

SISTEMA ELECTROQUÍMICO TRIDIMENSIONAL DE TRATAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE AGUAS INDUSTRIALES

1. CAMPO DE LA INVENCION.

5

La presente invención se refiere a sistemas y procesos para tratamiento de agua utilizando electrocoagulación con ánodo helicoidal, electrocoagulación con electrodos laminares y sedimentación foto oxidativa. Estos sistemas y procesos de tratamiento de agua pueden ser aplicados a todo tipo de aguas residuales, como los efluentes industriales.

10

2. ANTECEDENTES DE LA INVENCION.

En el estado de la técnica se conocen varios sistemas y métodos para tratar aguas residuales utilizando electrocoagulación. Entre ellos, la patente US 2015/0060282A1 divulga sistemas y métodos para tratar aguas residuales, en el que la primera etapa utiliza electrocoagulación para separar las partículas suspendidas y la segunda utiliza medios mecánicos para remover las partículas que fueron generadas en la primera etapa. No obstante, este sistema de electrocoagulación divulgado no soluciona de manera adecuada los altos tiempos de retención que son necesarios para el tratamiento del agua en los procesos de electrocoagulación, lo que en algunas regiones se traduce en altos costos de energía eléctrica.

Asimismo, se han propuesto diversas modificaciones a los sistemas y procesos de electrocoagulación, por ejemplo, la patente US 2003/0222030A1 divulga sistemas y métodos de tratamiento de aguas residuales utilizando un electrodo de en forma helicoidal, en donde el sistema de tratamiento de agua comprende las etapas de electrocoagulación, sedimentación y filtración. No obstante, aún se requieren altos tiempos de retención y no se divulga un tratamiento posterior a las corrientes salientes de este proceso, las cuales muchas veces contienen altas concentraciones de hierro o aluminio dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.

Como alternativas para el tratamiento de agua, además de los métodos de electrocoagulación, se tienen los procesos de oxidación avanzada. Tradicionalmente se usa una combinación $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2$ para dichos procesos, no obstante, para llevar a cabo

estos procesos se requiere suministrar al efluente hídrico grandes cantidades de hierro y peróxido de hidrógeno adicionales. La publicación de Global NEST titulada "REMOVAL OF COD FROM OIL RECOVERY INDUSTRY WASTEWATER BY THE ADVANCED OXIDATION PROCESSES (AOP) BASED ON H_2O_2 " divulga métodos para tratar aguas residuales mediante procesos de oxidación avanzada, particularmente usando la reacción foto-Fenton UV/ Fe^{+2}/H_2O_2 . Sin embargo, aunque se utiliza la luz ultravioleta, las especies químicas de hierro y peróxido aún deben ser agregadas externamente al sistema de tratamiento de agua. Aún más, este tipo de tecnologías foto oxidativas no han sido aplicadas a un proceso industrial de tratamiento de agua y aún están dirigidas a ser procedimientos experimentales de laboratorio.

A partir de los problemas técnicos presentados como posible solución a los procesos de tratamiento de agua utilizando sistemas de electrocoagulación y oxidación avanzada, la patente CN 203545822U divulga sistemas y métodos para tratar aguas con concentraciones elevadas de residuos orgánicos que son difícilmente biodegradables, en el que se utilizan las etapas de reacción de Fenton, electrocoagulación y sedimentación para el tratamiento del agua. No obstante, a pesar de mencionar los procesos de electrocoagulación y oxidación avanzada en un solo proceso, no se divulga una clara integración de estos sistemas ya que cada uno funciona de manera independiente y no depende de la etapa anterior para llevarse a cabo. Adicionalmente, no se solucionan los problemas de tiempos de retención hidráulicos asociados al proceso de electrocoagulación tradicional.

En particular, es relevante mencionar que ninguna de las anterioridades señaladas reporta sistemas y procesos de tratamiento de agua que no necesiten sustancias químicas adicionales para su eficaz tratamiento del agua. Por ejemplo, la patente CN 203545822U requiere la adición de oxidantes en la primera etapa del proceso para llevar a cabo la reacción Fenton. Por el contrario, en la presente solicitud se especifica que los sistemas y procedimientos de tratamiento de agua no necesariamente deben utilizar sustancias químicas adicionales, ya que las especies químicas relevantes al proceso de tratamiento de agua son generadas *in situ*. La presente invención demuestra que es posible lograr tiempos de retención hidráulica reducidos manteniendo la efectividad del tratamiento de agua sin utilizar químicos adicionales al proceso, como se indicará más adelante en los ejemplos.

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INVENCION.

Según los problemas que se han logrado identificar en el estado de la técnica, la presente solicitud proporciona un proceso y un sistema de tratamiento de aguas que comprende las siguientes etapas esenciales:

La electrocoagulación es un proceso en el cual las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas son desestabilizadas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales. Esta técnica generalmente se utiliza en combinación con flotación promovida por electrólisis (electroflotación) para aumentar la eficiencia de remoción del contaminante.

En la electrocoagulación, la corriente eléctrica provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la precipitación o flotación de los contaminantes, facilitando su remoción por algún método de remoción secundario. Esto ocurre debido a que los iones metálicos presentes tienden a formar óxidos metálicos que atraen a los contaminantes que han sido desestabilizados, los cuales se coagulan o aglomeran para formar compuestos menos solubles.

La etapa 1 o etapa de Electrocoagulación con ánodo Helicoidal Tridimensional (EDTH), en donde las aguas residuales entran a tanques circulares que contienen un ánodo de sacrificio (Fe o Al) en forma de varilla removible concéntrica al tanque circular, la cual está rodeada de un cátodo fijo de acero inoxidable en forma helicoidal a lo largo del ánodo de sacrificio. En dicha etapa se un voltaje entre 12 V y 32 V y se utilizan tiempos de retención hidráulico (TRH) de 15 a 45 minutos.

La etapa 2 o etapa de Electrocoagulación Bidimensional (EFB), en donde las aguas provenientes de la etapa 1 ingresan a una unidad EFB que comprende electrodos en forma de láminas inter-espaciadas y en una configuración intercalada según sus cargas (ánodo/cátodo) que generan una corriente de 3 a 15 A y un medio para remover la espumas, caracterizado porque dicha unidad EFB se encuentra en una inclinación entre 20 y 50%, con tiempos de retención hidráulico (TRH) de 1 a 2 horas.

Se ha descubierto de manera sorprendente que la combinación de un sistema de EDTH en conjunto con un sistema EFB reduce los tiempos de retención hidráulica del proceso de tratamiento de aguas manteniendo una efectividad superior en la reducción de DQO (Demanda Química de Oxígeno) en la corriente tratada.

5

Por otra parte, la etapa 3 o etapa de Foto Sedimentación Oxidativa (FSO), en donde las aguas provenientes de la etapa 2 ingresan a un sistema FSO que comprende un tanque semicónico con un sistema de decantación hidrociclónico. La sedimentación por el efecto ciclónico es promovida por la foto radiación que funciona bajo los lineamientos de fotocátalisis de Fenton. Esta etapa comprende además una línea de evacuación de lodos sedimentados y vaciado de fluidos decantados, lámparas U.V. adaptadas a una longitud de onda entre 200 y 500 nm, y recubierto por un material con características refractivas, evitando la exposición al sol y aumentando la capacidad de la cobertura lumínica en el tanque FSO. La presente invención ha encontrado de manera sorprendente que la velocidad de sedimentación del efluente con las condiciones de la etapa 2 es acelerada si se utiliza radiación U.V. en la separación por sedimentación, particularmente cuando se utiliza una radiación U.V. de 254 nm.

Quando el agua se somete a una radiación U.V. se rompen las membranas citoplasmáticas de bacterias, algas y protozoarios, entre otros, lo que minimiza los módulos de desinfección y los dispone por separado, lo que promueve su aglomeración y sedimentación. Adicionalmente, la radiación U.V. promueve la formación del radical hidroxilo ($\cdot\text{OH}$), la reacción de este radical con el contenido inorgánico y orgánico del agua, y la subsecuente reducción de DQO en la corriente tratada

25

En la etapa 3 se precipitan los flóculos generados por el reactor electroquímico de las etapas 1 y 2 que no fueron removidos superficialmente y requieren la fuerza ciclónica para sedimentarse. En esta etapa no es necesario emplear un electrolizador, ya que el agua que ingresa a esta etapa se encuentra con todas las especies químicas necesarias para llevar a cabo un tratamiento de agua bajo los lineamientos de fotocátalisis de Fenton, particularmente, el agua llega oxigenada y con material iónico diluido desde proceso EFB. Se resalta que las especies químicas que se requieren para el tratamiento de agua se generan *in situ* y no es necesario agregar sustancias químicas adicionales al proceso.

30

Este proceso está acompañado de etapas adicionales u opcionales como una etapa de pre-tratamiento de las aguas residuales anterior al ingreso a la Etapa 1, en donde se tiene una trampa de grasas, o una etapa de disposición de lodos, zona de residuos, rechazos y purgas de los lodos provenientes de las etapas 2 y 3, así como una etapa de filtración final por medio de arena de sílice y carbón activado de las aguas provenientes de la etapa 3.

Asimismo, la presente invención proporciona un sistema EDTH y EFB acoplado que hace uso de las celdas helicoidales de electrocoagulación que son compatibles con vertidos de características de contaminación orgánica e inorgánica de alta densidad de contaminación, los cuales son características que hacen inadecuados o inservibles otros métodos de tratamiento. El presente sistema aprovecha la acción de burbujas de hidrogeno y oxígeno a partir de cambios de polaridad en electrodos para la limpieza de los electrodos, minimizando el costo de mantenimiento.

15 **4. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION.**

La presente invención proporciona un proceso de tratamiento de aguas que comprende las etapas esenciales de electrocoagulación con ánodo helicoidal, electrocoagulación bidimensional y foto sedimentación oxidativa. Así mismo, proporciona un sistema de electrocoagulación que comprende un tanque de Electrodilución con ánodo Helicoidal Tridimensional seguido de un tanque de Electroflotación Bidimensional (EFB), y un sistema de foto sedimentación oxidativa.

Los sistemas y etapas de electrocoagulación divulgados en la presente invención pueden adaptarse a diferentes escalas y efluentes de agua, ya que matemáticamente se puede calcular la masa liberada del ánodo de sacrificio utilizando la ley de Faraday y la corriente eléctrica que es aplicada en cada una de las resistencias configuradas. Esta masa liberada es proporcional al tiempo de retención hidráulico (TRH), que a su vez se ve influenciada directamente por otros parámetros como la densidad de corriente (A/cm^2), pH, geometría de los electrodos y conductividad eléctrica del medio. La determinación de la masa liberada del ánodo depende de cada tipo de efluente y debe ser calculada y ajustada experimentalmente en cada caso con los métodos experimentales comúnmente conocidos en el campo técnico. A continuación se detallan, de una manera no limitativa, los sistemas y etapas que divulga la presente invención.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA DE ELECTROCOAGULACIÓN CON ÁNODO HELICOIDAL

En la etapa de electrocoagulación con ánodo helicoidal las aguas residuales entran a unos tanques circulares que contienen un ánodo de sacrificio en forma de varilla removible concéntrica al tanque circular, la cual está rodeada de un cátodo fijo en forma helicoidal a lo largo del ánodo de sacrificio. En dicha etapa al aplicar un voltaje entre 12 V y 32 V, preferiblemente 24 V, se genera una corriente entre 25 a 50 A, utilizando tiempos de retención hidráulico (TRH) de 15 a 45 minutos. Dichos valores de corriente se pueden obtener a diferentes escalas modificando el diámetro y longitud del ánodo de sacrificio, el diámetro y el espaciamiento longitudinal entre las espirales del cátodo y la distancia entre el cátodo y el ánodo.

Preferiblemente, el medio tiene una conductividad de aproximadamente 5 a 60 $\mu S/cm$ (microSiemens por centímetro), preferencialmente con una conductividad de 45 $\mu S/cm$, lo que equivalente a una concentración de electrolitos de 0.892 mmol/mL.

Los efluentes de agua pueden ingresar a una temperatura entre 4°C hasta 100°C, a presiones entre 101,35 KPa (14,7 psi) a 1103,3 KPa (160 psi), las cuales son condiciones que se utilizan normalmente en los sistemas de tratamiento de agua convencionales.

En ciertas realizaciones de la invención, estos tanques circulares del sistema de electrocoagulación con electrodo helicoidal contienen entre 200 y 220 L de agua residual. En otras realizaciones preferenciales, el volumen del tanque puede ser de 25 a 75 L, preferiblemente de 55 L.

Entre los posibles materiales a utilizar en el ánodo de sacrificio y el cátodo de la etapa 1 se encuentran, y no se limitan, materiales como aluminio, hierro, y titanio, entre otros metales de transición y aleaciones.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA DE ELECTROCOAGULACIÓN BIDIMENSIONAL

En la etapa de electrocoagulación bidimensional las aguas provenientes de la etapa 1 ingresan a una unidad EFB que comprende electrodos en forma de láminas inter-espaçadas y en una configuración intercalada según sus cargas (ánodo/cátodo), que

generan una corriente de 3 a 15 A al aplicar un voltaje de aproximadamente 12 a 32 V, utilizando un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 1 a 2 horas.

Los efluentes de agua pueden ingresar a temperaturas y presiones similares a las de la etapa anterior. No obstante, pueden ingresar a temperaturas y presiones comúnmente utilizadas para sistemas de electrocoagulación bidimensional convencionales

Entre los posibles materiales a utilizar en el ánodo de sacrificio y el cátodo de la etapa 2 se encuentran, y no se limitan, materiales como aluminio, hierro, y titanio, entre otros metales de transición y aleaciones.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN

En el sistema de electrocoagulación con ánodo helicoidal todas las líneas de fuerza entran por un lado de la espiral y salen por el otro, proporcionando una característica tridimensional a la conducción catódica de la energía eléctrica. Este sistema se encuentra en uno o más tanques circulares, en serie o paralelo, que contienen un ánodo de sacrificio en forma de varilla removible concéntrica al tanque circular, la cual está rodeada de un cátodo fijo en forma helicoidal a lo largo del ánodo de sacrificio. Entre otras realizaciones de la invención, el electrodo helicoidal puede ser el ánodo de sacrificio y la varilla concéntrica el cátodo.

Figura 1 muestra una vista lateral y superior del ánodo de sacrificio (1) y el cátodo helicoidal (2). La distancia entre el ánodo de sacrificio (1) y el cátodo helicoidal de la presente invención se encuentra, y no se limita, al rango entre 0.1 a 10 cm, preferencialmente de 1 a 3 cm. La varilla del ánodo de sacrificio (1) puede ser de 1/4" (0,635 cm) a 3" (7,62 cm), preferiblemente de 1/4" (0,635 cm) a 2" (5,08 cm). El cátodo helicoidal (2) puede ser de 1/8" (0,3175 cm) a 2" (5,08 cm), preferiblemente de 1/8" (0,3175 cm) a 1" (2,54 cm). El espaciamiento longitudinal entre los espirales puede ser de 0,5 a 5 cm, preferiblemente entre 1 a 2 cm. Las longitudes de los elementos mecánicos de este sistema no se limitan a la escala propuesta, y pueden mantener sus proporciones correspondientes utilizando otras escalas.

La Figura 2 muestra el sistema de ánodo de sacrificio (1) y el cátodo helicoidal (2) en el tanque circular (3). La distancia entre el cátodo helicoidal (2) y el tanque circular (3) se encuentra, y no se limita, al rango entre 0.1 a 30 cm, preferencialmente de 1 a 8 cm, ya que como es bien sabido en el campo técnico, el rango de eficiencia del tratamiento eléctrico disminuye a medida que la distancia aumenta. Por otra parte, las longitudes de los elementos mecánicos de este sistema no se limitan a la escala propuesta, y pueden mantener sus proporciones correspondientes utilizando otras escalas.

Las Figuras 3 a 9 muestran diferentes vistas y cortes de una realización del sistema de electrocoagulación bidimensional (EFB) de la presente invención. El sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, comprende de manera no limitante, un cuerpo trapezoidal (4), una la línea de salida (6), la línea de evacuación de lodos (7), la cual se encuentra en la cara opuesta a la línea de entrada (10) y enfrentada a la porción inclinada del tanque trapezoidal (9). Dicha porción inclinada se encuentra a lo largo del tanque trapezoidal (4). Además comprende una abertura o respiradero (5) por donde se evacúan las espumas generadas en el proceso de electrocoagulación, y opcionalmente un techo removible (8).

Los electrodos laminares (11) a utilizar en el sistema EFB son monopolares y pueden ser, sin estar limitados, a geometrías rectangulares o hexagonales. Se utilizan preferencialmente aluminio en el ánodo y hierro en el cátodo, o viceversa según la polaridad deseada. No obstante, en principio los electrodos pueden estar hechos de cualquier metal de transición, aleaciones o combinaciones.

Las directrices generales de diseño para reactores de electrocoagulación para tratamiento y recuperación de aguas industriales de la patente son bien conocidas en el estado del arte. Los materiales para la construcción de los tanques de electrocoagulación deben ser inertes y no conductores, entre los que se encuentran PRFV, PEAD, un polímero acrílico y vidrio. En algunas realizaciones de la presente invención, el techo del tanque de electrocoagulación bidimensional es removible.

En el sistema de electrocoagulación bidimensional acorde a la presente invención las láminas que conforman las resistencias aplican un voltaje constante, preferencialmente de 24 V, generando una corriente de aproximadamente 3 a 15 Amperios. Dichos valores de

corriente se pueden obtener utilizando láminas con geometría rectangular o hexagonal irregular según las características del tanque, modificando el número, dimensiones (ancho, largo y alto) y espaciamiento entre las láminas. El tanque tiene una inclinación entre 10° a 60°, preferiblemente 30°, para que el material floculado por la coagulación de contaminantes pueda ser evacuado hacia los módulos de gestión de lodos secundarios.

Las espumas residuales pueden ser removidas por un mecanismo para remover espumas (12), entre las que se encuentran y no se limitan a sistemas mecánicos de rascado superficiales que arrastran las espumas que flotan y las conducen a módulos de gestión de lodos secundarios. Entre los posibles medios para remover la espuma se encuentran, y no se limitan, rascadores superficiales de espumas natas y sobrenadantes, como los que se encuentran en la patente US 2465220.

Se resalta que en la presente invención la unidad de electrocoagulación con ánodo helicoidal no contiene elementos de remoción de material floculado. En la electrocoagulación bidimensional se agregan los medios de remoción del material floculado, al mismo tiempo que se genera una corriente para generar las especies químicas necesarias para la etapa de foto sedimentación oxidativa.

4.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y SISTEMA DE FOTO SEDIMENTACIÓN OXIDATIVA

En la etapa de foto sedimentación oxidativa (FSO) las aguas provenientes de la etapa 2 ingresan a una unidad FSO que comprende un tanque semicónico con un sistema de decantación hidrociclónico que aprovecha la fuerza y velocidad dada por la bomba para crear, con ayuda de rieles de rosca grabados en el tanque semicónico, un ciclón de decantación, que gracias a la propiedad hidrofóbica de los coloides se promueve su aglutinación y posterior decantación. La agitación equivalente de estos flóculos que logra el ciclón de decantación es de alrededor de 150 a 300 RPM, preferiblemente 250 RPM.

En las Figuras 10 a 14 se muestran diferentes vistas y cortes de una realización del sistema de foto sedimentación oxidativa de la presente invención. El sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, comprende de manera no limitante, un tanque semicónico (15), una línea de entrada (13), una línea de salida (14), una línea de purga de lodos (17), un elemento de direccionamiento de flujo de la línea de

entrada (16). Dicho elemento de direccionamiento de flujo de la línea de entrada (16) es preferiblemente un codo de 45°, el cual direcciona el flujo de agua a los rieles de rosca grabados en el tanque semicónico (15), opcionalmente incluyendo la inclinación de la porción cónica (19), lo que permite la formación del ciclón. Este sistema además

5 comprende sistemas de emisión de radiación U.V. (18).

La sedimentación por el efecto ciclónico es promovida por la foto radiación que funciona bajo los lineamientos de fotocátalisis de Fenton. La etapa 3 comprende además una línea de evacuación de lodos sedimentados y vaciado de fluidos decantados, lámparas U.V.

10 adaptadas a una longitud de onda entre 200 y 500 nm, preferiblemente 254 nm. Las lámparas o sistemas de emisión de radiación U.V. se encuentran separadas a una distancia entre 0.5 cm y 10 cm del tanque semicónico, de modo que no obstaculice el flujo ciclónico del agua que generan los rieles de rosca grabados en el tanque semicónico. Preferencialmente, el sistema de foto sedimentación oxidativa comprende 4 lámparas UV

15 equidistantes entre sí. La intensidad y dimensiones de dichas lámparas pueden variar y es posible utilizar productos comerciales convencionales.

El tanque está recubierto por un material con características refractivas, evitando la exposición al sol y aumentando la capacidad de la cobertura lumínica en el tanque FSO. El

20 TRH de esta etapa es de 25 a 45 minutos.

Entre los posibles materiales reflectivos que se pueden utilizar para elaborar el tanque de la etapa 3 se encuentra, pero no se limitan, PRFV, PEAD y acero inoxidable, recubiertas con pintura blanca, o un recubrimiento en general que promueva la reflexión de la

25 radiación UV.

4.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS ADICIONALES Y OPCIONALES

En la Figura 15 se muestra una realización del proceso de tratamiento de aguas de la presente invención. El proceso comprende de manera no limitante, una trampa de grasas

30 (21) anterior o en la etapa de electrocoagulación EDTH, una etapa de electrocoagulación con ánodo helicoidal (22), una bomba o sistema de presurización (23), un sistema de electrocoagulación bidimensional (24), una bomba o sistema de presurización (25), una etapa de foto sedimentación (26), una bomba o sistema de presurización (27), una bomba

o sistema de presurización (28), una etapa de disposición de lodos (29), una etapa de filtración (30) y una línea de salida de agua tratada (31). Las bombas o sistemas de presurización (23), (25), (27) y (28) se diseñan acorde a las características de los flujos que manejan sus corrientes correspondientes, por ejemplo, flujos monofásicos y bifásicos. Las especificaciones de las bombas son fácilmente deducibles por las personas versadas en la materia.

Una etapa de pretratamiento de grasas puede incorporarse convenientemente al proceso de tratamiento de agua de la presente invención para aumentar la eficiencia de las etapas de electrocoagulación, como es conocido en el estado del arte. Preferencialmente, esta etapa de pretratamiento tiene una tasa de remoción de grasas puras de 10 L/hora antes de ingresar a la etapa EDTH.

Un proceso de filtración puede realizarse en una unidad de tratamiento terciario donde el agua pasa a través de un filtro o un tanque con medio filtrante, preferiblemente de arena sílice o carbón. Preferencialmente, la unidad funciona a presiones desde 275.8 KPa (40 psi) a 1103,3 KPa (160 psi), lo cual termina de clarificar el agua y lo conduce a un drenaje final para ser evacuada.

Esta unidad de filtración puede contener un tanque para sólidos gruesos que se presta para el soporte del sistema, una canastilla generalmente en plástico para soportar el medio filtrante el cual consiste en arena sílice o carbón activado, y una válvula de tres vías utilizada para las funciones de filtrado, recirculación y retrolavado.

En una realización preferencial, el proceso de tratamiento de aguas de la presente invención comprende una zona de residuos sólidos, rechazos y purgas para completar el proceso de evacuación de los lodos hidrofóbicos provenientes de los reactores electroquímicos y el foto sedimentador. La unidad recibe las purgas diarias requeridas y puede estar conformada por un tanque receptor de lodos, el cual contiene un medio de filtración (como en aserrín) para lixiviar el agua tratada y deshidratar los lodos recibidos.

5. BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS.

La Figura 1 muestra la vista lateral y superior de la configuración del ánodo de sacrificio (1) y el cátodo helicoidal (2) de la presente invención.

La Figura 2 muestra un corte lateral y una vista superior de una realización del sistema de electrocoagulación tridimensional de la presente invención, en donde se observa el ánodo de sacrificio (1), el cátodo helicoidal (2) y el tanque cilíndrico (3).

La Figura 3 muestra la vista trasera de una realización del sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, en donde se observa el cuerpo del tanque trapezoidal (4), la línea de salida (6), la línea de evacuación de lodos (7), una abertura o respiradero (5) por donde se evacúan las espumas generadas en el proceso de electrocoagulación, y un techo removible (8).

La Figura 3 muestra una vista lateral de una realización del sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, en donde se observa el cuerpo del tanque trapezoidal (4), la línea de salida (6), la línea de evacuación de lodos (7), una abertura o respiradero (5) por donde se evacúan las espumas generadas en el proceso de electrocoagulación, y un techo removible (8).

La Figura 4 muestra una vista lateral de una realización del sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, en donde se observa el cuerpo del tanque trapezoidal (4), la línea de entrada (10), la línea de salida (6), y la porción inclinada del tanque trapezoidal (9).

La Figura 5 muestra una vista superior de una realización del sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, donde se observa el cuerpo del tanque trapezoidal (4), la línea de entrada (10), la línea de salida (6) y la línea de evacuación de lodos (7).

La Figura 6 muestra una vista lateral de una realización del sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, donde se observa el cuerpo del tanque trapezoidal (4), la línea de entrada (10), la línea de evacuación de lodos (7) y la porción inclinada del tanque trapezoidal (9).

La Figura 7 muestra un corte de la vista superior de una realización del sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, donde se observa el cuerpo del tanque trapezoidal (4), electrodos laminares intercalados (11), la línea de entrada (10) y la línea de salida (6).

5

La Figura 8 muestra una vista lateral de una realización del sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, donde se observa el cuerpo del tanque trapezoidal (4), la línea de entrada (10), la línea de salida (6) y la línea de evacuación de lodos (7).

10

La Figura 9 un corte de una vista lateral de una realización del sistema de electrocoagulación bidimensional de la presente invención, donde se observa una abertura o respiradero (5) por donde se evacúan las espumas generadas en el proceso de electrocoagulación, un techo removible (8), electrodos laminares intercalados (11), la línea de entrada (10), la línea de salida (6) y un mecanismo para remover espumas (12).

15

La Figura 10 una vista superior de una realización del sistema de foto sedimentación de la presente invención, donde se observa un tanque semicónico (15), una línea de entrada (13) y una línea de salida (14).

20

La Figura 11 una vista inferior de una realización del sistema de foto sedimentación de la presente invención, donde se observa un tanque semicónico (15), una línea de entrada (13), una línea de salida (14), una línea de purga de lodos (17) y un elemento de direccionamiento de flujo de la línea de entrada (16),

25

La Figura 12 un corte de una vista lateral de una realización del sistema de foto sedimentación de la presente invención, donde se observa un tanque semicónico (15), una línea de entrada (13), un elemento de direccionamiento de flujo de la línea de entrada (16), sistemas de emisión de radiación U.V. (18), la inclinación de la porción cónica (19) del tanque semicónico (15), una línea de purga de lodos (17).

30

La Figura 13 un corte de una vista superior de una realización del sistema de foto sedimentación de la presente invención, donde se observa un tanque semicónico (15),

una línea de entrada (13), un elemento de direccionamiento de flujo de la línea de entrada (16), una línea de salida (14) y sistemas de emisión de radiación U.V. (18).

La Figura 14 un vista lateral de una realización del sistema de foto sedimentación de la presente invención, donde se observa un tanque semicónico (15), una línea de salida (14), la inclinación de la porción cónica (19) del tanque semicónico (15) y una línea de purga de lodos (17).

La Figura 15 un esquema general de una realización del proceso de tratamiento de aguas de la presente invención, en donde se observa una trampa de grasas (21), una etapa de electrocoagulación con ánodo helicoidal (22), una bomba (23), un sistema de electrocoagulación bidimensional (24), una bomba (25), una etapa de foto sedimentación (26), una bomba (27), una bomba (28), una etapa de disposición de lodos (29), una etapa de filtración (30) y una línea de salida de agua tratada (31).

6. EJEMPLOS.

La presente invención puede ser llevada a cabo por una persona medianamente versada en la materia, con base en sus conocimientos y de acuerdo con los ejemplos que se presentan a continuación.

Los siguientes ejemplos ilustran la presente invención. Sin embargo debe entenderse que éstos no son limitativos, de acuerdo con el conocimiento de una persona medianamente versada en la materia.

EJEMPLO 1. DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL ELECTRODO HELICOIDAL.

En la Figura 1 se muestra la configuración inicial del ánodo helicoidal utilizada en el ejemplo. Esta configuración se determina por medio de pruebas experimentales que demuestran que a una misma concentración de electrolito se genera una mayor densidad de corriente debido a la geometría helicoidal, como se muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Pruebas experimentales de conducción de corriente utilizando diferentes geometrías de electrodos.

RESUMEN PRUEBA DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE EN TANQUE DE VIDRIO PARA FASE DE ELECTRODILUCIÓN					
Geometría del electrodos	Electrolito aplicado (34 g)	Volumen aplicado (L)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Tiempo (min)
RECTANGULARES MONOPOLAR	Bicarbonato de Sodio a 0.892 mEq/mL	5	24	3,9	5
CILINDROS TUBULARES	Bicarbonato de Sodio a 0.892 mEq/mL	5	24	16,5	5
ELECTRODO HELICOIDAL	Bicarbonato de Sodio a 0.892 mEq/mL	5	24	31	5

Este electrodo está constituido por una varilla de 1½ " (3,81 cm) y 1,5 m de altura, con un peso de 13,46 kg de Fe y 4,61 Kg de Al. La varilla está rodeada por el cátodo helicoidal de acero inoxidable 304 de 0,6" (1,52 cm) de diámetro, con un espaciamiento longitudinal entre los espirales de 2 cm. Los anillos que rodean la varilla tienen una distancia de 1 cm. Las almohadillas de neopreno pueden usarse para garantizar las medidas de este espaciamiento.

10 EJEMPLO 2. SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN CON ELECTRODO HELICOIDAL.

La configuración del electrodo helicoidal se introduce en un tanque inerte no conductor eléctrico de PPRV, con medidas de aproximadamente 8" (~ 20,32 cm) y una altura de 1,70 m para contener aproximadamente 55 L de agua residual, como se observa en la Figura 2. Esta es sometida a aproximadamente 30 Amperios de corriente por un Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de aproximadamente 40 minutos. La conducción del agua residual bruta hacia los módulos de EDHT se realiza por medio de bombas para aguas negras de 1 HP de potencia, de igual forma, la salida del agua de los módulos de EDHT se realiza por medio de bombas para aguas negras de 1 HP de potencia. La tubería de conducción de agua es de una tubería de 1" (~2,54 cm).

EJEMPLO 3. SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN BIDIMENSIONAL

Luego de que el agua pasa por los módulos cilíndricos del ejemplo 2, estos ingresan a los tanques de electrocoagulación bidimensional. La acción catódica se realiza por medio de electrolizadores monopolares, con una configuración de cargas de negativo a positivo. El tanque tiene unas dimensiones de 1 m de ancho, por 1,5 m de alto, y 1 m de largo, construido en PPRV. Las láminas utilizadas tienen geometría rectangular y una inclinación del 50%. Las espumas residuales son removidas por un sistema mecánico de rascado

superficial que evacuara las espumas que floten y ser conducidas a los módulos de gestión de lodos secundarios. Las láminas que conforman las resistencias donde se aplicara un voltaje constante de aproximadamente 3 a 15 Amperios, por un TRH de aproximadamente 1 hora, en láminas de 0,7 m por 0,5 m y un grosor de 5 mm, utilizando láminas de Fe y Al empotradas en las paredes del tanque, dejando una salida de 30 cm. Las láminas que conforman la resistencia tienen una separación de 9 cm entre ánodo y cátodo y conforman un set de 8 resistencias interconectadas de forma monopolar para evitar contraflujos de corriente. Dichas láminas de Fe pesan aproximadamente 110 Kg y las láminas de Al aproximadamente 37 Kg.

10

EJEMPLO 4. SISTEMA DE FOTO SEDIMENTACIÓN

El agua proveniente de los módulos de EFB ingresan a un tanque semicónico construido en PRFV de 3 m³, de diámetro 1 m y altura 1,5 m, en donde la zona cónica tiene una inclinación de 45° a partir de 1 metro del tanque. El agua ingresa por un sistema de alabes rotacionales que generan una rotación de unas paletas a aproximadamente 150 RPM, como se puede observar en la Figura 4. Esta fase de foto sedimentación oxidativa cuenta con 4 bombillos de U.V. a 254 nm, 8 Watts y 50 cm de longitud, permitiendo una máxima clarificación del agua en un TRH de aproximadamente 30 minutos. El interior de este tanque tiene características refractivas y sin exposición al sol, elaborado con PRFV. El lodo sedimentado de este tanque es evacuado hacia los módulos de gestión de lodos por medio de una tubería de 2" (~ 5,08 cm), evacuada por un sistema de bombeo de 1 H.P., hacia los módulos de filtración.

EJEMPLO 5. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En la Figura 15 se presenta un esquema general de la planta de tratamiento desarrollada. El procedimiento comprende una etapa de aducción y pretratamiento, la cual consiste en la conducción del agua residual industrial bruta hacia la planta a partir del bombeo continuo de agua de la trampa de grasas optimizada hacia el reactor electroquímico por medio de una tubería de 1" a presión. Al entrar el agua residual industrial a los tanques circulares de EDHT que son 4 realizan la FASE 1 de tratamiento por EDHT ubicados de forma vertical. La bomba de evacuación cumple la función de impulsar el agua desde las unidades de EDHT hasta la FASE 2 de ElectroFlotación Bidimensional EFB en función de un flotador de nivel (no mostrado en la figura) el cual activa la bomba de acuerdo al caudal

35

recibido. Esta Fase funciona con una corriente óptima que oscila entre los 30 y 40 Amperios.

En las pruebas, ambos electrodos son usados como cátodos y ánodos y responded de forma similar al proceso. Las condiciones específicas del proceso son las detalladas en cada uno de los Ejemplos 1 a 4. Los principales resultados obtenidos, se listan en las Tablas 2 y 3, en donde el tiempo de retención hidráulico mostrado es el total del proceso.

Tabla 2. Pruebas del proceso de tratamiento de agua en efluentes contaminados con materia orgánica.

PRUEBA 1 CON EDHT (ANODO HIERRO CATODO INOX 304) de 2 Horas de Tiempo de retención Hidráulico TRH							
INDUSTRIA	VOLTAJE (V)	CAIDA VOLTAJE PROMEDIO (V)	CORRIENTE (A)	pH	DQO ENTRADA (mg/L)	DQO FINAL (mg/L)	Eficiencia (%)
Lavado motores	24	23,2	8,6	6,4	2290	100	95,6331878
Adhesivos	24	23,5	8,7	7,3	20280	118,4	99,4161736
Artes Gráficas	24	23,6	9,1	5,7	20156	450	97,7674142
Funerarias	24	23,1	7,4	6,5	2613	200	92,3459625
Cosmética	24	23,7	7,2	5,3	50000	1200	97,2768907
Grasas Animales	24	23,1	8,1	5,8	150000	1700	98,8666667

Tabla 3. Pruebas del proceso de tratamiento de agua en efluentes contaminados con materia inorgánica.

PRUEBA 2 CON EDHT (ANODO ALUMINIO CATODO INOX 304) de 2 Horas de Tiempo de retención Hidráulico TRH							
INDUSTRIA	VOLTAJE (V)	CAIDA VOLTAJE PROMEDIO (V)	CORRIENTE (A)	pH	Cr ⁺⁶ (mg/L)	Cr ⁺⁶ (mg/L)	Eficiencia (%)
Galvanotecnia	24	23,9	10,0571429	3,7	211	0,2	97,6
INDUSTRIA	VOLTAJE (V)	CAIDA VOLTAJE PROMEDIO (V)	CORRIENTE (A)	pH	Fe Total (mg/L)	Fe Total (mg/L)	Eficiencia (%)
Chillers y probadoras	24	23,6	9,8	5,8	14,7	0,87	94,0816327