

**SISTEMA MÓVIL PARA LA REMEDIACIÓN DE LODOS DE PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, LAGUNAS DE OXIDACIÓN Y
MÉTODO.**

5

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se ubica dentro del campo técnico del tratamiento de los lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Particularmente, con el tratamiento de lodos mediante un proceso de oxidación
10 avanzada que consiste en combinar electro-oxidación, generación de ozono y cavitación ultrasónica para eliminar todos los contaminantes de los lodos y transformarlos en fertilizante.

El tratamiento electroquímico de aguas residuales industriales es un problema
15 técnico resuelto por diversos procedimientos y dispositivos. Las aguas residuales se someten a un tratamiento electroquímico en el recipiente del reactor. La acción del conjunto de electrodos del reactor y el ozono crean condiciones para la oxidación de la materia orgánica y paralelamente desencadenan la coagulación / floculación de impurezas suspendidas y disueltas, que se refieren
20 particularmente a los metales pesados en las aguas residuales. El agua tratada se descarga en un tanque separador donde a través de la sedimentación posterior en el fondo, se separan los flóculos de contaminación, mientras que el agua tratada sin impurezas y metales pesados se encuentra en la parte superior por encima del sedimento y puede descargarse en los receptores designados.

25

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Actualmente numerosas aplicaciones de diversos procesos industriales en la producción, así como muchas actividades industriales generan grandes
30 cantidades de aguas residuales tecnológicas con alta concentración de metales pesados y otras sustancias inorgánicas y orgánicas peligrosas. Antes de ser descargadas en el receptor designado, las aguas residuales deben tratarse con

metales pesados y otros procedimientos de eliminación de contaminantes para lograr las concentraciones legalmente requeridas para su descarga en el receptor natural o en el sistema de alcantarillado público.

- 5 La mayoría de los dispositivos utilizados en la práctica para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales utilizan sustancias químicas peligrosas y agresivas como ácidos y bases durante su funcionamiento. El procedimiento de coagulación/floculación más utilizado utiliza coagulante líquido adecuado ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, hidroxiclورو de polialuminio) y electrolito
- 10 adicional (bentonita, sílice, poliacrilamida) en condiciones de pH estrictamente controladas. Los mejores resultados se logran en el rango entre $\text{pH}=7$ y $\text{pH}=8$. El coagulante causa la generación de semillas de cristalización, y debido a su alta masa molecular, el electrolito adicional causa la agregación de partículas en grupos más grandes y su sedimentación gravitacional.

15

- Debido a la hidrólisis, la adición de coagulante (sales de hierro y aluminio) disminuye significativamente el valor de pH, especialmente en caso de agua de baja alcalinidad. Con la disminución del pH, la mayoría de la solubilidad de los metales aumenta, por lo que la eficiencia de coagulación / floculación también
- 20 disminuye debido a que las plantas de tratamiento de aguas residuales necesitan tener un medidor de pH y un valorador para fines de ajuste y mantenimiento del valor óptimo de pH. Para que se produzcan semillas de cristalización, el agua debe estar sujeta a una mezcla rápida (200 rondas por minuto). Después de la aplicación de polielectrolito, la mezcla debe reducirse a un máximo de 30 rondas
- 25 por minuto para no dañar la estructura del flóculo y, en consecuencia, reducir la eficacia de la eliminación de elementos de las aguas residuales.

- En el tratamiento de aguas residuales, generalmente es deseable eliminar el contenido de agua a través de la deshidratación, inactivar microorganismos
- 30 patógenos, esporas y helmintos, eliminar / depositar metales pesados, eliminar / cambiar o disminuir los compuestos disruptores endocrinos y / o eliminar otros compuestos indeseables que pueden ser orgánicos o inorgánicos.

El proceso de deshidratación elimina el agua, aumenta la concentración de sólidos y reduce el volumen, lo que reduce los costos de tratamiento y manipulación adicionales. La deshidratación en la práctica se logra a través de métodos naturales (por ejemplo, evaporación, gravedad, etc.) y mecánicos. Los dispositivos mecánicos de deshidratación más utilizados incluyen centrífugas, prensas de filtro de correa, prensas de tornillo, etc. Sin embargo, todas estas técnicas de deshidratación comúnmente utilizadas no mejoran la composición química de los biosólidos y la eliminación de patógenos generalmente se realiza por separado y requiere mucho tiempo. La deshidratación no elimina metales o patógenos y convierte la suspensión de lodos en una torta de aproximadamente 20-30% de sólidos totales (TS).

La inactivación se realiza con poca frecuencia, aunque hay un énfasis creciente en los biosólidos de Clase A enviados a la agricultura. Clase A significa que (según la EPA de EE. UU.) Los biosólidos se pueden utilizar de manera beneficiosa sin ninguna restricción. La inactivación típica puede incluir la adición de productos químicos (agentes de oxidación, ácidos o cal); tratamiento térmico (70 a 150° C.); digestión termófila; secado por calor. En la mayoría de los casos, los indicadores de patógenos objetivo son coliformes fecales (FC) o coliformes totales (CT); muy raramente se comprueba el contenido de Salmonella. Virus, Clostridium p. u óvulos de helmintos (ej. Ascaris) se utilizan a menudo como indicadores de la eficiencia de la desinfección.

No se sabe que los metales pesados se eliminen en absoluto en ningún tratamiento de aguas residuales del estado de la técnica. Los biosólidos que contienen metales pesados excesivos no se pueden utilizar y deben eliminarse en vertederos

Así las cosas, en el estado del arte existe una pluralidad de divulgaciones relacionadas con herramientas que pueden ser usadas para el tratamiento de lodos de las aguas residuales o provenientes de plantas de tratamiento, dentro

de las que se encuentra el documento CN1091179934, titulado “Tipo de reacción electroquímica de oxidación avanzada para el tratamiento del exceso de lodos”, enseña métodos de tratamiento electroquímico de reacción de oxidación avanzada exceso de lodo, y el exceso de lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales se concentra, y se ajustan a la mezcla de lodo que la retención sólida es 1.0 ~ 3.0 % en peso ;Se agrega sal ferrosa soluble y electrolito, y ajusta el pH a 2 ~ 5 y se coloca en el aparato para el tratamiento electroquímico con electrolítico de bajo voltaje, se lleva a cabo a lodo utilizando una fuente de CC de voltaje constante y maneja 30 minutos o más; El cátodo está conectado al aireador. El método de procesamiento de lodos en exceso de la presente invención actúa simultáneamente sobre la generación de desintegración de lodos mediante procesamiento ácido, oxidación electroquímica y oxidación de Fenton, para promover la lisis de lodos, mejorar la deshidratación de lodos, obvio para alcanzar sustancias macromoleculares efecto de hidrólisis en exceso de lodos, estructura de floculación de lodos se descompone obviamente, y el efecto de separación lodo-agua es bueno, se elimina el olor a lodos, el propósito preferible de la materia orgánica resultado de la extracción en lodos, realiza la minimización del tratamiento de lodos, puede proporcionar la elección de tecnología para el pretratamiento del exceso de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Poe su parte, la solicitud CN2044344436, titulada “Tipo de equipo para la oxidación y deshidratación y la producción de fertilizante”, la cual enseña un extenso equipo de producción de fertilizantes de deshidratación por oxidación de lodo, comprende un sistema de distribución de agua de lodo, un sistema reactivo de oxidación avanzada electroquímica, un sistema de separación de extracción de lodo, un sistema de producción de fertilizantes de deshidratación; El sistema de distribución de agua de lodo descrito de entrada comprende una bomba de tubo de entrada de agua de lodo, medidor de flujo magnético, válvula magnética, sistema de control PLC; El sistema reactivo de oxidación avanzada electroquímica descrito comprende un tanque de reacción de tipo rotativo, un impulsor, un dispositivo de mezcla de flujo estático, un grupo de electrodos de

reacción, la eliminación de espuma y un dispositivo de recolección, una bomba de tubo de eliminación de desechos; El sistema de producción de fertilizantes de deshidratación descrito comprende un remolino, un bote dispensador de PAM, una bomba dosificadora de medición, una máquina de carcasa en espiral plegada, una prensa de filtro de placa y marco, una bomba de calor seca del horno, una prensa de tabletas. La unidad principal de la técnica del modelo de utilidad, basada en un tipo para el tratamiento del proceso (patente No. CN102718382A) de lodo de oxidación directa electroquímica, ha realizado un diseño de optimización de acuerdo con las experiencias operativas prácticas, lo hace cumplir con los requisitos de procesamiento a gran y mediana escala; Y se integrará con la deshidratación de filtro-prensa concentrada y la artesanía de preparación de fertilizantes, proporcionando así la reducción de lodos del conjunto completo, el sistema y el dispositivo de utilización de recursos innoxiosos para plantas de aguas residuales municipales de tamaño grande y mediano.

Así mismo, la patente CN111138057, titulada “Dispositivo eléctrico y método para el tratamiento profundo de lodos aceitosos mediante una zona de nano burbujas”, la cual enseña un método y dispositivo para preparar un compuesto y un método para el tratamiento profundo de lodos oleosos mediante ozono de micro-nano burbujas; el dispositivo comprende un dispositivo de ozono de micro-/nano- burbujas de pantalla vibratoria, y una fuente de alimentación; el lodo oleoso tratado por la pantalla vibratoria entra en el paso del dispositivo de burbujas ozono para destruir la estructura de emulsificación de lodos oleosos por oxidación de ozono, utilizando en el extremo superior del dispositivo electrolización para demulsionar aún más; el ozono introducido durante la aireación por el efecto de acoplamiento de las micro-/nano- burbujas de ozono y no consumido en el tiempo como materia orgánica es convertido a H_2O_2 y OH^- y similares para realizar la oxidación profunda de sustancias oleaginosas y convertir las sustancias oleaginosas en dióxido de carbono y agua; las micro-/nano- burbujas de ozono llevan las gotas de aceite demulsificado flotando al nivel líquido y son recuperadas por un raspador de aceite.

Por su parte, la solicitud de patente US2014/02466375, titulada "Reactor de base electroquímica para la remoción de cianuros y cianuro de hierro del agua de desecho industrial", enseña un reactor bipolar continuo de base electroquímica con el propósito de destruir el cianuro libre por oxidación directa e indirecta y eliminar sus fuertes complejos como ferrocianuro y ferricianuro por electrocoagulación. El reactor diseñado consta de cuatro secciones principales, que incluyen electrooxidación, mezcla hidráulica, electrocoagulación y tanque de precipitación. El orden de las secciones da como resultado una combinación de reacciones que eliminan por separado el cianuro y sus compuestos. El reactor diseñado muestra una alta flexibilidad en términos de manejo de tipos y concentraciones altamente variables de cianuro en los efluentes de aguas residuales industriales.

Por último, la patente CN209759189, titulada "*Tratamiento del agua de lavado de mineral de plomo-cinc y dispositivo para su reutilización*", enseña un dispositivo de reciclaje de tratamiento de aguas residuales de apósito de mineral de plomo-zinc, que estructuralmente comprende un tanque de reacción, un tanque de sedimentación, un dispositivo electroquímico, un tanque de digestión, un dispositivo de separación de membrana, un reactor de cavitación, un tanque de aguas residuales de apósito de mineral de plomo-zinc, un tanque de agua de reciclaje, un dispositivo de adición de coagulante y ayuda de coagulante, un dispositivo de adición de carbón activado en polvo y un dispositivo de adición de dióxido de carbono líquido; llevar a cabo reacciones tales como la descomposición por oxidación por cavitación de contaminantes orgánicos, la eliminación de dióxido de carbono y calcio y la reducción del pH, la coagulación, la floculación y similares en las aguas residuales de beneficio de mineral de plomo-zinc en un tanque de reacción; El CaCO_3 generado por la reacción se precipita en un tanque de sedimentación y flóculo grande para eliminar el calcio, reducir el pH, reducir la DQO y las materias suspendidas; la cantidad de uso de coagulante y ayuda coagulante se reduce mediante el uso del lodo de retorno, y se mejora el efecto de precipitación; las aguas residuales del apósito de mineral

de plomo-zinc se tratan secuencialmente mediante un dispositivo electroquímico, un tanque de digestión y un dispositivo de separación de membrana para oxidar aún más los contaminantes orgánicos, reducir la DQO, absorber oxidantes redundantes, mejorar el efecto de filtrado y obtener agua de reutilización de alta
5 calidad, de modo que se cumpla el objetivo de tratar y reutilizar las aguas residuales de aderezo de mineral de plomo-zinc para la producción.

A partir de la información anterior, es claro que los documentos existentes en el estado del arte corresponden a una serie de diferentes métodos y dispositivos
10 para tratar los efluentes industriales, particularmente lodos de la minería, para eliminar los contaminantes empleando diferentes técnicas de oxidación avanzada y oxidación electroquímica.

Así las cosas, se puede ver que en los dispositivos divulgados en el arte previo
15 todos presentan el inconveniente y la desventaja que no ofrecen las condiciones adecuadas para el tratamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, los cuales se caracterizan por una mayor carga orgánica, la cual debe ser neutralizada adecuadamente para que el producto resultante pueda ser secado y aprovechado como fertilizante.

Además, se presenta un problema en el arte relacionado con que los sistemas
20 allí divulgados son de naturaleza fija y no pueden trasladarse a los lugares donde sean puedan ser utilizados, obligando a las personas que necesitan de ellos a construir sus propios sistemas y luego, una vez ya no son necesarios, dejarlos
25 allí sin uso, lo cual representa una pérdida de valor.

De acuerdo con la información anterior, es claro para el experto en la materia que en el estado del arte existe una necesidad por diseñar e implementar un dispositivo que permita tratar los lodos provenientes de las plantas de tratamiento
30 de aguas residuales, el cual no solo ofrezca un proceso de oxidación avanzado de los lodos, sino que además sea una solución móvil que pueda ser llevada a donde es requerida, incluso pudiendo agrupar varias unidades del sistema en un

solo lugar para suplir las necesidades inmediatas de tratamiento de los lodos, y luego retirando cualquier unidad que ya no se requiera y transportándola a otro lugar.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Considerando los problemas y/o necesidades anteriores mencionadas, los presentes inventores han propuesto un nuevo sistema y método para el tratamiento de lodos. El sistema se caracteriza por ser un sistema móvil
10 contenido en un contenedor de acero de 40 pies (12.2 m) de largo el cual comprende un tanque de homogenización, un reactor de oxidación avanzada compuesto por un sistema de oxidación electroquímica, un sistema de ozonolisis y un generador de ultrasonido, y un decantador centrífugo. Adicionalmente, el sistema comprende un tornillo sinfín y un generador eléctrico acoplado a un
15 reactor electrolítico.

El método de acuerdo con la presente invención comprende alimentar los lodos al tanque de homogenización, donde se ajusta el pH y la densidad de los lodos, agitando la solución con burbujas de aire. Los lodos homogenizados pasan al
20 reactor, en donde la acción combinada de la oxidación electroquímica, el ozono y el ultrasonido, oxidan los compuestos orgánicos y eliminan los microorganismos, produciendo unos lodos inertes. Los lodos pasan a un decantador centrífugo, el cual separa los sólidos de los líquidos, deshidratando el lodo que luego es transportado por un tornillo sin fin a vehículos de carga o
25 una unidad de empacado. Los lodos pueden ser enviados por el tornillo a un horno, donde se secan antes de ser cargados en los camiones o empacados en bolsas.

El generador eléctrico funciona con una mezcla de Diesel y oxihidrógeno, el cual
30 se produce en un generador electrolítico acoplado al generador eléctrico. El generador eléctrico produce la electricidad que se emplea para alimentar todo el sistema.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención está dirigida a un sistema y un proceso de oxidación
5 avanzada que permite remover sedimento de las lagunas de oxidación y tratar los lodos de las PTAR, todo en una unidad móvil.

La presente invención consiste esencialmente en emplear procesos de oxidación avanzada a los lodos provenientes de las PTAR y las lagunas de oxidación de aguas residuales para posteriormente ser deshidratados y ser utilizados como
10 fertilizante agrícola sin que representen riesgo para los ecosistemas y la salud humana.

El sistema de la presente invención comprende un primer contenedor que conforma el tanque de homogenización, compuesto por un recipiente fabricado en un material polimérico, tal como, por ejemplo, pero sin limitarse a, polietileno,
15 con una capacidad entre 1.000 L y 5.000 L, en donde se ajusta la densidad del lodo adicionando agua y ajustando los parámetros PH y conductividad y temperatura. Para asegurar la homogenización se agita la mezcla inyectando burbujas de aire mediante un compresor

El sistema también comprende una unidad de oxidación avanzada, la cual va
20 ubicada al interior de un contenedor de acero de entre 20 pies (6.1 m) y 40 pies (12.2 m) de largo para darle movilidad, el cual cuenta con tres compartimientos:

- Un primer compartimento que contiene al menos un generador eléctrico modificado para funcionar con oxihidrógeno;
- 25 - Un segundo compartimento que comprende al menos un concentrador de oxígeno, al menos un generador de ozono y al menos una fuente electrolítica para el generador eléctrico. El generador de ozono produce 500 gr/h a 120 ppm, utilizando 20L/min de oxígeno al 99%. El núcleo está compuesto por un tubo de acero inoxidable 316, con un diámetro de 2 pulgadas en el centro y
30 3/8 en las puntas; su finalidad es la conducción de agua con el fin de refrigerar

el sistema y evitar las pérdidas en la generación de ozono por alta temperatura $\geq 40^{\circ}\text{C}$. Para evitar el consumo de agua, el equipo cuenta con un sistema de recirculación de agua de 20 L/min en donde interviene un enfriador en línea. La refrigeración externa se logra mediante un disipador de aluminio y ventilación forzada. El ozono producido es impulsado por un compresor de $\frac{1}{2}$ HP, específico para ozono y conducido por tubería de acero inoxidable para ser inyectado por un cañón provisto de una propela que incorpora el gas en el agua.

10 - Un tercer compartimiento que comprende el reactor de oxidación avanzada compuesto por:

15 • Sistema de oxidación electroquímica conformado por una serie de electrodos fabricados en titanio enriquecido con rubidio, iridio y platino y una fuente variable de corriente continua a 12 V, con una potencia de 4.000 amperios. Este sistema electrolítico genera nanoburbujas de oxígeno y radicales hidroxilos OH, los cuales tienen mayor capacidad oxidativa que el cloro y otras sustancias, actuando sobre los contaminantes para mineralizarlos y/u oxidarlos y causando la muerte de los microorganismos patógenos por ruptura de membrana celular.

20

• Un generador de ultrasonido y una pluralidad (preferiblemente, 24) transductores en titanio que propagan las ondas a 40 Hz para generar cavitación ultrasónica.

25 El reactor básicamente se compone de dos tanques paralelos elaborados en fibra de vidrio adicionada con polímeros resistentes a sustancias oxidantes; tiene un diámetro de 1 m y una altura de 2.5 m y un espesor de 4 mm. Los transductores del ultrasonido tienen un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada y 40 cm de longitud, son elaborados en titanio grado 5. Se seleccionó el titanio ya que es el
30 único metal resistente a la corrosión teniendo en cuenta la presencia de oxidantes.

El sistema electrolítico está compuesto por una fuente suicheada, con núcleos de ferrita, la cual entrega un voltaje nominal de 12 V DC, el cual es conducido por medio de cable de cobre 502 tipo soldadura hasta el cátodo y el ánodo. Los electrodos están elaborados en titanio enriquecido con iridio rubidio y platino, son
5 6 placas perforadas rectangulares con una separación de 1 cm y con una longitud de 50 cm x 20 cm de ancho y están provistos de una bornera con núcleo de cobre. Los electrodos van al interior del reactor, mientras que la bornera va en la parte externa en donde se conectan los cables desde la fuente DC. La ubicación de los electrodos es radial en forma de caracol y van intercalados con
10 los transductores que a la vez facilitan la limpieza de los electrodos.

El sistema comprende, además:

- Un sistema para secar los lodos: Una vez pasa el lodo por el reactor este es impulsado por una bomba para lodos hacia un sistema de secado, Tal como, por ejemplo, pero sin limitarse a, un decantador centrífugo, el cual separa el
15 líquido de los sólidos. El sistema para secado de lodos también puede comprender medios para secar los lodos mediante altas temperaturas, tal como, por ejemplo, pero sin limitarse a, al menos un horno o un secador con aire.
- 20 - Medios para transportar los lodos producidos en el decantador: El lodo deshidratado proveniente del decantador centrífugo es transportado hasta los vehículos de carga que dispondrán del lodo como biosólido apto para la agricultura. Los lodos también pueden transportarse hacia una tolva para su empaque en bolsas individuales de hasta 50 kg, o pueden transportarse a un
25 horno, donde los lodos son secados completamente antes de ser traspasados a camiones o empacados en bolsas. Los medios de transporte se seleccionan de bandas de transporte o tornillo sinfín.

La presente solicitud también se relaciona con un método para el tratamiento de
30 lodos mediante el sistema de oxidación avanzado descrito arriba. En dicho método la alimentación del lodo a los reactores se realiza por la parte superior

en tubería de acero inoxidable con un diámetro de 3 pulgadas empalmado por medio de una brida de teflón. En la parte superior cuenta con una válvula de escape en acero inoxidable.

- 5 Los lodos son alimentados al tanque de homogenización, en donde se combinan con agua para normalizar su densidad y luego se tratan para ajustar su pH y su temperatura. En el tanque de homogenización los lodos se agitan mediante inyección de burbujas de aire con la ayuda de un compresor.
- 10 El método comprende también la generación de ozono, el cual recibe el oxígeno del concentrador de oxígeno a una tasa de alrededor de 20 L/min al 99 % de pureza, el generador de ozono entrega 500 gr/h a una concentración de 120 ppm. El ozono se inyecta utilizando un cañón provisto de un motor de 2 HP que tiene una propela que incorpora el gas en el agua. El ozono actúa destruyendo
- 15 los microorganismos por oxidación de membrana celular; así mismo, en asocio con la oxidación electroquímica y el ultrasonido aumenta la generación de radicales OH.

- Los lodos homogenizados pasan al sistema de oxidación electroquímica, en
- 20 donde se generan radicales hidroxilo en el cátodo, los cuales reaccionan con la materia orgánica presente en los lodos, oxidándola y neutralizándola. Como todo proceso electrolítico siempre hay un electrodo de desgaste (ánodo) y otro en donde se electrodepositan (cátodo). En el caso de esta invención no hay desgaste de los electrodos, pero si se da la electrodeposición impidiendo la
 - 25 transmisión de energía al agua. Por ese motivo la fuente DC incluye un circuito de inversión de polaridad con el fin de que el ánodo pase a ser el cátodo y viceversa, logrando así la autolimpieza de los electrodos.

- El sistema de ultrasonido no solo ayuda a romper las paredes celulares de los
- 30 microorganismos presentes en los lodos, sino que además causa turbulencia dentro del reactor electroquímico fomentando la producción de iones hidroxilo.

Una vez se completa el tratamiento de los lodos en el reactor, estos son bombeados a un decantador centrífugo, el cual separa los sólidos de los líquidos. Los sólidos son descargados a un medio de transporte el cual los transporta a un sitio de empaque o a un sitio de horneado, donde son secados completamente y luego trasladados a un sitio de transporte o empaque.

Aunque la presente invención ha sido definida en términos de las modalidades y/o configuraciones preferidas que permiten obtener el resultado deseado, se entiende entonces que dentro de la presente divulgación se contemplan las múltiples modificaciones y/o alternativas que se puedan derivar de forma evidente para un experto en la materia, razón por la cual el alcance de la presente invención no está definido únicamente por las implementaciones preferidas definidas acá, sino que, por el contrario, el mismo está enteramente definido por las reivindicaciones adjuntas.