaras tolvadas, es decir, en forma de cono invertido, (28 y 29) cada una de estas zonas tolvadas tiene 3 metros de largo y el segundo (27) solo una zona o cámara tolvada (32) con 4 metros de largo, así que se cuenta con un total de 6 tanques sépticos independientes ó compartimientos tolvados, cuatro de 3 metros cada uno y dos de 4 metros como se indica en la figura 7.B.

El sistema para biodigestión de la invención se conforma de un biodigestor anaerobio que

permite controlar la variación de gasto y carga orgánica y homogenizar el agua residual, los sólidos se sedimentan en un 60 a un 70% y se concentran en la tolva para su posterior retiro. El sistema biodigestor del STAR de la invención que se ilustra en las figuras 7.A a 7.D, se constituye de dos tanques o compartimentos de concreto armado, ya que este material resiste mejor a la agresión de los gases generados durante la biodigestión como el metano y el dióxido de carbono (biogás), los dos tanques (26, 27) son alimentados por el agua proveniente de las cajas de distribución del influente que viene de la 2ª etapa (24c), los tubos de entrada del afluente (25) provienen de las cajas de distribución (24b ó 24c dependiendo si viene de sistema de bombeo o no). En la losa que tapa el biodigestor (39) y por encima del centro de cada tolva, se encuentran unas tapas de concreto para mantenimiento de cada una de estas estas tolvas (34, 35, 36). El compartimento (26) se conecta con el compartimento siguiente (27) por un tubo (30) localizado a 1.50 mts de altura (31), el compartimento (27) posee una zona tolvada (32), una tapa para mantenimiento en la losa (36) y un tubo de salida (33) para pasar a la siguiente etapa. Al nivel de la losa (39), se encuentra un sistema de venteo del biogás ubicado en el centro de las 2 últimas cámaras del biodigestor, comprende la caja o cámara de recolección de biogás (41), construida en concreto que es alimentada por 2 tuberías de PVC (40) apoyadas sobre la losa con lo que se evita el efecto tan corrosivo que este tiene sobre la losa de acuerdo a las observaciones experimentales, evitando su deterioro prematuro. La caja de recolección de biogás (41) es un estrato de zeolitas que captura el metano y el dióxido de carbono producidos por la actividad de degradación microbiana.

20

Dentro del biodigestor, las grasas, aceites y demás material ligero se acumulará en la superficie formando espuma, por lo que el efluente es recolectado por debajo de la capa de espuma pero lo más alto posible del fondo. Como subproductos del uso de éste sistema se tienen el lodo digerido del fondo y el biogás generado por la digestión del lodo. Los tanques en forma de tolva que se esquematizan en la figura 7.A permiten el almacenaje de los lodos estabilizados y que son producto de la mineralización de la materia orgánica e inorgánica; cada tolva cuenta con una tubería de purga o de salida de lodos (37) fabricada en PVC cuyo flujo conecta con tres válvulas de vástago fijo que nos permiten controlar el volumen de sólidos almacenados agrupadas en 2 registros situados a los lados del biodigestor (38) y luego conecta con los lechos de secado (4ª etapa). El agua tratada sale del biodigestor por una tubería de PVC (33) también recubierta con mortero, estas posteriormente se unen en otra tubería que conduce a la caja primaria de distribución de un sistema de filtros que constituyen la siguiente etapa.

30

Las dos zonas tolvadas continuas (28, 29) del compartimento (26) mejoran el proceso de sedimentación, el paso del agua (30) hacia el tercer compartimento tolvado está a un nivel que solamente permite el paso del agua ya bien decantada y que está en la parte más superficial de manera que evita el arrastre de la grasa y espumas que se forman en la superficie, ya que además tiene una velocidad de flujo tal que no permite la formación de turbulencias, esto evita la mezcla de los lodos decantados en este segundo compartimento tolvado, además la altura en la que se encuentran tanto los tubos de entrada (25) como el tubo comunicante (30) y la velocidad a la que entra el flujo de agua por ambos, está diseñado de manera que se tenga un efecto de circulación del agua dirigido hacia el fondo y que luego asciende hacia los tubos de salida (33), este flujo se indica con flechas curvas en las tolvas de la figura 7.A, así se promueve el proceso de sedimentación en todo el volumen de agua que atraviesa por este proceso, con este diseño la eficiencia del sistema en esta etapa es la requerida para un buen desempeño de la PTAR de la invención.

45

Durante el desarrollo de la invención también hemos podido concluir que la disposición en módulos y el número de tolvas del biodigestor diseñado para la operación del STAR de la invención además de facilitar la operación del biorreactor, ayuda a minimizar el arrastre de sólidos en el fondo, separándolos de tal forma que permanezcan en el tanque el tiempo suficiente para que exista una digestión anaerobia, el incluir mayor número de tolvas implica el incremento del área superficial del fondo del tanque, promueven un flujo del agua uniforme y bien definido, esto ha representado una ventaja considerable para el incremento de la tasa de sedimentación y por lo tanto del desempeño del biodigestor, cabe mencionar que para lograr este flujo se requirió además de la realización de cálculos y ensayos experimentales muy específicos, lo que hace de este diseño único en su tipo. El resultado global que se aporta con este diseño de biodigestor es un mejor desempeño para los fines del STAR de la invención.

Cuando no se emplea el sistema de bombeo, los compartimentos de los biodigestores son alimentados equitativamente mediante la caja de distribución de flujo (24c) fabricada en concreto cuyo mecanismo de distribución está formado por tubería de PVC. Cuando se emplea el sistema de bombeo los biodigestores son alimentados por la caja reguladora de velocidad (24b) que se encuentra localizada en una esquina encima de la losa superior de los biodigestores y alimenta al centro de cada compartimento. Es importante que la tubería de PVC expuesta que comunica las cajas o los tanques, en todas las etapas anteriormente descritas, se encuentre recubierta con mortero y soportada por bloques de concreto en las partes elevadas que lo requieran, el mortero cumple con una función aislante del ambiente, ya que el PVC en exteriores tiende a deformarse y disminuir su resistencia estructural.

Los lodos son retenidos en estas tolvas por un periodo promedio de 6 meses al término de los cuales se retiran por carga hidráulica por los tubos de purga (37) que se localizan al centro del fondo de cada una de las zonas tolvadas (28, 29 y 32). En esta etapa el tiempo promedio de residencia hidráulica ha tenido que ser ajustado, anteriormente al desarrollo de la presente invención, se había establecido que para el proceso de biodigestión era suficiente un tiempo de residencia de las aguas mínimo de 18 horas; como resultado de evaluación experimental y como parte del desarrollo de la presente invención, hemos establecido que el tiempo de residencia mínimo es de 24 horas a temperatura ambiente fluctuando alrededor de los $20^{\circ}\text{C} \pm 7^{\circ}\text{C}$ y con suministro de agua constante, hemos constatado que todos estos ajustes son factores críticos para optimizar el desempeño del STAR.

Para el mantenimiento de los biodigestores en general, se requiere la ya explicada remoción de los lodos y también de la espuma que se forma en la parte superior, estas tareas se ven facilitadas con el biodigestor de la invención ya que no se encuentra enterrado, esta es una más de las características que distingue a la invención; esto permite que sus sistemas de extracción de lodos funcionen por gravedad y se tenga un fácil acceso a la parte superior para la remoción de espumas ya que cuenta con accesos para esta tarea. Además solo cuenta con un sistema de transporte de biogás sin requerir separadores de fases, ni de colección de biogás, esto también simplifica la operación del sistema sin demeritar su eficiencia. Cabe aclarar que este STAR no tiene una producción significativa de biogás, y más bien se considera baja, estimada en $24.4 \text{ m}^3/\text{día}$, que es alrededor de 4% del volumen total de los biodigestores, por lo que no es necesario un sistema de

tratamiento de este subproducto y es suficiente ventearlo a la atmósfera. En el ejemplo 2 se describe la evaluación realizada a la tercera etapa usando gastos mínimo, medio y extraordinario ya que se requiere ver cómo funciona el biodigestor con respecto a los flujos de entrada y que obviamente tiene que ver con los tiempos de retención y se demuestra que los biodigestores teóricamente aguantan esta fluctuación que se da en todo el día.

Cuarta etapa: lechos de secado.

Los lechos de secado son el sistema de desaguado de lodo utilizado más difundido en plantas municipales ya que resulta económico (Lee y Dar Lin, 1999), con la limitante de que requieren más área que otros tratamientos, pero con la ventaja de que su operación es sencilla y económica. Para el tratamiento del lodo depositado y generado tanto en los biodigestores (3ª etapa) como en el filtro anaerobio (5ª etapa), el STAR de la invención cuenta con un par de lechos de secado uno a un nivel adecuado para el biodigestor y el otro a un nivel adecuado para el FAFA, ubicados a un costado del FAFA, el diseño del STAR de la invención implica colocarlos por debajo del nivel del fondo de cada uno de los tratamientos generadores con la finalidad de que pueda extraerse el lodo aprovechando esta situación, tal y como se puede apreciar en la figura 3.

En las figuras 10.A a 10.C se aprecia el esquema de los lechos de secado, durante el proceso estos recibirán el material previamente sedimentado tanto en las tolvas del biodigestor como en el fondo del FAFA por un tubo (52), este lodo sedimentado se deja salir al transcurrir un periodo de 6 meses, el material de entrada fluye a través de las válvulas de vástago fijo (37) localizadas a un costado de cada tolva del biodigestor, y a partir de la caja de válvula para purga (42) del FAFA, sin requerir bombeo, lo anterior se debe por que la tubería de salida de los lodos (37) se prolonga hasta la parte superior del biodigestor y arriba del nivel de agua (37a) provocando un proceso de succión ante la apertura de la válvula de la caja 38, por lo que el lodo se elimina fácilmente, este mecanismo de respiradero se ilustra en la figura 7D; el efecto es similar para la purga del FAFA pero en este caso el efecto de salida de los lodos ocurre sin necesidad de tubo de succión y solamente depende de la apertura de la válvula de la caja 42 (figura 9). Los lechos de secado son de material concreto, la barda perimetral es de 1.0 m de altura y tienen un estrato de grava con diámetro de 5 a 7.5 cms (55) posteriormente otra capa de grava de 2.5 cms de diámetro (56) y al último una capa de arena (57). Para evitar el paso al subsuelo se coloca en el fondo una capa de arcilla mejorada con cal en una proporción de 1:10 (53) con una pendiente mínima hacia el centro, aquí se instala un tubo perforado (54) para recolectar el exceso de agua que contengan los lodos.

Quinta etapa: Filtración anaerobia de flujo ascendente.

El agua efluente del biodigestor anaerobio pasa a la quinta etapa de tratamiento biológico que consiste en su circulación por un filtro que por sus características de flujo y reacción puede clasificarse como un filtro reactor anaerobio de flujo ascendente (FAFA) empacado o de lecho fijo. Como su nombre indica una de sus principales características es que el flujo del agua en su interior, por gravedad va del fondo del tanque a la parte más elevada donde es colectado y se canaliza al siguiente tratamiento, durante el flujo del agua ésta atraviesa por un material inerte química y biológicamente, de alta porosidad que se utiliza como medio de sostén para la proliferación de microorganismos que al formar películas sobre el material aumentan su estancia al interior del reactor

(tiempo de residencia celular) y su área de contacto con el agua residual, mejorando en consecuencia, la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos y la permanencia de los sólidos y biosólidos en el reactor; en general el flujo de un FAFA genera un perfil de concentraciones, tanto contaminantes como de lodo biológico, similar al encontrado en los reactores con flujo pistón y tiene las siguientes ventajas: capacidad de trabajo eficiencia aún con elevadas cargas orgánicas, elevada capacidad para aceptar cambios repentinos de carga orgánica, fácil y rápida aclimatación a diferentes residuos y elevada capacidad de remoción de sólidos en suspensión.

En esta etapa continúa la degradación biológica de material orgánico contaminante del STAR, aquí se degradan las moléculas de mayor tamaño a través de la retención de sólidos y la disminución de la carga orgánica. Este elemento tiene buenos rendimientos cuando la carga orgánica no es muy alta y el volumen de los sólidos es muy bajo. En esta etapa se logra disminuir la DBO y los SST en un 25 a 30% adicional al obtenido en la etapa previa (biodigestión). El tiempo de residencia hidráulica en esta etapa es de 12 horas, éste es el tiempo óptimo, la presente invención se diseñó un FAFA en el que se hace pasar el caudal por toda el área transversal del mismo (de manera uniforme) y no sólo al centro como se hace de manera convencional, y con un tamaño de piedra ya definido, hechos que mejoran en conjunto la eficiencia del sistema.

Otra de las características que influyen en el funcionamiento óptimo del FAFA al ser diseñado para el STAR de la invención consiste en utilizar como medio filtrante o empaque (zona para material pétreo (45b) en la figura 9.A consistente en piedras bola de río o tezontle exclusivamente de diámetros de 15 a 25 cms en su totalidad, con esto se evitó el taponamiento, anteriormente se evaluó experimentalmente el desempeño con piedras de 6 y 8 cms de diametro como medio filtrante, obteniendo eventos de taponamiento constantemente. Los FAFA en general posibilitan un cambio de ordenamiento del material de empaque que es el medio filtrante inerte (piedras de río) dependiendo de la cantidad de sólidos que ingresen, normalmente llevan piedra grande en el fondo y se colocan capas consecutivas de piedra cada vez más pequeñas, esto ayuda a evitar taponamientos y que disminuya la eficiencia de remoción de contaminantes (Montalvo M. y Guerrero S., 2003), pero gracias a la selección de tipo y tamaño del medio filtrante descrito (piedras de 10 a 15 cms), esta remoción o cambio de medio filtrante no es necesaria para el STAR de la invención, ya que no se presentan eventos de taponamiento con lo que se facilita su operación. Por lo anterior, consideramos que el tamaño seleccionado y la disposición convenida de este material filtrante es una característica más que define a la invención.

El FAFA seleccionado para un buen funcionamiento del STAR de la invención es un FAFA que posee un falso fondo, este es un sistema de purga de lodo a gravedad y un tratamiento previo de retención de sólidos, con esto se encuentra en posibilidades de minimizar el taponamiento. Con respecto a la utilización de bombas, el FAFA utilizado para el STAR tiene un arreglo hidráulico a gravedad, que evita el uso de bombas, aprovechando el desnivel del terreno, lo cual resulta muy conveniente en comunidades pequeñas, donde el ahorro de energía es una prioridad.

En las figuras 9.A y 9.B se esquematiza al FAFA diseñado para la STAR de la invención, posee una caja primaria que distribuye el flujo a las cajas secundarias semicirculares (43) mediante un par de tuberías de PVC recubiertas con mortero; el agua ingresa al filtro anaerobio a través de estas dos cajas de distribución secundarias (43) que tienen forma de medio círculo, y que están ubicadas sobre

la losa superior, estas cajas proporcionan un mejor control y limpieza natural, las cajas semicirculares reparten el flujo influente uniformemente en el fondo del FAFA mediante una serie de tubos (44) que se prolongan radialmente hasta el falso fondo (45). A mayor detalle: estas cajas secundarias (43), reciben el afluente por el lado recto en una canaleta con el lado desbordante, dentado; así el agua es conducida de cada caja secundaria al fondo del FAFA a través de 11 tubos de PVC recubiertos con mortero (44) a partir de donde ascenderá a través del falso fondo (45) que separa 40 cm de la losa inferior al medio filtrante y asciende el flujo a la cama de este medio filtrante (45b). El FAFA está conformado por un tanque de concreto de 10.4 x 18.4 m, el aspecto de algunas de sus partes se aprecian en las figuras 9C y 9D. Los gases que se generan en las cajas de distribución se eliminan mediante disipadores (51). La canalización de las aguas se realiza a través de tubería de PVC que siempre va recubierta con malla metálica y concreto, ya que la tubería de PVC expuesta al sol se deteriora por acción de los rayos UV. En diseños anteriores se utilizó tubería de cobre la cual no fue eficiente por su baja resistencia a la corrosión.

El FAFA del STAR de la invención que se ilustra en las figuras 9.A a 9:D fue diseñado con tres canales recolectores que se encuentran en la parte superior del FAFA pero cubiertos por la losa superior y cada uno tiene varios accesos mediante tapas removibles de concreto (50), estos canales están dispuestos de manera que permiten un excelente funcionamiento hidráulico, son dos laterales (46) y se adicionó un canal central (47); cada canal o canaleta tienen una profundidad de 20cm y tienen paredes desbordantes rectas que conducen el agua tratada a un canal exterior colector general ubicado a la orilla del lado ancho del FAFA (48) que también se adicionó en este diseño único del STAR, transfiriendo posteriormente el efluente por la salida (49) hacia una caja concentradora (49b), para ser dispuesto a los pantanos artificiales que es la 6ª etapa. La inclusión de tres canales con esta disposición mejoró del funcionamiento hidráulico y aumentó la eficiencia individual del FAFA un 20% con respecto al uso del FAFA que solo tiene 2 canales centrales, por lo que es un diseño que aporta una ventaja significativa al STAR de la invención.

Sin la existencia del falso fondo (45) al interior del FAFA sería evidente una problemática de taponamiento futuro debido a que en las zonas más lejanas a la tubería afluente existiría una velocidad ascendente menor que en las zonas más cercanas. Sin embargo de manera acertada la utilización del falso fondo en el STAR de la invención promueve la uniformidad del líquido antes de comenzar su recorrido por el medio filtrante. Además el cálculo de la pérdida de presión debida a la zona de empaque es pequeño, alrededor de 0.0013 pascales. Así mismo el falso fondo es una práctica aceptada y recomendada en estos sistemas (Montalvo M. y Guerrero S., 2003) porque permite acumular el lodo que por sus características no pueda permanecer suspendido en los intersticios o adherido en el medio filtrante. Este lodo posteriormente deberá ser removido para evitar su acumulación excesiva y en consecuencia zonas muertas que disminuyan el volumen útil del FAFA.

Finalmente el agua tratada efluente del FAFA es colectada en la parte superior por los 3 canales o canaletas, son dos señalados como (46) y el (47) caracterizadas por sus bordes rectos conocidas como de bordes anchos (Fox & McDonald, 1986), en base a la experiencia adquirida durante el desarrollo del STAR de la invención, son necesarios al menos estas 3 canaletas de recolección para que el recorrido hidráulico sea óptimo e incremente la eficiencia. Generalmente los bordes de las canaletas se prefieren de borde delgado y dentado (en forma de triángulos con un vértice señalando al piso) debido a que con esta forma es más sencillo medir el caudal. Sin embargo

al ser la intención principal de las canaletas el coleccionar el efluente y no medir el caudal la decisión del uso de bordes delgados o anchos es inherentemente cuestión de estilos de diseño.

En el ejemplo 3 se describe la manera de evaluar al FAFA como fue diseñado para la presente invención, es también importante señalar que la eficiencia de remoción del FAFA se encuentra en el límite inferior de lo reportado por la bibliografía, esto es normal para el diseño del STAR, debido a que la carga orgánica aplicada es muy baja comparado con las cargas a las que se utiliza un FAFA utilizado en los sistemas de tratamiento de aguas conocidos, para aumentar la remoción del FAFA de este STAR se ensayó con la disminución del volumen del filtro, finalmente determinamos que era necesario mantener el volumen del filtro para mantener la velocidad de flujo necesaria para mantener el desempeño final esperado.

Es importante distinguir al STAR de la invención de otros sistemas conocidos en el estado de la técnica: las etapas 3 y 4 del STAR de la invención técnicamente pueden ser sustituidas por el uso de reactores anaerobios de flujo ascendente conocidos en el estado de la técnica como reactores UASB (del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket), también conocido como RAFA (Reactor anaerobio de flujo ascendente) los cuales son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior. Los UASBs son reactores anaerobios en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulos que sedimentan conformando un fango activo, producen buen volumen de biogas que puede ser empleado como combustible. Sin embargo los UASBs son sistemas muy inestables ante los cambios de flujo, por lo que requieren de un control de carga muy sensible y también requieren de personal especializado para su operación y mantenimiento. El STAR de la invención se caracteriza por ser estable a pesar de las variaciones en la carga del agua y en los volúmenes y flujos, además de no requerir gran gasto energético ni de personal especializado para su operación y mantenimiento.

Sexta etapa: Pantanos artificiales.

Después el agua residual efluente del FAFA pasa por un sistema de pantanos artificiales, esta es la 6ª etapa del STAR. Los pantanos artificiales utilizados en el STAR de la invención son de flujo subterráneo del tipo conocido en el campo técnico como VSB (por sus siglas en inglés, Vegetated Submerged Bed), se escogieron por sus ventajas ya que a diferencia de los pantanos de flujo superficial, los VSB no generan mal olor, ni cría de insectos, no se ven influenciados por las bajas temperaturas que pueden ocurrir en el ambiente, el tamaño de superficie que se requiere es menor. Utilizado como único método de tratamiento secundario de aguas residuales resulta ser eficiente solo para poblaciones reducidas en habitantes y en general son considerados un método costoso debido al material granular que se requiere, y a la necesidad de la extensión de terreno requerida, sin embargo, en el desarrollo de la invención se ha constatado que el los VSB utilizados en combinación con los otros métodos, tal como se ha diseñado para la presente invención, no implica costos tan elevados. Los humedales artificiales pueden reemplazar el tratamiento secundario de las aguas residuales e inclusive, bajo ciertas condiciones, también al terciario y primario, sin embargo, cuando son usados como único sistema de tratamiento presentan períodos de retención relativamente largos (por lo general semanas) por lo que representa el sistema de tratamiento que requieren una extensión de terreno considerablemente grande para lograr la eficiencia esperada y también requieren periodos

de residencia hidráulica del agua residual en la planta muy largos.

El antecedente de los pantanos ó humedales artificiales (ó lagunas de estabilización) como los utilizados en el diseño de la STAR de la invención, consisten básicamente en depósitos de 1 a 3.5 m de profundidad en donde el agua residual se almacena de manera natural, es decir, sin adición de insumos químicos o energía; aquí las bacterias y algas degradan la materia orgánica y eliminan microorganismos patógenos. La eficiencia de la depuración del agua residual en estos pantanos depende principalmente de las condiciones climáticas de la zona: temperatura, radiación solar, fuerza de los vientos locales, etc. y de los tiempos de residencia del agua en la laguna. En condiciones óptimas con este tipo de sistemas se logra reducir entre un 70 y 90% de la DBO y hasta un 99% de los patógenos (Rojas, J. A., 2005). El funcionamiento de los pantanos artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual (Reed en Kolb, 1998) mediante procesos de sedimentación, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización (Stearman et al., 2003) pero principalmente biodegradan la materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos (Hu en Kolb, 1998). Existen además humedales artificiales modificados para tener un flujo superficial o bien subsuperficial (ó subterráneo).

En los pantanos artificiales de flujo superficial también llamados de superficie libre o FSW (Free Water Surface) el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera y tienen una profundidad de máximo 0.6 m, estos son sistemas complejos ya que se pretende que sean lo más parecidos a los naturales, con vegetación tanto aérea como sumergida y vida animal acuática en algunos casos (USEPA, 2000; Rios, Gutierrez, y Aizaki, 2007), en ese sentido tienen una gran cantidad de variables involucradas en el diseño del proceso por lo que solo personal altamente especializado y con muchos años de experiencia en el tema recurre a este tipo de tratamiento.

Los pantanos artificiales tipo VSB (de flujo subterráneo) se caracterizan porque la circulación del agua se realiza a través de un medio granular, con una profundidad cercana a los 0.6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas; el flujo puede ser horizontal (el agua ingresa por un extremo superior y se recoge en el otro extremo por la parte inferior) o vertical (el agua ingresa por la parte superior infiltrando de manera vertical por el sustrato inerte y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal). Los pantanos artificiales tipo VSB son más utilizados en el tratamiento de aguas residuales municipales tanto como tratamiento secundario como pulimento debido a que las variables involucradas son menores y están regidos más por la hidráulica que por los procesos biológicos en su interior.

En el diseño del STAR de la invención se incluyó esta 6ª etapa de tratamiento, los principales factores a considerar en el diseño de estos pantanos artificiales, fueron el medio filtrante, la profundidad del volumen útil, el número de zonas de tratamiento, el tipo de vegetación, y sus dimensiones; así como la forma de distribuirlos y conseguir un flujo constante. Los pantanos artificiales de la invención son en realidad un sistema de pantanos contruidos de manera modular,

todos de flujo subterráneo y rellenos con piedra bola de río o tezontle, cada módulo cuenta con una caja secundaria de distribución de flujo proveniente del FAFA (49b) y una caja de colección de afluente de salida que converge a una caja colectora general (73).

5 En cuanto a las dimensiones, la relación largo-ancho descrita en la literatura para las lagunas de estabilización es de 10:1 necesaria para las extensiones utilizadas en este tipo de tratamiento, como resultado de ensayos experimentales para los pantanos del STAR de la invención se determinó deben tener una relación largo ancho desde 1:2 hasta 2:2, y el tamaño de cada uno de los pantanos se determinó de manera inicial pero no limitativa en 12 x 24 mts de largo-ancho. Y el número y
10 disposición de estos se estableció como se describe más adelante. En la figura 11 se esquematiza el especial diseño de un módulo pantano como fue concretado para funcionar en el STAR de la invención.

Los pantanos están formados por un muro perimetral de concreto (61) recubiertos desde el
15 fondo y hasta la parte superior externa de paredes por una membrana impermeable (78) que forma una sola pieza sellada térmicamente en las uniones y fijada a las paredes con barras de aluminio sujetas por tornillos de acero galvanizado de 2.54 x 1.25 cms (solera) (79), tal y como se muestra en la Figura 11.C, con lo que se impide la infiltración al subsuelo.

20 El medio filtrante utilizado para el STAR de la invención en los pantanos artificiales es el mismo que para el FAFA, ya que también se usa piedra bola de río pero de diferente tamaño, o tezontle por lo que en un principio cumple con las características esenciales para el trabajo, en la figura 11.B se ilustra como material pétreo (77). En la base de los pantanos este material pétreo se conforma como un estrato de grava, piedra bola de río ó de tezontle de diferente diámetro: 7.5 a 10 cms en las
25 entradas y salidas (69) y de 5 a 7.5 cms al centro (68), formando un estrato con una altura de 0.60 mts y posteriormente se coloca una capa de 10 cms (72) con grava seleccionada de 2.54 cms para evitar que la temperatura del agua en proceso de tratamiento dentro del pantano se caliente o se enfríe de manera importante y detenga la función de las bacterias aerobias que realizan la degradación de la materia orgánica, además la capa de grava funciona como contenedor de olores.

30 Sobre el estrato de gravas se coloca material vegetal (70) por ejemplo plantas de la familia *Pragmatis typha*, llamado typha domingensis Pers y *Thypha latifolia*, el cual a través de sus raíces, transmite oxígeno atmosférico al interior del pantano, generando áreas aerobias y anaerobias que permiten la reducción de la DBO, de los SST, de fósforo y de azufre amoniacal.

35 Se incluye un equipo para incremento de oxigenación en el pantano artificial, y que se utiliza cuando se determine que la carga orgánica es mayor a lo previsto y pueda generar acumulamiento de sólidos y con la tubería (67) indicada en la figura 11.A, se inyectara aire con el mismo equipo de suministro de oxígeno que se utiliza en el tubo captador, para este equipo se deberá de considerar el
40 uso de energía solar para su funcionamiento y evitar un aumento de costo de operación.

Un tubo perforado (73) va en el fondo en la capa de grava gruesa o tezontle y se caracteriza por estar perforado a lo largo de la parte baja solamente, su función es evitar el taponamiento del pantano, además se incorpora un sistema inyector de aire para evitar el taponamiento, además el
45 tubo se prolonga proyectándose hacia la superficie con un codo (73b), en una longitud de 70 cm, que

además es movable por lo que es posible inclinarlo manualmente para modular el nivel del agua del pantano, y pudimos observar experimentalmente que este cambio de nivel del agua tiene un efecto finalmente en la forma como crecen las raíces de las plantas, de manera que si se inclina el tubo las raíces de las plantas crecen hacia abajo y encontramos que crecen hacia el fondo y de esta forma se mejora la eficiencia de depuración requerida cuando la carga de materia orgánica (DBO) es alta y si se endereza a 90° estas raíces crecen más extendidas y la eficiencia baja pero hay menos estrés pudiendo mejorar su funcionamiento cuando la carga de materia orgánica (DBO) sea menor, de manera que este efecto es de particular importancia para la manipulación de la eficiencia del pantano y es por lo tanto un sistema adaptable a las variaciones naturales en la calidad o carga del agua residual, este diseño se considera una particularidad más que caracteriza al STAR de la invención.

Los pantanos artificiales en estos ejemplos operan en paralelo, el agua que alimenta a los pantanos artificiales es transportada de la caja colectora general (49b) que se indica en la figura 13, por medio de tubería de PVC recubierta con malla y mortero, hacia una caja primaria de distribución (62) hecha en concreto que divide perpendicularmente el flujo en dos (64) y nuevamente en dos (66) como se indica en la figura 11.A. El número y la distribución en paralelo de dos pantanos artificiales es opcional de acuerdo a los requerimientos de la población y depende del gasto medio a tratar, una de las ventajas que se presenta con el diseño del STAR de la invención es que el número de los pantanos artificiales puede crecer cuando el volumen de agua a tratar aumente o en su caso el motivo puede ser el de mejorar la calidad del efluente, en las figuras 13, 14 y 15 se ilustran tres diseños diferentes de PTAR en número y distribución de cada uno de los 7 elementos esenciales del STAR, y en la etapa 6 tienen operación en paralelo utilizando 2, 4 y 8 módulos de pantano artificial, y por lo tanto son estos diseños algunos ejemplos de cómo se puede llevar a cabo la invención de manera adecuada y son también modalidades de la misma. La cantidad de pantanos en el STAR puede ser desde 1 hasta n, dependiendo de las necesidades y su cálculo lo puede realizar una persona experta en el campo técnico de la invención, su colocación siempre es en paralelo.

La conductividad hidráulica inherente al medio filtrante así como otros valores importantes en el funcionamiento hidráulico de estos sistemas como la profundidad y las pérdidas de carga, han sido evaluados técnicamente como se describe en el ejemplo 4. El flujo de estos pantanos es horizontal y con la división (entrada múltiple) en la entrada se logra que el flujo de agua en tratamiento se conduzca de manera uniforme tipo flujo pistón, mejorando la eficiencia del pantano artificial y no se presenten eventos de taponamiento que son muy frecuentes en los sistemas de humedales artificiales que tienen flujo horizontal, hecho adjudicado al buen diseño del sistema (tamaños y distribución de los módulos) ya que el efluente ha sido tratado por el biorreactor y el FAFA, por lo que el material en suspensión y la materia orgánica residual es menor comparado al que recibe cualquier tipo de humedal artificial cuando opera como único tratamiento secundario del agua residual; cabe señalar que la eficiencia del STAR es la suma de las eficiencias de cada etapa.

A mayor detalle de la distribución en paralelo de los pantanos y como se muestra en las figuras 14 y 15 para el STAR de la invención, el caudal afluente primero es dividido en dos (para alimentar 4 pantanos) o en 3 (para alimentar 8 pantanos) por una caja de distribución principal (49b), en el caso de 8 pantanos dos caudales alimentan cada uno a dos pantanos, y el tercer caudal alimenta a cuatro pantanos; con estas distribuciones en paralelo, características del STAR de la invención, si se tratase de un afluente primario sería un error de serias consecuencias, sin embargo

para nuestro caso funciona con excelente resultados ya que esta etapa es de pulimiento porque el agua residual ya ha tenido un tratamiento biológico importante. Además, según lo recomendado, se requerirían varias zonas de tratamiento con diferentes tamaños de piedra para efectuar el pulimiento, pero para el STAR de la invención una sola fase de tratamiento es suficiente debido a que el agua ya ha sido tratada biológicamente, por lo tanto las distribuciones de los pantanos artificiales que aquí se describen funciona solamente para el STAR de la invención y es por lo tanto una más de las características distintivas.

Algo que es pertinente mencionar en cuanto al paso del agua residual a través de los pantanos artificiales es que al encontrarse modulados, deben recibir exactamente la misma cantidad de caudal, ya que de no ser así algunos módulos tendrían cargas mayores a otros, lo cual afectaría la eficiencia de remoción del tratamiento en general, además de los problemas de taponamientos que pudieran ocasionarse. El mecanismo de distribución del flujo del STAR de la invención está basado en la colocación de tuberías efluentes de las cajas al mismo nivel, para que el agua desborde al mismo tiempo por cada tubería. De este modo se puede afirmar que los flujos se dividen equitativamente de acuerdo a las tuberías efluentes situadas al mismo nivel, incluso en varios colectores a la vez.

El último factor a considerar que no requiere de un análisis técnico, entendiéndose por ello a que no hay que realizar algoritmos matemáticos para emitir una opinión, es la presencia y tipo de plantas utilizadas en el pantano artificial. Actualmente no se cuenta con información contundente que demuestre de qué forma mejoran la remoción de contaminantes las plantas en los pantanos artificiales, inclusive si alguna especie es mejor que otra para este fin, se prefiere el uso de plantas de la región, en este caso como ya se ha mencionado, se ha utilizado el tule (*Typha Latifolia*), el cual además puede ser utilizado posteriormente en la elaboración de artesanías hechas de este material cuando deba ser podado. En esta etapa, las plantas absorben los metales presentes en el agua a tratar y los materiales inertes del relleno permiten la remoción del fósforo por absorción. Al final del pantano, se coloca una tubería perforada de PVC para la recolección del agua tratada y el envío de la misma a la caja de contacto de cloro que corresponde a la 7ª etapa del STAR. En el ejemplo 4 se describe la evaluación teórica realizada de la capacidad de remoción de DBO en los pantanos artificiales usando los parámetros del diseño de la invención.

Séptima etapa: canal de contacto con cloro.

Al finalizar el tratamiento biológico el agua pasa por la 7ª y última etapa que consiste en la circulación por un canal diseñado para hacer contacto con hipoclorito de calcio (canal de contacto con cloro) de trayectoria sigmoidea en un tanque hecho de concreto. En este canal se puede instalar el tanque plástico de almacenamiento de hipoclorito de calcio en el momento y en la dosis requerida. El diseño del canal nos permite calcular el tiempo de retención necesario para que por efecto del cloro se logre disminuir los patógenos que llegara a tener el efluente, en la parte superior se puede colocar un tinaco donde se tenga la solución de cloro con la concentración adecuada para dosificarla.

En las figuras 12.A y 12.B se esquematizan las partes del canal para contacto con cloro, está conformado por 5 segmentos rectangulares (83) comunicados por los lados y esquinas opuestas de manera alternada de las paredes de cada segmento (84), otorgándole de esta forma la característica de canal con trayectoria tipo zig-zag, cuya finalidad es permitir que el cloro actúe sobre los microorganismos patógenos que permanecen en el efluente tales como virus, bacterias y parásitos protozoarios, y los reduzca sustancialmente. Encima del primer segmento (83) y en la entrada del afluente (80) se coloca un reservorio con hipoclorito de calcio (81) luego el cloro se incorpora al

sistema por el tubo (82). Los parámetros más importantes involucrados en la cloración son el tiempo de contacto y la dosificación (Reynolds y Richards, 1996), ya que ambos definen la interacción de este agente desinfectante con los microorganismos patógenos y otros compuestos orgánicos en el agua tratada que resultan o no en un adecuado procesamiento.

5

El canal de contacto con cloro es colocado al final de la PTAR y en esta etapa se asegura que el agua tratada que será descargada cuente con la desinfección necesaria para cumplir con la normatividad mexicana existente.

10

Como se ha venido mencionando a lo largo de este documento las principales premisas del sistema de tratamiento de aguas residuales de la invención en cada uno de los diseños de cada etapa es el ahorro de energía y la operación sencilla, por lo que el uso de lechos de secado es un sistema que resulta conveniente para estos fines.

15

Al evaluar cada etapa no se han obtenido las eficiencias óptimas si se evalúa cada una de ellas por separado, esto resulta lógico debido al diseño de operación de 3 tratamientos secundarios en serie que normalmente se utilizan como un único tratamiento secundario, en algunos casos se usa la combinación de dos tratamientos secundarios. Una de las razones por las cuales los tratamientos evaluados por separados si son comparados con las remociones obtenidas en sistemas donde no se utilizan de manera combinada como en la presente invención, es que el pre tratamiento, en especial los canales desarenadores, fueron diseñados para sedimentar partículas más pequeñas de lo usual, la adición de una rejilla de tamiz fino (15 mm aproximadamente) sería más conveniente para este fin, esto dio como resultado que en términos de eficiencia teórica de remoción de DBO el tratamiento secundario más eficiente de la PTAR de la invención una vez evaluada resultó ser la zona de pantanos, lo cual no es lo convencionalmente esperado ya que los pantanos generalmente tienen una función de pulimiento del agua, y normalmente se esperaría que la mayor parte de la eliminación se llevase a cabo en los biodigestores y aun más en el FAFA. Por lo anterior, el STAR de la invención debe valorarse en conjunto por su resultado final y no por separado.

20

25

30

Lo relevante del STAR de la invención es el resultado final de la combinación de las etapas donde 3 de ellas son tratamientos secundarios de diferente naturaleza y de las optimizaciones realizadas; ya que producen estas etapas juntas un efluente que finalmente cumple y puede superar las normas establecidas para México. Las PTAR diseñadas en base a este STAR, ya en funcionamiento demuestran la eficiencia finalmente obtenida en la depuración de aguas residuales y en realidad no importa cuál de las etapas hizo menor o mayor depuración. Como ya se ha descrito, el STAR de la invención tiene una eficiencia adecuada para el cumplimiento de las normas oficiales, y cada una de las etapas aporta un porcentaje en cuanto a la depuración, la etapa 2 aporta un 5%, la etapa 3 aporta de un 35 a un 45%, la etapa 5 aporta de un 25 a un 30%, la etapa 6 es capaz de aportar desde un 25% hasta un 40%. Es importante mencionar que el sistema de aireación dispuesto en los pantanos (en la figura 11.A se señala el tubo 67 que pertenece a este sistema), mejora las condiciones de oxigenación de esta etapa y esto hace más eficiente la degradación de la materia orgánica residual, este elemento incrementa en gran medida la eficiencia de estos pantanos y es por lo tanto una de las modalidades preferidas de la invención.

35

40

45

Es el objetivo de la invención proporcionar un sistema de tratamiento de aguas residuales

(STAR) eficiente, con bajo costo por consumo de energía eléctrica, de fácil operación y mantenimiento, y que es capaz de soportar las fluctuaciones de volumen y fluctuaciones de carga orgánica sin disminuir su eficiencia, eficiencia y con posibilidades de crecimiento sin necesidad de parar el proceso de tratamiento, sin disminuir sus capacidades, en esta descripción se proporcionan todos los elementos para el diseño de PTARS con esta base.

El STAR que se reivindica como invención es un procedimiento para el tratamiento de aguas residuales que consiste en 7 etapas: 1) recolección y pase por una caja reguladora de volumen, 2) un tratamiento primario pre-tratamiento para separación de sólidos gruesos y arenas, 3) un primer tratamiento biológico de naturaleza anaerobia que consiste en el paso por un biodigestor, 4) un paso intermedio entre el paso 3 y el 5 consistente en deshidratar los lodos en lechos para un posterior manejo más sencillo es un paso esencial para mantener el funcionamiento del tren de tratamiento, 5) un segundo tratamiento biológico de naturaleza anaerobia que consiste en su paso por un FAFA, 6) un tercer tratamiento biológico de naturaleza aerobia que consiste en el paso por pantanos artificiales, 7) un tratamiento terciario que consiste en su paso por una unidad de desinfección de cloro. Es una modalidad más de la invención la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) caracterizada por utilizar el procedimiento descrito en su totalidad además de incluir todas características distintivas de determinan el desempeño esperado que se han descrito.

Es otra modalidad de la STAR y de la PTAR de la invención las adecuaciones para aumentar su capacidad cuando así se requiera por el crecimiento poblacional, pueden realizarse sin dejar de operar, siempre y cuando dicho crecimiento no sea mucho mayor al estimado. Y aun cuando el flujo a la PTAR, estadísticamente pudiera ser superior al diseñado, esta cumple con el tratamiento de aguas residuales. En el ejemplo 5 se describen las generalidades para el diseño de una PTAR con base en el STAR descrito considerando una población de 5 mil habitantes y con opción a crecimiento por la adaptación de más módulos.

Son modalidades de la invención el diseño de cada una de las etapas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 de manera individual toda vez que presentan un funcionamiento especial caracterizado por la disposición, tamaño y forma de las partes que conforman a cada etapa de tratamiento y que no son conocidas en el estado de la técnica y que pueden implementarse para el funcionamiento de diseños alternativos proporcionándoles ventajas adicionales.

Los siguientes ejemplos proporcionan los elementos necesarios para poner en funcionamiento el STAR y para construir una PTAR de acuerdo con lo establecido en la invención. También proporciona los elementos necesarios para su evaluación y desempeño en las diferentes etapas. Estos ejemplos son de carácter ilustrativo mas no limitativos del alcance de la invención.

EJEMPLOS

Ejemplo 1: Evaluación teórica del pre-tratamiento.

5 A continuación se muestra la tabla E, con los principales parámetros a evaluar en los canales desarenadores con el objetivo de observar las diferencias existentes entre los 2 regímenes de operación considerados: el gasto medio y el gasto mínimo y los valores recomendados en bibliografía (Crites y Tchobanoglous, 2000) (Reynolds y Richards, 1996. Metcalf y Eddy, Inc., 2003).

10 Para la elaboración de la Tabla E que muestra los resultados obtenidos de la evaluación de los desarenadores a 3 diferentes condiciones de flujo de diseño, se consideraron las dimensiones de un solo canal del sistema de pre-tratamiento correspondiente a la 2ª etapa de la PTAR de la invención.

15 Con las dimensiones del vertedor proporcional se calculó la constante de proporcionalidad del vertedero (k) (ecuación 1) a partir de la cual se obtuvo el valor de la altura sobre el vertedero a la cual satisface la condición de flujo de diseño (ecuación 2). A partir de las dimensiones del área de un canal y los flujos de diseño se calculó la velocidad de sedimentación (ecuación 3) para cada condición, misma que posteriormente se utilizó para calcular el tiempo de residencia hidráulico (ecuación 4) y subsecuentemente la velocidad horizontal del flujo (ecuación 5) (Ver ecuaciones en la

20 tabla A, y resultados en la tabla B.

Tabla A. Resumen de fórmulas ocupadas en la evaluación.				
No. de ecuación	Ecuación	Unidades	Literal	Descripción
1	$k = x^2 \cdot \sqrt{y}$	m^2	k	Constante de proporcionalidad (m^2)
			x	Distancia horizontal entre el centro y el final de la garganta del vertedero (m)
			y	Distancia vertical entre el comienzo y el final de la garganta del vertedor (m)
2	$H = Q / C \cdot k$	m	h	Altura del agua en la garganta del vertedor
			C	Constante (4.32 s^{-1})
			Q	Caudal (m^3/s)
3	$V_s = Q / W \cdot L$	m/s	W	Ancho del canal (m)
			L	Largo del canal (L)
			Vs	Velocidad de sedimentación (m/s)
4	$TRH = H / V_s$	s	TRH	Tiempo de retención hidráulico (s)
			H	Altura del agua en canal (m)
5	$V_h = L / TRH$	m/s	Vh	Velocidad horizontal o de paso (m/s)

Tabla B. Comparación de parámetros de los canales desarenadores a diferentes caudales de diseño			
Base de diseño	Q medio	Q mínimo	Recomendado
Caudal de diseño Q (m ³ /d)	480	475	N/A
Altura en la garganta del vertedero, h1 (cm)	6.1	6.0	N/A
Velocidad de sedimentación Vs (m/s)	0.0031	0.0030	0.016-0.0216 (0.21 mm) 0.01-0.015 (0.15 mm)
Tiempo de residencia hidráulico TRH (s)	36.24	36.40	45 - 90
Velocidad de paso u horizontal Vh (m/s)	0.126	0.125	0.25 - 0.40

Con los valores utilizados para el diseño de la PTAR, se obtiene un valor de velocidad de sedimentación por debajo del límite inferior de los intervalos recomendados por la bibliografía para sedimentar sólidos de 0.15 a 0.21mm de diámetro de partícula con peso específico de 2.65 g/ml.

5

La velocidad de sedimentación está directamente relacionada con las propiedades de la partícula a sedimentar, en ese sentido una velocidad de sedimentación baja nos indica que el desarenador está diseñado para sedimentar partículas de tamaño y/o con peso específico pequeño. Utilizando la gráfica presentada por (Ramalho, 2003) donde se relaciona la velocidad de sedimentación (cm/s) con el diámetro de partículas a diferentes pesos específicos, se puede obtener el diámetro de partícula teórico que con esa velocidad de sedimentación y un peso específico supuesto (2.65g/ml, generalmente utilizado) a una temperatura dada (20°C).

10

El parámetro que define el tiempo en el que idealmente un fluido permanece en un reservorio es el tiempo de residencia hidráulico cuyos valores también se encuentran por debajo de los valores recomendados. En el algoritmo de cálculo utilizado el TRH es función inversa de la velocidad de sedimentación y directa de la profundidad del agua, por lo que si la velocidad de sedimentación fuera más elevada, para situarse entre los valores de referencia, el TRH sería más pequeño por lo que habría que modificarse la profundidad del agua para satisfacer ambas condiciones.

15

20

Ya que la altura del agua en el canal es dependiente del flujo y dado que este valor se mantiene constante para el diseño, la implementación de una mejora tendría que hacerse en las dimensiones de la garganta del vertedero proporcional, ya que este es el que indica la altura de agua a la salida donde el flujo de diseño es alcanzado.

25

En resumen, el canal desarenador es susceptible de mejoras particularmente en el vertedor proporcional y sus dimensiones que pudieran ser menores a fin de sedimentar partículas menos pequeñas. En ese sentido aunque esto es deseable no es necesariamente obligado ya que el canal tiene una buena remoción de partículas, que con un mantenimiento probablemente más intensivo, no generara ningún problema.

30

Ejemplo 2. Evaluación teórica de biodigestores.

El parámetro de diseño y operación más importante en la evaluación de las fosas sépticas es el tiempo de retención hidráulica y en ese sentido se han desarrollado modelos matemáticos para

pronosticar la eficiencia de remoción de DBO y SST en términos del tiempo de retención hidráulico (TRH). En esta evaluación se utiliza el modelo propuesto en (Metcalf y Eddy, Inc., 2003) cuya ecuación y constantes a continuación se muestran en la tabla C.

Tabla C. Ecuación para el cálculo teórico de eficiencias de remoción de DBO y SST en función del TRH.						
Ecuación	Unidades	Literal	Descripción			
$E = TRH / (a + b \cdot TRH)$	m^2	E	Eficiencia de remoción (%)			
		TRH	Tiempo de retención hidráulico (d)			
		a, b	Constantes empíricas		DBO	SST
				a	0.018	0.0075
				b	0.02	0.014

5

Utilizando este modelo matemático se evaluaron los 3 flujos de diseño obteniendo los resultados que se vierten en la tabla D, que corresponden: 1 a un gasto mínimo, 2 a un gasto medio.

Tabla D. Eficiencias teóricas de remoción de DBO y SST en biodigestores				
Bases de diseño	1		2	
Volumen útil total (m3)	582.798			
Q diseño (m3/d)	480		240.19	
TRH (días)	1.21		2.42	
Volumen útil por zona (m3).	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2
	345.47	237.33	345.47	237.33
TRH por zona (días)	0.72	0.49	1.43	0.98
Eficiencia de DBO por zona (%)	22.2	17.7	22.3	17.8
Eficiencia de SST por zona (%)	40.9	34.3	41.1	34.5
DBO afluente por zona(mg/l)	300	233.35	300	232.98
DBO efluente por zona (mg/l)	233.35	191.98	232.98	191.71
SST afluente por zona (mg/l)	300	177.15	300	176.64
SST efluente por zona (mg/l)	177.15	116.42	176.64	116.11
Eficiencia de DBO total (%)	36		36	
Eficiencia de SST total (%)	61		61	

10

En la Tabla D se separaron los volúmenes del biodigestor por zonas, considerando la zona 1 como el volumen total de las primeras cámaras con dos zonas tolvadas del biodigestor y la zona 2 como el volumen total de las segundas cámaras con una zona tolvada.

Para el cálculo del TRH resulta indistinto el separar los volúmenes del digestor, sin embargo

para el cálculo de la eficiencia de remoción resulta de relevancia, ya que el agua residual primero se procesa en la zona 1 con una eficiencia de remoción determinada, por el TRH en esa zona, para después proporcionar otra eficiencia de remoción correspondiente al TRH de la zona 2.

5 **Ejemplo 3: Evaluación del desempeño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.**

El desempeño de un reactor anaerobio de lecho fijo, en este caso denominado FAFA, se realiza al verificar la relación diámetro-profundidad (d/Z), la velocidad de flujo ascendente (VL) y la eficiencia teórica de remoción de DBO (Montalvo M. y Guerrero S., 2003). En la tabla E se encuentra la relación diámetro profundidad.

Tabla E. Relación diámetro-profundidad en FAFA		
Parámetro	Valor en PTAR	Valor recomendado
Diámetro de piedra (cm).	18	N/A
Profundidad del medio filtrante (m)	1.5	N/A
Relación d/H (m/m)	0.12	0.5 a 2.0

El valor encontrado en el FAFA para la relación diámetro profundidad es bajo con respecto al intervalo recomendado (Montalvo M. y Guerrero S., 2003). Este valor nos indica que si no se tratara de un afluente con pocos sólidos aumentaría la posibilidad de taponamiento.

Diversos estudios han demostrado que el área superficial juega un papel menos importante en comparación con el volumen de los intersticios, que es donde estará suspendida la biomasa activa que degrada la materia orgánica, es por esta razón que se recomienda tener una relación d/Z que asegure espacios convenientes entre piedras, en este caso, que además evitan cortos circuitos hidráulicos.

Otro parámetro determinante en estos sistemas es la velocidad de flujo ascendente que para este caso es de 0.10 m/h para los flujos de diseño 1; y 0.12 m/h para el flujo de diseño 2. El valor máximo recomendado (Montalvo M. y Guerrero S., 2003) para la velocidad de flujo ascendente es 0.2 m/h por lo que la velocidad de flujo ascendente en el FAFA satisface adecuadamente el criterio. La velocidad de flujo determina las condiciones hidrodinámicas al interior del reactor, si fuera muy alta provocaría el desprendimiento y lavado de la biomasa aun por encima del efecto de retención del medio filtrante.

Por otro lado si la velocidad de flujo ascendente fuera muy pequeña implicaría tener un volumen muy grande de reactor para conseguirla. Además, en consecuencia y con el paso del tiempo, debido a la deposición de biomasa muerta, en los intersticios del reactor, la baja velocidad no sería capaz de conducir el agua residual por estas zonas, provocando pasos preferentes por zonas menos congestionadas, disminuyen notablemente la eficiencia de remoción del FAFA.

Finalmente utilizando la ecuación de la Tabla F, se obtuvieron las eficiencias teóricas de

remoción de DBO5 por el FAFA, usando los valores de DBO5 obtenidos de la evaluación de las eficiencias teóricas en los biodigestores. El volumen útil para este cálculo es mostrado en la Tabla C y fue obtenido considerando que al utilizar piedra como material de empaque se tiene un volumen muerto del 60% (Metcalf y Eddy, Inc., 2003).

5

Tabla F. Ecuación para la obtención de la eficiencia teórica de remoción de DBO5	
Ecuación	Unidades
$E = 100 \cdot \left(1 - S_x \left(\frac{S_0}{S_0 + B_v}\right)^m\right)$	%
Literal	Descripción
E	Eficiencia de remoción (%)
Sk	Constante empírica (d-1) ; 1.041 para VSB
S0	DBO5 afluente (mg/L)
Bv	Carga orgánica volumétrica (Kg DBO5/m3 d)
m	Constante empírica; 0.4 para VSB

Las eficiencias teóricas encontradas en este tratamiento son bajas con respecto a las reportadas como esperadas por diversos autores (Montalvo M. y Guerrero S., 2003) (Metcalf y Eddy, Inc., 2003), las cuales están entre el 20 y hasta el 90%. Un análisis grueso de la situación indica que el la carga orgánica aplicada es baja y dado que el tratamiento anaerobio trabaja mejor a cargas altas, es de esperarse este resultado, por lo que con objeto de mejorar esta condición y sabiendo que la carga orgánica es función del volumen del reactor, podría disminuirse.

De primera impresión parece ilógico disminuir el volumen en el FAFA para mejorar su eficiencia, sin embargo hay que señalar que esto implica tener una mayor cantidad de contaminantes disponible para un número menor de biomasa, que degradarían con mayor efectividad la materia orgánica.

Tabla G. Eficiencias teóricas de remoción de DBO5 en el FAFA			
Bases de diseño	1	2	3
Volumen útil total, Vu (m3)	277.472		
Caudal de diseño, Q (m3/d)	480	538.9	475.3
DBO5 afluente	191.98	195.01	191.71
Carga orgánica, Bv (Kg DBO5/m3 d)	0.33	0.38	0.33
Constante, Sk (d-1)	1		
Eficiencia de remoción de DBO5, E (%)	19.69	23.32	19.37
DBO5 efluente	154.18	149.54	154.58

Conforme con lo discutido en esta sección, el FAFA se encuentra sobredimensionado para la carga orgánica contaminante que recibirá, por lo que fortuitamente resulta conveniente el hecho de

que, si el flujo se incrementa, las eficiencias en el FAFA mejoren. En general el sobredimensionamiento nunca trae buenas consecuencias, en este caso, podría resultar favorable para el FAFA.

5 **Ejemplo 4: Evaluación de las eficiencias teóricas de remoción de DBO en los Pantanos Artificiales.**

Independiente al análisis del flujo realizado ahora se presenta la evaluación de las eficiencias teóricas de remoción de DBO (también llamado DBO5 por la metodología que se emplea) en los
10 pantanos artificiales bajo la suposición de que son alimentados equitativamente.

Tabla H Eficiencia de remoción de DBO en zona de pantanos artificiales		
Parámetro	Valor	
Constante empirica, Kt	1.041	
Ancho por modulo, W (m)	24	
Longitud por modulo, L (m)	9	
Profundidad del líquido, H (m)	0.6	
No. de módulos	6	
Volumen total sumergido, Vt m3	777.6	
Volumen útil húmedo, Vth (m3)	311.04	
Caudal de diseño, Q (m3/d)	48	240.19
Tiempo de residencia hidráulico, TRH (d)	0.65	0.65
Eficiencia de remoción, E (%)	51	51
DBO5 afluente (mg/L)	154.18	154.58
DBO5 efluente (mg/L)	75.65	76.36

La Tabla H muestra que si el caudal fuera equitativamente dividido en los 6 pantanos, este cumpliría, para el caso de DBO5, casi con la NOM – 01 – SEMARNAT – 1996, para descarga en ríos
15 con uso público urbano, riego agrícola en embalses naturales artificiales y recreación en aguas costeras.

Ejemplo 5: Diseño de una PTAR con base en el STAR descrito considerando una población de 5 mil habitantes.

20

Esta PTAR fue diseñada con los datos de un rango de población presentados en la Tabla I considerando un 80% de cobertura de drenaje y además que el 80% del agua potable consumida llega a la PTAR como agua residual. Las concentraciones de los contaminantes no fueron determinadas mediante una caracterización de agua, se utilizaron los valores que se indican en la
25 tabla I.

Tabla I Bases de diseño utilizadas en campo	
Parámetro	Valor

Población Total considerada para el diseño (habitantes)	5,000
Población considerando cobertura de drenaje (habitantes)	4,000
Dotación de agua potable (L/hab/día)	150.0
Aportación a agua residual (L/hab/día)	120.0
Flujo de diseño (m³/día)	480.0
Flujo másico (Kg DBO/día)	144.0
DBO mg/L	300
SST mg/L	300

El agua efluente de la PTAR debe siempre contener una calidad tal, al finalizar el proceso de tratamiento, que cumpla con los siguientes niveles máximos de contaminantes promedio mensual y diario, establecidos en la NOM-01-SEMARNAT-1996 cuyos parámetros se señalan en la tabla J.

5

Tabla J: Calidad objetivo de efluente de la PTAR			
Contaminante	Unidad	Promedio Mensual	Promedio Diario
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg/L	75	150
Sólidos suspendidos totales, SST	mg/L	75	125
Grasas y aceites	mg/L	15	25
Nitrógeno total	mg/L	40	60

Las dimensiones relevantes de las estructuras principales que componen una PTAR construida para la población determinada (4 mil habitantes) en este ejemplo se describen en la tabla K.

Tabla K. Dimensiones internas de los elementos de la planta de tratamiento								
Estructura	Unidades	Profundidad (m)	Área ² (m²)	Nivel de líquido (m)	Volumen útil ³ por unidad	Volumen útil ³ por estructura (m³)	Volumen total ⁴ por unidad (m³)	Volumen total ⁴ del tratamiento (m³)
Canal de pre-tratamiento ¹	1	de 0.4 a 0.55	4.91	de 0.01 a 0.11	ND	ND	2.51	2.51
Caja colectora de pretratamiento	1	0.60	1.44	ND	ND	ND	0.87	0.87
Cajas de distribución de biodigestores	2	0.40	0.20	0.25	0.05	0.10	0.08	0.16
Biodigestores ⁵	2	3.70	100.00	3.40	291.40	582.80	326.40	652.80
Caja concentradora de ingreso al FAFA	1	2.00	2.56	0.90	2.30	2.30	5.12	5.12
Filtro anaerobio de flujo ascendente ⁶	1	2.70	191.36	2.45	271.58	271.58	319.42	319.42
Registro de línea general de alimentación de pantanos	3	1.10	0.64	1.05	0.67	2.01	0.70	2.10
Cajas de distribución de ingreso a pantanos artificiales	4	0.50	0.64	0.45	0.29	1.16	0.32	1.28

Pantanos artificiales ⁷	6	0.80	288.0	0.60	201.60	1209.60	201.60	1209.60
Cajas de salida del pantano	4	0.95	1.44	de 0.10 a 0.75	de 0.15 a 1.08	de 0.60 a 4.32	1.37	5.48
Canal de contacto con cloro	1	1.80	10.55	1.25	13.19	13.19	18.90	18.90

- ND: No Disponible, indica que en los planos no aparecen los datos necesarios para su cálculo.
- ¹ incluyendo canales de desarenado, la profundidad del tratamiento se da en intervalos porque los canales desarenadores son más profundos que el canal con rejillas.
- 5 ² área calculada no contempla los espesores de muros, solo contempla la superficie necesaria para calcular los volúmenes.
- ³ El volumen útil es el máximo que ocupa el agua mientras permanece en el reservorio, en condiciones normales de operación.
- ⁴ El volumen total es el volumen máximo del reservorio.
- 10 ⁵ Para los cálculos de volumen se restaron los volúmenes de las zonas tolvas.
- ⁶ Para los cálculos de volumen se restaron los volúmenes de todos los elementos internos del FAFA, incluyendo el volumen muerto que ocupa el medio filtrante.
- ⁷ El volumen útil indicado corresponde al volumen del tanque sin el medio filtrante.
- 15 Normalmente se recomienda que durante el diseño de una PTAR se considere la tasa de crecimiento de la población y se estime que el porcentaje de incremento es directamente proporcional al porcentaje en que se incrementará la dotación de agua potable. También estimar un incremento en la cobertura de drenaje en base a los análisis estadísticos de la población. Considerar una zona de seguridad para que en caso de que las estimaciones no resulten reales debido a que son eventos
- 20 multifactoriales, se pueda aceptar un porcentaje de aumento.

Considerando el caso de que el 10% de la población que tiene drenaje no lo utilice, por no contar con el servicio de agua potable, para una población de aproximadamente 4 mil habitantes, tendríamos la Tabla L que muestra un flujo afluente a la PTAR ligeramente por debajo del utilizado

25 para el diseño. Lo anterior debido a que la consideración de un mayor número de población en el diseño compensa el aumento en el valor de dotación de agua potable por habitante, conciliando ambos valores.

Tabla L: Bases de diseño considerando cobertura de drenaje igual a cobertura de agua potable	
Parámetro	Valor
Población Total estimada al 2009 (habitantes)	4,076
Población considerando cobertura de drenaje (habitantes)	3,236
Dotación de agua potable (L/hab/día) (CNA, 2007)	185.0
Aportación a agua residual (L/hab/día)	146.9
Flujo de diseño (m3/día)	475.3
Flujo másico (Kg DBO/día)	142.6
DBO mg/L	300
SST, mg/L	300

30 Durante el proceso de establecimiento de las bases de diseño de una PTAR municipal siempre deben considerarse los valores más actualizados de población, consumo/dotación de agua y aportación al drenaje; además de considerar los factores demográficos de crecimiento poblacional y

realizar la caracterización de agua. Sin lo anterior se corre el riesgo de sub o sobre dimensionar la PTAR. La ventaja que se tiene con el STAR de la invención es la facilidad de crecimiento para ampliar su capacidad y/o mejorar la calidad del efluente.

En vista de las complicaciones que suelen tenerse para la realización de una caracterización de aguas residuales en ciertas regiones de países con zonas de desarrollo limitado, se pueden considerar valores generales tomados de bibliografía como Metcalf y Eddy, Inc., 2003 ó Crites y Tchobanoglous, 2000, que han desarrollado incluso factores de generación de cargas contaminantes para algunas regiones del mundo, dependientes de la población.

REFERENCIAS

- CONAGUA (2007) Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México, Distrito Federal: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2008). Sistema Nacional de Información del Agua. Recuperado el Noviembre de 2009, de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/TM_Coberturas.xls
- CONAGUA. (2010). Estadísticas del Agua en México, edición 2010. México, Distrito Federal: SEMARNAT.
- Crites, R., y Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*.
- Fox, R. W., y McDonald, A. T. (1986). *Introducción a la mecanica de fluidos*. Mexico: Nueva Editorial Interamericana.
- Gallego D., Montoya, J. y Valverde J. (2007). Funcionamiento hidráulico de un filtro anaerobio de flujo ascendente: Evaluación de la inundación. Universidad Nacional de Colombia Ingeniería Química. No. 450.
- INEGI. (2005). *Sistema Nacional de Informacion Estadistica y Geografica*. Inventario nacional de plantas municipales de potabilización tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2011. <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=est&c=2344&e=&i=>
- Kolb, W. 1998. Qualität und Quantität von Zisternenwasser bei Gründächern. Dach + Grün 2/1998, S. 4-6.
- Lee, C. C. y Dar Lin, S. (1999). *Handbook of enviromental engimeering calculatios*. Estados Unidos de America: McGraw-Hill.
- Malina, J., y Pohland, F. (1992). Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes. New York: Technomic.
- Metcalf y Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and reuse*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Montalvo M., S., y Guerrero S., L. (2003). *Tratamiento anaerobio de residuos*. Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. D.O.F.
- Ramalho, R. S. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Quebec, Canada: Ed. Reverté, S.A.
- Reynolds, T. D. y Richards, P. A. (1996). Unit operations and processes in environmental engineering. Boston, Estados Unidos de America: International Thomson Publishing.
- Rios, C., Gutierrez, L. y Aizaki, M. (2007). A case of study on the use of constructed wetlands for treatment of wastewater as an alternative for petroleum industry. Revista de la Facultad de Ciencias Basicas, Universidad de Pamplona , 25-41.
- Rojas J.A. Lagunas de estabilización de aguas residuales (2005) Bogotá Escuela Colombiana de Ingeniería p 300. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- Sasse, L. (1998) DEWATS. Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries. Bremen: Bremen Overseas Research and Development Association. ED. Borda.
- Seabloom y Hanson (2004) Constructed wetlands: A Critical Review of Wetland Treatment Processes. University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management.
- Stearman GK, George DB, Carlson Kand Lansford S (2003) Pesticide removal from container nursery runoff in constructed wetland cells. *J. Environ. Qual.* **32** (4) 1548-1556.
- USEPA. (2000). *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*. Cincinnati, Ohio: National Risk Management Research Laboratory.
- Winkler M.A., (1998), Tratamiento biológico de aguas de desecho, Ed. Limusa, México.