ECONOMÍA
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL

TÍTULO DE PATENTE No. 396861

Titular(es): UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Domicilio: Prolongación Canal De Miramontes No. 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan De Dios, 14387, Tlalpan, Ciudad de México, MÉXICO

Denominación: SISTEMA DE HUMEDALES Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS.

Clasificación: **CIP:** C02F3/32; C02F3/02; C02F3/30
CPC: C02F3/32; C02F3/02; C02F3/30

Inventor(es): ICELA DAGMAR BARCELÓ QUINTAL; MAGDALENA GARCÍA MARTÍNEZ; LUIS JESÚS OSORNIO BERTHET

SOLICITUD

Número:	Fecha de Presentación:	Hora:
MX/a/2017/011372	4 de Septiembre de 2017	22:04

Vigencia: Veinte años
Fecha de Vencimiento: 4 de septiembre de 2037
Fecha de Expedición: 18 de octubre de 2022

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V, 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5º fracción I, 9, 10 y 119 de la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º fracción V, inciso a), 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V, inciso a), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; 1º, 3º y 5º fracción I Acuerdo Delegatorio de Facultades del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

El presente documento electrónico ha sido firmado mediante el uso de la firma electrónica avanzada por el servidor público competente, amparada por un certificado digital vigente a la fecha de su elaboración, y es válido de conformidad con lo dispuesto en los artículos 7 y 9 fracción I de la Ley de Firma Electrónica Avanzada y artículo 12 de su Reglamento. Su integridad y autoría, se podrá comprobar en www.gob.mx/impi.

Asimismo, se emitió conforme lo previsto por los artículos 1° fracción III; 2° fracción VI; 37, 38 y 39 del Acuerdo por el que se establecen lineamientos en materia de Servicios Electrónicos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

SUBDIRECTORA DIVISIONAL DE EXAMEN DE FONDO DE PATENTES ÁREAS BIOTECNOLÓGICA, FARMACÉUTICA Y QUÍMICA

EMELIA HERNÁNDEZ PRIEGO

Cadena Original:
EMELIA HERNANDEZ PRIEGO|00001000000506482277|SERVICIO DE ADMINISTRACION TRIBUTARIA|56||MX/2022/122676|MX/a/2017/011372|Título de patente normal|1980|SRH|Pág(s) 1|nH2jL6jwrY8SStTTli/hbQAvtkY=

Sello Digital:
CfTDrZICisZnVDsW/dzgW3dMPp040i6a2ke73vD/89OnHV8aw8Mq+nSyEYYVRCsX99DTuJVuiUUNHwX1OQIDdEH1v+GM20I2iUpkcfnphbbHcYmMcNshRtFHZZzjZF+u86evrbTUPMk5ZHYeL1Bk8aOwUYlRhh+woHfMHNwqmoLlUh18rcsvtI8/WfUcLsMzZu5uAKRuHXRG/5HB3FlXB8vpsN0dXJrWJSDiwmkRLqLtK3fUdkYS6LWg/16S4+4l+KkaA/j/aKhabXwN2BFi+O6UwS0o0bOKuxhIF1zq7fDmTlhINSmI+gUDon/I2SMGcP+piijrJlDuVn7SX1hT1A==

MX/2022/122676

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

SISTEMA DE HUMEDALES Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención está relacionada con el tratamiento de aguas residuales, específicamente con el tratamiento que se hace mediante humedales y lagunas de estabilización.

ANTECEDENTES DEL INVENTO

Los humedales naturales (natural wetlands: NW), constituyen un eslabón básico en el ciclo del agua ya que aseguran la biodiversidad y prestan servicios ambientales de tratamiento y almacenamiento de agua, además de retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes (Convención de Ramsar, 2007). Según el Convenio de Ramsar sobre humedales o wetlands, los humedales se definen como: "Extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" (Convención de Ramsar, 1971). En los humedales crecen vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a estas condiciones ambien-

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

tales. Estos seres vivos, junto a procesos físicos y químicos, son capaces de depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo, coliformes totales y, en algunos casos, productos químicos tóxicos (Paracuellos, 2003). Los humedales son zonas de transición entre el medio ambiente terrestre y acuático y sirven como enlace dinámico entre los dos. Se ha tratado de aprovechar este gran potencial depurador de los humedales para el tratamiento de aguas residuales diseñando instalaciones capaces de reproducir las características de los humedales naturales (Paracuellos, 2003). En los humedales de flujo sub-superficial, la circulación del agua es de tipo subterránea a través de un medio granular (García *et al*, 2003) y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua normalmente es de 0.3 a 0.9 m. La bio-película que crece adherida al medio granular, a las raíces y rizomas de las plantas juega un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua.

Dos procesos críticos dominan el rendimiento en el tratamiento de los humedales: la dinámica microbiana y la hidrodinámica. Los procesos microbianos son cruciales en la remoción de nutrientes de tal manera que esta capacidad es el mecanismo fundamental de tratamiento de las aguas residuales. En cuanto a la hidrodinámica, los humedales deben de operar casi a velocidades de flujo y caudal constante dependiendo de la operación. Parámetros como velocidad, distribución del flujo y tiempo de retención hidráulico dependerán de las características constructivas del humedal, así como de las del medio rocoso o sustrato. De acuerdo a Ri-

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

vas, *et al.* (2011), Cuia, *et al.* (2010) y Rivas (2011), en zonas templadas los cambios drásticos en la temperatura pueden afectar a la remoción de la demanda bioquímica de oxigeno (DBO) y, por lo tanto, la demanda química de oxígeno (DQO), mientras que, en zonas cálidas y tropicales, estos parámetros varían en un intervalo menor que en zonas templadas. Los efectos de la evapotranspiración no son notorios a simple vista, pero pueden medirse en reducciones en el flujo de salida al igual que en el incremento de la concentración de la DBO y/o la DQO en el curso de una estación.

Estos impactos en el comportamiento hidrológico parecen menores en comparación con los producidos en la concentración de la DBO y/o DQO a la salida. De tal manera, que para evaluar la eficiencia en un humedal artificial es necesario valorar los resultados hidrodinámicos y fisicoquímicos. Los humedales logran el tratamiento de las aguas residuales a través de la sedimentación, absorción y metabolismo bacteriano. Los humedales específicamente construidos con el propósito de controlar la contaminación del agua han recibido gran cantidad de nombres, la denominación más extendida es "Humedales Artificiales" o "Humedales Construidos" (EPA, 1988). Son sistemas estéticamente agradables a la vista (Urquiza *et al.*, 2005).

Por otro lado, las Lagunas de Estabilización son construidas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, municipales y una amplia variedad de aguas industriales. Estos sistemas se han diseñado comúnmen-

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

te bajo métodos técnicos de diseño, donde los aspectos físicoquímicos, químicos y biológicos que se presentan, permiten comprender el comportamiento de lo que ocurre en el sistema y, a su vez, el tipo de tratamiento es aerobio, anaerobio o facultativo.

Las lagunas de estabilización son cuerpos de agua relativamente someros contenidos en una excavación en la tierra con forma de vaso. Los términos "laguna de oxidación" y "laguna de maduración" son sinónimos. Las lagunas de estabilización son muy populares en las pequeñas comunidades debido a su bajo costo de inversión y de operación, lo cual les da una ventaja significativa sobre otros métodos de tratamiento. Además de ser utilizadas en el tratamiento de agua residual doméstica, también son empleadas extensivamente en el tratamiento de aguas industriales y mezclas de las dos (Romero, 1994).

Las lagunas de estabilización, también conocidas como lagunas de oxidación o de maduración, se clasifican de acuerdo con la naturaleza de la actividad biológica que se lleva a cabo en el proceso de la siguiente manera: (1) aerobia, (2) anaerobia y (3) facultativa (Gloyna, 1973). Las lagunas facultativas son el tipo más común y han sido usadas para tratar agua residual doméstica y una amplia variedad de aguas industriales (Malina, 1992). Las lagunas anaerobias son especialmente efectivas para una estabilización rápida de residuos fuertemente orgánicos; normalmente, las lagunas anaerobias son usadas en serie con lagunas facultativas para dar un tratamiento completo (Mc Carty, 1991; Barrera, 2008). Nor-

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

malmente se requieren tiempos de retención de 60 días para lagunas transversales facultativas, aunque en 30 días de tiempo de retención se obtienen grandes grados de remoción de coliformes (Romero, 1994; Mendonça, 1990). El tratamiento mediante Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales (LEAR's), tiene como propósito explícito mecanismos de remoción de fosfatos, compuestos nitrogenados, patógenos y coliformes fecales, éstos en particular son gobernados por la actividad microalgal en sinergia con la fotoxidación. Poseen altos valores de pH (>9) debido a la degradación de la materia orgánica en tratamiento.

El tiempo de retención hidráulica y la temperatura son los parámetros principales usados para su diseño y, generalmente, tienen tiempos de retención largos. Su eficiencia de remoción de DBO es baja pero su contribución a la remoción de nitrógeno y fósforo es más significativa. Los parámetros exigibles hoy en día para el efluente de las lagunas de tratamiento de aguas servidas son solamente que los coliformes fecales estén por debajo de 1000 UFC/100 mL, que los sólidos totales estén por debajo de 100 mg/L, que no se aporte olor evidente y que no se aporte color observable al sistema receptor, según la norma de descarga de cada país; por ejemplo, en México se aplica la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Debido a la, cada vez mayor, necesidad de recuperar el agua utilizada y disminuir su contaminación, se han hecho numerosas investigaciones e intentos por utilizar tanto humedales como lagunas de estabilización que mejoren las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

que ha sido utilizada.

Se ha sugerido que el uso de humedales artificiales son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales municipales aun cuando éstas presenten concentraciones moderadas de metales pesados, como es el caso de cobre, previo adecuado diseño y construcción. En forma particular, para el caso del *Sistema Humedal – Laguna de Estabilización – Humedal de pulimento* ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, ubicada en la Ciudad de México, refiere que el pH promedio obtenido a lo largo del Sistema durante las dos fases experimentales parece indicar que existe una ligera tendencia del mismo hacia la basificación. Además, señala que el comportamiento del cobre en el primer humedal puede ser indicativo de la presencia de flujos preferenciales y/o flujos transversales entre los canales del sistema mientras que el comportamiento del potencial de óxido reducción (ORP) en el segundo humedal puede ser indicativo de zonas muertas en el sistema que provocan cortos circuitos (Galeana G., J. C., 2011).

Por otra parte, en contraste con las tecnologías de tipo mecánico, los humedales y las lagunas presentan una amplia versatilidad en el tratamiento de aguas residuales (municipales, de retorno agrícola e industriales del tipo orgánico); por sus bajos costos de tratamiento; demandan una capacitación mínima para los operadores; no requieren energía eléctrica para su funcionamiento; operan bajo diversas condiciones climáti-

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

cas; permiten una amplia variación en la carga orgánica e hidráulica; no generan malos olores ni ruido; permiten el reúso del agua tratada en diversas actividades como son el riego de cultivos, riego de áreas verdes y acuacultura; remueven nutrientes, lo que permite la protección de la vida acuática de los cuerpos receptores y constituyen áreas para la protección de la vida silvestre (Rivas-Hernández, A., 2013).

Sin embargo, estas propuestas del estado de la técnica: siguen teniendo inconvenientes debido a que los sistemas convencionales que se utilizan en los humedales son rectangulares o cuadrados y generan problemas en los cambios de canal por formarse zonas muertas, restándole eficiencia, este es un problema que no se ha podido resolver ni en humedales ni en lagunas de estabilización. Las zonas muertas o cortos circuitos son aquellas zonas en las que el flujo se vuelve disperso; principalmente, las esquinas y provoca la acumulación de materia orgánica y de procesos con tendencia a la anaerobiosis, es decir, parte del flujo se estanca, evitando la correcta remoción de contaminantes. Estos sistemas convencionales generan un flujo disperso y las fuerzas tangenciales no se reparten uniformemente en las zonas de cambio de canal y es cuando presentan estancamiento y acumulación de materia orgánica e, incluso, lodos en el caso de un sistema lagunar.

En el caso de las lagunas, un problema de gran importancia que no se ha logrado resolver es la falta de homogeneización de los flujos hidráulicos debido al flujo disperso y el tiempo de retención hidráulica, lo que per-

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

mite que en los cambios de canal genera zonas muertas en los canales de la laguna, a diferencia de la presente invención.

OBJETIVOS DE LA INVENCIÓN

El principal objetivo de la presente invención es disponer de un sistema para el tratamiento de aguas residuales que proporcione una mayor eficiencia que los sistemas conocidos que permita el reuso del agua en servicios al público o en agricultura.

Otro objetivo es utilizar de manera combinada humedales subsuperficiales, superficiales y lagunas que eviten cortos circuitos en los cambios de canal para aumentar la eficiencia del tratamiento de aguas.

Un objetivo más es contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales de fácil instalación y mantenimiento, útil en poblaciones rurales.

Otro objetivo es contar con una laguna de estabilización con un flujo poco disperso.

Un objetivo más es disponer de un sistema para el tratamiento de aguas que proporcione soporte a la película bacteriana propia del sistema.

Otro objetivo es aumentar el tiempo de retención hidráulica en el sistema

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

de tratamiento de aguas residuales, tanto en el humedal como en la laguna, para permitir que las bacterias asimilen la materia orgánica que contiene el agua residual.

Y todos aquellos objetivos y ventajas que se harán aparentes con la lectura de la descripción y los ejemplos, que, con fines ilustrativos más no limitativos, comprende ésta.

BREVE DESCRIPCIÓN DEL INVENTO

La presente invención se refiere a un sistema de tratamiento de aguas residuales basados en humedales y lagunas de estabilización; en particular con su uso combinado y el uso de curvas peraltadas que eliminan los cortos circuitos y evitan las zonas muertas que causan problemas graves en el tratamiento de un agua residual, tanto en los humedales construidos, como en las lagunas, donde en estas últimas los canales mejoran la dispersión del flujo de agua a tratar, el tiempo de retención y, por lo tanto, su eficiencia.

Esta nueva forma de construir humedales y lagunas, la utilización de formas curvas y con una sobre elevación para abatir las zonas muertas, que representan un foco de procesos anaerobios en los humedales que hoy representan una tecnología que ha demostrado ser eficiente en el tratamiento de aguas, pero por ser una tecnología reciente requiere de

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

mejoras en sus diseños.

El sistema propuesto comprende:

1. Módulo de Pre-Tratamiento
2. Tanque de Regulación
3. Tanques de Digestión anaerobia de dos etapas.
4. Humedal artificial.
5. Laguna de estabilización

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 muestra la distribución del trazador en el sistema a rectangular a escala.

La Figura 2 muestra el recorrido del trazador por el sistema con curvas peraltadas.

La Figura 3 muestra el trazado de la curva utilizada en el primer canal del humedal de la presente invención.

La Figura 4 muestra una de las zonas con tendencia a generar cortos circuitos en el sistema real.

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

La Figura 5 muestra el croquis de una de las zonas con tendencia a generar cortos circuitos.

La Figura 6 muestra el croquis de la curva diseñada en cada cambio de canal y donde se representa el radio de la curva (R).

La Figura 7 muestra la representación en corte del peralte y del flujo.

La Figura 8 muestra la representación de las fuerzas actuantes en el peralte.

La Figura 9 muestra el detalle de la curva en peraltada en un humedal.

La Figura 10 muestra la representación de curva con chaflán en el prototipo.

La Figura 11 muestra curva con chaflán en el prototipo.

La Figura 12 muestra una vista en isométrico del humedal.

La Figura 13 muestra el prototipo de laguna de estabilización, escala 1:20.

La Figura 14 muestra la vista en planta del humedal.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

La Figura 15 muestra la distribución del flujo en cambio de canal.

La Figura 16 muestra la gráfica de variación de la temperatura.

La Figura 17 muestra la gráfica de variación del pH.

La Figura 18 muestra la gráfica de variación de conductividad.

La Figura 19 muestra la gráfica de variación de sólidos suspendidos.

La Figura 20 muestra la gráfica de variación del potencial redox (OPR.

La Figura 21 muestra la gráfica de variación del oxígeno disuelto.

La Figura 22 muestra la gráfica de variación de la DQO.

La Figura 23 muestra el comportamiento de la velocidad del flujo de agua en el primer lecho.

La Figura 24 muestra el comportamiento de la velocidad del flujo de agua en el segundo lecho.

La Figura 25 muestra el comportamiento de la velocidad del flujo de agua en el tercer lecho.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

La Figura 26 muestra las aéreas en las que el régimen del flujo pasa de sub-critico a crítico (Numero Froude).

La Figura 27 muestra la modelación del transporte de sedimentos, granulometría de 5-10cm.

La Figura 28 muestra la variación de la temperatura en el sistema lagunar.

La Figura 29 muestra la variación de pH en el sistema lagunar.

La Figura 30 muestra la variación de sólidos totales en el sistema lagunar

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

La invención comprende de un sistema para el tratamiento de aguas residuales que combina humedales sub-superficiales, superficiales y lagunas de estabilización que evitan cortos circuitos en los cambios de canal para aumentar la eficiencia del tratamiento de aguas.

Con el propósito de evitar los cortos circuitos que provocan el estancamiento del flujo a tratar y disminuyen la eficiencia del tratamiento, se propone el uso de un peralte en las curvas para los cambios de canal

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

tanto del humedal como de la laguna. Este peralte permite la homogeneización de los flujos hidráulicos, disminuyendo la dispersión del flujo y aumentando el tiempo de retención hidráulica. Al detectar las zonas muertas que sean más propensas a la acumulación de materia orgánica, es posible realizar un correcto mantenimiento.

Para propósitos del mejor entendimiento de la presente invención, es importante definir lo que es una curva peraltada: Se denomina "peralte" a la pendiente transversal que se da en las curvas a la plataforma de una vía férrea o a la calzada de una carretera, con el fin de compensar con una componente de su propio peso la inercia del vehículo, y lograr que la resultante total de las fuerzas se mantenga aproximadamente perpendicular al plano de la vía o de la calzada. El objetivo del peralte es contrarrestar la fuerza centrífuga que impele al vehículo hacia el exterior de la curva. También tiene la función de evacuar aguas de la calzada, exigiendo una inclinación mínima del 0,5%.

A continuación, se describe brevemente la configuración del sistema *Humedal-Laguna de Estabilización,* según la dirección del flujo de agua:

Sistema de Alimentación de aguas residuales domésticas que se realiza mediante una bomba sumergible de aguas negras ubicada en el cárcamo de regulación a espaldas del edificio. El bombeo es intermitente de modo que, una vez cubierta la necesidad de agua del sistema, el bombeo cesa.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

Módulo de Pre-Tratamiento que tiene por objeto retener los sólidos gruesos presentes en el agua residual cruda que alimenta al sistema. Esta etapa se lleva a cabo mediante un desarenador o sedimentador, que permite retener arenas y/o sólidos sedimentables gruesos y, al menos, una criba, que permite retener sólidos cuyo tamaño de partícula sea de 2.54 cm (1 pulgada) o superior.

Tanque de Regulación equipado con una bomba sumergible de 1HP, recibe el agua proveniente del Pre-Tratamiento y la acumula, permitiendo un flujo constante de agua al resto del sistema a razón de entre 0.05 a 0.5 L/s. El agua se guarda a presión ambiente.

Tanques de Digestión anaerobia de dos etapas que están conformados por dos fosas sépticas dispuestas en serie y alimentadas por la bomba sumergible del cárcamo de bombeo. La digestión anaerobia es un proceso fermentativo que permite la conversión de materia orgánica a metano.

Humedal artificial que se puede elegir, aunque sin limitar, de entre uno de flujo sub-superficial o de flujo superficial, que es alimentado únicamente con el sobrenadante del segundo tanque de digestión anaerobia. Cuenta con un substrato, acomodado en capas con diferente granulometría, y, al menos, dos canales a través de los cuales fluye el agua. El flujo es distribuido uniformemente por, al menos, una canaleta. Las especies vegetales sembradas incluyen, principalmente, carrizo *(Phragmitesaustralis*) y tule o espadaña *(Typha Latifolia).* Opcionalmente, cuenta

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

con puertos de muestreo en cada canal. En el humedal procede la eliminación de materia orgánica, nutrientes, oligoelementos, patógenos y otros contaminantes contenidos en las aguas residuales.

Laguna de estabilización alimentada con el agua proveniente del Humedal que comprende, al menos, dos canales y tiene el propósito de someter el agua a un contacto directo con la atmósfera favoreciendo el desarrollo de algas buscando disminuir la concentración de nutrientes y el número de organismos patógenos en el agua. El objetivo de la laguna es reducir la concentración de bacterias patógenas y son, generalmente, el último paso del tratamiento antes de volcar las aguas tratadas en los receptores finales.

CALCULO DE LA CURVA PERALTADA

El diseño original del humedal y laguna incluía cambios de canal con forma rectangular, como se hace tradicionalmente, tras el análisis del proceso de remoción de contaminantes y pruebas hidrodinámicas se determinó que era necesario implementar una nueva geometría en los cambios de canal, que disminuyera los cortos circuitos y por ende las zonas muertas, con la forma rectangular se tenía un flujo disperso en la laguna y en el humedal se presentaban zonas de estancamiento y mala distribución del flujo (Figura 1).

Se contemplaron diversas formas geométricas, como hexagonal, elíptica

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

y otras, pero después de las pruebas realizadas en los prototipos a escala, se concluyó que la forma circular permitía una mejor transición de canal a canal, disminuyendo al máximo los esfuerzos tangenciales. Con una forma circular, el desplazamiento del flujo es gradual y permite hacer un movimiento más estable (Figura 2).

Se construyó la cartera de deflexiones, que permite materializar la curva en el terreno (Tabla 1). Y posteriormente podemos trazar la curva, como se muestra en el croquis de la Figura 3.

Tabla 1. Cartera de deflexiones para el trazo de la curva

ESTACIÓN	ABSCISA	DEFLEXIÓN
PC	k2+0	0°00'00"
	K2+0.20	4°17'34"
	K2+0.40	6°26'21"
	K2+0.60	8°35'08"
	K2+0,80	10°43'55"
PT	k2+8.38	89°59'58"

Posterior al cálculo de los elementos geométricos de la curva, se observó que se podrían generar más cortos circuitos en la unión que se forma entre el muro y el piso de los sistemas, siendo esta zona más susceptible debido a la fuerza de inercia del flujo y que tiende a incrementar sedimentos en esta sección, tal y como se muestra en las figuras 4 y 5.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

Esta zona, al ser una zona de transición en la curva, tiene poca fluidez y en un breve periodo de tiempo, podría generarse una zona muerta.

Para combatir este problema, decidió construirse un peralte, o sobre elevación triangular en dichas secciones. Para calcular el ángulo de inclinación y la dimensión del mismo, se consideraron, las fuerzas que intervienen en dicha zona, así como un coeficiente de rozamiento típico del material con el que fue construido dicho peralte (concreto) de $\mu=0.45$, y el radio de la curva $R=2.67$.

En la figura 6, se observa un croquis de la curva diseñada en cada cambio de canal y donde se representa el radio de la curva (R). Se presenta también el análisis de la curva, pero en un solo punto en el que se reúnen todas las fuerzas que actúan, principalmente la velocidad al ser un vector que actúa perpendicular a la trayectoria de la curva y que se encuentra cambiando a cada momento que avanza.

Como se sabe, la tendencia natural de todo cuerpo o fluido que viene con cierta velocidad consiste en salirse de la curva debido a la fuerza de inercia, tal y como se menciona en la primera ley de Newton "todo cuerpo tiende a mantener su movimiento rectilíneo uniforme".

Realizando un corte en el punto mencionado en la figura anterior, se tiene el peralte de la curva, representado con un triángulo. Siendo el ángulo α de dicho peralte la variable que se desea calcular (figura 7).

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

Teniendo la visión general del problema físico, un flujo que recorre una curva que tiene un peralte, se cuenta con los datos de la velocidad, coeficiente de rozamiento y radio de la curva. Posteriormente en la figura 9 se hace la representación de todas las fuerzas que se aplican sobre nuestro peralte. En primer lugar, la fuerza del Peso del fluido (P), que actúa siempre en dirección vertical, causada por la fuerza de gravedad, en segundo lugar, la fuerza de rozamiento o coeficiente de rozamiento μ, que impide que el fluido se desplace, que tiene que ver con el material. En tercer lugar, la fuerza normal (N) que actúa siempre perpendicular a la superficie y se ejerce en sentido contrario a la zona de contacto, en cuarto lugar, la fuerza del fluido que por inercia tiende a salirse de la curva, es decir genera un vector paralelo a la superficie del peralte. Esta última es la dirección que la fuerza de rozamiento Fr seguirá. Es importante mencionar que este cálculo está basado en un movimiento circular uniforme. La cual tiene una aceleración centrifuga, que recorre un círculo perfecto y que es observada a través de los ejes xy (Figura 8).

También se consideraron las componentes de la fuerza de la Normal en ambas direcciones, en función del ángulo α y las componentes de la fuerza de Rozamiento en ambas direcciones, en función del ángulo α.

Se realizó la suma de fuerzas en el eje x, como son la componente de la Normal en x, la componente de la Fuerza de Rozamiento en x, posteriormente igualándolas con la fuerza centrífuga, manteniendo el movimiento

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

circular uniforme planteado en un inicio que iguale la ecuación.

$$N_X + FR_X = F_C = m * \frac{v^2}{R}$$

Se procede a hacer la suma de fuerzas en el eje y, donde actúan, el Peso, la componente de la Normal en y, la componente de la Fuerza de Rozamiento en y, dado que el flujo no sufre variación en la altura de recorrido, se iguala a cero.

Después del procesamiento matemático se obtiene el ángulo α =24°, es decir, el mínimo a utilizar para el peralte

Se tiene el ángulo mínimo del peralte, la dimensión que debe tener y la forma que favorezca un movimiento de transferencia de fluido más adecuado. Para el humedal, la altura del peralte se igualo con la altura del lecho bajo del humedal, que es de 0.30m pensando en la zona preferencial del flujo, que es el estrato que tiene una mayor velocidad en su flujo. Si se asigna una altura superior al 50% del total de la altura del tirante del humedal (0.4m) se perdería una importante área de flujo, resultando un problema, por la rápida colmatación de las raíces. Es por esto, que los peraltes en un humedal no deben ser tan grandes y deben tener una forma que beneficie la transferencia del flujo, iniciando de cero, y en su punto más alto llegar a 0.30m (Figura 9).

Para el caso de las lagunas que tienen una velocidad de flujo más rápida

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

y no tienen un sustrato que limite el flujo, los peraltes pueden ser más grandes, pero sin pasar el 50% del tirante de la laguna, porque también afectaría el funcionamiento hidráulico, un peralte tan grande significaría una contención que podría afectar la tendencia a flujo pistón que se desea tener. En el presente proyecto, se utilizó un peralte de 0.25m para una laguna con tirante de 0.60m.

EJEMPLOS

Los siguientes ejemplos son representativos del conservador objeto de la presente invención y los procesos de producción en los que se aplican, pero su intención, de ninguna manera, es limitar el concepto inventivo.

Ejemplo 1.

Es importante que en un proyecto de esta magnitud se verifique el funcionamiento hidráulico antes de su construcción, preferentemente con un prototipo a escala. Para el presente proyecto el diseño del humedal fue revisado en el modelo que se presenta en las figuras 10 y 11, con escala de 1 a 20.

El prototipo incluye las curvas en el cambio de canal, el peralte del chaflán, y la mayor cantidad de variables para que el funcionamiento del sistema sea lo más cercano a la realidad.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

Asimismo, se consideró un vertedero para la distribución equitativa del flujo. El sistema operó con un gasto de 0.1 L/s.

Una vez realizada la representación del sistema, se efectuó una prueba por trazadores con el principal objetivo de conocer la trayectoria del flujo por los espacios intragranulares, el tiempo real de permanencia hidráulica, determinar el grado de dispersión, así como de establecer el tipo de flujo del sistema.

El trazador utilizado fue azul de metileno en una concentración de 6 g/l. Durante este procedimiento se observó que el comportamiento del flujo tiene una tendencia a flujo pistón y una distribución uniforme a lo ancho y alto del lecho. Después de 10 minutos y una vez que el trazador entro al segundo canal dejo de ser visible.

Se tomaron muestras al final de la prueba en los 9 puntos de muestreo, para analizar la turbidez y por ende la dilución del trazador a medida que recorría el sistema.

Caracterización del sistema de humedales y lagunas de estabilización para el de tratamiento de aguas

Con el propósito de caracterizar el sistema objeto de la presente, se llevaron a cabo las siguientes determinaciones:

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

I. Pruebas fisicoquímicas (humedal y laguna de estabilización)

Se establecieron 10 sitios de muestreo en el humedal y 21 sitios de muestreo en la laguna de estabilización con el objeto de determinar el comportamiento de ambos sistemas en función de los parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH, conductividad, potencial redox (OPR), O2 disuelto, sólidos totales (TS) y la DQO, donde es importante determinar el comportamiento en las secciones peraltadas y en los cambios de canal. El sistema fue monitoreado durante 2 periodos, en el invierno y en la primavera de 2016.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La prueba de la DQO utiliza el oxígeno equivalente a la materia orgánica (biodegradable y no biodegradable) en el agua residual que puede oxidarse químicamente usando dicromato de potasio en medio ácido. Se utilizaron viales con el contenido de los reactivos ya citados, (es decir, el método estandarizado AC 8000), con un tiempo de dos horas de digestión, a una temperatura de 150°C. Asimismo, la DQO se determinó mediante un espectrofotómetro de luz visible DR/2400 marca Hach, el reactor para DQO fue marca Hanna modelo HI-839800 se siguió la metodología estipulada *DR/2400 Spectrophotometer – Procedure Manual (Hach, 2002)*.

Determinación de sólidos

La determinación de sólidos se realizó a partir de un volumen de muestra

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

homogeneizada de 20 mL. El procedimiento y los cálculos se realizaron según lo estipulado en la norma NMX-AA-034-SCFI-2001, referente a determinación de sólidos y sales disueltas en aguas, donde se recurrió al uso de una estufa E28 Binder y una balanza analítica Mettler AJ150, así como cápsulas de porcelana previamente llevadas a peso constante.

Determinación de la temperatura, pH, CE, OD Y ORP

La determinación de la temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y potencial redox, se realizaron con un equipo Vernier con los respectivos electrodos adaptado a una consola *LabQuest*. Los electrodos fueron previamente calibrados considerando lo establecido por el fabricante.

Dureza y la alcalinidad

Se determinaron mediante el uso de los instrumentos titulométricos *Hach* de campo: *Hardness Total Test Kit* modelo *5-EP MG-L y Alkalinity Test Kit* modelo *AL-AP MG-L*; respectivamente.

II. Determinación de la porosidad en el humedal construido

La porosidad es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0-1, o como un porcentaje entre 0-100%. Como producto de la actividad volcánica, el tezontle es bastante duro y resistente, a pesar de ser una piedra porosa. Su resistencia lo hace un material ideal para el sustrato para especies

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

hidrofitas. También es un material ligero; su densidad varía entre 1.2 y 1.6g/cm^2.

Para conocer el valor de la Porosidad o fracción de huecos, fue necesario analizar la siguiente información para los diferentes estratos del humedal.

a) Tamaño de partícula efectiva.
b) Peso seco de la muestra.
c) Peso húmedo de la muestra.
d) Peso de la muestra sumergida en agua.

El recipiente que se utilizó para sumergir la muestra fue construido en vidrio de 6mm de grosor con dimensiones de 15 x 20 x 16 cm con un volumen de 4800 cm^3. En la tabla 2 se muestran los valores de peso seco (w), peso húmedo (s) y peso del material sumergido en agua(i), para los diferentes tamaños de partícula.

III. Método de trazadores en el diseño del prototipo del humedal escala 1:20.

IV. Escalamiento al sistema real: humedal construido de la UAM-A

Una vez que se comprobó el funcionamiento hidráulico del sistema y que se estableció la trayectoria a través del lecho del colorante, se concluyó que se evitaron las zonas muertas y que además se incrementó el tiempo

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

de residencia hidráulica, por lo cual se podía iniciar la remodelación del sistema.

Tabla 2. Porosidad del tezontle utilizado

Material fino	**Material medio**	**Material grueso**
Capa superior tamaño de partícula inferior a 0.015m	*Capa media con tamaño de partícula de 0.015 a 0.06m*	*Capa inferior con tamaño de partícula de 0.06 a 0.16 m.*
w= 2.150 kg	w= 2.050kg	w= 1990kg
s= 2.572 kg	s= 2.420 kg	s= 2.270kg
i= 1209 kg	i= 1.040 kg	i= 1.005kg

V. Método de trazadores en el diseño del prototipo de la laguna de estabilización, escala 1: 20

Para efectos de conocer a nivel escala el tipo de flujo que se tiene, se construyó un prototipo de la laguna de estabilización con material de vidrio, y acrílico, a escala 1:20 (figura 13). En dicho prototipo se efectuaron las pruebas de trazadores como se mostrará a continuación.

La manera más directa de obtener el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) real es hacer una prueba con un trazador físico y no reactivo que consiste en introducir instantáneamente un caudal volumétrico constante en el sistema. Se utilizo azul de metileno con una concentración de 2 g/L

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

, misma que se descargó con un gasto de 0.1 L/s en el prototipo de laguna (figura 14), con la finalidad de conocer el tiempo de Retención hidráulica real.

Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica Nominal (TRHN)

$$TRHN = \frac{V}{Q} TRHN = \frac{(0.6)(0.4)(0.04)m}{0.1E{-}4\ m3/seg} = 1.6 \text{ min}$$

Una vez que se conoce el TRHN, es posible verificarlo en la laguna por medio de la prueba de trazadores sin las mamparas.

Posteriormente se repite la prueba con la utilización de las mamparas, donde se analizará el tiempo de recorrido en cada canal (TRHc), multiplicándolo por el número de canales que se tenga, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$TRHR = (n)(TRHc)(f)$$

Donde:

TRHR= Tiempo de Retención Hidráulica Real.

n= Número de canales

f= Factor de detención de flujo (varia con respecto al número de cambio de canales que se tengan.

El TRHc para el primer canal con un gasto de 0.1 L/s fue de 0.7 min,

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

posteriormente en el cambio de canal se consumieron 0.02 minutos adicionales a lo que se hubiera tardado si fuera una línea recta, esto debido al grado de mezcla, cortocircuitos, regiones muertas, corrientes de inercia, etc. pese a las mejoras realizadas en la construcción de deflectores, dicha trayectoria del caudal se muestra en la figura 15.

Cálculo de TRHR

TRHR = (n)(TRHc)(f) TRHR = (7)(0.7min)+(6*0.02min)= 5.02 min

Como se observa, se obtuvo un gran incremento en el Tiempo de Retención Hidráulica debido a la construcción de mamparas y de curvas verticales, el TRH se incrementó de 1.6 a 5.02, lo cual nos permitió una mejor remoción de contaminantes en menor tiempo, además una tendencia a flujo pistón.

En el caso del humedal, se determinó la porosidad de cada uno de los 3 estratos, para obtener el coeficiente de rozamiento estático que interviene como resistencia a los vectores de las fuerzas centrifugas en la sección del peralte de la curva de cada canal del humedal. Una vez obtenidas las dimensiones de los peraltes, tanto de los tres canales del humedal (con sus respectivas camas de material poroso), como de cada canal de la laguna; así como la forma correcta que debía tener cada curva en cada sistema, con el propósito de calibrar las dimensiones, el diseño y el comportamiento de los flujos hidráulicos, se ensayaron en un

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

prototipo a escala de 1:20, utilizando azul de metileno como trazador, para ambos sistema y de forma integral, primero el del humedal seguido de la laguna, se realizaron las correcciones necesarias previas a la construcción del sistema a escala real. Este sistema a escala, permitió el cálculo necesario para la disminución de las fuerzas tangenciales causadas por el flujo. Se procedió a construir ambos sistemas en tamaño real, se construyeron dos curvas en el humedal con R=2.67m y en la laguna 6 curvas con R=1.07m, con peraltes de 0.30m en la laguna y de 0.45m en el humedal. Una vez construidos ambos sistemas, se efectuó la modelación hidrodinámica del flujo tanto del humedal, como de la laguna, utilizando un software bidimensional del flujo en lámina libre, cuya sigla es IBER, con el fin de comprobar el comportamiento correcto de dicho flujo y de la reducción de los cortos circuitos, tanto en los canales del humedal, como en los de la laguna.

Una vez concluida con la construcción de canales de ambos sistemas, sin plantas en el caso del humedal, se evaluaron las velocidades de flujo reales con ajuste de los números de Reynolds, para probar el buen diseño en los sistemas. Para la entrada al humedal, que es el primer sistema de tratamiento, se utilizó un flujo inicial de 0.5 L/s± 0.225 de agua residual municipal, con un tratamiento previo para eliminar los sólidos gruesos. Seguido de la laguna, en donde se diseñaron vertederos, con un promedio de 0.7 L/S ± 0.0266 para la entrada al primer canal. Se utilizaron varios tiempos de retención hidráulica (RTH), tanto en el humedal como en la laguna, con la finalidad de optimizar este parámetro.

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

Cuando se tuvieron todas las pruebas hidráulicas e hidrodinámicas previas, se procedió a plantar las especies *Phragmites australis* y *Typha latifolia*, se llevó a cabo la determinación de parámetros físico-químicos *ex situ*: pH, Temperatura, Conductividad, Turbidez, ORP, OD, como los ex situ: DQO y Sólidos Totales. Como parámetros previos.

Estas determinaciones se realizaron tanto en temporada de lluvias, como de estiaje y de forma triplicada, buscando realizarlas en los mismos horarios para evitar la mayor cantidad de variaciones en las mediciones.
Con estas determinaciones previas, se comprobó la eficiencia de tratamiento, eliminación de zonas muertas, con el diseño de las curvas. Para finalizar se obtuvieron los índices de calidad en cada uno de los sitios de muestreo con el modelo de la CONAGUA, que comprobó el papel importante de las curvas y sus peraltes en los diferentes canales (Ver anexos de resultados).

Existen parámetros muy importantes que influyen directamente en la eficiencia del humedal y en la remoción.

1.- Forma de la curva: que afecta directamente a la física y a las fuerzas tangenciales y los vectores de fuerza que intervienen. Corresponde al grado de curvatura, el peralte inferior, grado de inclinación de la pendiente.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

2.- Parámetros hidráulicos e hidrodinámicos, vitales para observar el comportamiento del flujo, velocidad, Tiempo de Retención Hidráulica, Numero de Freud, numero de Reynolds, aceleración y desaceleración del flujo.

3.-Porosidad y acomodo de material granular: Únicamente aplica en el humedal, es determinante el acomodo en 3 estratos de diferente granulometría (0-5, 5-10 y 10-15), para que las líneas de flujo sean las preferentes y correctas separaciones de los sólidos. La porosidad del material es vital para la fijación de la película bacteriana y 2 la intervención de adsorción y absorción.

4.-Materiales de construcción: importante en laguna y humedal, el block ligero, macizo y poroso utilizado en las paredes de los canales ayuda a la fijación de la película bacteriana y es de bajo costo comparado con una geo-membrana, lo que permite la viabilidad de un escalamiento mayor en futuros proyectos por la facilidad y economía al conseguir los materiales.

5.- Parámetros físico-químicos, químicos y biológicos: Observables que permiten determinar la eficiencia del sistema, mediante el monitoreo de medidas in situ de: pH, ORP, Conductividad, Temperatura, O_2 disuelto y medidas ex situ DQO, DBO, SST, Dureza, Fosfatos, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal y total, Sulfatos, Sulfuros, Bicarbonatos, Iones Metálicos como Ca^{2+}, K^{+}, y metales pesados, Coliformes Totales, principal-

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

mente.

6.- Especies presentes en el sistema: Importante observar en el Humedal el crecimiento de las plantas, su reproducción y el correcto mantenimiento para evitar la saturación del medio granular, en el caso de la laguna, importante clasificar las especies de algas nativas en su tarea por otorgar oxígeno al sistema.

La novedad radica en la aplicación de una nueva forma de construir humedales y lagunas, la utilización de formas curvas y con una sobre elevación para abatir las zonas muertas, que representan un foco de procesos anaerobios en los humedales que hoy representan una tecnología que ha demostrado ser eficiente en el tratamiento de aguas, pero por ser una tecnología reciente requiere de mejoras en sus diseños.

VI. Escalamiento al sistema real: laguna de estabilización de la UAM-A

Se construyó un sistema de tratamiento de aguas municipales humedal-laguna en la UAM-Azcapotzalco con el propósito de dar tratamiento completo al agua residual. El sistema integral comprende de un pretratamiento anaerobio seguido de un tratamiento secundario (humedal), complementado por una laguna. El sistema se alimenta por medio de bombeo con agua residual de una cisterna, que recibe las descargas provenientes de los baños del edificio de la biblioteca de la Universidad y de la planta de tratamiento de El Rosario del Municipio de Tlalnepantla Estado

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

de México cercana a la Universidad.

Así, el sistema construido en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Azcapotzalco comprende:

Sistema de Alimentación de aguas residuales domésticas provenientes de la planta de aguas residuales El Rosario. La alimentación se realiza mediante una bomba sumergible de aguas negras ubicada en el cárcamo de regulación a espaldas del edificio. El bombeo es intermitente de modo que, una vez cubierta la necesidad de agua del sistema, el bombeo cesa.

Módulo de Pre-Tratamiento que tiene por objeto retener los sólidos gruesos presentes en el agua residual cruda que alimenta al sistema. Esta etapa se lleva a cabo mediante un desarenador, que permite retener arenas y/o sólidos sedimentables gruesos, y dos cribas, que permiten retener sólidos cuyo tamaño de partícula sea de 2.54 cm (1 pulgada) o superior.

Tanque de Regulación equipado con una bomba sumergible de 1HP, recibe el agua proveniente del Pre-Tratamiento y la acumula, permitiendo un flujo constante de agua al resto del sistema a razón de 0.1 L/s.

Tanques de Digestión anaerobia de dos etapas conformados por dos fosas sépticas dispuestas en serie y alimentadas por la bomba sumergible del cárcamo de bombeo.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

Humedal artificial de flujo sub-superficial que es alimentado únicamente con el sobrenadante del segundo tanque de digestión anaerobia. Cuenta con un substrato de tezontle, acomodado en capas con diferente granulometría, y tres canales a través de los cuales fluye el agua. El flujo es distribuido uniformemente por una canaleta. Las especies vegetales sembradas incluyen, principalmente, carrizo *(Phragmitesaustralis)* y tule o espadaña *(Typha Latifolia)*. Cuenta con 9 puertos de muestreo en cada canal.

Laguna de estabilización alimentada con el agua proveniente del Humedal que comprende tres canales y tiene el propósito de someter el agua a un contacto directo con la atmósfera favoreciendo el desarrollo de algas buscando disminuir la concentración de nutrientes y el número de organismos patógenos en el agua.

Una vez que se tienen los resultados obtenidos se observa un incremento en el TRH y una disminución de zonas muertas por lo cual se puede iniciar el proceso de escalamiento y la remodelación del sistema.

Posterior al análisis de las pruebas fisicoquímicas en los respectivos sistemas reales, se calculó el Índice de Calidad del agua para ambos sistemas (humedal y laguna de estabilización, y se aplicó el mismo criterio para ambos, con la única diferencia que para el humedal se monitorearon 10 sitios, en tanto que para la laguna se monitorearon 21 sitios.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

A continuación, se describe una breve metodología aplicable para el modelo propuesto de CONAGUA.

En primer lugar, es importante conocer la definición del Índice de Calidad del Agua (ICA), de acuerdo a SEMARNAT 2000, el ICA es el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. Así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones, mediante el uso de parámetros analíticos a los cuales se les determina un subíndice de calidad mediante ciertas ecuaciones (Tabla 3). El cálculo del ICA se determina mediante una operación aritmética de ponderación determinando el peso de los parámetros de acuerdo con su importancia sanitaria (León, 1991).

Se utilizaron los resultados de 7 parámetros los cuales se enlistan a continuación, con su respectivo coeficiente de ponderación, mismos que están dados en una escala de 0 a 5.

La aplicación de las ecuaciones para el cálculo del ICA, por parámetro a los datos de calidad del agua pueden generar valores del ICA mayores a 100 o negativos, por lo que fue necesario tomar en cuenta ciertos criterios de cálculo en la metodología, basados en el comportamiento matemático de las ecuaciones.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

Tabla 3: Valores de ponderación de cada subíndice

PARÁMETRO	VALOR
pH	1.0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	2.0
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	0.5
Conductividad Eléctrica (CE)	2.0
Alcalinidad (AL)	1.0
Dureza Total (DT)	1.0
Oxígeno Disuelto (OD)	5.0

Finalmente se calcula el Índice de Calidad General de acuerdo a una función ponderada multiplicativa:

$$\mathrm{ICA} = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

Donde:

ICA = índice de calidad del agua global

I_i= índice de calidad para el parámetro i

Wi = Coeficiente de ponderación del parámetro i

n = Número total de parámetros

La tabla 5 muestra el rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general y los colores asignados en cada caso.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

Tabla 4: Ecuaciones correspondientes a cada uno de los parámetros medidos

PARÁMETRO		INDICE DE CALIDAD PARTICULAR
pH		
pH < 6.7		IpH = 10 0.2335 pH + 0.44
7.58<pH >6.7		IpH = 100
pH =>6.7		IpH = 10 4.22 – 0.293 pH
Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
SST<14.44 mg/L		100
SST>14.44 mg/L		ISS = 266.5 (SS) - 0.37
Sólidos Disueltos (SD):		
SD<520 mg/L		100
SD>6234 mg/L		0
6234<SD>520 mg/L		ISD = 109.1 – 0.0175 (SD)
Conductividad Eléctrica (CE)		
CE < 85.60 µmhos/cm		100
CE> 85.60 µmhos/cm		ICE = 540 (CE) - 0.379
Alcalinidad (AL)		
AL <1.30 mg/L		100
AL >1.30 mg/L		IA = 105 (A) - 0.186
Dureza Total (DT)		
DT >2500 mg/L		0
DT <2500 mg/L		IDT = 10 1.974 – 0.00174

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

		(DT)
Oxígeno Disuelto (OD)		$I_{OD} = (OD / OD_{sat}) 100$

Para el estudio hidrodinámico en el sistema tanto del humedal como del sistema lagunar, se utilizó el software IBER (Manual de IBER, 2014) modelo numérico de simulación de flujo en lámina libre en régimen no permanente, y de procesos medio ambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación de IBER abarca la hidrodinámica fluvial, simulación de rotura de presas, evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de material en suspensión y de los flujos acuáticos. Se utilizó para este estudio el módulo hidrodinámico para dos dimensiones, donde se resolvieron las ecuaciones de conservación de la masa y de momento.

Tabla 5: Rango de clasificación del ICA según criterio general

ICA	CRITERIO GENERAL
85 –100	No Contaminado
70 – 84	Aceptable
50 – 69	Poco Contaminado
30 – 49	Contaminado
0 – 29	Altamente Contaminado

El modelo IBER consta actualmente de 4 módulos de cálculo principales:

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia, un módulo de transporte de sedimentos y un módulo de calidad de agua. Todos los módulos trabajan sobre una malla, estructurada y no estructurada, de volúmenes finitos formada por elementos triangulares y/o cuadriláteros.

Para realizar la modelación en el sistema de la UAM-A se realizaron los siguientes pasos que se enlistan a continuación y que se especifican en el diagrama de flujo de la figura X.

- Crear o importar una geometría
- Asignar una serie de parámetros de entrada (rugosidad del fondo, modelo de turbulencia, etc.)
- Asignar condiciones de contorno e iniciales
- Asignar opciones generales de cálculo (tiempo de cálculo, parámetros del esquema numérico, activación de módulos adicionales)
- Construir una malla de cálculo
- Lanzar el cálculo

La variación de los parámetros físico-químicos se presenta en las siguientes figuras. Se puede observar en el gráfico de la Figura 16 que la temperatura en cada toma de muestras durante la primera etapa (febrero, rojo con plantas en reciente crecimiento) fue menor en los sitios H0, H1, H2, H3 y H4 con respecto a los mismos puntos en la segunda etapa (abril de azul con plantas ya mayores). Los sitios H5 y H5 fueron ligeramente más altos en la etapa 1 que en la etapa 2. Los valores de los sitios H7 y

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

H8 coincidieron; el sitio H9 fue menor en la etapa 1. Se puede considerar que las temperaturas variaron entre 17°C y 23°C, que dependía de la hora de muestreo, fue entre las 11:00 y las 14.00 horas en las dos etapas.

Se tuvo cuidado de que las horas de medición de la temperatura fueron los mismos en cada etapa de muestreo. En cuanto a pH, a figura 17, se observó un perfil similar en cada etapa, en donde el sitio H0 en la entrada del sistema fue 8.4 y 8.2 en las dos etapas respectivamente, fue disminuyendo en los otros sitios en la primera etapa, donde una mejor estabilización es vista en los sitios H8 y H9.

En el caso de la segunda etapa, aunque hay una tendencia a valores más bajos estos por lo general se mantuvieron por encima de los medidos en la primera etapa, principalmente en los sitios H7, H8 y H9 en las que parece haber una tendencia hacia la estabilización, probablemente la planta *Phragmites australis* influye ya en el tratamiento de la materia orgánica y en el sitio H3 en adelante, la *Tipha latifolia* planta continúa con el tratamiento. Además, existe la posibilidad de que algún proceso de hidrólisis puede estar presente.

En el gráfico de la Figura 18 se presentan los valores promedio de la conductividad, hay un aumento de estos valores en las zonas de cambio de canal, los sitios H3 y H6, en las dos etapas de muestreo.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

Al comienzo de cada curva peraltada hay una mayor concentración de iones que disminuye a medida que el agua toma el camino de la curva, la concentración de iones disminuye en el curso del flujo de agua en los otros sitios. La Figura 19 muestra los resultados promedio de la concentración total de sólidos en mg L, se observa una clara tendencia a la disminución en la concentración de sólidos, con un ligero aumento en el cambio de canal.

En el gráfico de la figura 20, una mejora se observa en los valores de potencial redox (OPR) durante el avance del flujo de agua en las dos etapas, hasta la salida de agua del humedal, una similitud se observa en ambos perfiles donde los valores H0, H1 y H2 están prácticamente coincidiendo. Una vez más en los cambios de canal en los sitios H3 y H6 se observa una mejora en la disminución de OPR, que coincide con la mejora de la oxigenación principalmente en la segunda etapa, ver figura 21, donde las plantas involucradas con un crecimiento mayor permiten un mejor tratamiento a través de la respiración, que generalmente mejoran la oxigenación. Esto se suma a la ayuda de las curvas peraltadas, que por su forma permite a su vez una mejor aireación. De los sitios H7 al H9 hay una estabilización de la OD, esto se nota en la primera etapa desde H3.

En la Figura 22 los gráficos presentan perfiles similares con la tendencia a la disminución de la DQO, mejorando en la segunda etapa en la que la DQO entró hacia el sistema de tratamiento con un valor más alto. En los

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

cambios de canal, donde se encuentran las curvaturas hay muy ligero aumento de DQO, donde más se acumula materia orgánica está al principio de la curvatura, en donde se reduce la velocidad del agua, lo que permite una concentración de materia orgánica; sin embargo, de nuevo se observa el mejor tratamiento cuando ya hay plantas más crecidas en el sistema.

ANÁLISIS DEL SISTEMA MEDIANTE EL SOFTWARE IBER

Bajo las condiciones mencionadas se llevaron a cabo 3 corridas para cada sustrato, en las figuras 23, 24 y 25 se tiene el comportamiento de la velocidad del flujo de agua en cada lecho.

Se tiene un incremento de la velocidad a la salida de ambas curvas para las granulometrías de 10-15 y 5-10, (pozos 4 y 7) indicado por el color amarillo y rojo, lo que está relacionado también al tamaño de partícula, ya que a medida que este aumenta, también los intersticios, permitiendo mayor flujo del agua. Este incremento de la velocidad se debe, como se ha observado al tamaño de granular del sustrato y principalmente a los peraltes, los cuales impulsan el flujo a la salida de la curva.

Número de froude

Con los mismos datos del problema se obtuvo el mapa de colores con el número de Froude, el cual ilustra las aéreas en las que el régimen del

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

flujo pasa de sub-critico a crítico (figura 26), en el cual se observa nuevamente una tendencia a pasar a un régimen critico en las salidas de las curvas.

Al ingreso y salida de la curva se presenta un "salto hidráulico". Un cambio brusco en la pendiente en un canal es uno de los medios más simples de producir un salto hidráulico con la finalidad de efectuar una mezcla rápida. (González 2011).

Transporte de Sólidos Totales en suspensión

También se pudo observar el recorrido que realizan los sedimentos en el sistema antes de su sedimentación o eliminación por filtración, se otorgaron datos al software con la concentración de los SST, incluso de 10 mg/L (superiores a los reales) con la finalidad de conocer en qué áreas del humedal se acumulan, estas áreas serán las más susceptibles a la saturación de los intersticios. No se ilustra.

En el lecho superior (0-5 cm de diámetro), solo se ve como al verter la concentración de SST, inmediatamente se sedimenta, incluso ya no se vuelve a observar, esto significa que el flujo hizo que se fuera hacia los estratos inferiores, también con esto se puede deducir que el flujo que recorre este estrato es ascendente, es decir el recorrido del flujo se mueve principalmente en la parte baja del humedal.

También se observó la trayectoria que llevan los SST, se observa como

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

previo a la entrada de las curvas peraltadas realizan una concentración, (pozos, H3 y H6), como inicia el cambio de pendiente y de sección, la velocidad disminuye y los sólidos se concentran, cuestión que se puede corroborar al revisar la figura 27.

En estrato inferior (con tamaño de grano de 10-15 cm), se observó el destino final de los sedimentos, intensificando el color rojo en los pozos H3 y H4, mostrando tendencia muy similar a lo estudiado anteriormente. Los resultados muestran que en el primer canal se elimina la mayor parte de los sedimentos. Es importante este diagrama de color, porque se sabe cuál es la zona más susceptible a la colmatación (compactación del sedimento y también la influencia por la vegetación), que será la primera a la que deberá darse mantenimiento. Otra cosa que resaltar, es que en las secciones de las curvas con peralte no se observa depósito de sedimentos, con lo cual se está logrando cambiar el flujo en dirección de 180°, sin tener problemas con la acumulación de sedimentos o zonas muertas (cortos circuitos).

De los resultados obtenidos se puede concluir que:

- Tanto en los resultados obtenidos con el modelado usando el software IBER como los resultados obtenidos en el muestreo, se observó un comportamiento muy similar, lo que permitió conocer con certeza las zonas de humedales susceptibles a la saturación de los sedimentos (zonas anteriores a las curvas), esto va a ser muy útil para el mantenimiento del sistema.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

- En los mapas de la velocidad resultante se observó que se presenta un salto hidráulico que se produce por la pendiente de la curva, que promueve un flujo con movimiento correcto en el cambio de dirección sin afectar a la eficacia de la eliminación de contaminantes y lo más importante, evitar zonas muertas, los resultados pudieron ser verificados con los diversos parámetros medidos (DQO, TSS, DO, OPR, conductividad).

- Con el modelado de las tres capas de sustrato del humedal por el software IBER, fue posible obtener claramente la trayectoria del flujo de agua en cada canal del humedal, donde el flujo dominante fue en la capa superior, que resultó en ascenso, un fenómeno que mostró que los sedimentos se inducen a la parte inferior, pero también observaron que se reducen significativamente al entrar en la pendiente de la curva, lo que justifica la disposición de grano y mejora con curvas peraltadas que se ven notablemente reducidos al entrar al peralte de la curva, justificando el acomodo de grano y la mejora con las curvas peraltadas.

RESULTADOS CORRESPONDIENTES AL SISTEMA LAGUNAR

Temperatura y pH

El muestreo se realizó de las 11:00 a las 14.00 horas en las dos etapas y se procuró que las horas de medición de la temperatura fueran iguales en dichos periodos. La digestión aerobia y la nitrificación se detienen

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

cuando la temperatura alcanza los 50°C. Las bacterias productoras de metano se inactivan a los 15°C y a los 5°C y las bacterias autótrofas nitrificadoras prácticamente dejan de funcionar (Rosas, 2007). Se observa entonces en la figura 28 que los valores de la temperatura no variaron de forma significativa y oscilaron de los 17°C a los 24°C, valores adecuados para el desarrollo de la actividad fotosintética. En cuanto al pH se observan las variaciones en la figura 29, en ambos periodos existió un descenso. Para el caso de febrero (color rojo) a partir del sitio 5 en adelante; el pH tiene una tendencia a permanecer constante. En el caso de abril (color azul) el descenso no fue tan brusco, pero si constante posiblemente debido al inicio del periodo de lluvias.

Sólidos Totales

En la figura 30 se verifica que en las zonas de cambios de canal (3-4, 6-7, 9-10, 12-13, 15-16 y 18-19) existe una mayor concentración de sólidos en mg/L, esto debido principalmente al peralte y pendiente de cada curva; fenómeno que se presenta en ambos periodos, en general existe una tendencia a la disminución en la concentración de los sólidos totales, hasta ser escasos en la salida del sistema lagunar. Este fenómeno resulta semejante al caso de la DQO, lo que demuestra el comportamiento del flujo con la adecuación de las curvas y refuerza la eficiencia que estas permiten del paso de un canal a otro, impidiendo la generación de cortos circuitos.

Oxígeno disuelto en el sistema lagunar y en el humedal previo

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

También se obtuvo la variación del oxígeno disuelto. El sistema natural de tratamiento de donde proviene el agua que sale a través de un tubo que lo distribuye hacia 12 vertederos que la conducen al primer canal de la laguna, donde previamente se genera un salto de 50 cm de altura, permitiendo la aireación del agua, de manera que entra al primer canal con prácticamente 3.80 ± 0.175 mg/L de OD en febrero y 3.48 ± 0.132 en abril. También, se observó que el OD aumenta conforme va avanzando el flujo a lo largo de cada canal y existe una mejoría en las zonas de las curvas (3-4, 6-7, 9-10, 12-13, 15-16 y 18-19. La oxigenación fue mejor en febrero por la presencia de algas y el contacto libre del agua con la atmosfera, pero en abril tanto por la acción del viento, lluvia y la caída constante de hojas y la degradación de la materia orgánica pudo haber consumido parte del oxígeno, aunque la diminución no fue tan brusca y los perfiles de comportamiento se conservaron, lo que indica que el sistema funciona correctamente y el problema es generado por aspectos ajenos al diseño del sistema lagunar de tratamiento.

Aunque se obtuvo la variación del OPR, no se presenta. Se observaron valores positivos y valores negativos, lo que significa que el OPR está relacionado con el OD. En los dos periodos de muestreo, se observó que el OPR fue cada vez más positivo, coincidiendo con el aumento del OD, así el OPR medido en febrero resulto con valores ligeramente mayores que los de abril. Asimismo, se observa que en el sitio 1 (entrada al sistema) es el punto con el menor potencial, lo cual puede explicarse por su baja oxigenación debido al estancamiento en que permanece en el

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

cárcamo del que se toma el agua para alimentar al sistema.

Conductividad y dureza

La determinación de conductividad permite entender la presencia de iones en el agua. Se presentan valores promedio de la conductividad, donde se aprecia en general un descenso en los valores a medida que se avanza de un canal a otro, esto se puede deber a que el flujo es lento y en las secciones de las curvas se vuelve a presentar el fenómeno de un ligero aumento en el valor de la conductividad, lo que indica que existe un incremento de la presencia de los iones en estas secciones. Se observa una clara tendencia del sistema hacia la reducción de la conductividad acorde a la disminución de presencia de sólidos en el agua que circula a través del sistema. Según se pudo observar, la dureza del agua en cada canal, en rojo se indica las zonas de las curvas, donde el agua aumenta en cada entrada, que coincide con la conductividad. De nuevo se presenta el efecto de éstas.

Análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido. En cuanto a los resultados de la DQO como parámetro de seguimiento de la degradación del material orgánico tanto biodegradable como no biodegradable en los diferentes canales del sistema lagunar. Se observa una tendencia en la dismi-

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

nución de la DQO a lo largo de los canales. Al inicio de cada sección curva se presenta una mayor concentración, esto se debe al cambio de pendiente en el peralte, y a que en esta zona se acumula la materia orgánica y se reduce la velocidad.

RESULTADOS DE LA MODELACIÓN CON EL SOFTWARE IBER

Al observar la distribución de la velocidad en las diferentes secciones del sistema lagunar realizado con la modelación del software IBER. Se identifican con color azul light un flujo uniforme que cambia a azul obscuro en la parte exterior de la curva, sección donde se disminuye su velocidad. Sin embargo, en la parte interna de la sección curva, existe un aumento de velocidad, lo que permite impulsar el flujo a la salida de la misma, y posteriormente estabilizándose a lo largo del canal; fenómeno que se repite en cada curva de manera más intensa, hasta el último canal donde el flujo adquiere una mayor velocidad hasta la salida del sistema. El fenómeno anterior se indica con un color amarillo verdoso que es menos intenso en las paredes porosas del block, y mayor en el centro, obsérvese el color prácticamente amarillo, donde el flujo prácticamente es libre.

TRANSPORTE DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

En la modelación se observó el recorrido que realizan los sólidos en suspensión, para lo cual se introdujo la concentración de sólidos totales presentes en el agua en el software IBER y que son medidas correspondientes a los valores obtenidos en campo. Los resultados obtenidos indi-

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

can que la mayor remoción se efectuó en el primer canal (color rojizo), aunque se visualiza que previo a las entradas de las curvas tienden a concentrarse los sólidos, así como la materia orgánica. En el segundo canal se observa un arrastre de TS, concentrándose a la entrada de la segunda curva, similar a lo que ocurre en el tercer canal, pero de forma descendente hasta que finalmente es prácticamente nula. Es importante indicar que con este modelo se observa que en las zonas de las curvas el color azul es homogéneo, lo que indica que no hay presencia de cortos "circuitos", por lo tanto, no hay "zonas muertas" y el flujo hidráulico se mejora significativamente.

El diseño de las curvas peraltadas induce al flujo a pasar por la sección del canal que más conviene, haciendo que las fuerzas tangenciales se distribuyan uniformemente, evitando las zonas muertas y los flujos dispersos. Al forzar al flujo a pasar por una reducida sección del canal, se está tendiendo al denominado flujo pistón. El cambio de pendiente del peralte de la curva sirve como contención al arrastre de Fondo en los sedimentos, ocasionando una ligera disminución de la velocidad del flujo, causando que los sólidos totales sedimenten en los cambios de canal.

Tanto en los resultados obtenidos con el modelado usando el software IBER como los resultados obtenidos en el muestreo, se observó un comportamiento muy similar, lo que permitió conocer con certeza las zonas susceptibles a la saturación de los sedimentos (zonas anteriores a las curvas), dato que resulta útil para el mantenimiento del sistema.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

Finalmente, las ventajas del sistema que se pretende patentar son:

1. Evitar zonas muertas.
2. Reducir cortos circuitos.
3. Eficientar la remoción de contaminante tanto en un humedal como en una laguna de maduración.
4. Optimizar el tren Humedal-Laguna de tratamiento de un agua residual.
5. Aumentar el tiempo de retención hidráulico.

A pesar de que se describió en detalle el invento precedente mediante la ilustración y ejemplos con propósitos de claridad de entendimiento, será aparente a aquellos con experiencia en la técnica, en vista de las enseñanzas del presente invento, que pueden hacerse ciertos cambios y modificaciones sin desviar el espíritu o alcance de las reivindicaciones anexas.

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

REIVINDICACIONES

Habiendo descrito la invención, con características de habilitación, se considera como una novedad y se reclama por lo tanto como propiedad lo contenido en las siguientes reivindicaciones.

1. Un sistema para el tratamiento de aguas residuales que comprende:

a) Sistema de alimentación de aguas residuales que comprende un cárcamo y utiliza una bomba sumergible para ejercer un bombeo intermitente que alimente al sistema,

b) módulo de pre-tratamiento que utiliza un desarenador o sedimentador, que permite retener arenas y/o sólidos sedimentables gruesos en el agua residual cruda que alimenta al sistema y, al menos, una criba, que permite retener sólidos cuyo tamaño de partícula sea ≥2.54 cm,

c) tanque de regulación, equipado con una bomba sumergible, que recibe el agua proveniente del Pre-Tratamiento y la acumula, a presión ambiente, permitiendo un flujo constante de agua al resto del sistema a razón de entre 0.05 a 0.5 L/s,

d) tanques de digestión anaerobia de dos etapas, conformados por dos fosas sépticas dispuestas en serie y alimentadas por la bomba sumergible del cárcamo de bombeo,

e) humedal artificial que se puede elegir, de entre uno de flujo subsuperficial o de flujo superficial, que es alimentado únicamente con

IMPI INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL 396861

el sobrenadante del segundo tanque de digestión anaerobia, que cuenta con un substrato, acomodado en capas con diferente granulometría, que incluye especies vegetales sembradas y, al menos, dos canales a través de los cuales fluye el agua, con una curva peraltada en el cambio de cada canal,

f) laguna de estabilización alimentada con el agua proveniente del humedal que comprende, al menos, dos canales que permiten el contacto directo del agua con la atmósfera antes de volcar las aguas tratadas en los receptores finales, con una curva peraltada en el cambio de cada canal.

2. El sistema para el tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1 caracterizados porque la altura máxima del peralte en el humedal del inciso *e)* es igual a la altura del lecho bajo el humedal.

3. El sistema para el tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1 caracterizados porque la altura del peralte en la laguna del inciso *f)* es del 50% del tirante de la laguna.

4. El sistema para el tratamiento de aguas residuales de conformidad con la reivindicación 1 caracterizados porque el ángulo mínimo del peralte del humedal del inciso *e)* o de la laguna del inciso *f)* es de 24°.

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

RESUMEN

La presente invención está relacionada con los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en humedales y lagunas de estabilización; en particular con su uso combinado y el uso de curvas peraltadas que eliminan los cortos circuitos y evitan las zonas muertas que causan problemas graves en el tratamiento de un agua residual, tanto en los humedales construidos, como en las lagunas, donde en estas últimas los canales mejoran la dispersión del flujo de agua a tratar, el tiempo de retención y, por lo tanto, su eficiencia.

Esta nueva forma de construir humedales y lagunas, la utilización de formas curvas y con una sobre elevación para abatir las zonas muertas, que representan un foco de procesos anaerobios en los humedales que hoy representan una tecnología que ha demostrado ser eficiente en el tratamiento de aguas, pero por ser una tecnología reciente requiere de mejoras en sus diseños.

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

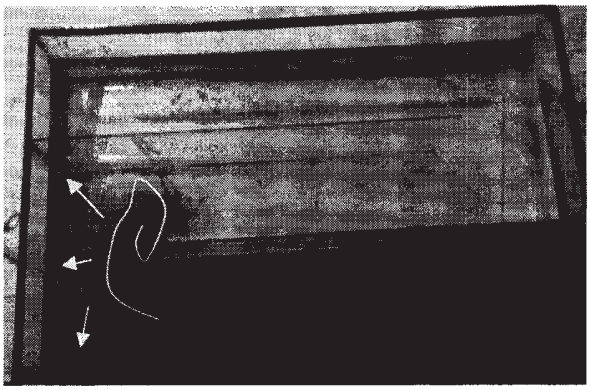


Figura 1



Figura 2

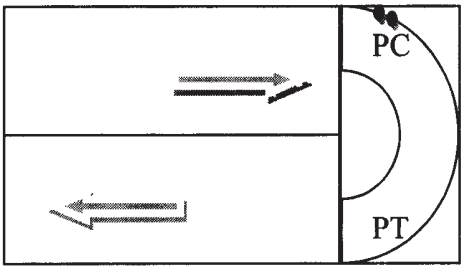


Figura 3

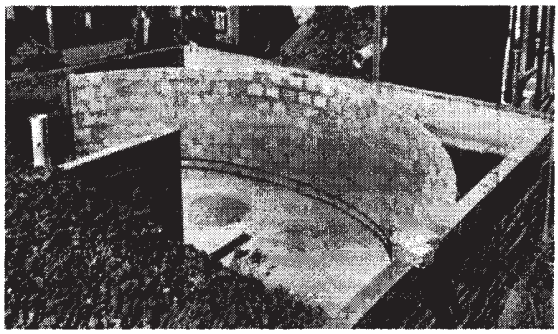


Figura 4

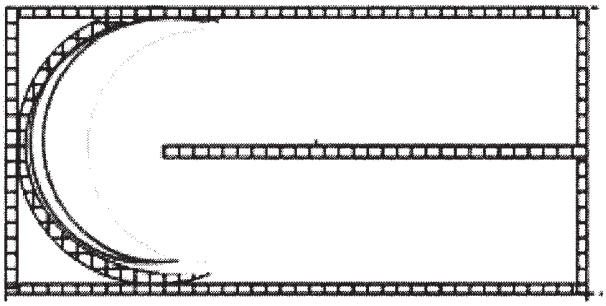


Figura 5

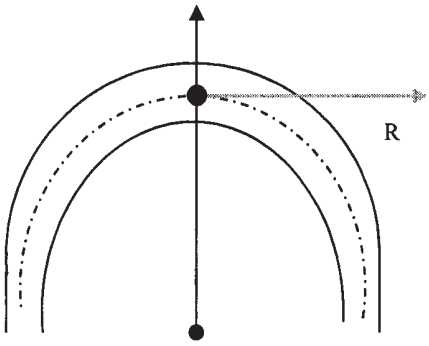


Figura 6

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

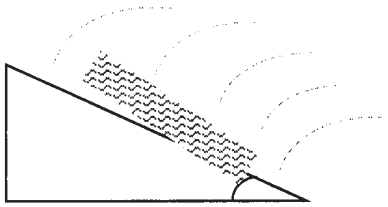


Figura 7

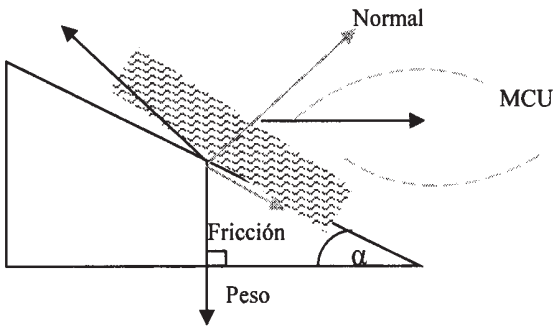


Figura 8

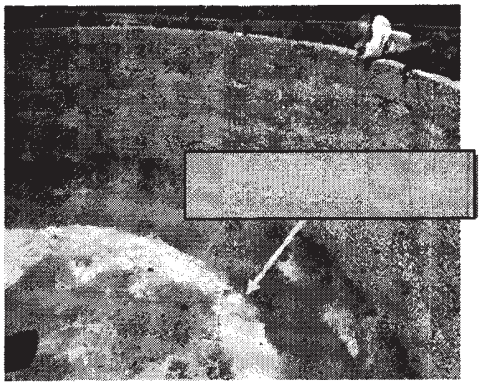


Figura 9

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

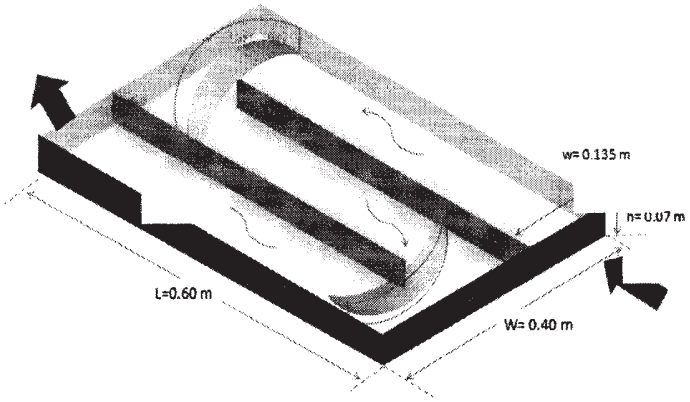


Figura 10

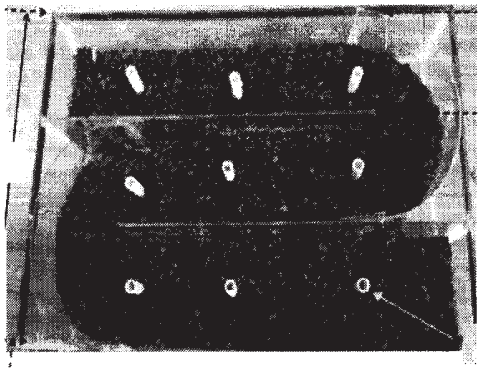


Figura 11

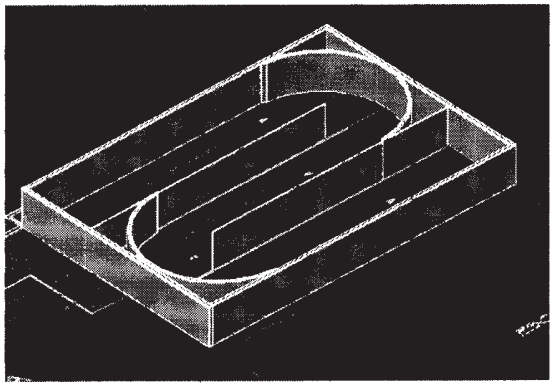
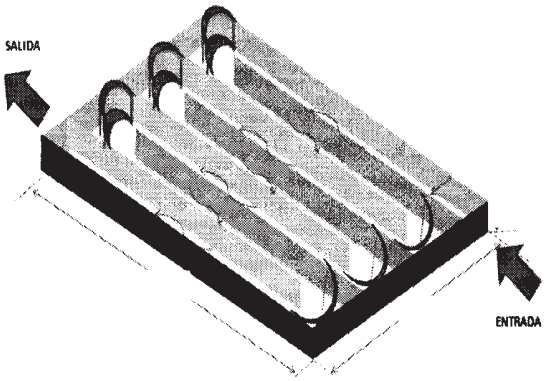


Figura 12

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861



Figuras 13

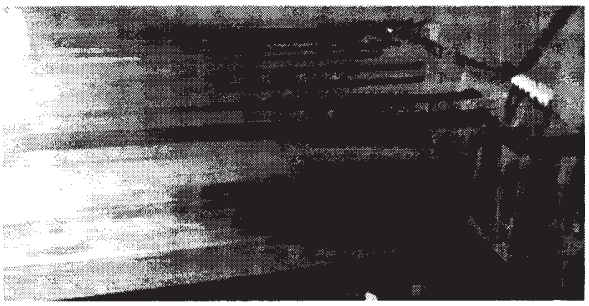


Figura 14



Figura 15

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

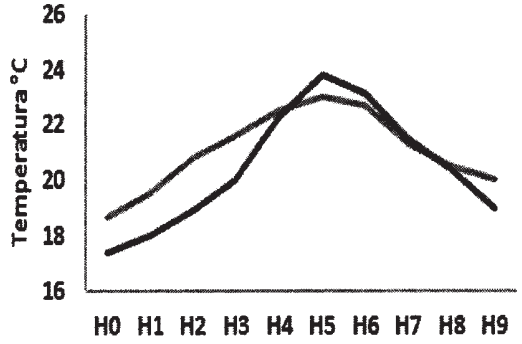


Figura 16

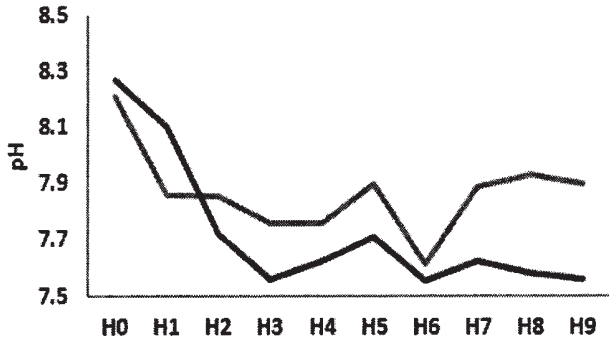


Figura 17

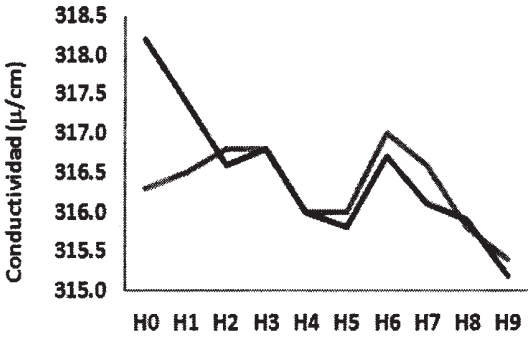


Figura 18

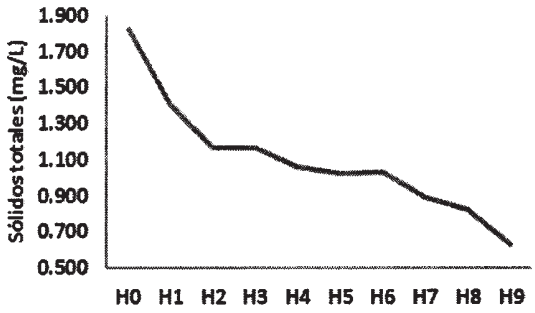


Figura 19

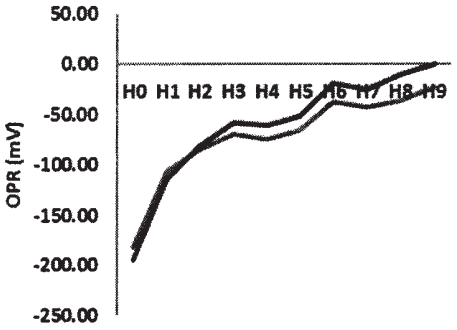


Figura 20

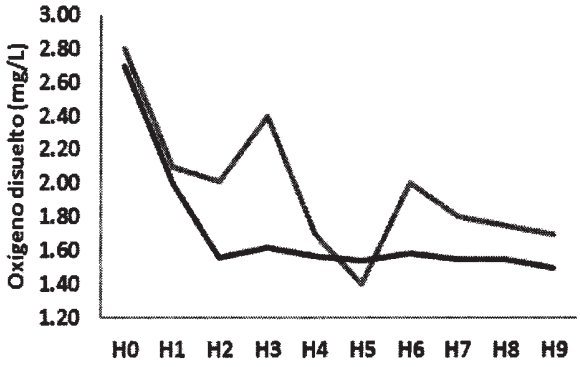


Figura 21

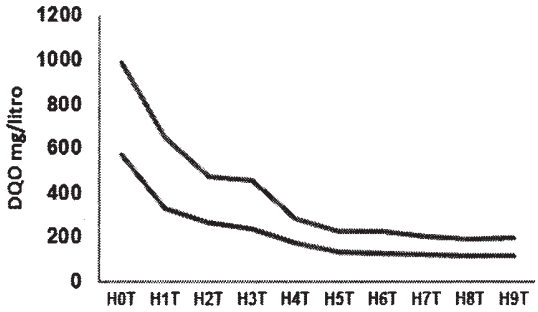


Figura 22

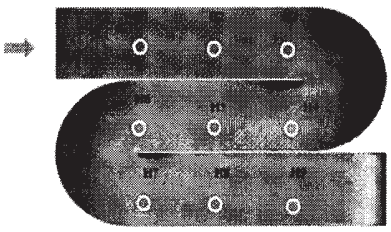


Figura 23

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

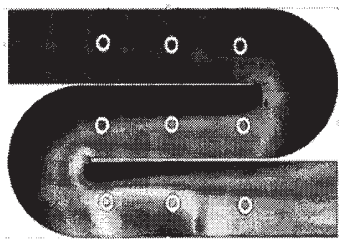


Figura 24

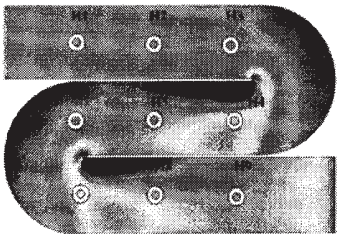


Figura 25

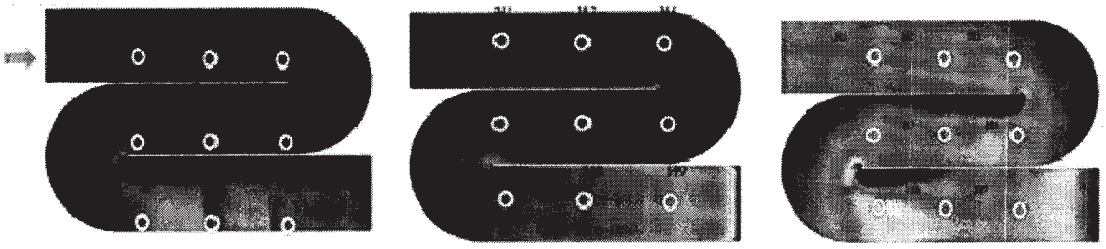


Figura 26

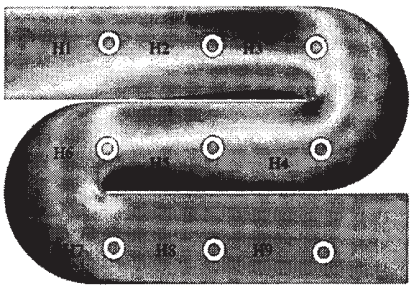


Figura 27

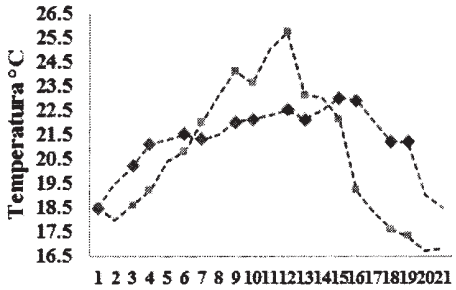


Figura 28

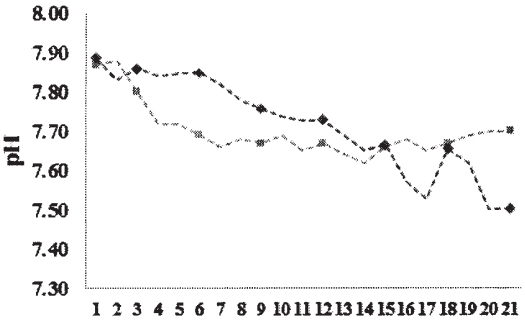


Figura 29

IMPI
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
396861

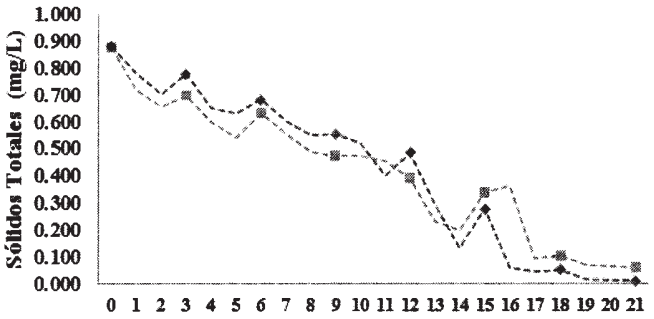


Figura 30