

PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON FUNCIÓN DUAL FLOCULACIÓN Y FOTOCATÁLISIS

SECTOR TECNOLÓGICO

5 La presente invención pertenece al campo del tratamiento del agua, agua residual, de alcantarilla o fangos específicamente al tratamiento por floculación o precipitación de las impurezas en suspensión, por irradiación, por oxidación que consiste en una planta para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales el cual tiene lugar a través de procesos
10 de floculación y fotocátalisis heterogénea. La floculación se lleva a cabo a través de un proceso de agitación suave y continua del agua coagulada, a través del uso de un sólido floculante que puede ser de tipo mineral u orgánico, el proceso de fotocátalisis tiene lugar a través de la adición al agua residual de un sólido semiconductor, el cual absorbe energía de la radiación
15 solar.

ESTADO DE LA TÉCNICA

En el estado de la técnica se conoce la solicitud de patente No. CN106587463 publicada el 20 de diciembre de 2016, que proporciona un dispositivo de
20 tratamiento de agua que contiene un fotocatalizador. El pretratamiento se realiza antes de la fotocátalisis, por lo que la eficiencia de la última fotocátalisis es alta. El dispositivo de tratamiento de agua comprende un tanque de filtro y un tanque de fotocátalisis, en donde un tanque de floculación está conectado a la parte delantera del tanque de filtro; el tanque de
25 floculación comprende un cuerpo de tanque; el cuerpo del tanque está conectado con un tubo de entrada de líquido, un tubo de salida de líquido y un tubo de pulverización; un floculante magnético está dispuesto en el cuerpo del tanque; un dispositivo de descarga de lodo está dispuesto en la parte inferior del cuerpo del tanque; también se disponen una lámina magnética y
30 un primer tubo de aireación en la parte inferior del cuerpo del tanque; una red colectora está dispuesta verticalmente en el cuerpo del tanque; el tubo de salida de líquido del tanque de floculación se comunica con el tanque de filtro; el tanque del filtro se comunica con un canal de desviación en la parte superior del tanque de fotocátalisis; Los orificios de escape se forman en la
35 parte superior del canal de desviación; una red de fijación está dispuesta en la parte inferior del canal de desviación; un fotocatalizador y una lámpara

ultravioleta están dispuestos entre la red de fijación y la parte inferior del canal de desviación; La lámpara ultravioleta está dispuesta en un cuerpo de tubo transparente; un manguito de limpieza está recubierto fuera del cuerpo de tubo transparente; y una capa de filtro de carbón activado está dispuesta
5 debajo de la red de fijación. En virtud del dispositivo de tratamiento de agua, el costo de producción se reduce, y después de pretratar el agua, la luz de la lámpara ultravioleta no se puede proteger seriamente. Por su parte, la nueva invención usa para toda la planta de tratamiento la luz solar directa, tanto como fuente de energía para el sistema hidráulico como fuente de fotones
10 para el tratamiento fotocatalítico, no requiere el uso de lámparas de elevado costo y escasa durabilidad.

También se encuentra la solicitud de patente No. CN105016526 publicada el 04 de noviembre de 2015, que proporciona una técnica de combinación de
15 floculación por fotocatálisis y adsorción para aguas residuales orgánicas que es difícil de degradar. La técnica de combinación de floculación de fotocatálisis y adsorción puede resolver problemas de contaminación del agua de alta materia orgánica, alta concentración de DQO y similares, y se utiliza en el campo del tratamiento de la contaminación del agua. De acuerdo
20 con la técnica de combinación de fotocatálisis-floculación por adsorción descrita por la invención, el tratamiento de degradación se realiza en una red reactiva de colorante de aguas residuales bajo la acción combinada de un fotocatalizador semiconductor basado en TiO_2 con actividad catalítica de luz visible y un floculante eficiente con adsorción favorable y acciones de
25 floculación. , y después de 1 hora de iluminación y 2 horas de floculación y tratamiento de sedimentación, la tasa de eliminación de DQO en el tinte de red reactiva desperdicia agua en más del 70%. La insuficiencia de la fotocatálisis se realiza mediante el uso de la complementariedad y la acción sinérgica de la floculación, de modo que los problemas de inactivación del
30 fotocatalizador y el mal efecto de degradación se resuelven de manera efectiva, se mejora la eficacia de eliminación de la DQO y se reduce la energía. La máxima extensión, el costo del material y el costo de operación se reducen, y la técnica de combinación de floculación de fotocatálisis y adsorción tiene mayor potencial de desarrollo y perspectivas de aplicación.
35 Mientras, la nueva invención emplea únicamente floculación y fotocatálisis,

además, es una planta de tratamiento con gran capacidad de tratamiento, con un tanque para floculación y un reactor fotocatalítico tubular.

Igualmente se conoce la solicitud de patente No. 10072421 de Colombia publicada el 19 de agosto de 2010, que describe un novedoso proceso para la reducción del contenido de sólidos totales presentes en lixiviados procedentes de vertederos de residuos sólidos urbanos, vinazas producidas en destilerías de etanol y vinazas producidas en plantas productoras de levaduras por medio de un tratamiento de electrodisolución, floculación y oxidación que comprende reacciones múltiples en una celda electrolítica provista de electrodos de hierro, acero al carbón o acero inoxidable. Un proceso para la reducción de DQO, COT y sólidos totales de lixiviados procedentes de vertederos y de plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos e industriales, de vinazas producidas en destilerías de etanol, de plantas productoras de levaduras o aguas residuales de la industria de alimentos que comprende las siguientes etapas: a) Alimentar una celda electrolítica provista de electrodos con un medio líquido contaminado. Aplicar una corriente directa constante a través de dichos electrodos con una densidad entre 0.3 y 2.0 mA/cm². c) Flocular los sólidos presentes en dicho medio líquido contaminado por adición de una mezcla de Ca(OH)₂, MgSO₄, Na₃PO₄ y KOH. d) Remover los lodos y el sobrenadante (o filtrado) obtenido. e) Oxidar por medio de reacciones Fenton la materia orgánica e inorgánica residual en el sobrenadante (o el filtrado) por adición de peróxido de hidrógeno. Por su parte, la nueva invención es una planta de tratamiento de aguas residuales que está provista de módulos para el tratamiento por floculación y posterior tratamiento fotocatalítico, no involucra el uso de ningún tipo de celda electrolítica ni tampoco los materiales (hierro, acero al carbón) mencionados en el antecedente.

Se encuentra en el estado del arte la solicitud de patente No. CN204384922 publicada 10 de junio de 2015, que describe un dispositivo de degradación fotocatalítica solar, que pertenece al campo técnico del tratamiento de aguas residuales. De acuerdo con el dispositivo de degradación fotocatalítica solar, se utiliza un fotocatalizador modificado con respuesta a la luz visible ultravioleta, la luz solar se toma como una fuente de luz para impulsar la reacción y degradar los contaminantes, y los problemas de alto consumo de

energía y precio y la contaminación secundaria del tratamiento de aguas residuales. Se solucionan los equipos. El dispositivo de degradación fotocatalítica solar comprende principalmente tanques de reacción, un tubo hueco, un tubo de expulsión de aire, una bomba de aire, un conducto de reacción de fotocátalisis transparente con forma escalonada, un deflector circular en forma de arco, un tubo de transporte de agua, una bomba de agua, un agua tanque de recolección y un panel de batería solar, en donde los tanques de reacción se utilizan para proporcionar lugares para la homogeneización y purificación de aguas residuales; el tubo hueco se utiliza para colocar un tubo de lámpara de luz visible ultravioleta; el tubo de expulsión de aire y la bomba de aire se utilizan para suministrar aire a los tanques de reacción; el conducto de reacción de fotocátalisis en forma de paso transparente se utiliza para proporcionar un lugar para la degradación fotocatalítica; el deflector circular en forma de arco se utiliza para homogeneizar y retardar una solución de aguas residuales; la tubería de transporte de agua y la bomba de agua se utilizan para transportar las aguas residuales en el tanque de recolección de agua hacia los tanques de reacción; el tanque de recogida de agua se utiliza para recoger las aguas residuales degradadas; El panel de batería solar se utiliza para almacenar energía eléctrica. Al utilizar principalmente la luz solar, el dispositivo de degradación fotocatalítica solar tiene las ventajas de limpieza, alta eficiencia, ausencia de contaminación secundaria, atmósfera de reacción controlable, alta tasa de utilización de la fuente de luz y similares. Mientras, la nueva invención involucra tratamientos simultáneos empezando específicamente con una primera etapa de remoción de sólidos grandes por filtración, posteriormente, el agua residual ingresa al módulo para el tratamiento de floculación que permite remover sólidos suspendidos para aumentar la efectividad del tratamiento fotocatalítico que se llevará a cabo en el siguiente módulo de trabajo.

Igualmente se conoce la solicitud de patente No. 09126024 de Colombia publicada el 31 de diciembre de 2009, que describe un proceso de fotocátalisis para la descontaminación de aguas contaminadas con sustancias recalcitrantes caracterizado porque comprende: a) Una etapa de transporte del agua residual contaminada con agentes recalcitrantes hacia un tanque de recirculación (T-1 y T-2) b) Una etapa de adición del catalizador

que se compone de 75% anatasa y 25% rutilo, a dicho tanque de recirculación (T-2). c) Una etapa de transporte del agua residual contaminada del tanque de recirculación (T-2) a un sistema de colectores. d) Una etapa de recirculación del agua tratada en el sistema de colectores hasta lograr una
5 disminución de la contaminación de acuerdo a los usos posteriores, desde un 25 a un 35% medida como DQO. e) Una etapa de sedimentación (T-2 y T-3) de la suspensión contenida en dicho tanque de recirculación para recuperar dicho catalizador. f) Una etapa de transporte del agua del tanque de recirculación a un tanque de almacenamiento (T-4 y T-5) para luego ser
10 reutilizada o vertida a un efluente. Por su parte, la nueva invención usa luz solar para el proceso de fotocátalisis y para la generación de energía necesaria para el funcionamiento del sistema hidráulico de la planta de tratamiento, el cual está compuesto por las bombas de recirculación en el reactor fotocatalítico y para la bomba de alimentación en el sistema de
15 floculación inicial.

Se encuentra en el estado del arte la solicitud de patente No. US4863608 publicada 20 de febrero de 1986, que describe un proceso para purificar agua de una pequeña cantidad, particularmente una última cantidad de impurezas
20 orgánicas incluidas en el contenido total de carbono orgánico (TOC) se incorpora a los procesos conocidos para la preparación de agua ultra pura que comprende una o más etapas de filtración previas y una serie de pasos de purificación conocidos per se. La nueva etapa comprende irradiar el agua a tratar con una luz en presencia de un fotocatalizador que comprende un
25 semiconductor inorgánico seleccionado de TiO_2 , SrTiO_3 y CdS en forma de partículas finas y un metal noble y / o un óxido del mismo seleccionado de Pt, Pd, Ru, RuO_2 y Rh se depositaron en dichas partículas semiconductoras durante un período de tiempo suficiente para descomponer oxidativamente las impurezas orgánicas, lo que resulta en una disminución del contenido de
30 TOC del agua a un nivel más bajo que el nivel de detección mínimo de detectores de TOC, típicamente $<0.05 \text{ mg C / l}$ o $<0,01 \text{ mg C / l}$, dependiendo de la sensibilidad de los detectores particulares disponibles hasta la fecha. Mientras, la nueva invención es un sistema de tratamiento compuesto por diferentes módulos que permiten llevar a cabo la descontaminación de aguas
35 residuales, uno de los módulos permite realizar el tratamiento primario de las aguas a través del proceso de floculación y el segundo involucra el proceso

fotocatalítico para eliminación de contaminantes orgánicos y metales pesados.

5 Como se observa en los antecedentes se implementan solo el proceso de Fotocatálisis para el tratamiento, el cual se considera de tipo terciario en la descontaminación de agua; a dispositivos nuevo permite realizar el tratamiento primario y secundario de estos efluentes usando de forma dual y simultánea los procesos de floculación y fotocátalisis en una misma planta de tratamiento, aumentando la efectividad en la disminución de la carga
10 contaminante en las aguas residuales, además que los dispositivos existentes para tratamiento de agua existen a pequeña escala a diferencia que la nueva invención con función dual de Floculación y Fotocatálisis tiene una capacidad superior a 120 litros.

15 En cuando a las plantas que usan mecanismos de floculación, son sistemas compactos; a diferencia de la invención presentada que corresponde a un mecanismo modular, donde cada uno de los componentes de los tres módulos son totalmente desmontables y de armado sencillo para facilitar el proceso de limpieza, cuidado y mantenimiento del equipo.

20 En cuando a las plantas que usan mecanismos de floculación, son sistemas compactos; a diferencia de la invención presentada que corresponde a un mecanismo modular, donde cada uno de los componentes de los tres módulos son totalmente desmontables y de armado sencillo para facilitar el
25 proceso de limpieza, cuidado y mantenimiento del equipo.

En todos los antecedentes conocidos existe un escaso nivel de maniobrabilidad o traslado del sistema. En la presente invención cada uno de los módulos de trabajo para floculación y fotocátalisis está provisto de una
30 estructura metálica de soporte que incluye ruedas para facilitar la movilidad del sistema, realizar las interconexiones o desplazar la planta al lugar donde se requiera, según su utilidad o la posición del sol en diferentes horas del día. La estructura de soporte de cada uno de los módulos que componen la planta de tratamiento, está elaborada en perfiles estructurales de acero 38 mm² y
35 protegido con pintura electrostática para asegurar la resistencia de la estructura a la intemperie.

Convencionalmente se usan lámparas ultravioleta para el tratamiento fotocatalítico lo que aumenta: La nueva planta de la invención tiene para toda la planta de tratamiento la luz solar directa, tanto como fuente de energía para el sistema hidráulico y como fuente de fotones para el tratamiento fotocatalítico, lo que hace que nuestro proceso sea más económico ya que no se requiere el uso de lámparas de elevado costo y escasa durabilidad como suelen ser las que se usan convencionalmente.

- 10 Las plantas conocidas tienen un mecanismo de aireación como fuente de oxígeno para el tratamiento fotocatalítico; mientras que en la nueva se trata de un mecanismo abierto, donde los tanques de recepción de las aguas residuales que hacen parte del reactor fotocatalítico, que están abiertos, lo que permite tomar el oxígeno del medio para las reacciones de fotocatálisis sin necesidad de una fuente adicional de aire.

Las uniones entre los tubos de los reactores fotocatalíticos suelen estar elaboradas en PVC, lo que permite el esfuerzo de torsión sin afectar a los tubos de vidrio durante el proceso de mantenimiento. El PVC es un material que no permite el paso de la radiación solar, entonces, la presencia de elementos o uniones de PVC en un reactor fotocatalítico hacen que se desaproveche parte de la radiación que llega al mecanismo, específicamente durante el paso del agua por los sitios de unión de los tubos. En el caso de la nueva invención este problema ha quedado resuelto, ya que todos los tubos del reactor fotocatalítico y las uniones entre ellos están elaboradas en vidrio borosilicato 3.3, se han elaborado a medida para esta planta de tratamiento conexiones en forma de “U” con terminación en rosca, las cuales han demostrado gran resistencia durante el armado y mantenimiento del reactor, adicionalmente para las conexiones entre los tubos se usan juntas elaboradas con tapas GL 45 en plástico hechas a la medida, con tamaño suficiente para facilitar la unión de los tubos sin afectar significativamente el paso de la radiación solar a través del reactor.

Las soluciones conocidas incluyen una única unidad para el tratamiento fotocatalítico. Por su parte, la planta nueva planta de tratamiento incluye tres módulos de trabajo totalmente funcionales que se pueden conectar entre sí

de acuerdo a las necesidades del proceso. En la planta está el primer módulo para realizar el tratamiento primario de floculación y dos módulos para el tratamiento fotocatalítico, estos módulos están compuestos de dos reactores fotocatalíticos de tipo tubular, los cuales pueden conectarse en serie para
5 aumentar tiempo de residencia y superficie de contacto y con ello aumentar la efectividad del tratamiento fotocatalítico. Otro de los problemas del escalado de procesos fotocatalíticos son las condiciones medioambientales, las cuales fluctúan en un mismo día de operación y/o en varios días, esto hace que validar la reproducibilidad y la confiabilidad de los resultados sea
10 muy complicado. Este problema se ha solucionado en esta solicitud de patente con la inclusión de dos módulos de fotocatálisis en la planta de tratamiento, los cuales tienen dos reactores fotocatalíticos que pueden operar en paralelo cuando sea necesario validar un método específico o incluir un análisis estadístico de reproducibilidad, así se pueden tener dos módulos que
15 realicen el mismo proceso bajo idénticas condiciones de tratamiento, es decir con la misma radiación, mismo volumen de flujo, misma concentración de fotocatalizador y mismas características de la carga contaminante.

La estructura de soporte para los tubos del reactor fotocatalítico
20 convencionalmente está hecha con láminas metálicas por lo que los tubos sufren daño o ruptura a largo plazo generado por el flujo de agua que produce vibraciones en el sistema. En la nueva invención los tubos están sujetos a la lámina a través de una burbuja de soporte elaborada en policarbonato que absorbe las vibraciones ocasionadas por el flujo continuo de agua al interior
25 de los tubos del reactor, protegiendo de esta manera la integridad del vidrio.

Uno de los problemas de los reactores fotocatalíticos conocidos es la acumulación de suciedad sobre el soporte de los tubos del reactor. Este problema se ha solucionado con la nueva invención, ya que la lámina sobre
30 la que se encuentran colocados los tubos tiene un ángulo de inclinación de 4 grados; teniendo en cuenta que la planta de tratamiento funciona a la intemperie, esta inclinación evita la acumulación de agua sobre la lámina, lo que puede darse durante los periodos de lluvia en el transcurso del año y también facilita la limpieza y mantenimiento.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La invención planteada es una planta para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales el cual tiene lugar a través de dos procesos principales. El primero de ellos, es la Floculación y el segundo la Fotocatálisis heterogénea.

5

El fenómeno de floculación se lleva a cabo a través de un proceso de agitación suave y continua del agua coagulada, con el propósito de aglomerar los coloides pequeños en flóculos de mayor tamaño y peso para ser removidos por sedimentación o filtración. El proceso ocurre a través del uso de un sólido floculante que puede ser de tipo mineral u orgánico, de esta manera, en la etapa inicial del proceso la floculación permite realizar la remoción de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales a tratar.

10

15

El proceso de fotocatálisis tiene lugar a través de la adición al agua residual de un sólido semiconductor denominado fotocatalizador, el cual absorbe energía de la radiación solar o artificial permitiendo la generación de cargas positivas y negativas que participan en reacciones de óxido – reducción y dan lugar a la formación de radicales hidroxilo, todo ello permite la eliminación de microorganismos, la transformación de contaminantes orgánicos en sus elementos de composición inicial en forma de CO₂, H₂O o N₂, y la remoción de metales pesados, los cuales quedan reducidos sobre la superficie del semiconductor.

20

25

La invención consiste en una Planta para el tratamiento de aguas residuales, la cual combina dos métodos principales para este tratamiento, en primera instancia el proceso de floculación y a continuación el proceso de fotocatálisis.

30

La planta de tratamiento es un sistema modular que incluye tres módulos de trabajo los cuales se ubican de forma secuencial conectados entre sí por tubos para hacer que el proceso de tratamiento de las aguas residuales se lleve a cabo de forma más sencilla, regular y económica.

35

Descripción de figuras

Figura 1: Muestra la planta para el tratamiento de aguas residuales con función dual floculación y fotocátalisis con sus componentes conectados secuencialmente.

5 Figura 2: Muestra un módulo de fotocátalisis con sus componentes.

Figura 3: Muestra un módulo de fotocátalisis en su vista lateral donde se aprecia la inclinación del arreglo de tubos.

Figura 4: Muestra un módulo de fotocátalisis en su vista frontal.

Figura 6: Muestra el esquema de la Planta para el tratamiento de aguas
10 residuales con función dual Floculación y Fotocatálisis.

A continuación, se describen detalladamente cada uno de los componentes que hacen parte de los módulos de la planta y la función que cumplen de forma ordenada y de acuerdo a la secuencia de pasos que tienen lugar en
15 durante el proceso de tratamiento.

El módulo para floculación (2) tiene una bomba de alimentación (P-1) que dirige las aguas residuales hacia el acceso por una válvula de paso 1 (V-1), que permite el paso de las aguas residuales a través del primer filtro (F-1),
20 que se elimina de sólidos grandes con su malla de polietileno de ¼ de pulgada. El módulo para floculación (2) también tiene una válvula de paso 2 (V-2) que permite el paso de las aguas residuales al tanque 1 para floculación (T-1). El tanque para floculación (T-1) tiene una capacidad de 120 litros elaborado en plástico, útil para la recepción de las aguas residuales después
25 de la filtración inicial. En este para floculación (T-1) se adiciona manualmente el floculante tomado de Poliacrilamida catiónica.

El módulo para floculación (2) tiene reductor (M-1) que actúa como reductor de velocidad en el movimiento de las aspas de agitación elaboradas en acero
30 inoxidable, las cuales están unidas al motor y se encuentran localizadas al interior del tanque de floculación (T-1), la agitación inicialmente debe ser rápida a fin de que puedan homogenizarse adecuadamente el floculante y la fase fluida y posteriormente la agitación debe ser lenta y controlada para favorecer la formación de los flóculos durante el proceso. El motor-reductor
35 (M-1) permite controlar la velocidad de agitación hasta 40 rpm. Posteriormente, la agitación se suspende totalmente para que tenga lugar la

precipitación de los flóculos, después de este proceso de floculación se separan por gravedad el sólido del líquido.

Para facilitar y optimizar el proceso de separación sólido-líquido hay una
5 Válvula de paso (V-3). El módulo para floculación (2) cuenta con válvulas de
paso y de salida localizadas en el tanque de floculación, las cuales pueden
conectarse o no directamente al siguiente módulo del sistema para iniciar el
tratamiento fotocatalítico, según lo requiera el usuario del sistema. Después
del proceso de floculación el agua residual estará libre de la carga inicial de
10 sólidos suspendidos para pasar a la segunda etapa del proceso de
tratamiento llevada a cabo en el segundo módulo de operación, donde tiene
lugar el proceso fotocatalítico según se explica a continuación.

Tanque 2 (T-2) realiza la recepción de las aguas residuales provenientes del
15 tanque de floculación (T-1), en este segundo tanque Tanque 2 (T-2) se
adiciona manualmente el fotocatalizador tomado de Dióxido de Titanio.

Dicho tanque 2 (T-2) tiene una Bomba sumergible 1 (P-2) que permite el paso
de las aguas residuales desde el tanque de recepción y la recirculación del
20 agua junto con el fotocatalizador a través de los tubos del reactor
fotocatalítico.

Reactor fotocatalítico tubular (R-2) donde ocurre el tratamiento de las aguas
residuales por medio del proceso de fotocatálisis. Este reactor está
25 conformado por 15 tubos (R1T-1 a R1T-15) de vidrio transparente de
borosilicato 3.3 de diámetro interno 26 mm, 2.0 mm de espesor y 150 mm de
longitud con extremo liso. Los 15 tubos están conectados en serie a través
de juntas elaboradas con tapas GL 45 en plástico hechas a la medida. Los
tubos en mención se unen entre sí a través de conexiones en forma de “U”
30 con terminación en rosca (R1C-1 a R1C-14) lo que les permite unirse a su
vez a las juntas de plástico. Las conexiones en forma de U están elaboradas
también en vidrio transparente de borosilicato 3.3 para aprovechar al máximo
la radiación solar que llega al sistema. Para evitar fugas en las uniones de los
tubos se usan empaques siliconados para rosca GL 45. Los tubos descansan
35 sobre una lámina horizontal elaborada en acero inoxidable de calibre 18 el
cual tiene alta reflectividad y es resistente a la intemperie, la lámina tiene un

grado de inclinación de 4 grados que alojan en su parte inferior tanques de recirculación (T-2), (T-3) con sedimentos y tanques de almacenamiento (T-4 y T-5); teniendo en cuenta que la planta de tratamiento funcionará a la intemperie, esta inclinación evita la acumulación de agua sobre la lámina, lo
5 que puede darse durante los periodos de lluvia en el transcurso del año.

Los tubos están unidos a la lámina de acero inoxidable a través de una burbuja de soporte de policarbonato que absorbe las vibraciones ocasionadas por el flujo continuo de agua al interior de los tubos del reactor,
10 protegiendo de esta manera la integridad del vidrio. Así, los tubos se encuentran a una altura de 4 cm sobre la lámina, esta altura permite dar limpieza y mantenimiento adecuado al sistema, facilitando además al operario la manipulación de los tubos y las juntas plásticas cuando le sea necesario desmontar las partes de la planta. Adicionalmente, la altura a la
15 que se encuentran ubicados los tubos favorece el reflejo de los rayos solares optimizando la iluminación del sistema fotocatalítico, al aprovechar los rayos solares en la parte superior e inferior de los tubos.

Los parámetros de operación del reactor fotocatalítico (R-1) son los
20 siguientes: Caudal de 0.5 L/s, velocidad de flujo de 0.5 m/s, longitud del reactor 22,5 m y un tiempo de residencia de 36 s.

Una válvula de paso 4 (V-4) abre o cierra el sistema para la recirculación del agua a través del reactor fotocatalítico. Las válvulas de paso 5 y 6 (V-5 y V-
25 6) permiten el paso del agua junto con el fotocatalizador después del tratamiento hacia el Filtro 2 (F-2), que es un filtro de poliamida y tiene la función de separar el sólido fotocatalizador del agua tratada con un tamaño de poro de 0.45µm. Es importante tener en cuenta que este tipo de filtro no resulta ser un medio práctico para grandes volúmenes de agua, sin embargo,
30 es el tipo de tamaño de poro que permite retirar el fotocatalizador.

Una válvula de paso 7 (V-7) permite el paso del agua tratada después de la filtración hacia el tanque Tanque 4 (T-4) de almacenamiento final del agua tratada.

Módulos de fotocátalisis (3) y (27) están interconectados entre sí; donde la planta dispone de un segundo módulo para el tratamiento fotocatalítico (27), que cuenta con las mismas características de un primer Módulo de fotocátalisis (3). Este segundo módulo fotocatalítico (27) puede conectarse a
5 conveniencia a los demás módulos de la planta para realizar procesos de tratamiento en simultáneo. Esto resulta especialmente importante ya que algunas aguas residuales pueden presentar mayor carga contaminante y con ello la efectividad del proceso fotocatalítico puede disminuir, pero tener la posibilidad de conectar dos módulos en serie para el tratamiento fotocatalítico
10 permite superar este inconveniente al aumentar el tiempo y la superficie de contacto tanto con el material fotocatalítico como con la radiación solar. Adicionalmente, los dos módulos de fotocátalisis pueden operar en paralelo cuando sea necesario validar un método específico o incluir un análisis estadístico de reproducibilidad, así se pueden tener dos módulos que realicen
15 el mismo proceso bajo idénticas condiciones de tratamiento, es decir con la misma radiación, mismo volumen de flujo, misma concentración de fotocatalizador y mismas características de la carga contaminante.

La válvula de paso 8 (V-8) permite que el agua residual y el fotocatalizador
20 puedan ingresar al segundo módulo de fotocátalisis (27) y pasar a través del segundo reactor fotocatalítico tubular (R-2) el cual está provisto de las válvulas adicionales (V-9 a V-13) que permiten el flujo de agua a lo largo de todo el módulo y al proceso de filtración final.

El panel fotovoltaico solar (S-1) que proporciona tiene autonomía energética a la planta, es decir funciona completamente con energía solar por lo que no necesita ser conectada en ninguno de sus módulos a la red eléctrica, aunque si dispone de esta posibilidad. La energía para el funcionamiento de la planta de tratamiento es producida por un panel fotovoltaico solar de 12 V (S-1) que
25 mantiene la carga de una batería de 12 VDC - 100 Ah, con una autonomía de 2 días controlada por un Controlador (C) MPPT 15A-12VDC/24VDC Victron MPPT 75/15 VOC 751.
30

Los procesos que tienen lugar en la planta de tratamiento: Inicialmente el
35 agua residual a tratar pasa al primer filtro (F-1) gracias a la bomba (P-1) donde se realiza la remoción de los sólidos grandes que puede contener el agua

residual, tipo basuras. Una vez eliminados estos sólidos el agua pasa al tanque de Floculación (T-1) donde se adiciona manualmente el floculante para llevar a cabo en tratamiento primario de floculación orientada a la eliminación de los sólidos suspendidos, esta etapa contribuye a que el posterior proceso fotocatalítico se lleve a cabo de forma más eficiente al eliminar sólidos y permitir un mejor paso de la luz durante el tratamiento fotocatalítico. Después de la Floculación el floculante se recupera por precipitación y el agua residual pasa al tanque de recepción (T-2) donde se adiciona manualmente el material fotocatalizador, desde allí se realiza la recirculación del agua residual y el fotocatalizador a través del reactor fotocatalítico (R-1). Después del tratamiento fotocatalítico, el fotocatalizador se recupera por filtración (F-2) y el agua tratada pasa al tanque final de almacenamiento.

Mejor Manera de ejecutar la invención

La planta de tratamiento es un sistema modular que incluye tres o más módulos de trabajo los cuales se ubican de forma secuencial conectados entre sí para hacer que el proceso de tratamiento de las aguas residuales se lleve a cabo de forma más sencilla, regular y económica. La invención consiste en una Planta para el tratamiento de aguas residuales, la cual combina dos métodos principales para este tratamiento, en primera instancia el proceso de floculación y a continuación el proceso de fotocatálisis. La presente invención corresponde a una planta modular para el tratamiento de aguas residuales (1), compuesta por un módulo de floculación (2) y dos módulos de fotocatálisis (3) y (27) interconectados entre sí. Los elementos constitutivos de la invención se encuentran conectados entre sí a través de tuberías (39) que se encargan de transportar le agua residual a través del sistema.

El módulo de floculación (2) está compuesto por una bomba de alimentación (4) que se encarga de dirigir las aguas al sistema, conectada a través de una válvula de paso (5) con un sistema de filtración (6) que tiene como propósito la eliminación de sólidos grandes que consiste en una malla de polietileno de $\frac{1}{4}$ de pulgada que se conecta con un tanque de floculación (7) por medio de una válvula de paso (8). El tanque de floculación (7) recibe y almacena en su interior el agua anteriormente filtrada, donde se adiciona manualmente el

floculante (Poliacrilamida catiónica) que es mezclado con el agua por un bastidor (9) ubicado al interior del tanque de floculación (7) con espas (11) en su extremo que está conectado a un motor – reductor (10) que realiza la agitación de la mezcla de agua y floculante que inicialmente debe ser rápida a fin de que puedan homogenizarse adecuadamente el floculante y la fase fluida y posteriormente la agitación debe ser lenta y controlada para favorecer la formación de los flóculos durante el proceso. El motor-reductor (10) permite controlar la velocidad de agitación hasta 40 rpm. Posteriormente, la agitación se suspende totalmente para que tenga lugar la precipitación de los flóculos, después de este proceso de floculación se separan por gravedad el sólido del líquido.

Para facilitar y optimizar el proceso de separación sólido-líquido, el primer módulo de floculación (2) cuenta con válvulas de paso y de salida localizadas en el tanque de floculación (7), las cuales pueden conectarse o no directamente al módulo de fotocátalisis (3) del sistema para iniciar el tratamiento fotocatalítico, según lo requiera el usuario del sistema. Después del proceso de floculación el agua residual estará libre de la carga inicial de sólidos suspendidos para pasar a la segunda etapa del proceso de tratamiento llevada a cabo en el módulo de fotocátalisis (3), donde tiene lugar el proceso fotocatalítico según se explica a continuación.

El módulo de fotocátalisis (3) está compuesto por un tanque de fotocatalisis (13) que recibe el agua previamente floculada en el tanque de floculación (7) a través de la válvula de paso y salida (12), en el tanque de fotocatalisis (13) se adiciona manualmente el fotocatalizador (Dióxido de Titanio), el tanque de fotocátalisis (13) se conecta con una bomba sumergible (14) que permite el paso de las aguas residuales junto con el fotocatalizador a través de los tubos del reactor fotocatalítico (15).

En el reactor fotocatalítico (15) ocurre el tratamiento de las aguas residuales por medio del proceso de fotocátalisis, el reactor (15) está conformado por tubos de vidrio (16) de borosilicato 3.3 de diámetro interno 26 mm, 2.0 mm de espesor y 150 mm de longitud con extremo liso, los tubos (16) están conectados en serie a través de juntas (17) elaboradas con tapas GL 45 en plástico hechas a la medida. Los tubos (16) en mención se unen entre sí a

través de conexiones (18) en forma de “U” con terminación en rosca lo que les permite unirse a su vez a las juntas de plástico (17). Las conexiones en forma de U (18) están elaboradas en vidrio borosilicato 3.3 para aprovechar al máximo la radiación solar que llega al sistema. Para evitar fugas en las uniones de los tubos (16) se usan empaques siliconados para rosca GL 45.

Los tubos descansan sobre una lámina horizontal (19) elaborada en acero inoxidable de calibre 18 el cual tiene alta reflectividad y es resistente a la intemperie, la lámina (19) tiene un grado de inclinación de 4 grados; teniendo en cuenta que la planta de tratamiento (1) funcionará a la intemperie, esta inclinación evita la acumulación de agua sobre la lámina, lo que puede darse durante los periodos de lluvia en el transcurso del año. Los tubos (16) están unidos a la lámina (19) de acero inoxidable a través de una burbuja de soporte (20) de policarbonato que absorbe las vibraciones ocasionadas por el flujo continuo de agua al interior de los tubos (16) del reactor (15), protegiendo de esta manera la integridad del vidrio.

Así, los tubos (16) se encuentran a una altura de 4 cm sobre la lámina (19), esta altura permite dar limpieza y mantenimiento adecuado al sistema, facilitando además al operario la manipulación de los tubos (16) y las juntas (17) plásticas cuando le sea necesario desmontar las partes de la planta (1). Adicionalmente, la altura a la que se encuentran ubicados los tubos (16) favorece el reflejo de los rayos solares optimizando la iluminación del módulo fotocatalítico (3), al aprovechar los rayos solares en la parte superior e inferior de los tubos (16). Los parámetros de operación del reactor fotocatalítico (15) son los siguientes: Caudal de 0.5 L/s, velocidad de flujo de 0.5 m/s, longitud del reactor 22,5 m y un tiempo de residencia de 36 s.

El reactor fotocatalítico (15) se conecta con una válvula de recirculación (21) que transporta el agua tratada nuevamente al tanque de fotocatalisis (13) para repetir el proceso de fotocatalisis las veces necesarias. El reactor fotocatalítico (15) a su vez se conecta con válvulas de paso (22) y (23) que permiten el paso del agua tratada hacia el filtro de fotocatalización (24) de poliamida que tiene la función de separar el sólido fotocatalizador del agua tratada con un tamaño de poro de 0.45µm. Es importante tener en cuenta que este tipo de filtro no resulta ser un medio práctico para grandes volúmenes

de agua, sin embargo, es el tipo de tamaño de poro que permite retirar el fotocatalizador.

El agua tratada y filtrada, pasa por una válvula de paso (25) antes de desembocar en el tanque de almacenamiento (26) donde se deposita la totalidad del agua filtrada.

El segundo módulo de fotocatálisis (27) cuenta con las mismas especificaciones de módulo de fotocatálisis (3), el segundo módulo de fotocatálisis (29) recibe el agua residual del tanque de floculación (7) a través de la válvula de paso y salida (28) depositándola en el segundo tanque de fotocatálisis (29) donde se aplica manualmente el fotocatalizador, el agua residual mezclada con el fotocatalizador es bombeada al segundo reactor fotocatalítico (32) a través de una segunda bomba sumergible (30) y una válvula de paso (31). El segundo reactor fotocatalítico (32) cuenta con las mismas especificaciones que el reactor fotocatalítico (15).

Una vez el agua mezclada con el fotocatalizador pasa a través del segundo reactor fotocatalítico (32) pasa por una válvula de recirculación (35) que conduce al segundo tanque de fotocatálisis (29) para que se repita el proceso las veces necesarias. Una vez realizado el ciclo de tratamiento las veces necesarias el agua tratada sale del segundo reactor fotocatalítico (32) a través de la válvula de paso (33) que conecta con la válvula de paso (23) que permiten el paso del agua tratada hacia el filtro de fotocatalización (24), seguidamente el agua tratada y filtrada, pasa por una válvula de paso (25) antes de desembocar en el tanque de almacenamiento (26) donde se deposita la totalidad del agua filtrada.

Este segundo módulo (27) puede conectarse a conveniencia a los demás módulos de la planta para realizar procesos de tratamiento en simultáneo. Esto resulta especialmente importante ya que algunas aguas residuales pueden presentar mayor carga contaminante y con ello la efectividad del proceso fotocatalítico puede disminuir, pero tener la posibilidad de conectar dos módulos en serie para el tratamiento fotocatalítico permite superar este inconveniente al aumentar el tiempo y la superficie de contacto tanto con el material fotocatalítico como con la radiación solar.

Cuando trabaja en serie la planta de tratamiento (1), el agua tratada una vez pasa por el reactor fotocatalítico (15) se dirige por una válvula (36) que conecta con el segundo reactor fotocatalítico (32) para realizar un segundo proceso de tratamiento fotocatalítico, una vez el agua tratada pasa por el segundo reactor fotocatalítico (32) pasa a través de una válvula de recirculación (34) que conecta con el tanque de fotocátalisis (13) para repetir el proceso las veces necesarias. Una vez se realicen los ciclos de tratamiento necesarios el agua tratada sale del segundo reactor fotocatalítico (32) a través de la válvula de paso (33) que conecta con la válvula de paso (23) que permiten el paso del agua tratada hacia el filtro de fotocatalización (24), seguidamente el agua tratada y filtrada, pasa por una válvula de paso (25) antes de desembocar en el tanque de almacenamiento (26) donde se deposita la totalidad del agua filtrada.

Adicionalmente, los dos módulos de fotocátalisis (3) y (27) pueden operar en paralelo cuando sea necesario validar un método específico o incluir un análisis estadístico de reproducibilidad, así se pueden tener dos módulos que realicen el mismo proceso bajo idénticas condiciones de tratamiento, es decir con la misma radiación, mismo volumen de flujo, misma concentración de fotocatalizador y mismas características de la carga contaminante.

La planta de tratamiento (1) tiene autonomía energética, es decir funciona completamente con energía solar por lo que no necesita ser conectada en ninguno de sus módulos a la red eléctrica, aunque si dispone de esta posibilidad. La energía para el funcionamiento de la planta de tratamiento es producida por un panel fotovoltaico solar (37) de 12 V que mantiene la carga de una batería de 12 VDC - 100 Ah, con una autonomía de 2 días, conectado el sistema a0 un Controlador (38) MPPT 15A-12VDC/24VDC Victron MPPT 75/15 VOC 751, que se encarga de proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento de la bomba de alimentación (4), la bomba sumergible (14), la segunda bomba sumergible (30) y el motor-reductor (10)