

(12)

SOLICITUD de PATENTE

(43) Fecha de publicación: 18/02/2011 (51) Int. Cl: C25C 3/16 (2006.01)
 (22) Fecha de presentación: 18/08/2009 B01D 5/00 (2006.01)
 (21) Número de solicitud: 2009008837 C02F 1/463 (2006.01)

(71) Solicitante:
**CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
 TECNOLOGICO EN ELECTROQUIMICA S.C.**
 Parque Tecnológico Queretaro s/n 76703 PEDRO
 ESCOBEDO Queretaro MX

(72) Inventor(es):
YUNNY MEAS VONG
 Parque Tecnológico Queretaro s/n PEDRO
 ESCOBEDO Queretaro 76703 MX
JOSE ALFREDO RAMIREZ GUERRERO
ROBERTO FERNANDO FRAUSTO CASTILLO

(74) Representante:
JOSE ALFREDO RAMIREZ GUERRERO
 Parque Tecnológico Queretaro s/n PEDRO
 ESCOBEDO Queretaro 76703 MX

(54) Título: **SISTEMA DE ELECTROCOAGULACION PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL.**

(54) Title: **ELECTROCOAGULATION SYSTEM FOR TREATING INDUSTRIAL WASTEWATER.**

(57) Resumen

La presente invención se refiere a un sistema de electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica, inorgánica y otras partículas suspendidas en el tratamiento de aguas industriales, mediante la generación de coagulante "in situ". Es sistema de electrocoagulación comprende, una celda de electrocoagulación, un rectificador de corriente, un clarificador, un tanque de lodos, una bomba para la alimentación, una para lodos, una para clarificados, un filtro de platos, uno de arena y un par de carbón activado para pulir el agua tratada. Esta invención proporciona una celda de electrocoagulación que integra un módulo de electrodos, que reduce el número de elementos, resultando un equipo de fácil construcción y mantenimiento. En el funcionamiento de la celda se aprovecha un flujo del agua paralelo a los electrodos, reduciendo las incrustaciones en ellos y manteniendo la eficiencia de la celda. El clarificador contiene una cámara de floculación, una de desespumado, otra de sedimentación y una más de clarificados, que aprovechan las características de la celda para fomentar la floculación de la materia orgánica sin requerimiento de reactivos químicos. En el sistema de electrocoagulación se recircula los lodos del tanque de acondicionamiento para disminuir el consumo de coagulante generado "in situ" aprovechado el coagulante presente en los lodos y así disminuir la demanda energética por parte de la celda, además el sistema trata el agua utilizada para regenerar los filtros, reduciendo con esto las purgas del sistema que conlleva al desechamiento de agua.

(57) Abstract

The present invention refers to an electrocoagulation system for removing organic and inorganic matter and further particles suspended during the treatment of industrial wastewater by means of the coagulant generation in situ. The electrocoagulation system comprises an electrocoagulation cell, a current rectifier, a clarifier, a sludge tank, a supplying pump, a sludge pump, a pump for the clarified elements, a plate filter, a sand filter and a couple of activated carbons for purifying the treated water. The present invention provides an electrocoagulation cell integral with an electrode module, which reduces the number of elements, thus resulting in an easy construction and maintenance equipment. The operation of the cell uses a water flow that is parallel to the electrodes, thereby reducing the incrustations therein and maintaining the cell efficiency. The clarifier contains a flocculation chamber, a chamber for removing foam, a sedimentation chamber and another chamber for the clarified elements, which use the characteristics of the cells for promoting the flocculation of the organic matter without using chemical reactants. The electrocoagulation system is useful for recirculating the sludges from the conditioning tank in order to reduce the consumption of coagulant generated in situ and using the coagulant present in the sludges, thus reducing the power demand of the cell, the system also treating the water for regenerating the filters so as to reduce the system purges that causes waste of water.

SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un sistema de electrocoagulación para tratar el agua residual industrial con contenido de materia orgánica e inorgánica, en procesos donde el tratamiento de aguas requiere la remoción de colorantes, pinturas y emulsiones de aceite y similares.

OBJETO DE LA INVENCION

10

La presente invención remueve compuestos orgánicos e inorgánicos y partículas suspendidas en agua residual por medio de un proceso de electrocoagulación, una de sus aplicaciones es por ejemplo el agua residual industrial que contenga colorantes, como el de la industria textil. La invención tiene que ver especialmente con el conjunto integrado por una celda de electrocoagulación o también llamado reactor electrolítico y un clarificador especialmente desarrollado para este propósito.

ANTECEDENTES

DESCRIPCION DE LA TECNICA.

20 La presente invención se refiere a un sistema electroquímico para la remoción de materia orgánica e inorgánica y partículas suspendidas en aguas residuales industriales por medio de un proceso de electrocoagulación, como por ejemplo para la industria textil.

25 A través del tiempo se ha buscado, que los equipos o aparatos para el tratamiento de aguas residuales industriales sean eficientes en la remoción de materia orgánica e inorgánica y partículas suspendidas, que imparten demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO) a este tipo de aguas, y que además, su operación sea económica y de diseño compacto.

En la actualidad existen aparatos para el tratamiento de aguas residuales industriales, los cuales están basados en esta técnica conocida como electrocoagulación. La electrocoagulación es un proceso electroquímico que consiste en la disolución electrolítica de un metal como lo es el aluminio y el hierro, que se obtiene al hacer pasar una corriente eléctrica a través de ellos. El proceso de electrocoagulación produce hidróxidos metálicos ($\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$) que fomentan la formación de coágulos y flóculos de partículas suspendidas de contaminantes tales como compuestos orgánicos y metales, que después se precipitan por acción de la gravedad. En el proceso de electrocoagulación se llegan a formar burbujas de gas con el paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos, que tienen que ver con la generación de hidrogeno y oxigeno (H_2 , O_2). El oxigeno que se libera en forma de gas también promueve la oxidación de sustancias orgánicas contenidas en el agua residual.

Durante el proceso de electrocoagulación, se llegan a formar espumas en la parte superior, las cuales se forman debido al arrastre de partículas contaminantes que hace el gas que se genera en los electrodos de la celda (O_2 , H_2) y los lodos en la parte inferior de la misma, los cuales pueden ser separados por medios mecánicos conocidos.

El proceso de electrocoagulación puede funcionar en un rango de pH dependiendo el material que se utilice, sin la necesidad de adicionar compuestos químicos. Como por ejemplo, este proceso puede ser aplicado a emulsiones de aceite, donde el coagulante formado "*in situ*" puede romper la emulsión, logrando separar dicha emulsión en dos fases, la fase orgánica y la fase acuosa. La fase orgánica contiene el aceite o las grasas separadas.

Debido al avance tecnológico y al requerimiento de las empresas en el tratamiento de las aguas residuales de sus procesos, continuamente se están desarrollando métodos y aparatos que persiguen este fin, como el que hace referencia la patente norteamericana no. 3, 964, 991, expedida a Sullins, John K, donde se describe un

aparato para la floculación electrolítica de partículas coloidales (electrocoagulación). Este dispositivo (celda) es de forma cilíndrica que hace uso de un electrodo (ánodo) dispuesto centralmente a lo largo de la misma. El cátodo es la pared misma de la celda. La alimentación del efluente a tratar se hace por la parte inferior y la salida por la parte lateral superior de la celda.

La patente norteamericana no. 3, 849, 281 expedida a Bennett, describe una celda para la producción de hipoclorito de sodio que será empleado para la desinfección de agua con materia orgánica. Esta celda imparte una trayectoria sinuosa al fluido. Esta celda requiere de placas en forma de "U" como cátodo y el ánodo se proyecta en la parte central del cátodo.

La patente norteamericana no. 4, 278, 522 expedida a Gernot Jacob, describe una celda electrolítica para el tratamiento de efluentes por electroflotación, formada esencialmente de electrodos de forma cilíndrica. Cada electrodo se conecta ya sea al ánodo o al cátodo. La característica principal de la celda es que el ánodo es de titanio y el cátodo de acero inoxidable, ambos con un recubrimiento de óxido de plomo. El arreglo de los electrodos forma una malla.

La patente norteamericana no. 4, 329, 211 expedida a William J. Plantes, describe un aparato para el tratamiento de aguas por electrocoagulación que contiene al menos un módulo con una multiplicidad de electrodos independientes, separados entre sí. Cada electrodo se puede conectar independientemente a la fuente de poder. El diseño permite quitar cada uno de los electrodos sin detener el funcionamiento de la celda para mantenimiento o reemplazo. La particularidad de la celda es que se puede dar una mayor separación a los electrodos, si así se requiere.

La patente francesa FR-2751637-A1, expedida a Debillemont Paul, hace referencia a una celda electrolítica con arreglo en cascada y fondo inclinado, formada por al menos un compartimento donde van alojados el ánodo y el cátodo y al menos un electrodo intermedio no conectado a la fuente de poder. Los electrodos utilizados son

pueden ser también de tipo canasta, rellenas con pedacería de hierro. Cada modulo está separado por un deflector conformado por dos paredes dispuestas en paralelo.

Las patentes norteamericanas no. 4, 406, 768 y 4, 500, 403 expandidas a King
5 Christopher J.H., describen un montaje particular de celdas electrolíticas, en esta celda los electrodos se extienden por el ancho de la cámara interna. La trayectoria que sigue el agua residual es en serie entre la entrada a la celda, los electrodos y la salida, siendo la trayectoria del flujo en paralelo a través del paquete de electrodos. Cada electrodo está separado por un material no conductor y que estos a su vez
10 forman los canales por donde circula el líquido. Los electrodos están acomodados de modo que son paralelos entre sí. Solo los electrodos al inicio y al final están conectados al ánodo y al cátodo de la fuente de poder respectivamente.

La patente norteamericana no. 5, 549, 812 expedida a Willi Witt, describe un aparato
15 para tratamiento de agua residual industrial por electrolisis, utiliza una celda con electrodos paralelos y alternados en forma horizontal, la alimentación eléctrica de la celda la realiza a través de un rectificador de corriente que utiliza pulsaciones, para lograrlas es necesario trabajar en un rango de frecuencia (hz). La trayectoria que sigue el efluente a tratar es sinuosa. La alimentación de la celda se hace por la parte
20 superior y la salida es por la parte inferior. El aparato cuenta con tanques de floculación interconectados.

La solicitud de patente no. PCT/US98/24885 expedida a Kaspar Electroplating Corporation, describe un aparato y un proceso para tratamiento de agua de
25 desperdicio industrial mediante electrocoagulación. La celda de electrocoagulación descrita comprende electrodos (placas) de hierro horizontales, dispuestos en forma paralela, con un espaciamiento fijo. El efluente a tratar sigue una trayectoria sinuosa a través de la celda, lograda a través del uso de empaques o sellos. El suministro de energía se realiza a cada una de las placas por medio de ranuras y agujeros. El
30 rectificador que suministra la energía eléctrica puede realizar un cambio de polaridad en un tiempo determinado. La conexión entre las placas se hace con un vástago en

forma de "U" y directamente a las placas iniciales y finales (cátodo y ánodo) respectivamente. La celda cuenta con interconectores de enlace entra placas. El sistema cuenta con un una bomba de alimentación que dirige el fluido hacia una celda de electrocoagulación, para posteriormente conducirlo hacia un tanque de espumas, luego a un tanque espesador de lodo y en seguida a un clarificador; una bomba de burbujas transfiere el lodo desde el clarificador nuevamente al tanque espesador, y un filtro prensa para separar los lodos generados en le clarificador. La configuración del sistema es tal que cada equipo es independiente. En el sistema parte del agua tratada puede hacerse recircular a través del sistema "n" veces de acuerdo a la calidad requerida del agua tratada. En este sistema se utilizan agentes químicos para provocar la coagulación y posterior floculación de los contaminantes cuando el agua tratada se mezclan nuevamente con los lodos y espumas, que es lo que se observa en la figura más representativa del documento citado.

15 **PROBLEMA TÉCNICO A RESOLVER**

La técnica previa, se refiere al diseño de aparatos para la electrocoagulación de aguas residuales industriales, sin embargo, no se menciona en ninguna de ellas los mecanismos adecuados para el manejo del agua tratada y el manejo de lodos. Debido al diseño que obedece a la operación de la celda, se tiene problemas por la acumulación en la parte superior de ellas de burbujas de gas, formadas al interior de la celda, lo cual reduce la eficiencia en el proceso de electrocoagulación. De igual manera, no se divulgan los medios para el manejo de las espumas, de lo cual se entiende que, al operar los sistemas presentados ocurre la mezcla del agua tratada por la celda de reacción con la espuma producida lo que genera nuevamente la contaminación de dicha agua tratada y se requiere del empleo de sustancia químicas para evitar la contaminación del agua tratada. Por otra parte, el diseño de las celdas dificulta su desmontaje para darle mantenimiento después de un uso prolongado y dificulta separar las unidades que conforman el sistema, para la limpieza de las incrustaciones en los componentes, que se generan al operar el sistema o después de un periodo de inactividad, lo que disminuye la capacidad de tratamiento. La desventaja del tipo de flujo en serie dentro de la celda de electrocoagulación es que

después de un periodo prolongado de uso, los canales formados por los electrodos suelen taparse por los mismos lodos que se generan en el interior de la celda. La mayoría de las celdas de electrocoagulación divulgadas presenta la necesidad de juntas de sellado, que al mismo tiempo funcionen como aislante, así que en caso de
5 falla de dicho sello se pone en riesgo el funcionamiento del equipo y la integridad de quienes lo rodean. También presentan desventajas al momento de armarla por la complejidad que tiene y se vuelve más compleja cuando se desea aumentar el caudal del líquido a tratar. Por otro lado, en algunos sistemas similares, se emplean sustancias químicas como agentes de coagulación o agentes químicos para la
10 floculación para aumentar la eficiencia de tratamiento de la celda de electrocoagulación, los cuales requieren de disponer de medios para el proceso y medios para el manejo de sedimentos, lo que aumenta el número de etapas del proceso de tratamiento de aguas y al mismo tiempo, la cantidad de lodos obtenidos.

15 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención, proporciona medios para remover materia orgánica e inorgánica y otras partículas suspendidas en aguas residuales, tales como las descargadas por los procesos textiles, así como los medios para la sedimentación de lodos, filtrado de lodos, tratamiento del agua separada de los lodos, el pulimento del
20 agua tratada mediante filtros de arena y filtros de carbón activado y el tratamiento del agua producto de la regeneración de los medios filtrantes. En la presente invención se proporciona una celda de fácil construcción y mantenimiento, ya que integra elementos de manera modular, lo que reduce el número de interfaces que comprenden elementos proclives a fallar y que además aprovecha las condiciones de
25 generación de gas para evacuar las espumas y poder destinarlas adecuadamente y así evitar que el agua tratada entre en contacto con ellas, manteniendo la eficiencia del sistema a lo largo de su funcionamiento; debido a que en este sistema, solo se utiliza la generación del coagulante "in situ", se evita el uso de sustancias químicas que representarán a la postre lodos que requerirá tratamiento adicional, ya que dicho
30 coagulante generado "in situ" será portado por los lodos que contaminan el agua. Más aun, la ventaja con respecto a otros sistemas es la adaptación de la celda de

electrocoagulación – clarificador, así como el arreglo de elementos con una configuración de estructura compacta, de operación sencilla y de fácil transporte.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- 5 Figura 1.- Muestra una vista frontal del sistema de electrocoagulación;
Figura 2.- Muestra una vista posterior del sistema de electrocoagulación;
Figura 3.- Muestra una vista superior del sistema de electrocoagulación;
Figura 4.- Muestra una vista lateral derecha del sistema de electrocoagulación;
Figura 5.- Muestra una vista lateral izquierda del sistema de electrocoagulación;
- 10 Figura 6.- Muestra una vista en perspectiva isométrica frontal del sistema de electrocoagulación;
Figura 7.- Muestra una vista en perspectiva isométrica posterior del sistema de electrocoagulación;
Figura 8.- Muestra una vista isométrica de la celda de electrocoagulación;
- 15 Figura 8a.- Muestra una vista en despiece de la celda de electrocoagulación;
Figura 8b.- Muestra una vista en despiece de la carcasa de la celda de electrocoagulación;
Figura 8c.- Muestra una vista superior de la tapa inferior de la celda;
Figura 8d.- Muestra una vista en despiece del módulo de electrodos;
- 20 Figura 8e.- Muestra una vista seccional de la tapa inferior de la celda;
Figura 8f.- Muestra una vista superior isométrica de la tapa inferior de la celda;
Figura 8g.- Muestra una vista isométrica de un par de mordazas;
Figura 8h.- Muestra una vista frontal de un par de mordazas;
Figura 8i.- Muestra una vista posterior de un par de mordazas;
- 25 Figura 9.- Muestra una vista frontal del clarificador con cortes de paredes;
Figura 9a.- Muestra una vista en despiece del clarificador;
Figura 9b.- Muestra una vista en despiece de la cámara de floculación, la cámara de desespumado y cámara de sedimentación del clarificador;
- 30 Figura 10.- Muestra una vista isométrica de un tanque de lodos;
Figura 10a.- Muestra una vista frontal de tanque de lodos y agitador;
Figura 10b.- Muestra una vista superior de un tanque de lodos;

- Figura 11. Muestra una vista seccional de un Filtros de platos;
- Figura 12. Muestra una vista seccional de un filtro de arena;
- Figura 12a.- Muestra una vista superior del filtro de arena;
- Figura 13. Muestras una vista seccional de un filtro de carbón;
- 5 Figura 13a. Muestras una vista superior del filtro de carbón;
- Figura 14. Muestra una vista isométrica de un rectificador de corriente;
- Figura 15. Muestra una vista isometrica de la bomba de alimentación,
- Figura 15a. Muestra una vista isometrica de bomba de lodos;
- Figura 15b. Muestra una vista isometrica de bomba de clarificados;
- 10 Figura 16. Diagrama de flujo del sistema de electrocoagulación.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención es concerniente a un sistema de electrocoagulación para remover la materia orgánica e inorgánica y partículas suspendidas en agua residual industrial que comprende: una bomba de alimentación (10) para transferir el agua residual a través de una celda de electrocoagulación (100), un rectificador (150), un clarificador (200) de placas inclinadas, que se encuentra en comunicación fluida con la celda de electrocoagulación (100) como se muestra en la figura 16; el sistema cuenta también con un tanque (300) de acondicionamiento de lodos que provienen del clarificador. El tanque de acondicionamiento (300) de lodos cuenta a su vez con un agitador (350) para mantener en suspensión el lodo. El sistema cuenta con una bomba de lodos (20) para la transferencia de lodos acondicionados procedentes del tanque (300) de acondicionamiento de lodos; también el sistema dispone de un filtro de platos (400) a presión, para la separación de los lodos del líquido filtrado; una bomba de clarificados (30), un filtro de arena (500), un primer filtro de carbón activado (600) y un segundo filtro de carbón activado (700), un sistema electrónico (800) para el control de las variables y operación del sistema. El arreglo de la conexión entre los diferentes equipos se puede apreciar en las figuras 1 a 7.

30 La bomba de alimentación (10) consiste de una bomba (11) centrífuga con impulsor abierto, de acero inoxidable acoplado a un motor eléctrico (12) como se observa en

la figura 15; dicha bomba es de las conocidas para el bombeo de líquidos con materiales en suspensión.

La celda de electrocoagulación (100) como la mostrada en las figuras 8, 8a y 8b
5 consiste de una carcasa (110), un modulo de electrodos (120). La carcasa (110) de la celda de electrocoagulación (100) es un prisma rectangular de una pared frontal (110a), un pared posterior (110b), una pared lateral derecha (110c) y una pared lateral izquierda (110d) que forman una caja (111), una tapa superior (112) y la tapa inferior (113) en donde la pared frontal (110a) y la pared posterior (110b) son en
10 forma de "L" invertida, opuestas entre sí;

La tapa inferior (113) de la celda mostrada en las figuras 8c, 8e y 8f, tiene en una cara superior (113a) y una cara inferior (113b), de tal modo que en la cara superior (113a) de la tapa inferior existe un maquinado que define una primera ranura de
15 alojamiento (113c) y una segunda ranura de alojamiento (113d). En la cara inferior (113b) de la tapa inferior (113) cuenta con unos barrenos pasados (113f) para la colocación de unos bornes (123) (terminales) que llevan la corriente eléctrica; por el mismo lado de la tapa los barrenos cuentan con maquinado que define una caja de bornes (113e) donde se aloja un sello (113h) que evita las fugas hacia el exterior de
20 dicha celda de electrocoagulación (100). La tapa inferior (113) cuenta con cejas en los cuatro lados para formar una brida de tapa inferior (113g) que pueda acoplarse a otra brida inferior de caja (114a), las cuales cuentan con barrenos pasados y medios adecuados para mantenerse unidas, tales como tornillos que hacen posible su fijación. Entre la brida de tapa inferior (113g) y la brida inferior de caja (114a) se
25 encuentra un empaque (115a) para prevenir la fuga del líquido presente en el interior de la celda de electrocoagulación (100); una saliente (116) perpendicular a la caja (111) de prisma rectangular define un conducto, el cual consiste en la salida de la celda de electrocoagulación (100) en el cual se instala una brida de salida (114b). Al menos dos soportes (117a, 117b) se colocan en la cara frontal (110a) y en la cara
30 posterior (110b) de la carcasa (110) de la celda electrolítica (100) respectivamente que ayudan a sostener el peso de la misma en la estructura general del sistema. Los

soportes (117a, 117b) cuentan con un barreno coliso pasado (118a, 118b) respectivamente, para ser utilizado con un tornillo y con esto fijar la celda a una estructura adecuada.

5 Como se muestra en la figura La celda de electrocoagulación (100) cuenta un módulo de electrodos (120) tal como se muestra en la figura 8a, cada módulo conformado por un juego de placas (125) que integran un ánodo (121) y otro juego de placas (126) que integran un cátodo (122). El juego de placas para el ánodo (121) es montado en un par de mordazas de ánodo (121a), y el juego de placas para el
10 cátodo (122) es montado en un par de mordazas de cátodo (122a). Las placas (125, 126) son un cuerpo plano rectangular (125a, 126a) de donde se proyecta una ceja (125b, 126b).

Los pares de mordazas de ánodo (121a) y los pares de mordazas de cátodo (122a)
15 mostrados en las figuras 8g, 8h y 8i, son un prisma cuadrado y en una de sus caras longitudinales cuentan con una serie de ranuras (121b y 122b) respectivamente; dichos pares de mordazas (121a, 122a) son de material conductor de corriente; una mordaza de cada par de ellas cuenta con barrenos pasados (121c y 122c) horizontales, que son perpendiculares al maquinado que define dichas ranuras (121b
20 y 122b) de las mordazas; en el lado opuesto a la cara con ranura se maquina una caja (121d y 122d) para alojar una cabeza de tornillo. La mordaza contraria de cada par de mordazas, cuenta con barrenos roscados (121e y 122e) horizontales respectivamente, en donde los ejes de dichos barrenos roscados (121e y 122e) se alinean con los barrenos pasados (121c y 122c) de la mordaza correspondiente. El
25 par de mordaza de ánodo (121a) están unidas con tornillos (121f) que se proyectan a través de los barrenos pasados (121c) y se rosca en el barreno roscado (121e) alojando la cabeza de cada tornillo en su respectiva caja (121d); el par de mordazas de cátodo (122a) están unidos con tornillos (122f) que se proyectan a través de los barrenos pasados (122c) y se rosca en el barreno roscado (122e), alojando la
30 cabeza en la caja (122d) correspondiente.

Una mordaza de ánodo (121a) de cada par de ellas, cuenta con un barreno de borne positivo (121g) vertical el cual es roscado y de igual manera, una mordaza de cátodo (122a) que cuenta con un barreno de borne negativo (122g) vertical el cual es roscado, en donde los barrenos de borne (121g y 122g) son ciegos y son paralelos a las ranuras (121b y 122b).

Un borne (123) el cual es formado por un cuerpo alargado (123a) de sección transversal hexagonal o cualquier otra forma que permita su rápida instalación con uno de sus extremo roscado (123b) de dimensión suficiente para que se pueda acoplar en cada uno de dichos barrenos de borne (121g, 122g) y un extremo opuesto con un barreno ciego (123c) roscado para unir en este un tornillo (123d) o cualquier otro medio conocido que permita fijar una terminal de un cable que conduce corriente con la polaridad correspondiente.

Para formar una juego de placas, cada una de ellas (125, 126) es colocada en forma paralela con el resto de las placas, con las cejas de las placas (125b, 126b) hacia un mismo sentido y posteriormente en una de las mordazas (121a, 122a) proyectarlas parcialmente en las ranuras (121b y 122b) de ella; hecho lo anterior, se coloca la mordaza contraria haciendo coincidir las ranuras propias con las cejas de las placas (125b, 126b) y aprisionarlas entre las ranuras de las mordazas (121b, 122b), fijándolas con los tornillos (121f y 122f) hasta que sea sólido este ensamble; la misma operación se realiza con el juego de placas del electrodo opuesto; la separación de las ranuras de las mordazas es suficiente para definir un espacio entre las placas el cual permite la proyección de juego de placas opuesto alternando una placa del ánodo (125) con una placa del cátodo (126).

Una vez realizado el ensamble del ánodo (121) y cátodo (122), las mordazas (121b, 122b) son ubicadas de manera correspondiente en las ranuras de alojamiento (113c) (113d) de la tapa inferior para generar un canal de mordazas (124) con el cual se distribuye de manera uniforme el caudal del líquido entre los espacios formados por las placas del ánodo (121) y del cátodo (122), para posteriormente colocar un sello

(113h) en la caja de bornes (113e) y fijándolas con el borne (123), a través de su extremo roscado (123b) que se proyecta en el respectivo barreno pasado (113f) en la tapa inferior (113) y alojando el cuerpo alargado del borne (123a) en la caja de bornes (113e), uniéndose en el barreno de borne (121g) de la correspondiente mordaza (121a) o (122a), presionando el sello (113h) contra la tapa (133). Con lo anterior el ánodo (121) y el cátodo (122) queda unido a la cara superior (113a) de la tapa inferior (113).

El modulo de electrodos montado en la tapa inferior (113) se proyecta a través del cuerpo de la caja (111), de la carcasa (110), uniendo las brida inferior (114a) con la brida (113g) de la tapa inferior (113) con un empaque inferior (115a) entre ellas, empleado medios adecuados conocidos, tales como tornillos que cruzan barrenos pasados en las bridas y en el empaque acompañados con tuercas, rondanas planas y de presión.

15

La celda de electrocoagulación (100) se puede desarmar, al retirar la tapa inferior (113) en la cual se encuentra el módulo de electrodos (120). La tapa inferior (113) se retira del resto del cuerpo de la carcasa (110) al liberar los juegos de tornillos o los medios adecuados que unen la brida inferior (114a) con la brida (113g) de la tapa inferior (113). Debido a la presencia mínima de elementos que conforman dicha celda de electrocoagulación (100) se hace adecuada para un mantenimiento rápido y además se facilita el acceso a todos componentes sin desarmar el resto de la celda.

La celda de electrocoagulación (100) cuenta con un separador de placas superior (119a) y un separador de placas superior (119b). Estos separadores cuentan con ranuras de dimensión suficiente para que se acoplen las placas (125, 126) que forman el ánodo (121) y cátodo (122). La forma de los separadores (119a, 119b) se asemeja a una solera con entallas de material no conductor que asegura la posición de cada placa al desgastarse par que no haya contacto entre ellas.

30

Las placas (125, 126) que forman el modulo de electrodos (120) de la celda de electrocoagulación (100) son de igual espesor y pueden ser de cualquier dimensión, siempre, respetando una relación de dimensión en donde el largo sea 2 veces el ancho de la placa (125, 126); esta configuración favorece un desgaste uniforme de las placas (125, 126) en la operación de la celda de electrocoagulación (100). El espesor de las placas (125, 126) de la celda de electrocoagulación (100) depende del caudal de agua a tratar y de la concentración de la materia orgánica e inorgánica y de las partículas suspendidas en el agua a remover.

La entrada de agua residual de la celda de electrocoagulación (100) se hace por una conexión de entrada (101) con una boquilla de rosca NPT de diámetro suficiente para el caudal de agua que se desea tratar, la cual se dispone en la parte inferior en la pared lateral izquierda (110d) de la celda de electrocoagulación (100); una salida de agua (102) se conforma por el ducto (116), perpendicular a la carcasa (110) de la celda de electrocoagulación (100), en donde se disponen de una brida superior (114b) de salida y esta permite la unión de la celda de electrocoagulación (100) con un clarificador (200) en una entrada (201) de forma geométrica correspondiente a la salida de agua (102) de la celda de electrocoagulación (100) por un costado lateral del clarificador (200), que cuenta con una pared donde se define una brida de entrada al clarificador (202) con barrenos roscados para alojar los tornillos o algún otro medio conocido que permita la comunicación fluida e instalación entre la celda de electrocoagulación (100) y el clarificador (200) así como la colocación de un empaque superior (115b) que previene las fugas en este ensamble, en donde dicha brida de de entrada al clarificador (202) es maquinada en la pared lateral izquierda (210) de dicho clarificador (200). El motivo de que el flujo sea vertical y paralelo a las placas (125, 126) se debe a que de ser horizontal, el gas que se genera por la reacción electroquímica ascenderá a la parte alta de la carcasa (111) dejando un porción de dichas placas libres del contacto con el fluido, lo cual resta eficiencia a la celda de electrocoagulación (100). La salida (102) en la saliente transversal (116) de la celda de electrocoagulación (100) facilita el desalojo del gas así como favorecer la

mezcla de este gas con los coágulos que se han producido, con lo que se generarán espumas las cuales posteriormente serán acondicionadas.

- 5 El rectificador (150) de corriente tiene las funciones de regulación de corriente o de voltaje; una de sus características más sobresaliente es que puede hacer inversión de polaridad de tiempo programable. El rectificador tiene dos terminales una catódica (151) y otra anódica (152). El rectificador es de los ya conocidos mostrado en la figura 14.
- 10 El clarificador (200) es del tipo de clarificadores de placas inclinadas, tal como se observa en la figura 9, 9a, 9b. Dicho clarificador (200) está compuesto de cuatro cámaras integradas, que consisten de una cámara de floculación (200a), una cámara de desespumado (200b), una cámara de sedimentación (200c) y una cámara de clarificados (200d). Al menos una de las cuatro cámaras comparte una pared con las
- 15 demás cámaras tal como será descrito a continuación. El clarificador (200) está formado por una serie de paredes de separación tal como se muestra en la figura 9a, las cuales define las diferentes cámaras que lo conforman. La primer pared del clarificador (200) es una pared latera izquierda (210) compuesta por una primera sección de pared vertical (210a) donde se encuentra la entrada del clarificador (201)
- 20 y donde se acopla la salida de agua (102) de la celda de electrocoagulación (100); una segunda sección de pared inclinada inferior (210b) la cual se proyecta en un ángulo de 45° respecto al plano de la primera sección de pared vertical (210a) en dirección a la corriente del fluido; una tercera sección de pared inclinada superior (210c) la cual es el reflejo de la segunda sección de pared inclinada inferior (210b);
- 25 una cuarta sección pared vertical superior (210d), en done se instala una conexión de espumas (210f) para la salida de las mismas hacia un tanque de acondicionamiento de lodos (300), aproximadamente en la mitad de la altura de esta cuarta sección vertical (210d); una quinta sección de pared de fondo horizontal (210e). En la segunda sección de pared inclinada inferior (210b) se maquina un
- 30 puerto para instalar una conexión de lodos (210g) horizontal, ubicándose próximo a la quinta sección de pared de fondo horizontal (210e).

- Una pared lateral derecha vertical (211), es plana y perpendicular a la quinta sección pared de fondo horizontal (210e), siendo el borde superior de dicha pared lateral derecha (211) a la misma altura que el borde de la cuarta sección de pared vertical superior (210d). Una pared frontal (212) y una pared posterior (213), donde los
- 5 bordes laterales de dichas paredes son de forma coincidente a la forma de las paredes laterales derecha e izquierda y sus bordes superiores son de la misma altura que el borde superior de la pared lateral derecha e izquierda, de tal forma que se genera un recipiente abierto por la parte superior.
- 10 La cámara de floculación (200a) como la ilustrada en la figura 9b, es un canal formado por la tercera sección de pared inclinada superior (210c) y una pared interior inclinada (214), paralela a dicha tercera sección de pared inclinada superior (210c), entre las cuales se instala una serie de deflectores (215) o algún otro medio conocido que permite desarrollar un flujo laminar en ella y permita el libre tránsito del gas que
- 15 se genera en la celda de electrocoagulación (100).

Preferentemente, los deflectores (215) son una serie de pares de placas como puede verse en la figura 9b, en donde una de cada par de dichas placas son perpendiculares a la pared interior inclinada (214) con lo cual se evita la acumulación

20 de gas; la placa contraria del par de dichas placas es sustancialmente horizontal, con un grado de inclinación que permite el libre flujo del gas que recorre la cara inferior de dichas placas para evitar la acumulaciones de gas.

El ancho del canal de la cámara de floculación (200a) es de un tercio del ancho total del clarificador (200) y la longitud de la cámara de floculación (200a) corresponde a

25 un tercio de la altura total del clarificador (200); para delimitar la cámara de floculación (200a) se dispone una pared interna frontal (216) y una pared interna posterior (217).

30 El borde izquierdo de las paredes interna frontal (216) e interna posterior (217) es de forma coincidente con la pared lateral izquierda (210), es decir, que se define una

primera sección de borde izquierdo central vertical (216a, 217a), una segunda sección de borde izquierdo inferior inclinado (216b, 217b), una sección de borde izquierdo superior inclinado (216c, 217c) el cual es espejo de la segunda sección de borde izquierdo inferior inclinado (216b, 217b), una sección de borde izquierdo superior vertical (216d, 217d) y una sección de borde inferior horizontal (216e, 217e);
5 en la sección vertical del borde izquierdo de las paredes interna frontal (216) e interna posterior (217), se maquina una ranura (218) de dimensión suficiente para instalar en ella una transición (219), que conduce el fluido en una trayectoria horizontal desde la entrada del clarificador (201) desviándolo hacia la cámara de
10 floculación (200a) en una trayectoria vertical.

Las paredes laterales internas frontal (216) e interna posterior (217) son dos tercios de la altura del clarificador (200), de modo que existe un claro de paso (216j, 217j) formado entre la quinta sección de pared de fondo horizontal (210e) y la sección de
15 borde inferior horizontal (216e, 217e) de dichas paredes internas.

El borde lateral derecho de las paredes internas frontal e interna posterior (216, 217) es formado por una sección inferior de borde derecho vertical (216f, 217f), una sección central de borde derecho inclinado (216g, 217g), una sección de borde
20 derecho superior vertical (216h, 217h) y un borde superior horizontal (216i, 217i) de ambas paredes internas; la separación paralela entre la sección de borde izquierdo superior inclinado (216c, 217c) y la sección central de borde derecho inclinado (216g, 217g) de las paredes internas frontal y posterior (216, 217), es el doble de la distancia entre la sección de borde izquierdo superior inclinado (216c, 217c) y la
25 pared interior inclinada (214), de modo que el espacio restante define una cámara de desespumado (200b).

El borde superior horizontal (216i, 217i) de las paredes internas frontal y posterior (216, 217) es sellado por una tapa de desespumado (220) la cual se extiende a lo
30 largo de dicho borde superior horizontal (216i, 217i) y de la sección de borde derecho superior vertical (216h, 217h) de las paredes internas frontal y posterior (216, 217).

En la tapa de desespumado (220) se instala un respiradero (220a) atmosférico, donde se conecta una tubería (T8) para desalojar los gases que se encuentran en la cámara de desespumado hacia el tanque de acondicionamiento de lodos (300). El borde superior horizontal (216i, 217i) de las paredes internas frontal y posterior (216, 217) es de una altura suficiente que permite a la tapa de desespumado (220) estar a la misma altura que el borde superior de la pared lateral derecha (211) del clarificador (200).

La transición (219) es una que permita dirigir el flujo horizontal de una sección transversal amplia que coincide con el tamaño de la entrada del clarificador (201) hacia una dirección vertical de una sección transversal angosta que coincide con el ancho de la cámara de floculación (200a). La forma de la transición (219), es un prisma triangular hueco abierta en el lado opuesto de uno de los vértices, compuesto por una pared de fondo de transición (219a) y una pared superior de transición (219b) en la cual se maquina una abertura (219c) de tal forma que se tiene una entrada de fluido (201) con un área de una primera sección transversal y una salida de una sección transversal de menor área que la primera, en donde será unida la entrada de la cámara de floculación (200a), además se tiene una pared lateral derecha (219d) y un par de paredes frontal (219e) y posterior de transición (219f) con lo que se genera una cámara en dicha transición (219); con esta transición (219) se procura la separación del agua tratada procedente de la celda de electrocoagulación (100) con las otras cámaras.

Una pared lateral derecha interna (221) limita la cámara de desespumado (200b). La pared lateral derecha interna es del mismo ancho que el clarificador (200), estando conformada por una sección inferior vertical de pared lateral derecha interna (221a), una sección central inclinada de pared lateral derecha interna (221b) y una sección superior vertical de pared lateral derecha interna (221c) en la cual se maquina unos canales para definir un rebosadero (221d); la altura de esta pared lateral derecha interna (221) se extiende desde el fondo del clarificador (200) hasta la mitad de la cuarta sección vertical superior de la pared lateral izquierda (210d), de modo que su

borde inferior del rebosadero sea tangente con el diámetro de la conexión de espumas (210f), de forma que el nivel de líquido sea más bajo que el nivel de las espumas generadas.

5 Los espacios entre la pared frontal (212) con la pared frontal interna (216), así como entre la pared posterior (213) con la pared posterior interna (217) definen una cámara de sedimentación (200c), en donde se colocan unas placas inclinadas (222) conocidas como "lamellas" y perpendiculares a la pared frontal (212), a la pared frontal interna (216), así como a la pared posterior (213) y a la pared posterior interna (217); dichas placas inclinadas son de un ancho que corresponde al espacio entre la
10 entre la pared frontal (212) y la pared frontal interna (216), así como entre la pared posterior (213) con la pared posterior interna (217). Dicha cámara de desespumado (200b) esta en comunicación con la cámara de sedimentación (200c) gracias al claro de paso (216j, 217j).

15

Las placas inclinadas (222) son un cuerpo rectangular, las cuales tienen una longitud igual que la sección central inclinada de la pared lateral derecha interna (221b); dichas placas inclinadas (222) están soportadas en el interior de la cámara de sedimentación (200c) mediante unos soportes de placas (223), así que se
20 encuentran separadas del fondo de esta cámara. Las placas inclinadas (222) están superpuestas y la separación entre ellas se logra gracias a unos separadores de placas (222a) que se encuentran generados en una de la caras de cada una de las placas inclinadas (222); pudiendo ser al menos tres separadores que se extienden desde un extremo inferior al superior y de un lado a otro y así permitir el paso del
25 líquido a través de la cámara de sedimentación (200c) sin intervenir en el flujo natural del líquido. Con lo anterior, gracias a la inclinación de las placas que guardan en la cámara de sedimentación (200c) se promueve la sedimentación de la materia suspendida en el líquido tratado, retardando el paso de éste y dirigiendo los flóculos formados hacia el fondo del clarificador (200).

30

La cámara de clarificados (200d) es formada por el espacio entre la pared lateral derecha interna (221) y la pared lateral derecha (211), en donde la pared lateral derecha interna (221) es unida de manera hermética a la pared de fondo horizontal (210e), la pared frontal (212) y la pared posterior (213) de tal manera que el caudal de agua se dirige sobre dicha pared lateral derecha interna (221) y hasta las ranuras del rebosadero (221d) para posteriormente conducirse hacia la cámara de clarificados (200d).

La cámara de clarificados (200d) tiene una descarga de líquido clarificado (224) formada por una boquilla (224a) en la sección de pared de fondo horizontal (210e) que corresponde a la cámara de clarificados (200d).

La cámara de clarificados (200d) cuenta con una primera boquilla de nivel (225a) de cuerda NPT para la colocación de un indicador o interruptor de nivel superior, localizadas en la parte superior de la pared lateral derecha (211). Además, cuenta con una segunda boquilla de nivel (225b) de cuerda NPT para la colocación de un indicador o interruptor de nivel inferior localizado en la parte inferior de la pared lateral derecha (211).

El tanque de acondicionamiento de lodos (300) que se muestra en las figuras 10, 10a y 10b, está formado por un cuerpo cilíndrico, de manera ideal de acero inoxidable con un extremo abierto (300a) y un extremo cerrado por una pared de fondo de tanque (300b), con 4 deflectores (300c) verticales en la superficie interna distribuidos en ángulo recto. Los deflectores son un cuerpo rectangular de espesor adecuado para el trabajo con suspensiones de sólidos, de una longitud de $\frac{3}{4}$ partes de la altura total del tanque de acondicionamiento de lodos (300). Por un costado se instalan una serie de boquillas que consisten en: una primer boquilla de entrada de lodos y espumas (310a) que provienen del clarificador (200), la cual se localiza en la parte superior del tanque de acondicionamiento de lodos (300), próxima al borde superior de dicho tanque de acondicionamiento de lodos (300); una segunda boquilla de entrada de filtrados (310b) próxima al borde superior del tanque de

5 acondicionamiento de lodos (300) para conectar una línea de recepción del filtrado proveniente de un filtro de platos (400), preferentemente ubicada a 90° de la de la primer boquilla de entrada de filtrados (310a); una tercera boquilla de entrada de recirculación (310b) o "by pass" de una bomba de lodos (20), que se encuentra de igual manera, colocada próxima al borde superior del tanque de acondicionamiento de lodos (300); una primera boquilla de descarga de lodos (300d), próxima a la pared de fondo (300b) de tanque de acondicionamiento de lodos (300), la cual es de cuerda NPT o un medio adecuado para conectar la succión de una bomba de lodos (20) y conducirlos a el filtro de platos (400); una segunda boquilla de descarga de lodos 10 (300e) de cuerda NPT o un medio adecuado para conectar una línea de recirculación hacia la bomba de alimentación (10).

El tanque de acondicionamiento de lodos (300) cuenta con dos boquillas NPT de entrada para un indicador o interruptor de nivel superior (320a) y otra para un 15 indicador o interruptor de nivel inferior (320b) ubicado en la parte frontal de dicho tanque. El extremo abierto (300a) se cubre con una tapa superior de tanque (330) con una compuerta de agitador (331) y una compuerta de inspección (332).

La compuerta de agitador (331) está fijada a la tapara superior de tanque (330) 20 mediante cuatro tornillos de mariposa (330a, 330b) ubicados en cada una de las esquinas de las mismas, mientras que la otra compuerta de inspección (332) se retira sin algún medio de fijación. En el tanque de acondicionamiento de lodos (300) se encuentra un agitador (350), de aspas.

25 El agitador esta conformado por un par de hélices (351) tal como el tipo marina unida a un eje (352) que se proyecta a través de la compuerta de agitador (331) y hacia una transmisión adecuada como un motor eléctrico (353).

La bomba de lodos (20) consiste de una bomba de desplazamiento positivo de 30 preferencia del tipo de engranes, de acero inoxidable o acero al carbón acoplada (21) a un motor eléctrico (22) como se observa en la figura 3; dicha bomba es de las

conocidas para el bombeo de pastas o de líquidos con materiales en suspensión. La bomba de lodos (20) tiene una válvula de alivio (23) para en caso de sobre presión y cuenta también con base. La bomba de engranes es de las ya conocidas

5 El filtro de platos (400) está formado por tres partes principales, el cuerpo receptor de platos (401), el cartucho de platos (402) y la tapa (403), todo de acero inoxidable. Los platos (404) contienen un medio filtrante (404a) de polipropileno y una salida de filtrado (404b). El cartucho de platos (402), esta formado por un porta platos (402a) que consiste de un plato final (402b), cuatro espárragos (402c) y tornillos de mariposa (402d). El cuerpo receptor de platos (401) tiene dos salidas de filtrado, una salida de filtrado (401a) del porta platos (402a) y otra del salida de filtrado (401b) del resto del cartucho de platos (402). La purga de la cámara de recepción sale por la salida de purga (401c). La tapa (403) del filtro de platos (400) esta unida al cuerpo por medio de tornillos basculantes de anclaje (401d). El filtro de platos (400) es de los ya conocidos. Ver figura 11.

La bomba de clarificados (30), figura 15b, es del tipo centrifuga de múltiples etapas, de impulsor cerrado de acero inoxidable, este tipo de bombas manejan presiones medianamente altas. La bomba (31) de clarificados esta acoplado a un motor eléctrico (32) como se observa en la figura 13; dicha bomba es de las conocidas para el bombeo de líquidos limpios.

El filtro de arena (500) en las figuras 12 y 12a, consiste en un recipiente cilíndrico de acero inoxidable o de cualquier otro material, con una serie de camas de arena de altura variable y de distinta granulometría. El filtro de arena (500) contiene una válvula multi-vía (501) con tres puertos de entrada, un puerto para filtración (501a), un puerto para regeneración(501b) y un puerto para paso (501c) ("by pass"). El filtro de arena cuenta con un tubo buzo (502) en la parte central del mismo que contiene en sus extremos un cedazo (502a). El filtro de arena (500) es de los ya conocidos. La válvula del filtro de arena (501) puede ser del tipo manual o automática.

El filtro de carbón activado (600) en las figuras 13 y 13a, consiste en un recipiente cilíndrico de acero inoxidable o de cualquier otro material, con una serie de camas de arena de altura variable y de distinta granulometría y una cama de carbón activado. El filtro de arena (600) contiene una válvula multi-vía (601) con tres puertos de entrada, un puerto para filtración (601a), un puerto para regeneración(601b) y un puerto para paso (601c) ("by pass"). El filtro de carbón (600) cuenta con un tubo buzo (602) en la parte central del mismo que contiene en sus extremos un cedazo (602a). El filtro de arena (600) es de los ya conocidos. La válvula del filtro de arena (601) puede ser del tipo manual o automática.

10

El filtro de carbón activado (700) consiste en un recipiente cilíndrico de acero inoxidable o de cualquier otro material, con una serie de camas de arena de altura variable y de distinta granulometría y una cama de carbón activado. El filtro de arena (700) contiene una válvula multi-vía (701) con tres puertos de entrada, un puerto para filtración (701a), un puerto para regeneración(701b) y un puerto para paso (701c) ("by pass"). El filtro de carbón (700) cuenta con un tubo buzo (702) en la parte central del mismo que contiene en sus extremos un cedazo (702a). El filtro de arena (700) es de los ya conocidos. La válvula del filtro de arena (701) puede ser del tipo manual o automática.

20

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

La presente invención es capaz de operar en una modalidad tanto de operación continua como de forma intermitente, sin embargo se empleará la operación continua, para describir su funcionamiento.

25

El sistema se describe conforme a la figura 16, de modo que se puede modificar para generar un acomodo entre los componentes que resulte en un sistema compacto, como puede apreciarse en las figuras 1 a 7, en donde una vez que se dispone de un volumen de agua residual a tratar en un tanque o un medio de contención adecuado (no ilustrado), se conecta una tubería de succión (T-0) o un medio adecuado para

30

comunicar en forma fluida la succión de la bomba (10) de alimentación del sistema de tratamiento y con ella enviar el agua por medio de una tubería de descarga (T-1) hacia la celda de electrocoagulación (100).

- 5 En la tubería de descarga (T-1) de la bomba de alimentación (10) se encuentra un interruptor de flujo (1010) como medida de seguridad para el caso de que la bomba de alimentación (10) no esté bombeando agua residual al sistema y así un rectificador (150) de corriente no pueda ser encendido para la operación del sistema. El caudal del agua a tratar es regulado por una válvula de diafragma (V-02) colocada
10 inmediatamente después del interruptor de flujo (1010). La lectura del caudal es leída directamente en un flujómetro (1040) que puede ser digital o analógico. La lectura del pH es tomada por un sensor de pH (1080) y la lectura de conductividad es tomada por un sensor de conductividad (1081); tanto el pH como la conductividad son enviadas hacia un analizador de pH y conductividad (1082), la lectura de pH es leída
15 directamente en el analizador de pH (1082) digital.

El agua residual a tratar entra por la parte inferior de la celda en la boquilla de entrada (101) y es conducida a través del canal de mordazas (124) del modulo de electrodos (120). El agua residual se distribuye a lo ancho de la celda de
20 electrocoagulación (100) y después avanza hacia la parte superior de la celda de electrocoagulación (100) a través del espacio entre cada placa de ánodo (125) y una placa de cátodo (126). Una vez que la celda está inundada por el agua residual, el rectificador de corriente (150) toma corriente alterna (AC) de una fuente adecuada y la convierte en corriente directa (DC) y la suministra a través del borne positivo
25 (ánodo (120a)) a través de las mordazas de ánodo (121a); el circuito permanecerá abierto, en tanto el agua no haga contacto con las placas de ambos electrodos, así que una vez que el agua contacta las placas positivas y negativas la corriente fluye hacia el borne negativo (cátodo (120b)) respectivamente hacia las mordazas de cátodo (122a) de la celda de electrocoagulación (100). La cantidad de corriente
30 necesaria que será suministrada depende de la concentración de materia orgánica e inorgánica o de las partículas suspendidas en el agua residual, así como del caudal a

manejar y de la conductividad eléctrica del agua residual. La diferencia de potencial a aplicar a la celda de electrocoagulación (100) se puede dejar fija en el rectificador de corriente (150), siempre y cuando este contenga dichas funciones; la diferencia de potencial va a depender directamente de la conductividad eléctrica del agua residual a tratar, de la separación entre las placas de ánodo (125) y de cátodo (126), así como de las dimensiones de las placas (125) y (126). Las mordazas distribuyen la corriente eléctrica a través de cada una de las placas (125) y (126) que forman el ánodo (121) y el cátodo (122) respectivamente. La distribución de la corriente en la placa se realiza desde la ceja (125b, 126b) hacia el resto del cuerpo de cada placa (125a, 126a).

La reacción del material de los electrodos de sacrificio (Aluminio, Hierro, Zinc, etc) con el suministro eléctrico, con las condiciones antes descritas y por medio de reacciones electroquímicas de oxidación y reducción, se genera un coagulante "*in situ*", (reacción 3) formando hidróxidos metálicos, lo cual se entiende a partir de las siguientes reacciones:



El proceso de formación de coagulante "*in situ*" que ocurre en la celda de electrocoagulación (100), da como resultado la formación de coágulos en la misma, por la acción electrostática de los hidróxidos metálicos sobre las partículas de materia orgánica e inorgánica y en general de las partículas suspendidas.

Con el coagulante generado en la misma celda de electrocoagulación (100) se provoca que la materia orgánica suspendida en el agua se desestabilice y se agrupe,

formando partículas de mayor tamaño; por otra parte, dichas reacciones también generan gases (O_2 e H_2) (Reacción 4) en el interior de la celda de electrocoagulación (100). Estos procesos que ocurren al interior de la celda, favorecen la coagulación de la materia orgánica e inorgánica o de las partículas suspendidas en el agua residual, consideradas como los contaminantes.

El paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos (ánodo (121) y cátodo (122)) y del medio acuoso, favorece también la destrucción de algunos compuestos orgánicos por oxidación directa de los mismos, esto debido al flujo de iones que pasan por el medio acuoso y por las moléculas que forman la materia orgánica; el proceso de electrocoagulación también favorece la eliminación de algunos tipos de bacterias, ya que el flujo de corriente (iones), destruyen las membranas citoplasmáticas que protegen a dichas bacterias

En la celda de electrocoagulación (100) se mantiene una baja incrustación, principalmente en el cátodo (122) y en el ánodo (121) cuando se invierte la polaridad, haciendo que el rectificador (150) de corriente alterne la polaridad de los electrodos (120a, 120b), es decir, un momento el ánodo (121) puede funcionar como cátodo (122) y viceversa, reduciendo la posibilidad de generar incrustaciones que actuarían como un aislante, de manera que se prolonga la necesidad de un mantenimiento. Esta función se puede programar en el rectificador (150) de corriente. Alternar la polaridad del electrodo también tiene la ventaja de que el desgaste de los electrodos sea homogénea y en caso de programar un reemplazo de ellos, se cambien todos al mismo tiempo. En la celda de electrocoagulación (100), debido a la disposición en paralelo de las placas que forman el módulo de electrodos (120) se reduce la acumulación de lodo entre ellas.

Una vez que el agua tratada que contiene coágulos abandona el módulo de electrodos (120) se dirige hacia la saliente (116) de la caja (111), abandonando la celda (100) y dirigiéndose hacia el clarificador (200). Los gases (O_2 e H_2) desprendidos en la celda de electrocoagulación (100) favorecen un mejor mezclado

del agua residual con el coagulante generado "*in situ*", acelerando la formación de flocúlos.

5 Ya en el clarificador (200), el agua tratada que contiene flocúlos, es forzada a conducirse a través de una transición (219) la cual tiene una entrada de un área transversal mayor que el área transversal de la salida, con lo cual se genera un efecto de compresión, lo que aumenta la velocidad y posteriormente hay una expansión de la mezcla de gas y agua al pasar el fluido a la cámara de floculación (200a) con ello se reduce la velocidad produciéndose un flujo laminar que se dirigirá
10 por la cámara de floculación (200a) y al mismo tiempo, la expansión del agua favorece la separación del gas de la masa del fluido.

Una vez que ingresa el flujo de agua en la cámara de floculación (200a) choca contra una serie de deflectores (215) los cuales se oponen al libre tránsito de la mezcla de
15 agua con flocúlos, para liberar las burbujas de gas. Dichos deflectores tienen una configuración que permite el paso del gas hacia una cámara de desespumado (200b) sin que el gas se mezcle nuevamente con el agua tratada o se acumule en dicha cámara; al mismo tiempo el golpe del flujo contra los deflectores (215) hacen que los coágulos se agrupe y formen flocúlos, así que los flocúlos presentes aumentan de
20 tamaño y peso, para ser arrastrados por el líquido y el gas lo que formará espumas que se conducirán hacia la cámara de desespumado (200b).

En la parte superior de la cámara de desespumado (200b) y debido al gas generado y desprendido en la misma, se logra la flotación de algunos flocúlos que salen por la
25 conexión de espumas (210f), así, los flocúlos más pesados caen al fondo de la cámara de desespumado (200b), dando lugar a la formación de lodos. El exceso de gas separado en la cámara de desespumado (200b) puede salir por el respiradero (220a) de la cámara de desespumado (200b). El agua con flocúlos es dirigida hacia la parte inferior de la cámara de desespumado (200b) tal como se muestra en la
30 figura 9, fomentando la sedimentación de los mismos y dando lugar a la formación de lodos. La cama de lodos formada en la parte inferior de la cámara de desespumado

(200b) funciona como un prefiltro para retener pequeños flóculos mezclados en el agua, la cual posteriormente asciende por el principio de vasos comunicantes hacia la parte superior de la cámara de sedimentación (200c).

5 El agua clarificada asciende por las laterales de la cámara de floculación (200a) y de la cámara de desespumado (200b), dirigiéndose hacia las placas inclinadas (222), de manera que los flóculos que lograron pasar a través de la cama de lodos, intentan ascender hacia la parte superior de la cámara de sedimentación (200c), pero chocan contra dichas placas inclinadas (222) agrupándose y dando lugar a la formación de
10 flóculos de mayor tamaño y peso, promoviéndose la sedimentación de los mismos. Los flóculos más pesados caen hacia el fondo de la cámara de sedimentación (200c) aumentando el nivel de la cama de lodos. Entre más compacta sea la cama de lodos, tendrá mayor capacidad de retención de flóculos.

15 Para identificar el nivel de lodo que se encuentra sedimentado en la cámara de sedimentación (200c) se disponen de medios tales como una mirilla de cristal que permita visualizar el interior de esta cámara y así determinar el momento para desalojar cierta cantidad de lodos acumulados.

20 El agua con una mínima presencia de coágulos se eleva a través de las placas inclinadas (222) e inunda la cámara de sedimentación (200c) del clarificador (200), para posteriormente por efecto de la gravedad y por el desbordamiento a través del rebosadero (221d) de la cámara de sedimentación (200c) cae hacia la cámara de clarificados (200d).

25 Para identificar el nivel de agua clarificada que se encuentra sedimentado en la cámara de sedimentación (200c) se disponen de medios tales como una mirilla de cristal que permita visualizar el interior de esta cámara.

30 El agua clarificada inunda la cámara de clarificados (200d) del clarificador (200), en la cual se encuentra ubicados dos interruptores de nivel en una primera y segunda

boquilla de nivel (225a, 225b), uno superior y otro inferior, que encienden o apagan la bomba de clarificados (30). El agua clarificada es succionada por medio de la bomba de clarificados (30) a través de una tubería T2. La bomba de clarificados (30) bombea a través de una tubería (T3) de descarga el agua clarificada y se hace pasar a través del filtro de arena (500) de los conocidos en el tratamiento de agua. En el filtro de arena (500) el agua entra por la parte superior del filtro dirigiéndose hacia el fondo a través de las diferentes camas de arena de diferente granulometría que componen el filtro de arena (500). El agua filtrada asciende a través del un tubo buzo en el interior del filtro y sale por la parte superior del filtro de arena (500).

10

Posteriormente, el agua filtrada se dirige hacia el primer filtro de carbón (600), por medio de una tubería T3a, entrando por la parte superior del filtro y dirigiéndose hacia el fondo a través de las diferentes camas de arena y carbón activado de diferente granulometría que componen el filtro de carbón (600). El agua filtrada asciende a través un tubo buzo en el interior del filtro y sale por la parte superior del filtro de carbón (600).

15

Posteriormente, el agua filtrada se dirige hacia un el según filtro de carbón (700), por medio de una tubería T3b, entrando por la parte superior del filtro y dirigiéndose hacia el fondo a través de las diferentes camas de arena y carbón activado de diferente granulometría que componen el segundo filtro de carbón (700). El agua filtrada asciende a través de un tubo buzo en el interior del filtro y sale por la parte superior del segundo filtro de carbón (700). El arreglo entre los filtros de arena (500) y los filtros de carbón activado (600) y (700), puede ser en serie o en paralelo, según los requerimientos del usuario, o dejar un filtro de carbón (700) en espera de operación (*“stan by”*).

20

25

El agua que sale del filtro de carbón (600) y (700) es enviada por medio de una tubería T4 hacia el tanque de almacenamiento de agua tratada. La tubería T4 contiene un sensor de pH (1030) y un sensor de conductividad (1031). La lectura de pH o conductividad se puede leer directamente en el analizador de pH y

30

conductividad (1032). El monitoreo de las variables se hace en forma continua durante el proceso de tratamiento.

5 Los lodos sedimentados obtenidos en el proceso de tratamiento en el clarificador (200) son enviados hacia el tanque de acondicionamiento de lodos (300), por medio de la tubería T7a y T7 en forma intermitente. Las espumas generadas y evacuadas del clarificador (200) producto del gas generado en la celda de electrocoagulación (100) son al igual que los lodos del clarificador (200) enviadas hacia el tanque de lodos (300) por medio de una tubería T9. El respiradero (220a) del clarificador (200)
10 también es enviado hacia el tanque de lodos por medio de una tubería T8. El tanque de acondicionamiento de lodos (300) se mantiene con agitación intermitente por medio del agitador (350) para evitar que los lodos sedimenten cuando sean enviados al filtro de platos (400).

15 Los lodos del tanque de acondicionamiento de lodos (300) son succionados por la bomba de lodos (20) por medio de una tubería T10 y bombeados por medio de la misma bomba por medio de una tubería de descarga T11a. Existe una recirculación de lodos realizada hacia el tanque de acondicionamiento de lodos (300) a través de una tubería T11c, para aligerar la presión de la bomba de lodos (20) al inicio de la
20 operación del sistema. La alimentación al filtro de platos (400) de los conocidos se hace a través de una tubería T11b. La alimentación de los lodos se realiza por la parte lateral superior del filtro de platos (400), y dirigida hacia la cámara de recepción de los platos (401) pasando en forma paralela a través del cartucho de los platos (402) que conforman el filtro. En los platos (404) del filtro existen medios filtrantes (404a) sostenidos en el soporte del plato (404), adecuados para la separación de los lodos. Cada plato tiene unos canales en su cara superior que dan hacia el centro del mismo. Cuentan también con una salida (404b) central que da a la salida central del filtro de platos (400). El líquido filtrado pasa a través del medio filtrante (404a) hacia la parte central del plato y luego se dirige a la salida de filtrado del plato (404b) en
25 parte central del mismo y luego a la parte central del filtro de platos (400) donde se encuentra la salida del filtrado (401b). El filtrado del cartucho de platos(402) sale por
30

la parte central en la salida de filtrado (401b) del filtro de platos (400), los lodos son retenidos en el medio filtrante (404a) y el filtrado es recirculado al tanque (300) de acondicionamiento de lodos por medio de una tubería T13 para ser tratado.

5 El contenido de los lodos en el tanque de lodos (300) se mantiene en un rango del 10 al 15% en volumen de lodo. Los lodos del tanque (300) de acondicionamiento de lodos se mezclan en una relación 1:3 con el agua residual que alimenta a la bomba de alimentación (10) por medio de la tubería T14 y la dirige hacia la celda de electrocoagulación (100). Como el lodo contenido en el tanque (300) de
10 acondicionamiento de lodos, contiene una gran cantidad de coagulante que se genero "*in situ*", el mezclado de las dos corrientes consistentes en lodos y agua residual a tratar, ayudan al proceso de electrocoagulación, reduciendo la demanda de coagulante generado "*in situ*" necesario para el tratamiento del agua y por ende una reducción en el consumo energético.

15

La filtración del lodo es intermitente y se hace de acuerdo al volumen de agua a tratar y de acuerdo a la cantidad de lodos generados en el clarificador (200). Una vez que se satura (se llena de lodos) el filtro de platos (400), la presión en el manómetro (1060) se eleva hasta la presión máxima de operación del mismo (70 Psi), una vez
20 que llega a esta presión un pressóstato (1020) en el filtro de platos (400) para la bomba de lodos (30). El paro de la bomba enciende una alarma luminosa (1021) (no ilustrada), la cual indica que es tiempo de limpiar el filtro de platos (400). Para retirar el lodo del filtro de platos (400), se remueven los tornillos (403a) de la tapa (403) superior del filtro y se abre el filtro de platos (400) para retirar el cartucho de platos
25 (402) que contienen el lodo. El líquido remanente en el filtro de platos (400) se retira a través de una purga (401c) y se vacía en el tanque de acondicionamiento de lodos (300). Para retirar el lodo se aflojan los tornillos de sujeción (402d) de los platos y se retira uno a uno cada plato. El medio filtrante (404a) se puede retirar del plato (404) con el lodo, el lodo se retira en forma manual del medio filtrante (404a) utilizando una
30 espátula de plástico o cualquier otro medio adecuado. El lodo que se retira del medio filtrante contiene un 20% de humedad (liquido).

Los filtros de arena (500) y los filtros de carbón (600 y 700) se regeneran (limpian) después de tratar aproximadamente de 30 a 40 m³ de volumen de agua residual. La limpieza de los filtros de arena (500) y filtros de carbón (600) y (700) se lleva a cabo cuando el sistema de tratamiento no esté operando de preferencia. La regeneración de los filtros de arena (500) y filtros de carbón (600) y (700) se puede hacer utilizando agua limpia de la red o agua tratada del clarificador (200). Preferentemente la regeneración se hace con agua procedente del clarificador (200). El agua para la regeneración se toma de la cámara de clarificación (200d) del clarificador (200) a través de la tubería T2 y por medio de la bomba de clarificados (20), se bombea a través de la tubería T3 y T5. Los filtros contienen una válvula multi-vía de las ya conocidas y el agua de regeneración conducida por medio de la tubería de agua de lavado T5a, T5b y T5c, se introduce a través de uno de los puertos de la válvula multi-vía hacia el interior de los filtros de arena (500) o de cada uno de los filtros de carbón (600) y (700). De preferencia la regeneración de los filtros de arena (500) y los filtros de carbón (600 y 700) se hace de forma independiente.

En el filtro de arena (500) o en los filtros de carbón (600) y (700) el agua de regeneración entra por la parte central de cada uno de los filtros a través del tubo buzo, dirigiéndose hacia el fondo de los mismos, después el agua de regeneración asciende a través de las diferentes camas de arena de diferente granulometría o de las diferentes camas de arena y de carbón activado, que componen el filtro de arena (500) o los filtros de carbón (600) y (700), el agua de lavado se dirige desde la parte inferior hasta la parte superior del mismo arrastrando los sólidos que hayan quedado atrapados en cada una de las camas de arena o de carbón activado. El agua de regeneración y los sólidos salen por medio de otro puerto de la válvula multi-vía y después a la salida de los filtros de arena (500) o de los filtros de carbón (600) y (700), el agua de la regeneración se canaliza hacia el tanque de acondicionamiento de lodos (300) por medio de una tubería T6, con la finalidad de tratar el agua empleada para la regeneración de los filtros de arena (500) y filtros de carbón (600) y (700). La regeneración de los filtros de arena (500) y filtros de carbón (600) y (700) termina cuando de manera visual se determina que el agua sale limpia y sin sólidos.

Cuando se regeneran los filtros de arena (500) y filtros de carbón (600) y (700), es preferible que exista una cantidad de lodos en el tanque (300) de acondicionamiento de lodos que favorecerán la coagulación del agua de regeneración. Una vez que se haya llenado el tanque (300) de acondicionamiento de lodos de agua de regeneración; se puede canalizar a través de la tubería T14 hacia la bomba (10) de alimentación y luego hacia la celda de electrocoagulación (100). Esta agua de regeneración se puede mezclar con el agua residual de alimentación a la celda de electrocoagulación (100) como sucede con el filtrado obtenido de la separación de los lodos en el filtro de platos (400). La relación de agua residual y agua resultado de la regeneración que se puede alimentar a la celda de electrocoagulación (100) es de 1:3.

Como resultado de la forma de operación en el sistema de tratamiento, en cuanto al manejo de lodos, espumas, agua filtrada proveniente del filtro de platos (400) y el agua de regeneración, proveniente de los filtros de arena (500) y los filtros de carbón (600 y 700), hacen que del sistema se purgue tan solo una mínima cantidad de agua.

RESULTADOS DE LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

Un ejemplo del funcionamiento del sistema es presentado cuando el equipo funciona en continuo:

Tabla 1

Caudal	Corriente	Voltaje	Consumo Energético	DQO mg/l		
				entrada	salida	% remoción
l/min	A	V	Kwh/m3			
2.2	22.29	5.48	1.32	683	35	95.2
2.2	20.63	6.18	1.08	725	23	96.6
2.2	22.35	5.36	0.91	920	84	90.9

En la Tabla 1, se aprecia una eficiencia mínima del 90% de remoción de materia orgánica leída como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con las condiciones de operación de un caudal de 2.2 l/min y una intensidad del alrededor de 22 A y un diferencia de potencial de 5.5 V.

5

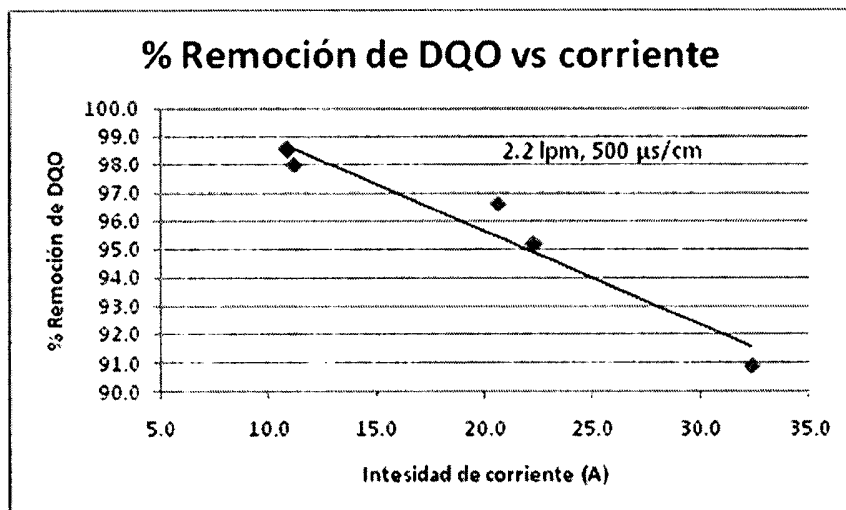
Tabla 2

Caudal	Corriente	Voltaje	Consumo Energético	Color		
				entrada	salida	% remoción
l/min	A	V	Kwh/m3			
2.2	22.29	5.48	1.32	380	11	97.1
2.2	20.63	6.18	1.08	428	17	96.0
2.2	22.35	5.36	0.91	350	18	94.9

En la Tabla 2, se aprecia una eficiencia mínima del 90% de remoción color, con las condiciones de operación de un caudal de 2.2 l/min y una intensidad del alrededor de 22 A y un diferencia de potencial de 5.5 V.

10

Gráfica 1



15

20

En la Gráfica 1 podemos observar que para un flujo de 2.2 l/min, un aumento de corriente no mejora la remoción de DQO, por lo que es necesario mantener una baja intensidad de corriente. Otro ejemplo del sistema, es el consumo de energía de la celda de electrocoagulación al variar el caudal y mantener una densidad de corriente de 110 A/M² y un pH entre 6.5 y 7.

Tabla 3

Caudal l/min	Consumo energético kwh/m ³	Caudal l/min	Consumo energético kwh/m ³
0.80	9.47	2.20	1.56
0.80	11.12	2.24	1.32
0.98	3.08	2.40	2.00
1.04	8.87	2.52	1.21
1.60	2.08	2.60	0.38
1.60	1.10	2.65	0.74
1.60	1.54	3.20	0.67
1.94	4.06	3.20	0.37
2.18	1.08	3.43	0.29

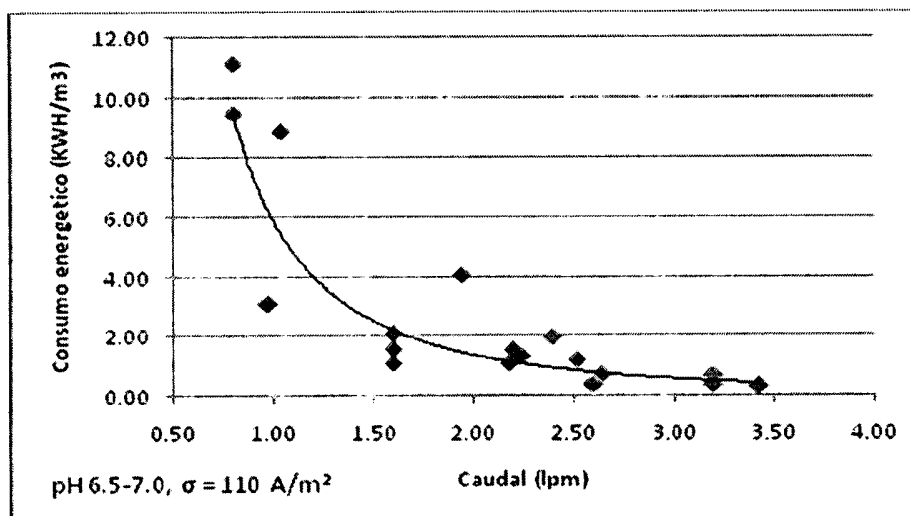
15

De la tabla 3, podemos observar el comportamiento que guarda del caudal contra el consumo energético, manteniendo las siguientes condiciones mostradas en la gráfica No. 2:

Gráfica 2

20

25



En la gráfica 2 podemos observar que el consumo energético aumenta con forme se disminuye el caudal manteniendo las condiciones señaladas.

Tabla 4a

FLUJO LPM	CORRIENTE A	VOLTAJE V	PH	DQO		
				ENTRADA mg/l	SALIDA mg/l	% REMOCION
3.20	18.86	6.94	5.9	351	40	88.6
3.20	19.81	3.40	6.4	950	37	96.1
2.24	22.29	5.48	6.1	683	35	95.2
2.18	20.63	6.18	6.0	725	23	96.6
2.60	32.35	12.36	6.2	920	84	90.9
2.65	10.89	10.49	6.8	1550	23	98.5
2.52	11.15	13.85	6.7	850	23	97.3

5

Tabla 4b

FLUJO LPM	CORRIENTE A	VOLTAJE V	PH	DQO		
				ENTRADA mg/l	SALIDA mg/l	% REMOCION
1.94	32.10	12.37	8.2	1400	71	94.9
1.60	8.63	14.33	7.7	670	39	94.2
1.60	9.40	12.80	6.4	850	23	97.3
1.04	30.21	17.11	8.0	2100	23	98.9
0.80	25.26	18.00	7.8	3150	23	99.3
0.80	30.86	17.46	8.0	1800	23	98.7
0.98	10.11	14.31	7.4	3450	35	99.0

Tabla 5a

FLUJO LPM	CORRIENTE A	VOLTAJE V	PH	COLOR U Pt/Co		
				ENTRADA	SALIDA	% REMOCION
3.20	18.86	6.94	5.9	380	21	94.5
3.20	19.81	3.40	6.4	325	5	98.5
2.24	22.29	5.48	6.1	380	11	97.1
2.18	20.63	6.18	6.0	428	17	96.0
2.60	32.35	12.36	6.2	350	18	94.9
2.65	10.89	10.49	6.8	316	47	85.1
2.52	11.15	13.85	6.7	215	11	94.9

Tabla 5b

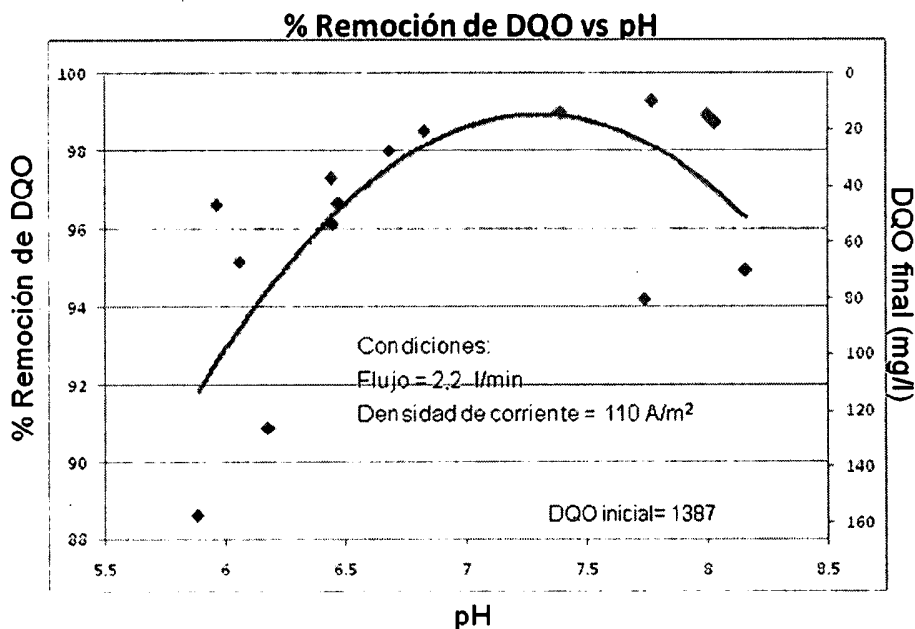
FLUJO	CORRIENTE	VOLTAJE	PH	COLOR U Pt/Co		
LPM	A	V		ENTRADA	SALIDA	% REMOCION
1.94	32.10	12.37	8.2	312	7	97.8
1.60	8.63	14.33	7.7	276	7	97.5
1.60	9.40	12.80	6.4	325	2	99.4
1.04	30.21	17.11	8.0	316	9	97.2
0.80	25.26	18.00	7.8	325	11	96.6
0.80	30.86	17.46	8.0	219	3	98.6
0.98	10.11	14.31	7.4	260	7	97.3

La tabla resume los datos de operación del sistema de tratamiento. Se puede observar que el sistema trabaja con una eficiencia mínima de 90% a caudales altos y remociones mayores al 98% a caudales bajos.

La grafica siguiente muestra la remoción de DQO en función del pH de salida del agua tratada. De preferencia el pH debe 6.5 a 8 para tener una eficiencia mayor al 96% de remoción de DQO.

10

Grafica 3



REIVINDICACIONES.

1. Sistema de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual industrial que comprende una bomba de alimentación (10), una celda de electrocoagulación (100) con una conexión de entrada de agua residual (101), un rectificador de corriente (150), un clarificador (200), un bomba de clarificados (20), filtros de arena (500), filtro de carbón activado (600, 700), un tanque de acondicionamiento de lodos (300), un bomba de lodos (30), un agitador (350), un filtro de platos (400) y sistema de control (800), en donde una salida del clarificador (200) que corresponde a la salida de clarificados se dirige hacia una serie de filtros (500, 600 y 700) caracterizado por que salida de la celda (102) de electrocoagulación para la generación de coagulante "in situ" está acoplada directamente a la entrada del clarificador (201); una salida de lodos (210g), una salida de espumas (210f) y una salida de gases (220) del clarificador (200) están conectadas al tanque de acondicionamiento de lodos (300); una salida de filtrados procedente del filtro de platos (400) esta conectada al tanque de acondicionamiento de lodos (300); una salida de agua de regeneración de los filtros de arena (500) y de carbón (600 y 700) esta conectada al tanque de acondicionamiento de lodos (300); una de las salidas del tanque de acondicionamiento de lodos (300) esta conectada a la bomba de alimentación (10) del sistema.
2. Sistema de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual industrial tal como el reclamado en la reivindicación 1, en donde, una salida del tanque de acondicionamiento de lodos (300) esta conectada a una bomba de lodos (30).
3. Bomba de lodos (30) tal como el reclamado en la reivindicación 2, en donde la salida de esta bomba esta conectada al filtro de platos (400).
4. Sistema de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual industrial tal como el reclamado en la reivindicación 1, en donde una salida de clarificados (224) se conecta con una bomba de clarificados (20).

5. Bomba de clarificados, tal como la reclamada en la reivindicación 4, en donde la salida de esta bomba se conecta a unos filtros de arena (500) y de carbón activado (600 y 700).

- 5 6. Celda de electrocoagulación para un sistema de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual industrial tal como el reclamado en la reivindicación 1 que comprende una carcasa (110) conformada por una caja (111) con una entrada (101), una salida (102) con una tapa superior (112), caracterizado por una saliente (116) perpendicular a la caja (111), un módulo de electrodos (120)
10 formado por una tapa inferior (113) con una primera ranura de alojamiento (113c) donde se aloja un par de mordazas de ánodo (121a) con ranuras (121b) y una segunda ranura de alojamiento (113d) donde se alojan un par mordazas de cátodo (122a) con ranuras (122b), en donde se acoplan de manera vertical unas placas de electrodos (125, 126) mediante unas cejas (125b y 126b) que se
15 proyectan desde el cuerpo plano rectangular (125a, 126a) de dichas placas y así configurar un canal de mordazas (124), resultando un arreglo alternado de una placa de ánodo (125) y una placa de cátodo (126); un separador de placas inferior (119a) y un separador de placas superior (119b); un par de bornes (123) con medios para conectarse a cada par de mordazas (121a, 122a) a través de
20 una de ellas.

7. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que las placas paralelas para permitir un flujo vertical recto a lo largo de la caja (111).
25

8. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que la caja (111) es vertical.

9. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6
30 caracterizada por que las placas tienen una relación de dimensión en donde el largo sea 2 veces el ancho de la placa (125, 126);

10. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que la caja (111) tiene al menos un par de soportes (117a, 117b) con barrenos pasados (118a, 118b) para fijarlo en estructura adecuada.
- 5
11. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que la tapa inferior (113) tiene cejas en los cuatro lados para formar una brida de tapa inferior (113g).
- 10
12. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que la caja tiene una brida inferior (114a) para acoplar la tapa inferior (113).
13. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que la saliente tiene una brida superior (114b).
- 15
14. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que en la saliente (116) se encuentra la salida (102) de la celda de electrocoagulación (100).
- 20
15. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que existe un empaque (115a) entre la brida inferior (114a) y la tapa inferior (113).
- 25
16. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que una de cada par de mordazas (121a, 122a) tiene un barreno de borne (121g, 122g) paralelo a las ranuras (121b, 122b).
- 30
17. Mordazas (121a, 122a) tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que una de cada par de mordazas (121a, 122a) tiene un

barreno pasados (121c y 122c) horizontales, que son perpendiculares al maquinado que define dichas ranuras (121b y 122b) de las mordazas.

- 5 18. Mordazas (121a, 122a) tal como la reclamada en la reivindicación 17 caracterizada por que en el lado opuesto a la cara con ranura se maquina una caja (121d y 122d) para alojar una cabeza de tornillo.
- 10 19. Mordazas (121a, 122a) tal como la reclamada en la reivindicación 18 caracterizada por que la mordaza contraria de cada par de mordazas, cuenta con barrenos roscados (121e y 122e) horizontales respectivamente, en donde los ejes de dichos barrenos roscados (121e y 122e) se alinean con los barrenos pasados (121c y 122c) de la mordaza correspondiente.
- 15 20. Mordazas (121a, 122a) tal como la reclamada en la reivindicación 19 caracterizada por que el par de mordaza de ánodo (121a) están unidas con tornillos (121f) que se proyectan a través de los barrenos pasados (121c) y se rosca en el barreno roscado (121e) alojando la cabeza de cada tornillo en su respectiva caja (121d) y el par de mordazas de cátodo (122a) están unidos con tornillos (122f) que se proyectan a través de los barrenos pasados (122c) y se
20 rosca en el barreno roscado (122e), alojando la cabeza en la caja (122d) correspondiente.
- 25 21. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que los bornes se forma de un cuerpo hexagonal (123a) y un extremo roscado (123b).
- 30 22. Bornes tal como los reclamados en la reivindicación 21 caracterizados por que el extremo roscado (123b) es de dimensión suficiente para que se pueda acoplar en los barrenos de borne (121g, 122g).

23. Bornes tal como los reclamados en la reivindicación 21 caracterizados por que el extremo opuesto al extremo roscado (123b) tienen un barreno ciego (123c) roscado para unir en este un tornillo (123d) o cualquier otro medio conocido que permita fijar una terminal de un cable que conduce corriente

5

24. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que el cuerpo de los bornes (123) se alojan en una caja para bornes (113d).

10

25. Celda de electrocoagulación tal como la reclamada en la reivindicación 6 caracterizada por que en la caja para bornes (113d) existen unos sellos (113f) entre el cuerpo de los bornes y la tapa inferior (113).

15

26. Clarificador (200) de un sistema de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual industrial tal como el reclamado en la reivindicación 1, que comprende una pared lateral izquierda (210), una pared lateral derecha (211), una pared frontal (212) y una pared posterior (213) en donde se configura una cámara de desespumado (200b) y una cámara de sedimentación (200c) con placas inclinadas (222), caracterizado por una transición (219) que desvía el flujo de una trayectoria horizontal hacia una vertical, la cual se comunica con una entrada de una cámara de floculación (200a) formada por una tercera sección de la pared lateral izquierda (210c) y una pared lateral interior inclinada (214) en donde se disponen medios para desarrollar un flujo laminar, la cual se comunica con una cámara de desespumado (200b) en donde se encuentra una conexión de espumas (210f) y un respiradero atmosférico; la cámara de desespumados (200b) formada por la pared lateral interior inclinada (214), una pared lateral derecha interna (221), una pared frontal interna (216) y una pared posterior interna (217) y una tapa de desespumado (220) que sella dicha cámara de desespumados (200b) la cual se comunica a través de un claro de paso (216j, 217j) con una cámara de sedimentación (200c), formada en ambos lados de la cámara de desespumados (200b) por el espacio entre la pared frontal (212) con

25

30

la pared frontal interna (216), así como el espacio entre la pared posterior (213) con la pared posterior interna (217) en donde se colocan las placas inclinadas (222); una pared lateral derecha interna (221) con unas ranuras en el borde superior que definen un rebosadero (221d) la cual delimita una cámara de clarificados (200d), que cuenta con una descarga de liquido clarificado (224).

5

27. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que la pared lateral izquierda (210), esta formada por una primera sección central vertical (210a) donde se encuentra la entrada del clarificador (201), una segunda sección inferior inclinada (210b) en donde se encuentra una conexión de lodos (210g) horizontal, una tercera sección superior inclinada (210c) la cual es el reflejo de la segunda sección de pared inclinada inferior (210b), una cuarta sección superior vertical (210d) en donde se instala una conexión de espumas (210f) y una quinta sección de pared de fondo horizontal (210e).

10

15

28. Segunda sección inferior inclinada (210b) tal como la reclamada en la reivindicación 27, la cual se proyecta en un ángulo de 45° respecto al plano de la primera sección de pared vertical (210a) en dirección a la corriente del fluido.

20

29. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que la pared lateral derecha vertical (211) es plana y perpendicular a la quinta sección pared de fondo horizontal (210e).

25

30. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que los bordes laterales de la pared frontal (212) y la pared posterior (213) son de forma coincidente a la forma de las paredes laterales derecha e izquierda y sus bordes superiores son de la misma altura que el borde superior de la pared lateral derecha (210) e izquierda (211), de tal forma que se genera un recipiente abierto por la parte superior.

30

31. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que la pared interior inclinada (214) es paralela a la tercera sección de pared inclinada superior (210c).
- 5 32. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que el ancho del canal de la cámara de floculación (200a) es de un tercio del ancho total del clarificador (200) y la longitud de la cámara de floculación (200a) corresponde a un tercio de la altura total del clarificador (200).
- 10 33. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que los medios para desarrollar un flujo laminar son una serie de pares de deflectores (215).
34. Pares de deflectores (215) tal como los reclamados en la reivindicación 33, en
15 donde uno de cada par se encuentra perpendicular a una pared interior inclinada (214) y la placa contraria del par de dichas placas es sustancialmente horizontal para evitar la formación de acumulaciones de gas.
35. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado
20 por que el borde izquierdo de las paredes interna frontal (216) e interna posterior (217) define una primera sección de borde izquierdo central vertical (216a, 217a), una segunda sección de borde izquierdo inferior inclinado (216b, 217b), una sección de borde izquierdo superior inclinado (216c, 217c) el cual es espejo de la
25 segunda sección de borde izquierdo inferior inclinado (216b, 217b), una sección de borde izquierdo superior vertical (216d, 217d) y una sección de borde inferior horizontal (216e, 217e)
36. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado
30 por que el borde lateral derecho de las paredes internas frontal e interna posterior (216, 217) es formado por una sección inferior de borde derecho vertical (216f, 217f), una sección central de borde derecho inclinado (216g,

217g), una sección de borde derecho superior vertical (216h, 217h) y un borde superior horizontal (216i, 217i).

37. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que la tapa de desespumado (220) la cual se extiende a lo largo de dicho borde superior horizontal (216i, 217i) y de la sección de borde derecho superior vertical (216h, 217h) de las paredes internas frontal y posterior (216, 217)
38. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que el en donde se configura la separación paralela entre la sección de borde izquierdo superior inclinado (216c, 217c) y la sección central de borde derecho inclinado (216g, 217g) de la pared internas frontal (216) e interna posterior (217) es el doble de la distancia entre la sección de borde izquierdo superior inclinado (216c, 217c) y la pared interior inclinada (214) lo que define la cámara de desespumado (200b).
39. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que la pared lateral derecha interna (221) esta formada por una sección inferior vertical de pared lateral derecha interna (221a), una sección central inclinada de pared lateral derecha interna (221b) y una sección superior vertical de pared lateral derecha interna (221c) en la cual se maquina unos canales para definir el rebosadero (221d).
40. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que la pared lateral derecha interna (221) con el mismo ancho que el ancho del clarificador (200) y esta unida de manera hermética a las paredes frontal (212), posterior (213) y de fondo (210e).
41. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que las placas inclinadas (222) tienen una longitud igual que la sección central inclinada de la pared lateral derecha interna (221b).

- 5 42. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que la transición (219) que tiene una entrada de fluido (201) con un área de una primera sección transversal y una salida de una sección transversal de menor área que la entrada de fluido (201), la cual comunica con una entrada de la cámara de floculación.
- 10 43. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que un claro de paso (216j, 217j) es formado entre la quinta sección de pared de fondo horizontal (210e) y la sección de borde inferior horizontal (216e, 217e) de dichas paredes internas
- 15 44. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que la cámara de clarificados (200d) es formada por el espacio entre la pared lateral derecha interna (221) y la pared lateral derecha (211).
- 20 45. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que las placas inclinadas (222) en la cámara de sedimentación (200c) se colocan sobre unos soportes de placas (223) y se extienden de manera perpendicular desde la pared frontal (212) hasta la pared frontal interna (216), así como desde la pared posterior (213) hasta con la pared posterior interna (217) para quedar separadas del fondo de esta cámara.
- 25 46. Clarificador (200), tal como el reclamado en la reivindicación 26, caracterizado por que las placas inclinadas (222) tienen unos separadores de placas (222a) que se encuentran generados en una de la caras de cada placa inclinada (222) de modo que al estar superpuestas existe una separación entre ellas.
- 30 47. Tanque de acondicionamiento de lodos (300) para un sistema de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual industrial tal como el reclamado en la reivindicación 1 que comprende un cuerpo cilíndrico con un extremo abierto (300a) y un extremo cerrado por una pared de fondo de tanque

(300b), con 4 deflectores (300c) en la superficie interna distribuidos en ángulo recto, por una primer boquilla (310a) de entrada de lodos procedentes del clarificador, una boquilla de entrada de recirculación (310c) o "by pass" de una bomba de lodos (20) una primera boquilla de descarga de lodos (300d) y un
5 agitador (350) caracterizado por que la primer boquilla (310a) de entrada de lodos también es una entrada de gases y espumas procedentes del clarificador; una segunda boquilla de entrada de filtrados (310b); una segunda boquilla de
10 descarga de lodos (300e); una boquilla de entrada para un indicador o interruptor de nivel superior (320a); una boquilla de entrada para un interruptor de nivel inferior (320b); una tapa superior de tanque (330) con una compuerta de agitador
(331) y una compuerta de inspección (332).

48. Tanque de acondicionamiento de lodos (300) tal como el reclamado en la
15 reivindicación 47, caracterizado por que el cuerpo cilíndrico con un extremo abierto (300a) es de un material resistente a la corrosión tal como el acero inoxidable.

49. Método de tratamiento de agua para un sistema de electrocoagulación para el
20 tratamiento de agua residual industrial como el reclamado en la reivindicación 1, que comprende las etapas de:

- a) conectar el módulo de electrodos (124) y alimentar con corriente directa el ánodo (121) por medio de un rectificador (150);
- b) bombear agua residual desde un contenedor temporal hacia una celda de electrocoagulación (100) mediante una bomba de alimentación (10);
- 25 c) hacer pasar el agua residual por una conexión de entrada (101) en una caja (111) vertical de la carcasa (110) que forma la celda de electrocoagulación (100) para cerrar el circuito y hacer que los iones se dirijan desde el ánodo (121) hasta el cátodo (122) a través del agua a tratar;
- d) generar un coagulante "in situ" por la reacción electroquímica de los
30 electrodos energizados y el contacto de éstos con el agua con materia orgánica suspendida;

e) generar coágulos de materia orgánica por la acción química del coagulante generado *"in situ"* con ésta;

método caracterizador por:

- 5 f) conducir el fluido de manera horizontal a través de un canal de mordazas (124) de un modulo de electrodos (120) ubicado dentro de la celda de electrocoagulación (100) para la distribución uniforme de la masa de agua;
- g) dirigir el fluido por una trayectoria vertical y paralela al módulo de electrodos (124) de la celda de electrocoagulación (100);
- 10 h) desalojar el agua con coágulos por una saliente (116) perpendicular a la caja (111) hacia la entrada (201) de un clarificador (200);
- i) forzar al fluido a realizar un cambio de velocidad en una transición (222) mediante el cambio de sección transversal de mayor área a menor área entre la entrada (201) y la salida de la transición (219c) para provocar una expansión del fluido;
- 15 j) dirigir el flujo hacia la entrada de una cámara de floculación (200a) del clarificador (200) para provocar una flujo laminar;
- k) en la cámara de floculación (200a) hacer impactar el agua con coágulos en deflectores (215) para liberar el gas y provocar el agrupamiento de los coágulos de materia orgánica para la formación de flóculos y combinar del gas con coágulos para la formación de espumas;
- 20 l) conducir el agua con flóculos, espumas y gas a una cámara de desespumado (200b) para que ahí retirar la espuma a través de una conexión de espuma (210f) y así, separarla del agua floculada, además de separar el gas del liquido a través de un respiradero atmosférico (210g),
- 25 conduciendo el gas y las espumas hacia un tanque de acondicionamiento de lodos (300);
- m) inundar la cámara de sedimentación (200c) con agua combinada con flóculos por el principio de vasos comunicantes;
- 30 n) formar un lecho de lodos a partir de la formación de flóculos de mayor tamaño y peso que se precipitan hacia el fondo tanto de la cámara de

desespumado (200b) como de la cámara de sedimentación (200c) y hasta cubrir el claro de paso (215j , 216j);

- 5 o) prefiltrar el agua floculada que se dirige desde la cámara de desespumado (200b) hacia la cámara de sedimentación mediante el lecho de lodos formado;
- 10 p) en la cámara de sedimentación (200c) hacer pasar el agua a través de unas placas inclinadas (222) a través del espacio formado por los unos separadores de placas (222a) que se encuentran generados en una de la caras de cada una de las placas inclinadas (222) de modo que los choques entre los coágulos que pudieron haber pasado el lecho de lodos y las placas se agrupen dando lugar a la formación nuevamente flóculos de mayor tamaño y peso para precipitarse al fondo de esta cámara;
- 15 q) dirigir el caudal de agua libre de flóculos de materia orgánica sobre dicha pared lateral derecha interna (221) y hasta las ranuras del rebosadero (221d) para posteriormente conducirse hacia la cámara de clarificados (200d);
- r) colectar el agua clarificada en la cámara de clarificados(200d) del clarificador (200) y desalojarla mediante una boquilla (224a) en la sección de pared de fondo horizontal (210e) que corresponde a la cámara de clarificados (200d);
- 20 s) bombear el liquido clarificado a través de un filtro de arena (500) mediante una bomba de clarificados (30);
- t) hacer pasar el liquido filtrado a través de un primer filtro de carbón activado (600);
- u) hacer pasar el liquido filtrado a través de un segundo filtro de carbón activado (700);
- 25 v) conducir el lodo formado en la cámara de desespumado (200b) y de sedimentación (200c) hacia un tanque de acondicionamiento de lodos (300);
- w) conducir la espumas formadas en la cámara de desespumado (200b) del clarificador (200) hacia el tanque de acondicionamiento de lodos (300);
- 30 x) recircular parte del lodo bombeado hacia el tanque de acondicionamiento de lodos (300) mediante una bomba de lodos (20);

- y) gradualmente desviar el lodo bombeado del tanque de acondicionamiento de lodos (300) hacia un filtro de platos (400) con una válvula de paso (V-21);
- z) el líquido filtrado conducirlo nuevamente hacia el tanque de acondicionamiento de lodos (300);
- 5 aa) enviar de manera intermitente el contenido del tanque de acondicionamiento de lodos (300) mientras que el monitoreo de la concentración de lodos en el tanque indique una relación entre lodos y líquido de un 10% a un 15%;
- bb) Retirar el lodo obtenido en el filtro de platos (400) en forma de disco con una baja humedad según sea la saturación de los medios filtrantes del filtro de platos;
- 10 cc) una vez superada la relación entre lodos y líquido bombear el contenido del tanque de acondicionamiento de lodos (300) hacia la bomba de alimentación (10);
- dd) Bombeo de la mezcla de agua residual y lodo proveniente del tanque de acondicionamiento de lodos (300) residual hacia la celda de electrocoagulación (100) para aprovechar el coagulante presente en los lodos;
- 15 ee) Recircular el agua de regeneración (lavado) de los filtros de arena (500) y los filtros de carbón activado (600 y 700) hacia el tanque de acondicionamiento de lodos (300) para tratar el agua utilizada en la regeneración de los filtros en el sistema de electrocoagulación;
- 20
50. Método de tratamiento de agua residual industrial tal como el reclamado en la reivindicación 49, caracterizado por que la corriente directa el ánodo (121)
- 25 dependerá del factor de conductividad del agua residual a tratar, el caudal que se pretende tratar, el área de los electrodos;
51. Método de tratamiento de agua residual industrial tal como el reclamado en la reivindicación 49, caracterizado por que las etapas para regenerar los filtros de arena y de carbón activado consiste de:
- 30 A).- colocar las válvulas multi-vías de los filtro en una posición de regeneración;

B) bombear agua de la cámara de clarificados hacia la salida de los filtros de arena;

C) evacuar los contaminantes retenidos en las distintas camas de arena de diferente granulometría con el agua inyectada en la salida de los filtros;

5 D) conducir el agua de regeneración hacia una salida que conduce hacia el tanque de acondicionamiento de lodos (300);

E) monitorear la presencia de contaminantes en el agua de regeneración;

F) colocar las válvulas multi-vías en una posición de filtración.

10 52. Método para regenerar los filtros de arena y de carbón activado tal como el reclamado en la reivindicación 51, caracterizado en la etapa B) puede emplearse agua de la limpia de la red.

15 53. Método para regenerar los filtros de arena y de carbón activado tal como el reclamado en la reivindicación 51, caracterizado por que el agua de regeneración de los filtros de arena (500) y filtros de carbón (600 y 700) es tratada en el sistema de electrocoagulación tal como el reclamado en la reivindicación 1.

RESUMEN

La presente invención se refiere a un sistema de electrocoagulación para la remoción de la materia orgánica, inorgánica y otras partículas suspendidas en el tratamiento de aguas industriales, mediante la generación de coagulante *"in situ"*.

5

El sistema de electrocoagulación comprende, una celda de electrocoagulación, un rectificador de corriente, un clarificador, un tanque de lodos, una bomba para la alimentación, una para lodos, una para clarificados, un filtro de platos, uno de arena y un par de carbón activado para pulir el agua tratada.

10

Esta invención proporciona una celda de electrocoagulación que integra un módulo de electrodos, que reduce el número de elementos, resultando un equipo de fácil construcción y mantenimiento. En el funcionamiento de la celda se aprovecha un flujo del agua paralelo a los electrodos, reduciendo las incrustaciones en ellos y manteniendo la eficiencia de la celda.

15

El clarificador contiene una cámara de floculación, una de desespumado, otra de sedimentación y una más de clarificados, que aprovechan las características de la celda para fomentar la floculación de la materia orgánica sin requerimiento de reactivos químicos.

20

En el sistema de electrocoagulación se recircula los lodos del tanque de acondicionamiento para disminuir el consumo de coagulante generado *"in situ"* aprovechado el coagulante presente en los lodos y así disminuir la demanda energética por parte de la celda, además el sistema trata el agua utilizada para regenerar los filtros, reduciendo con esto las purgas del sistema que conlleva al desechamiento de agua.

25

Figura 1

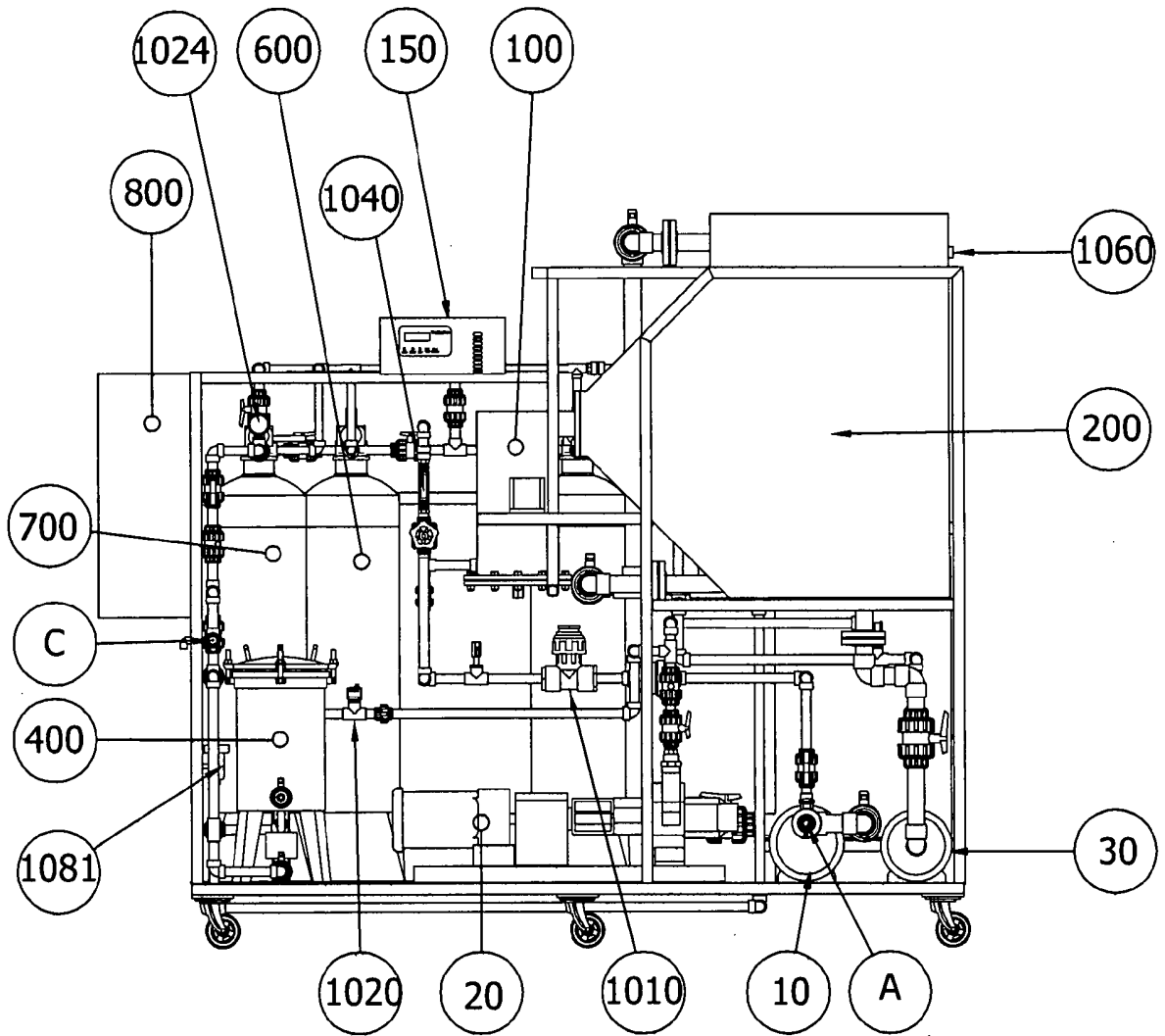


Figura 2

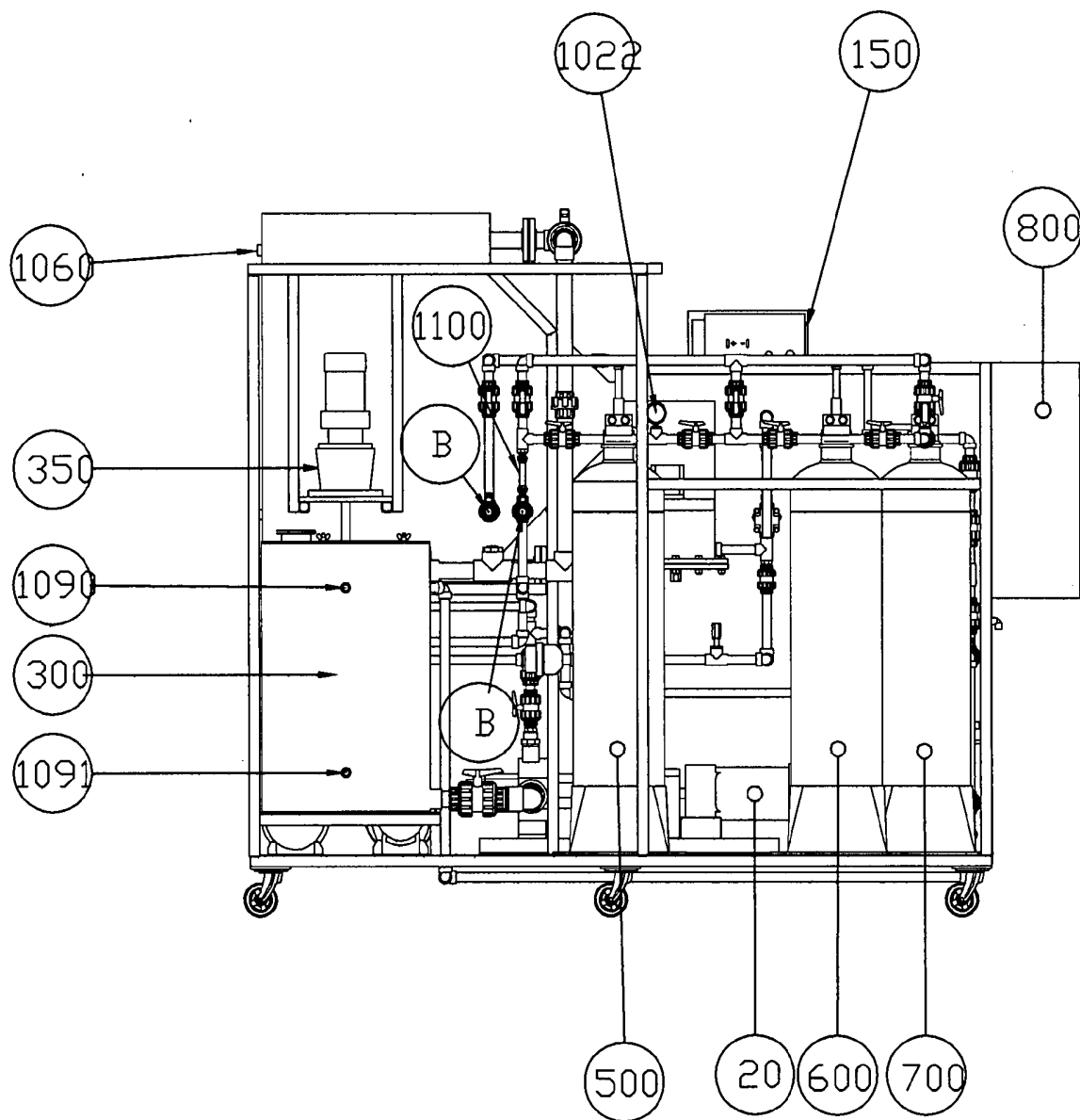


Figura 3

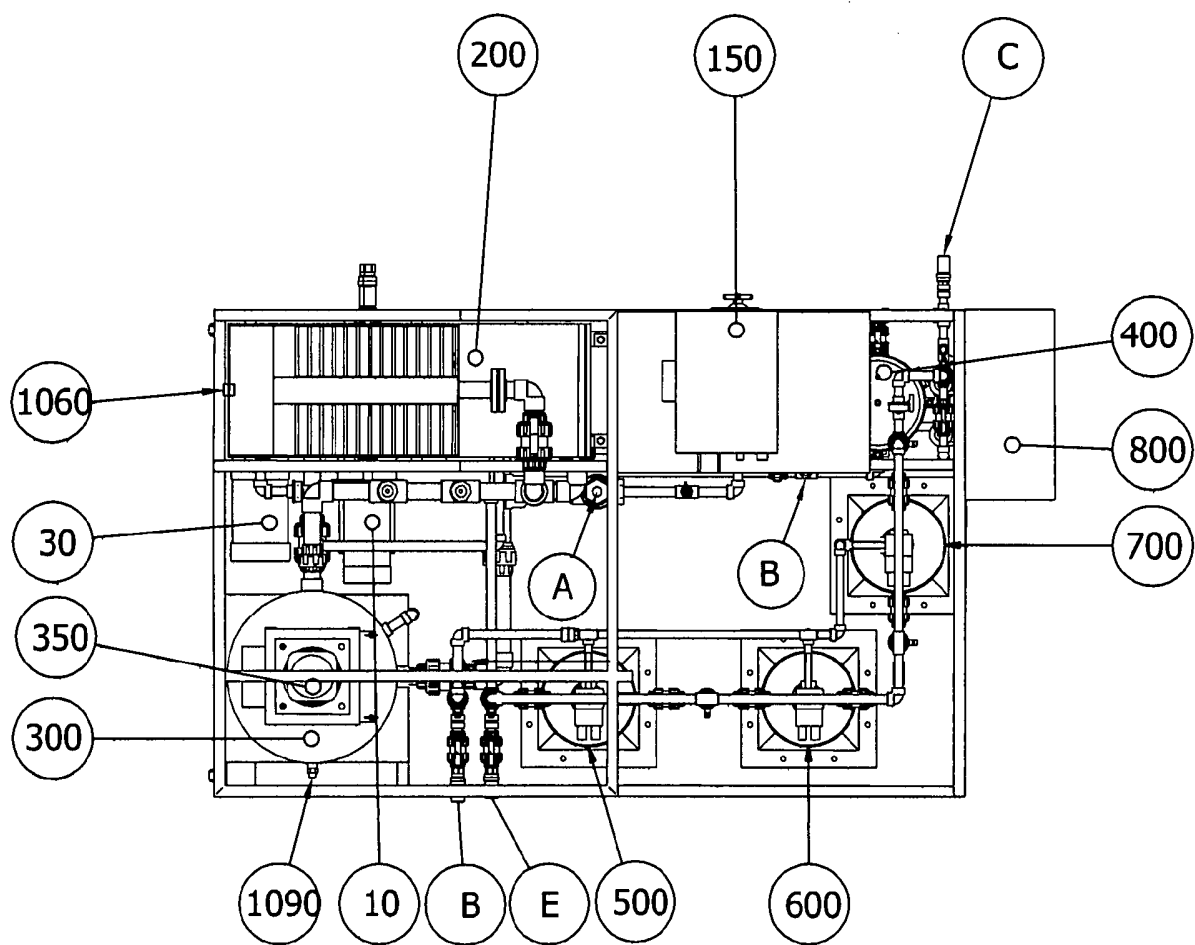


Figura 4

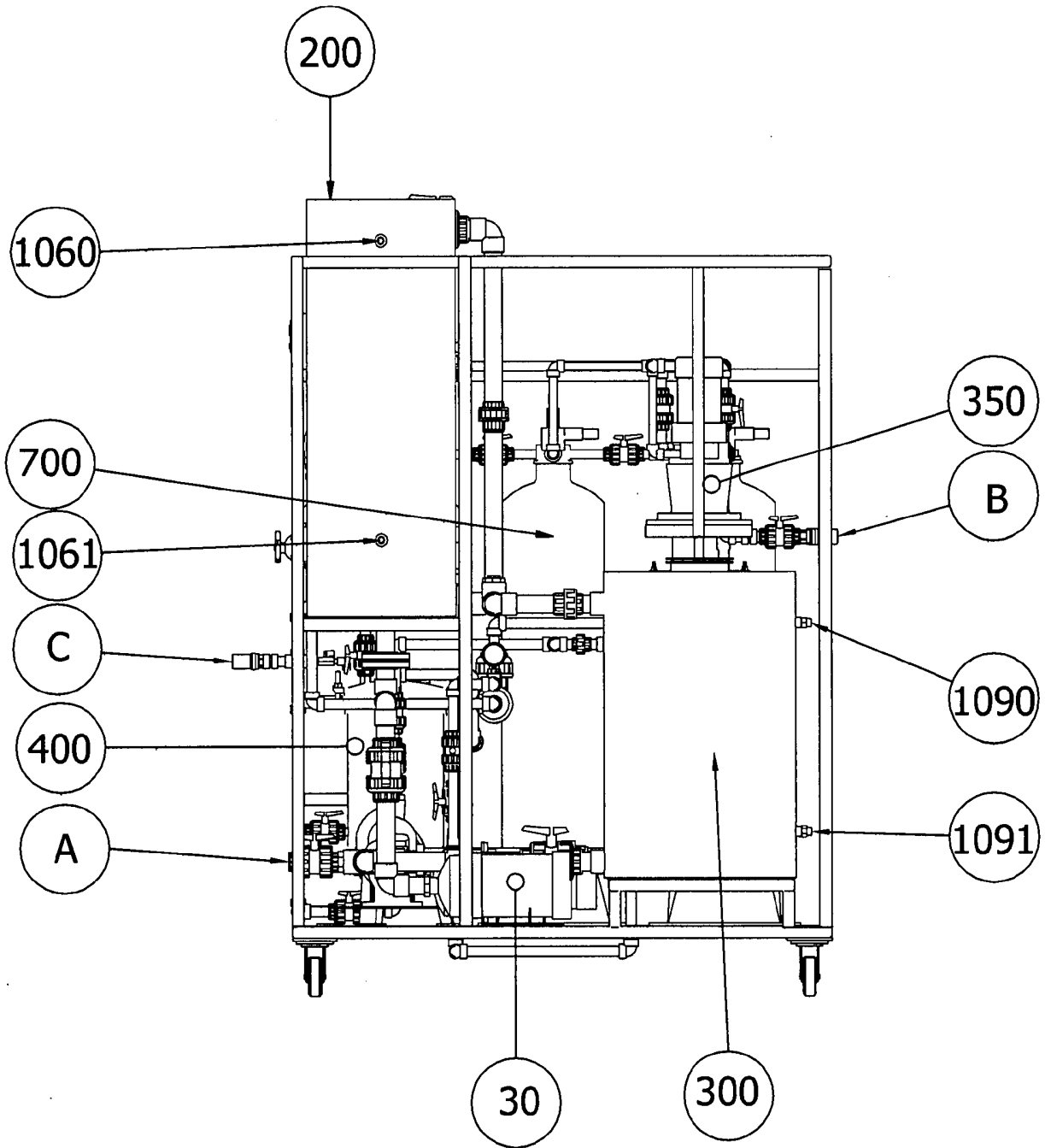


Figura 5

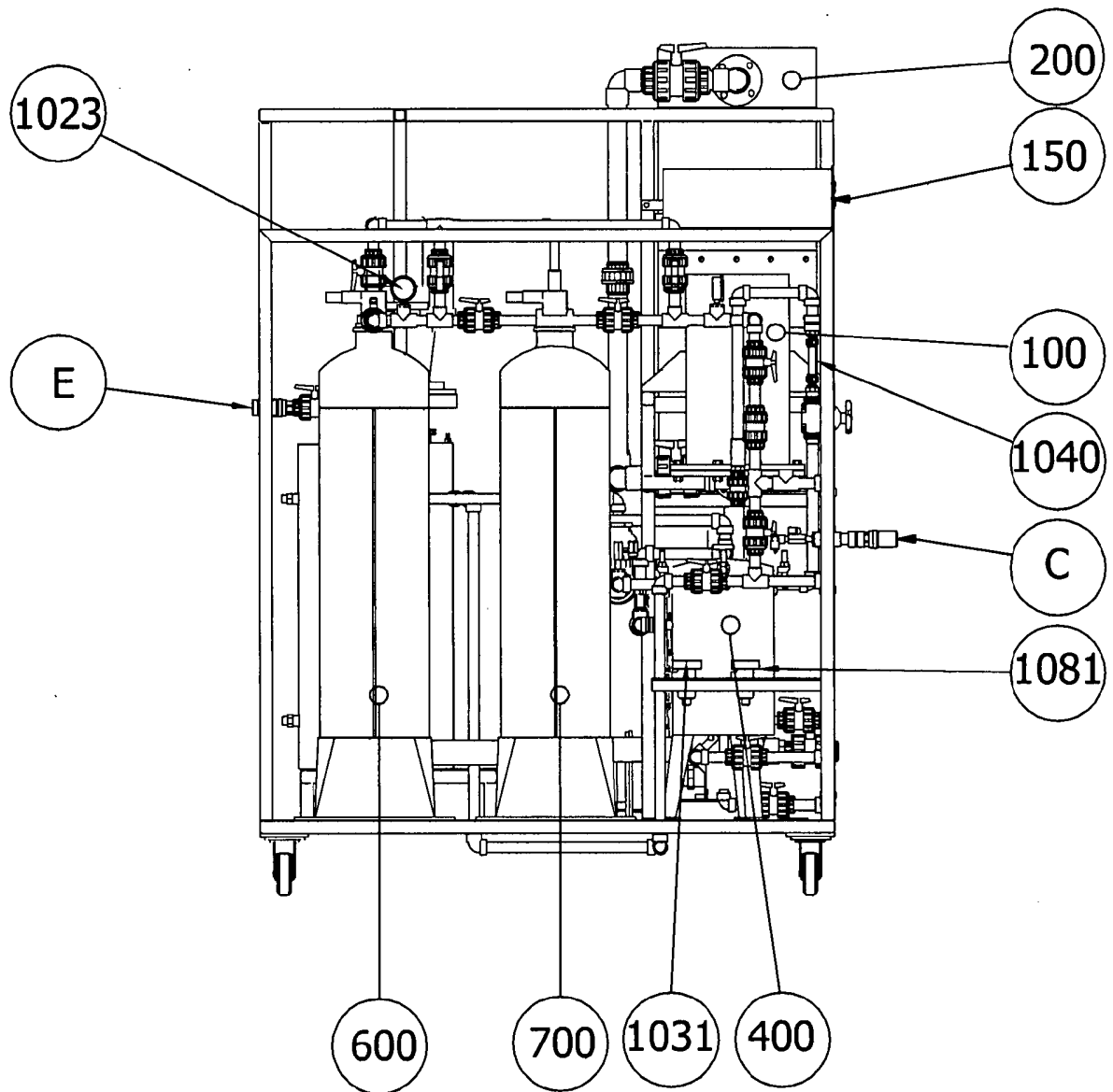


Figura 6

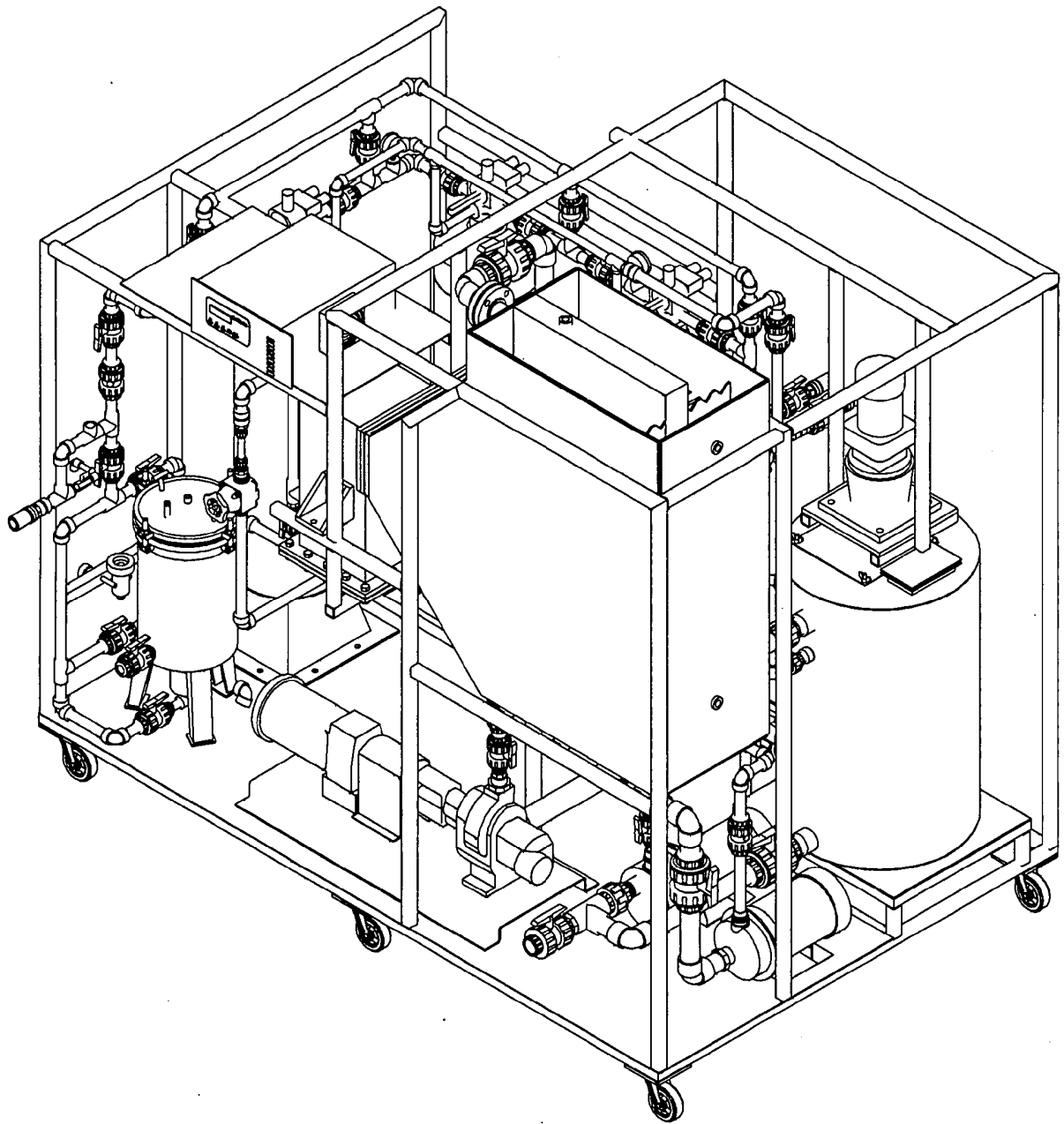


Figura 7

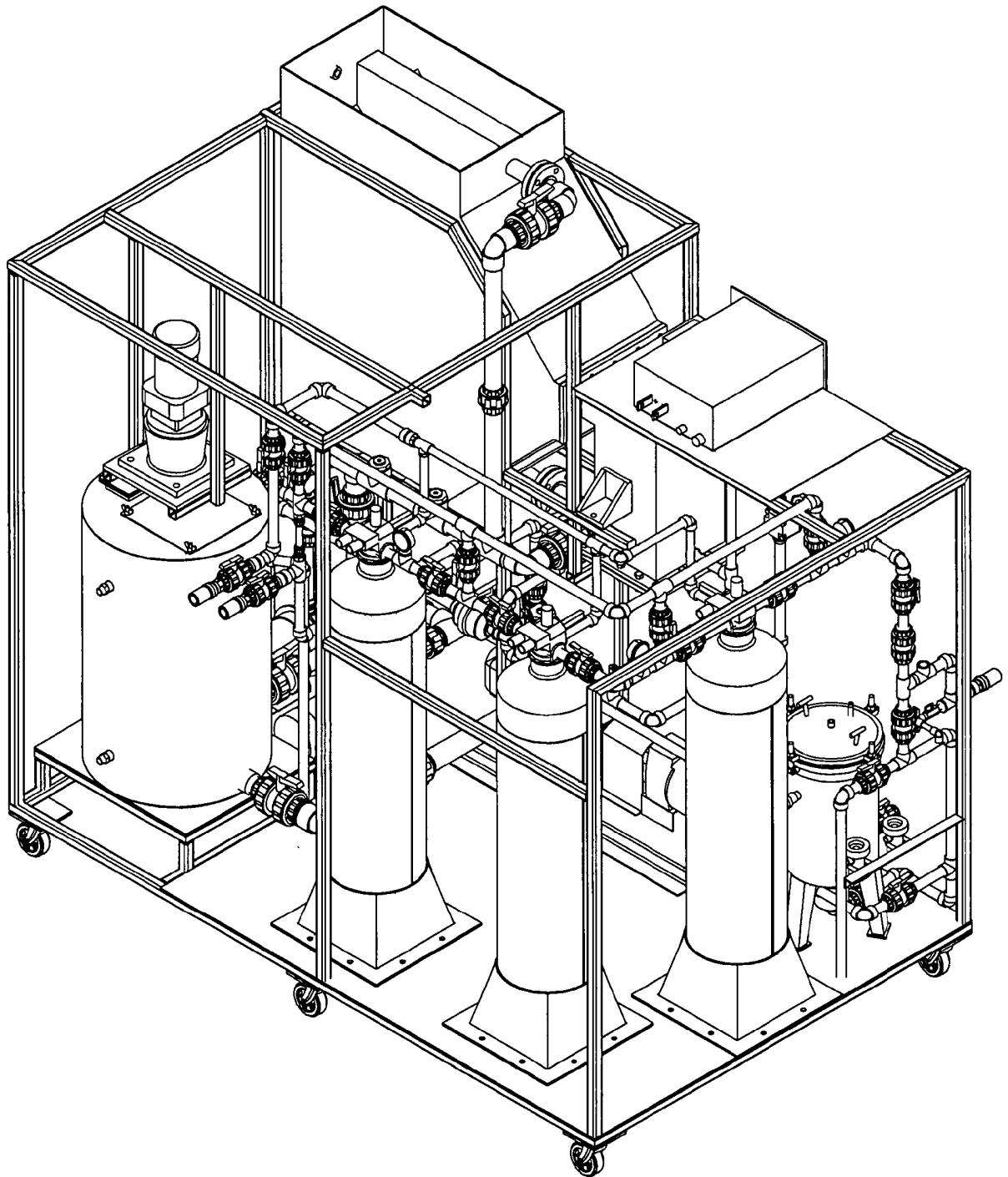


Figura 8

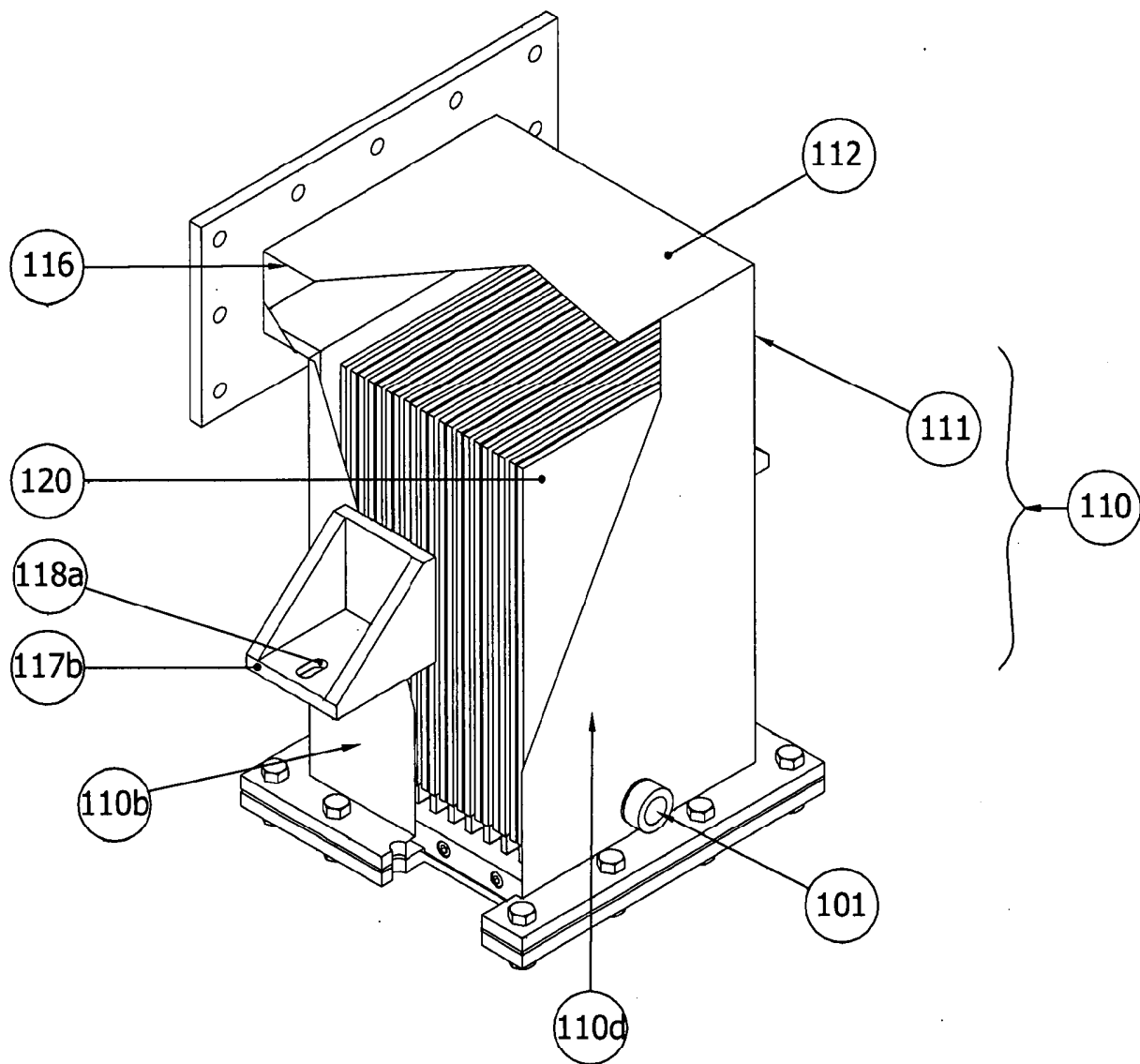


Figura 8a

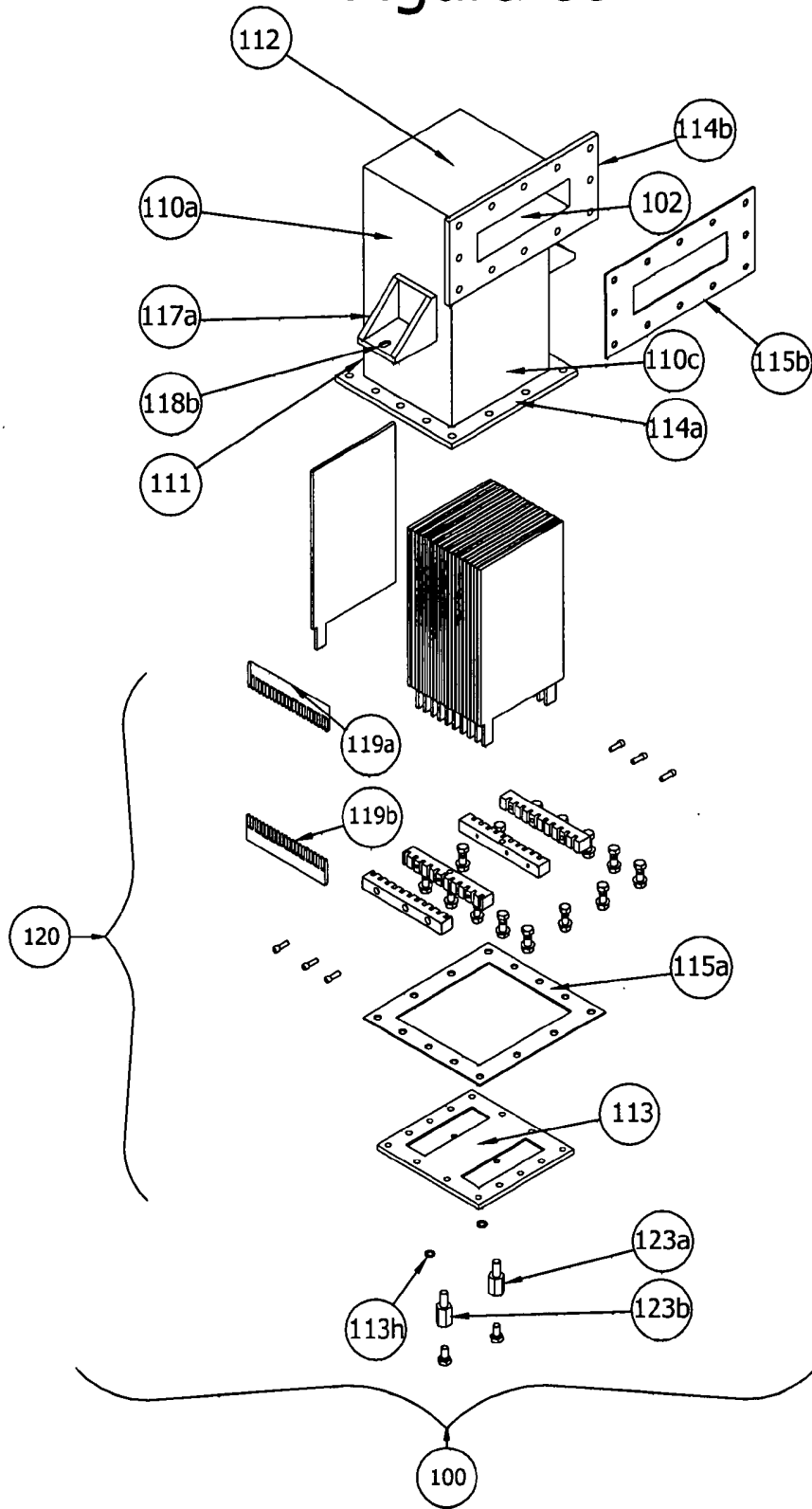


Figura 8b

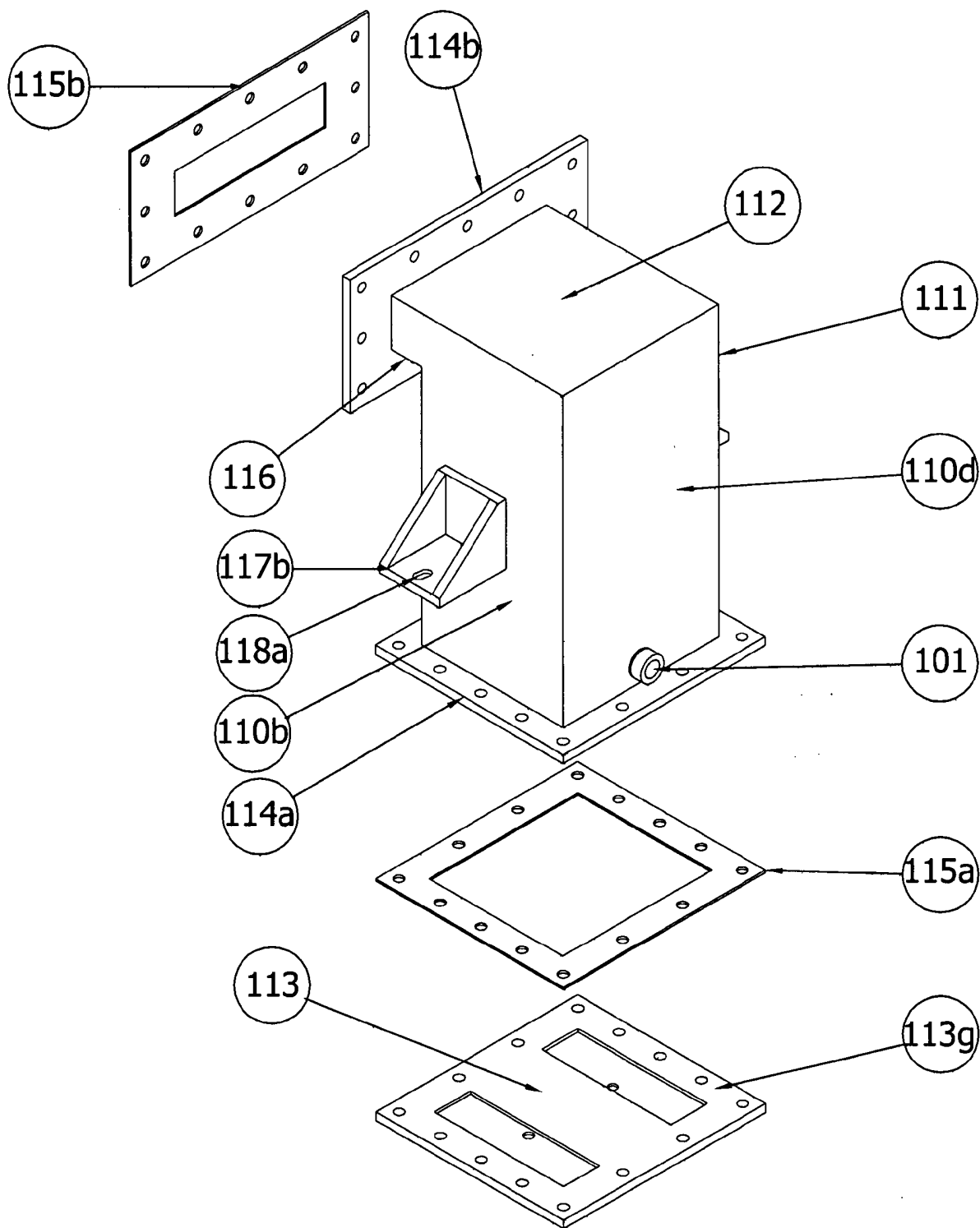


Figura 8c

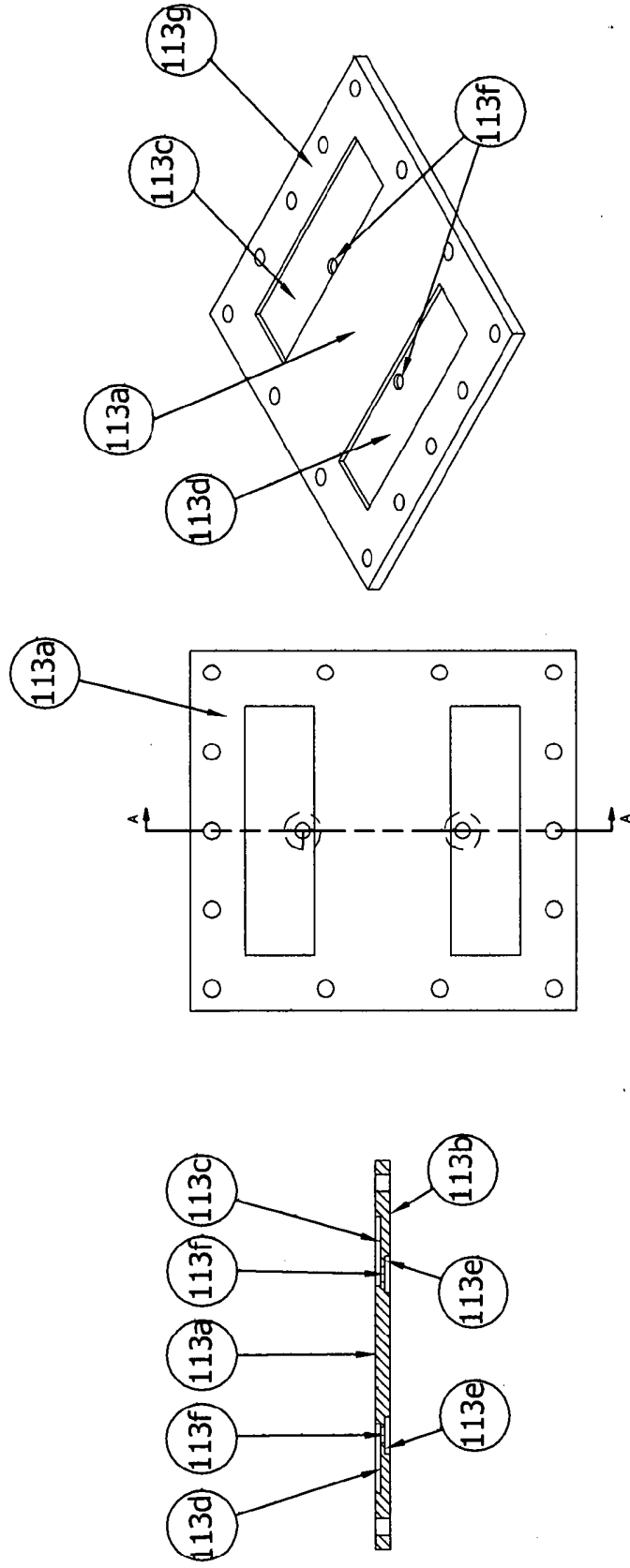


Figura 8e

Figura 8f

Figura 8d

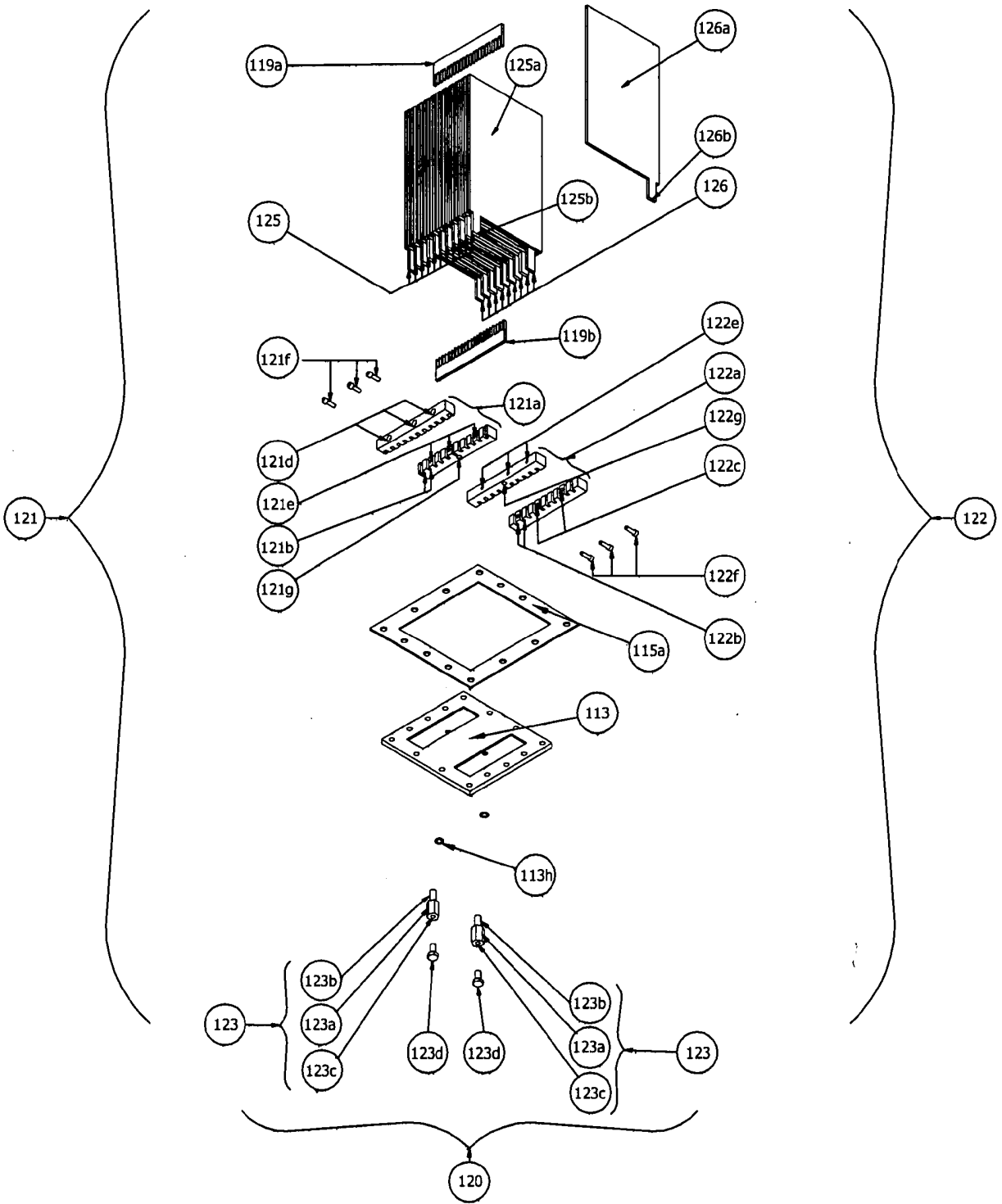


Figura 8g

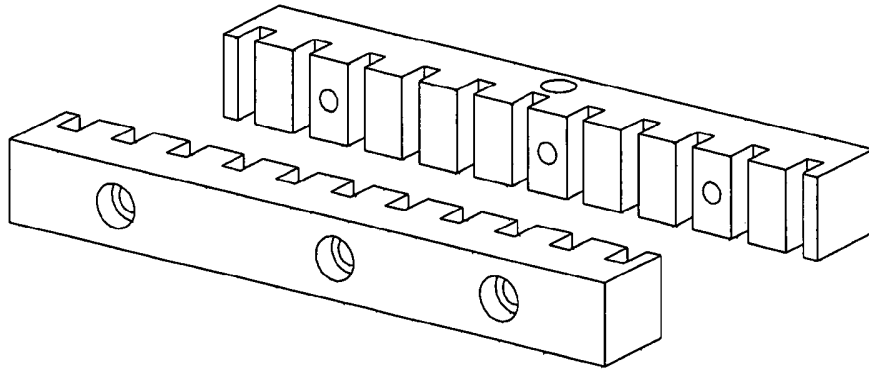


Figura 8h

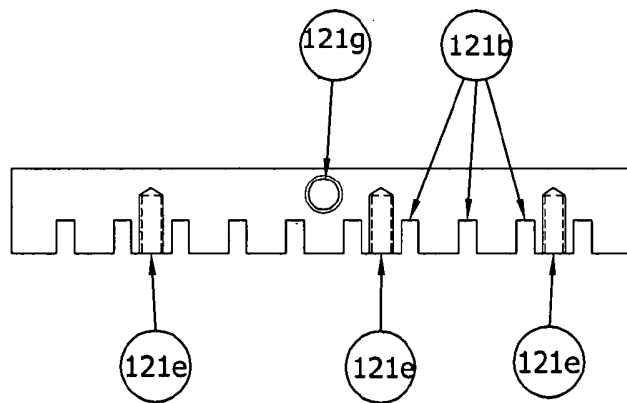


Figura 8i

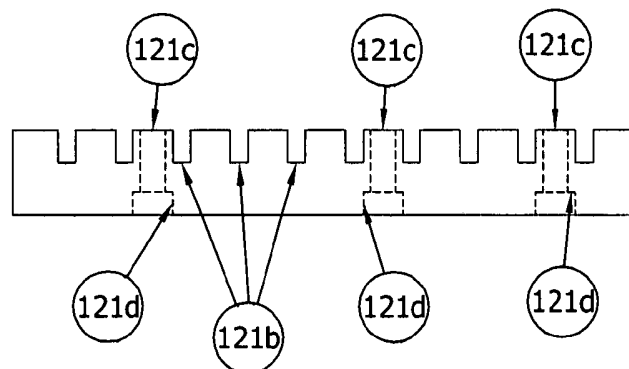


Figura 9

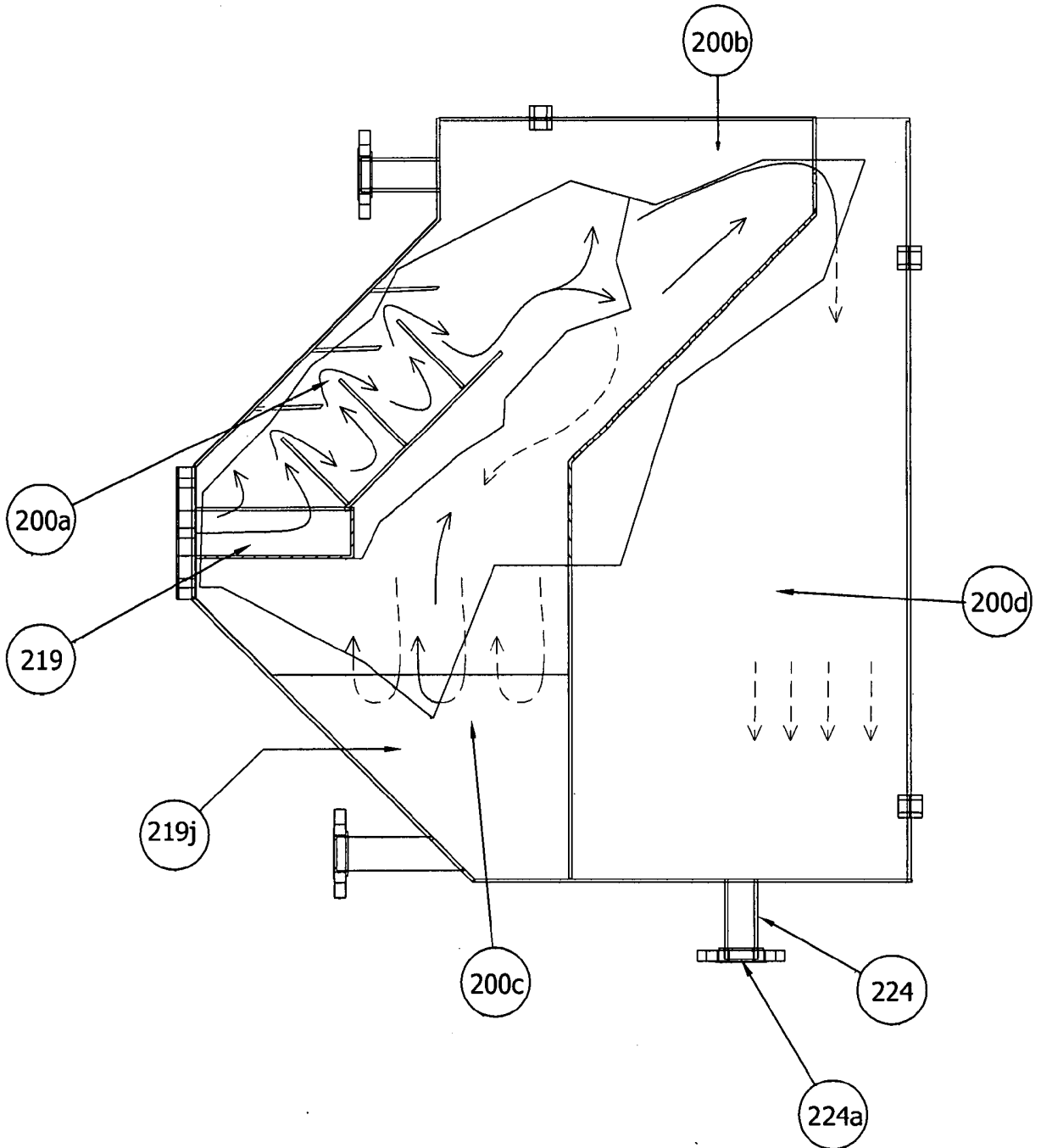


Figura 9a

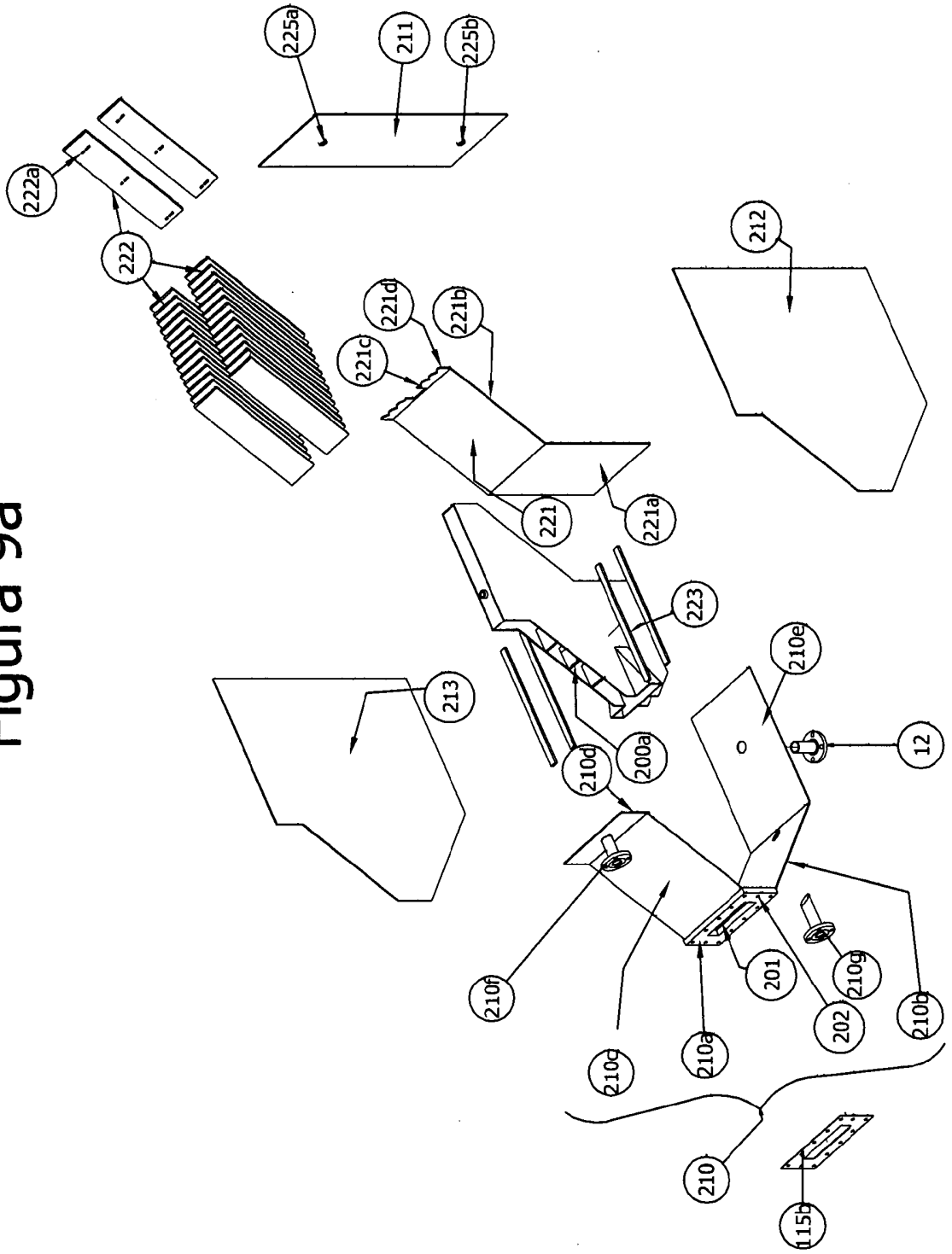


Figura 9b

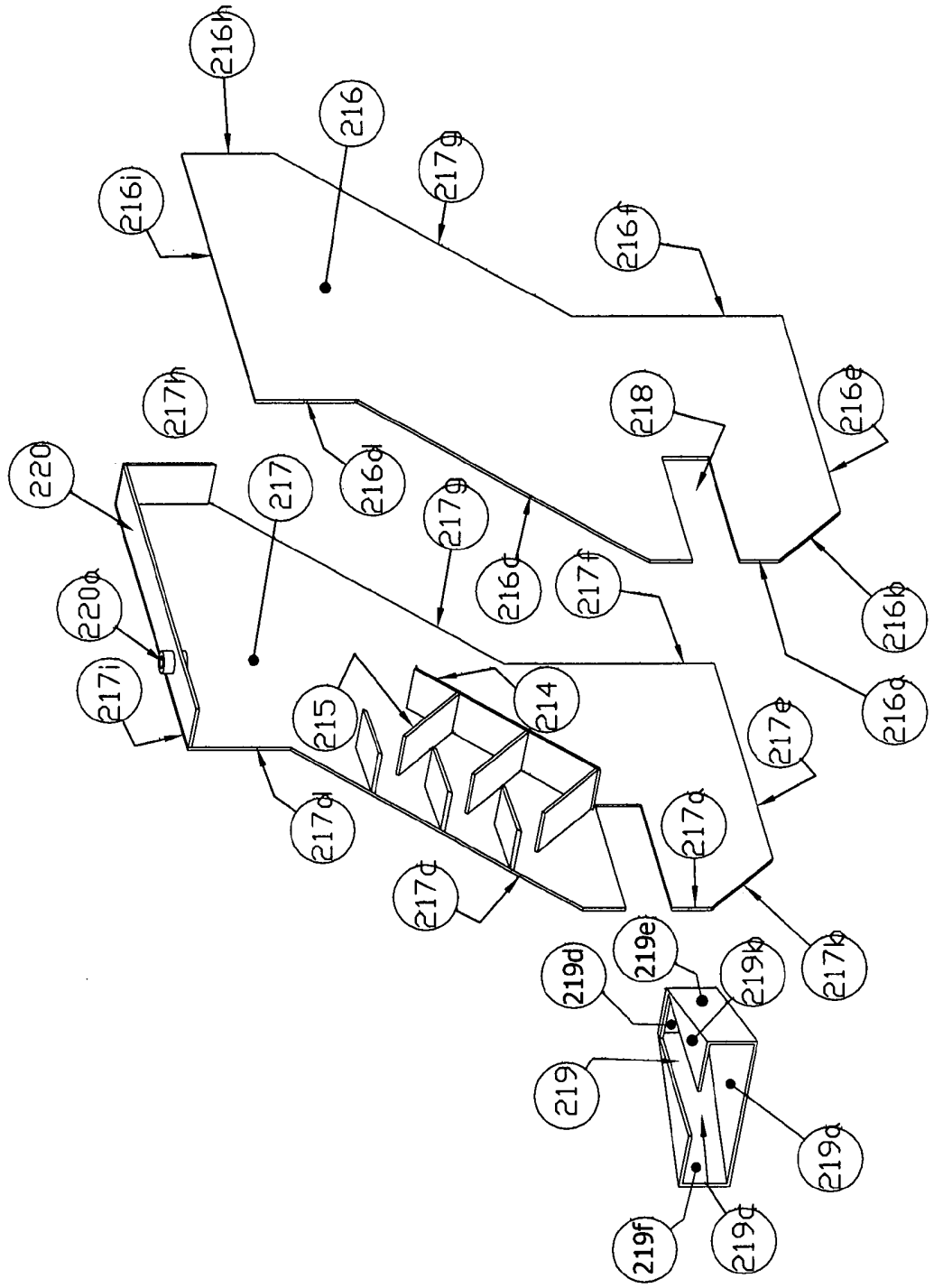


Figura 10

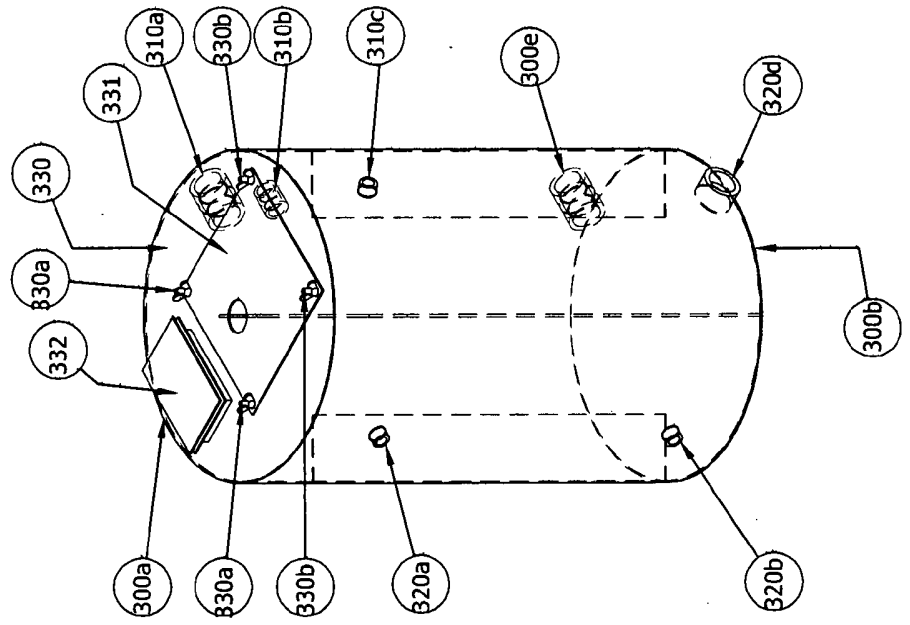


Figura 10b

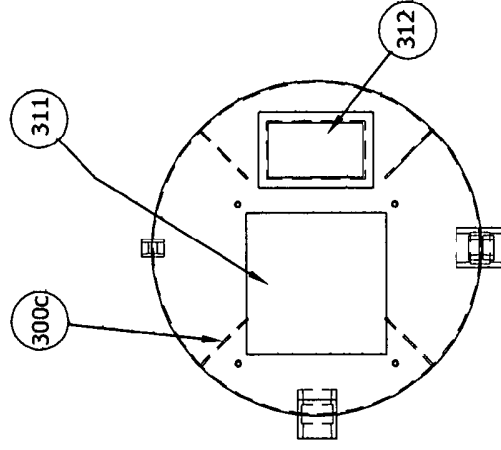


Figura 10a

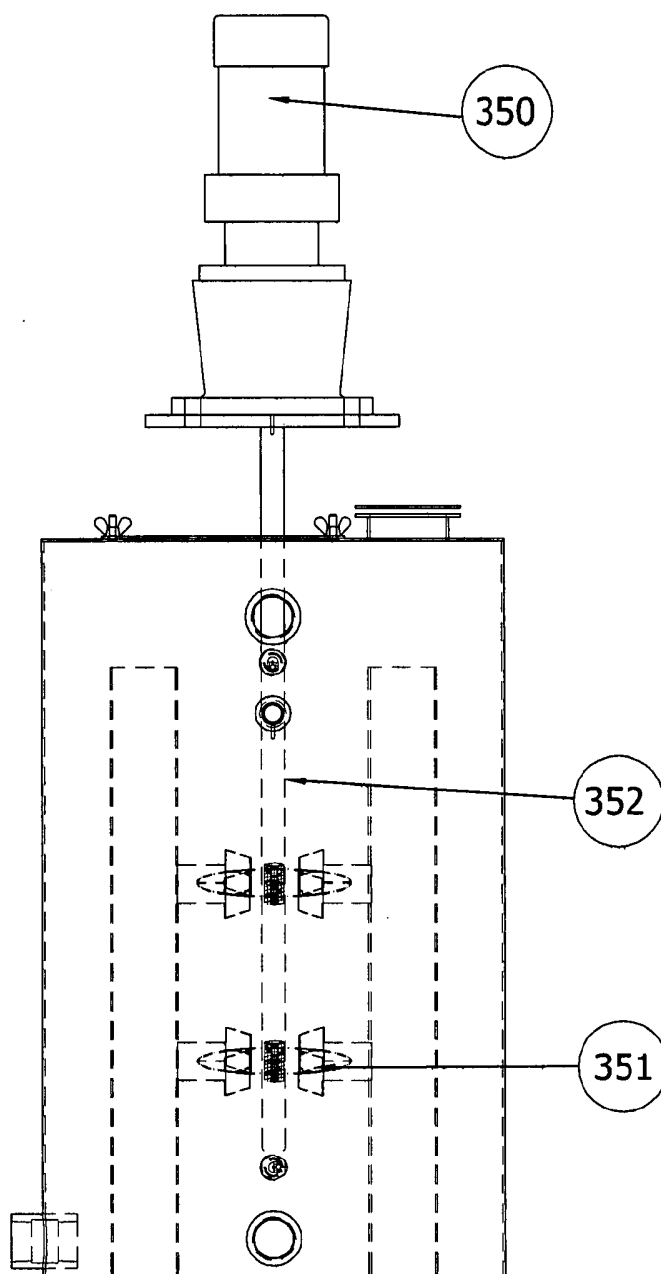


Figura 11

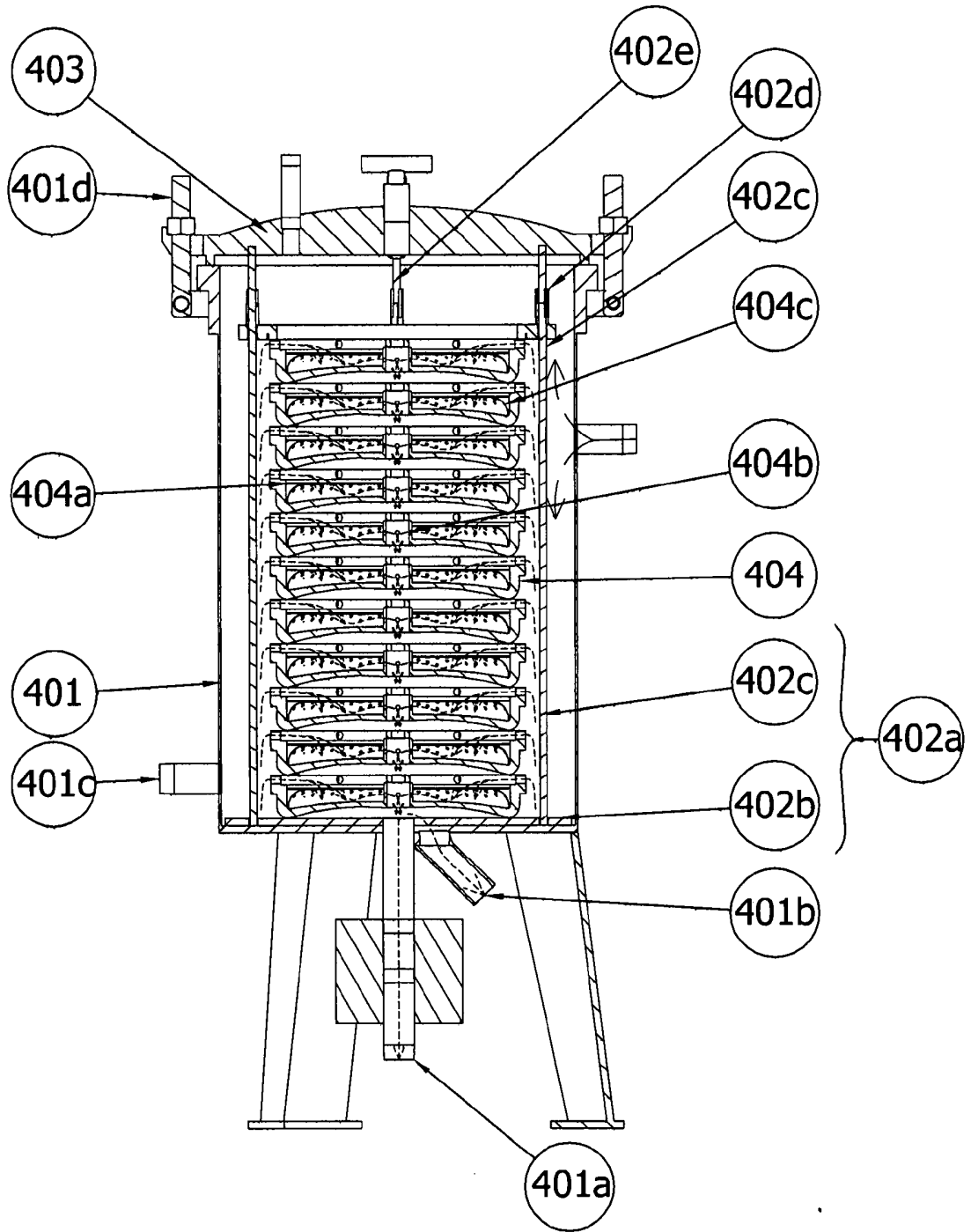


Figura 12

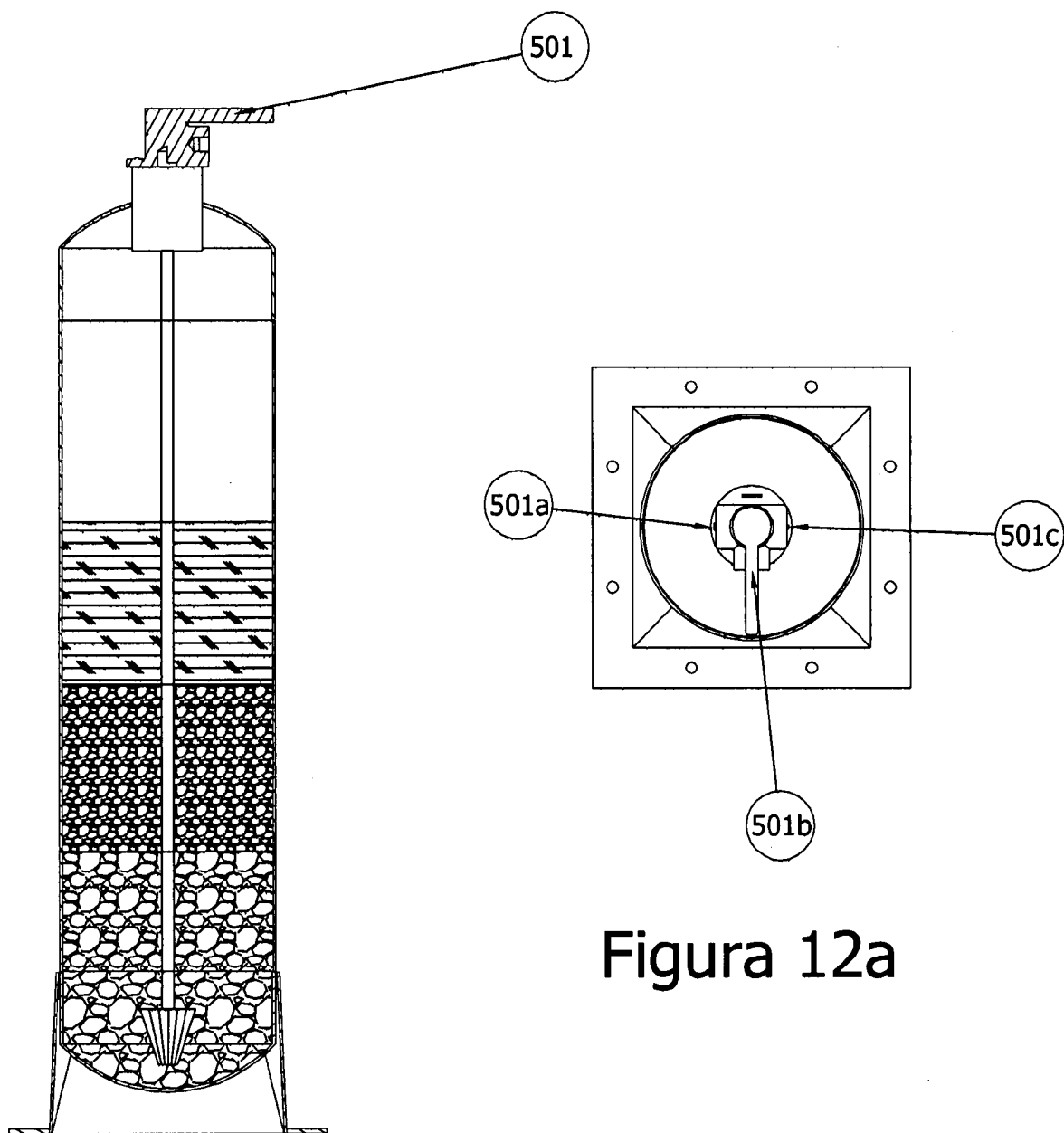


Figura 12a

Figura 13

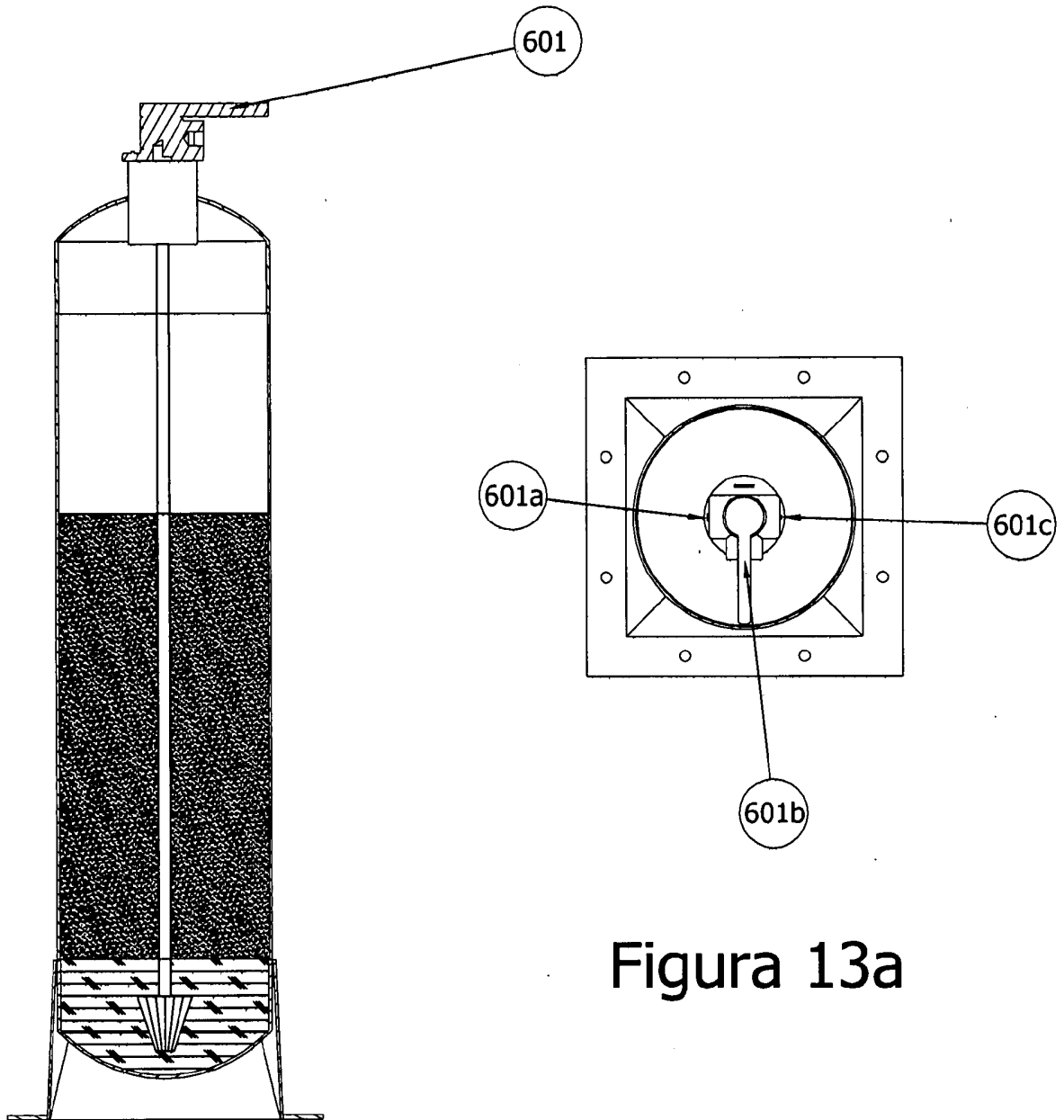


Figura 13a

Figura 14

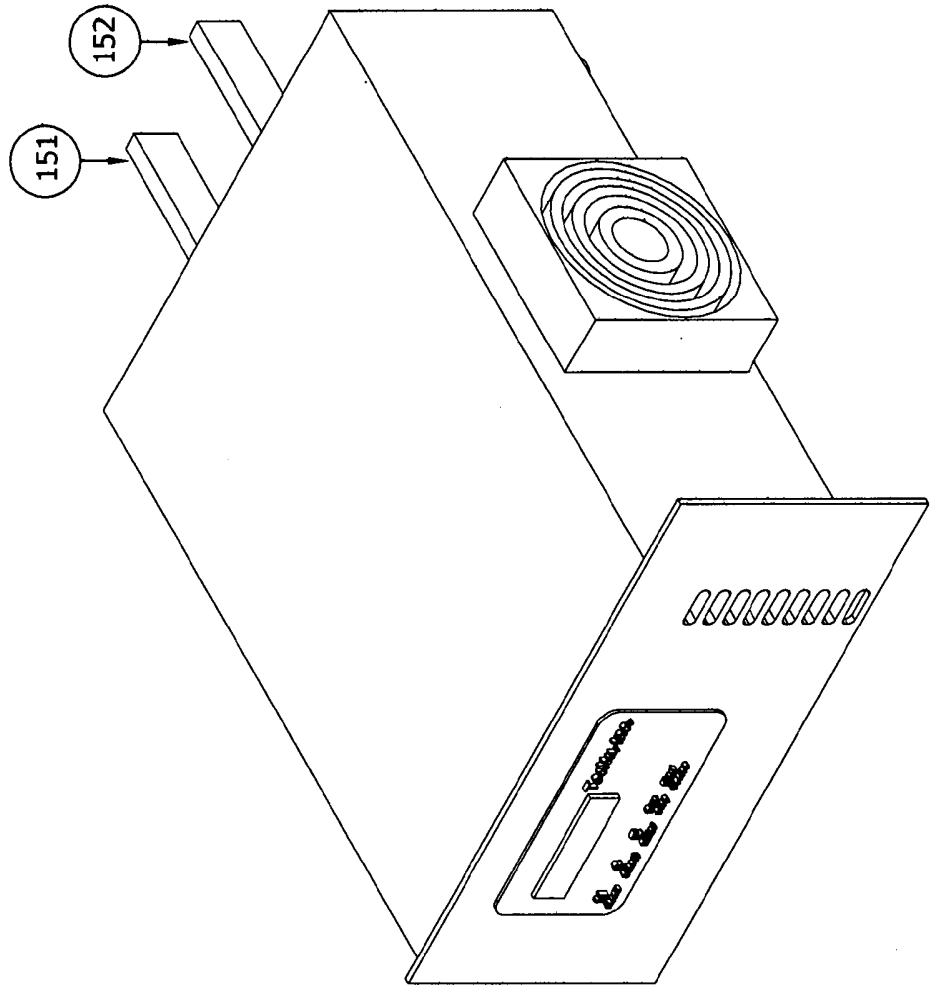


Figura 15

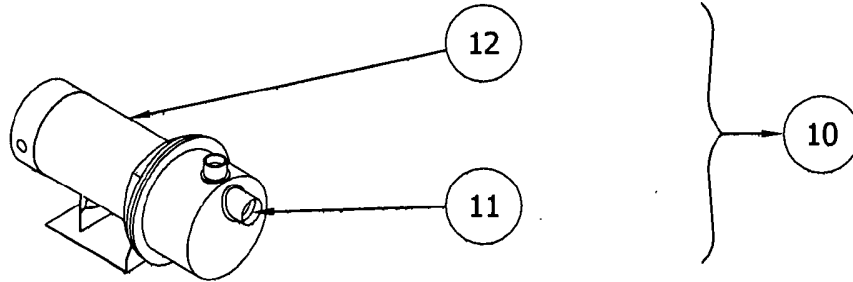


Figura 15a

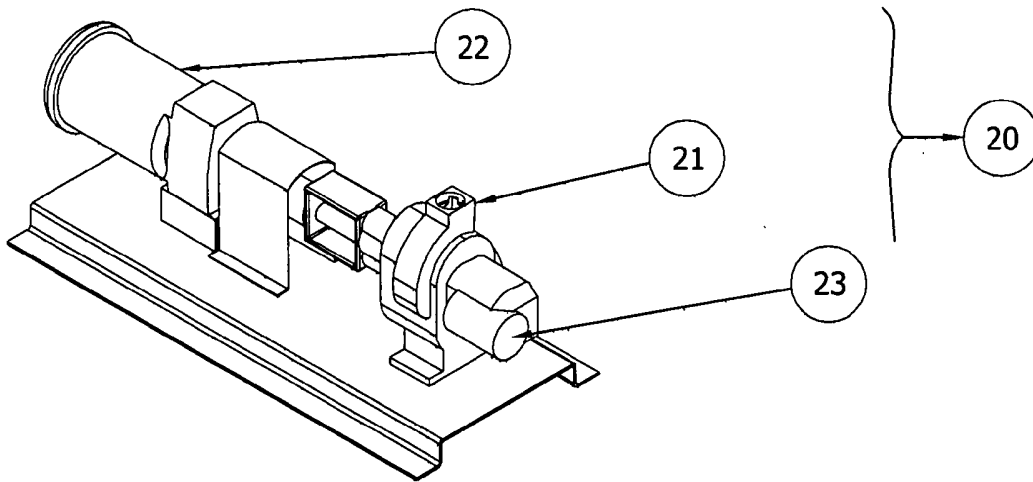


Figura 15b

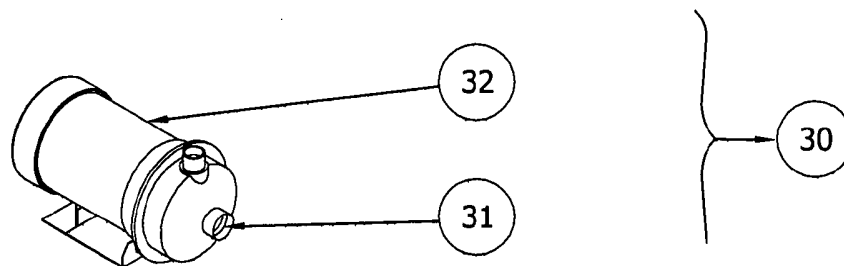


Figura 16

