



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 361 522**

51 Int. Cl.:
C02F 1/463 (2006.01)
C02F 1/461 (2006.01)
C02F 1/467 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08763469 .7**
96 Fecha de presentación : **22.05.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2150500**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.02.2010**

54 Título: **Una celda de electrocoagulación.**

30 Prioridad: **31.05.2007 IE 2007/0396**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.06.2011

73 Titular/es: **ENVA IRELAND Ltd.**
Clonminam Industrial Estate Portlaoise
County Laois, IE

72 Inventor/es: **Holland, Frank, Stanley**

74 Agente: **Álvarez López, Fernando**

ES 2 361 522 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Una celda de electrocoagulación

5 Campo técnico

Esta invención se refiere a una celda de electrocoagulación y, en particular, a una celda de electrocoagulación para su uso en procedimientos industriales como, por ejemplo, el tratamiento de residuos líquidos.

10 Técnica anterior

La electrocoagulación es un procedimiento de tratamiento electrolítico para separar y eliminar una amplia variedad de contaminantes, incluidos metales, sólidos, patógenos y otras sustancias no deseables de una disolución. Normalmente, una celda de electrocoagulación contiene electrodos y un electrolito que va a tratarse. El
15 procedimiento de tratamiento puede realizarse de diversas formas dependiendo de la naturaleza del electrolito.

La patente de EE.UU. nº 6.139.710 describe una celda de electrocoagulación en la que se monta una multitud de electrodos sustancialmente paralelos en una trayectoria de flujo de la disolución que se someterá a electrolisis. Los electrodos son monopoles (anódicos o catódicos) y bipolares (anódicos y catódicos). Los electrodos bipolares
20 tienen superficies de electrodo que reaccionan con la disolución del electrolito, siendo un lado anódico y siendo el otro lado catódico. Los electrodos monopoles son o bien totalmente anódicos o bien totalmente catódicos. Se aplica un potencial o una corriente eléctrica a dos o más electrodos. Los electrodos conectados son monopoles y, con ello, son aniónicos o catiónicos dependiendo de la polaridad de la potencia que se aplicará a los electrodos. Se introduce al menos un electrodo bipolar entre electrodos monopoles.

25 El objetivo del diseño de una celda multielectrodo es forzar la corriente a fluir a través de la disolución entre los electrodos respectivos en la celda. Sin embargo, los expertos en la materia observarán que en los extremos de entrada y de salida de los electrodos monopoles, que están a diferente potencial eléctrico, el electrolito que rodea los extremos de los electrodos monopoles forma un puente conductor que permite que la corriente sorte los
30 electrodos bipolares y forme un cortocircuito desde el electrodo monopolar de potencial alto al electrodo monopolar de potencial bajo. Este cortocircuito entre electrodos monopoles conduce a una corrosión no uniforme de los electrodos bipolares intermedios y reduce sustancialmente la eficacia de la celda de electrocoagulación.

Además, los electrodos monopoles de la celda de electrocoagulación hacen uso de conexiones por cable que son
35 ineficaces espacialmente, en particular si la celda contiene un gran número de electrodos monopoles, según se ilustra en la fig. 1 de la patente de EE.UU. nº 6.139.710. De hecho, los requisitos de espacio asociados con las conexiones por cable para un número tan grande de electrodos harían que la celda de electrocoagulación ilustrada en la fig. 1 de la patente de EE.UU. nº 6.139.710 no tuviera valor práctico.

40 La Publicación Internacional nº WO-2004/046.051 describe también una celda de electrocoagulación en la que se monta una multitud de electrodos sustancialmente paralelos en una trayectoria de flujo de la disolución que se someterá a electrolisis. Los electrodos son monopoles o bipolares, estando los electrodos monopoles de la misma polaridad conectados por medio de una barra conductora alargada que se extiende a través de una abertura
45 situada en una lengüeta que se extiende hacia arriba desde un borde superior adyacente a cada electrodo monopolar. Como la celda comprende electrodos monopoles y bipolares, también adolece de la desventaja de aparición de cortocircuitos de corriente entre electrodos monopoles.

La resistencia global a través de cualquier conexión eléctrica es consecuencia de la resistencia de contacto y del efecto currentilíneo a través de la conexión eléctrica. El área de contacto de la conexión eléctrica, los materiales de
50 los conductores de la conexión, que incluyen capas de óxido, y la fuerza aplicada a la conexión son todos ellos parámetros que influyen en la resistencia del contacto. Cuando los dos conductores de una conexión eléctrica se acoplan entre sí, es bien conocido que los puntos de contacto real son relativamente pocos debido a los puntos altos y bajos de cada conductor. El aumento en la resistencia provocado por corriente de canalización a través del área de contacto restringida se denomina como efecto currentilíneo. Por tanto, la resistencia a través de una conexión
55 eléctrica aumenta según el aumento del efecto currentilíneo. Será evidente que cuanto mayor sea la resistencia a través de la conexión eléctrica, mayor será la caída de tensión a través de la conexión eléctrica, con el resultado de una pérdida consiguiente de potencia útil.

La fig. 3a de la Publicación Internacional nº WO 2004/046.051 ilustra una configuración de bus de alta densidad de

- corriente en la que se acopla una barra conductora roscada con electrodos seleccionados de una celda de electrocoagulación y se asegura en su lugar mediante tuercas dispuestas en la barra conductora y en cualesquiera lados de cada electrodo. Sin embargo, se produce una alta caída de tensión a través de la conexión, debida muy probablemente a un bajo número de puntos de contacto entre la estructura de barra conductora roscada/tuercas y los electrodos, con el resultado de una alta resistencia a través de la conexión. La alta caída de tensión a través de la conexión afecta adversamente a la eficacia de la celda. Además, como consecuencia de la alta resistencia a través de la conexión, la estructura de la barra conductora roscada/tuercas se vuelve probablemente extremadamente caliente durante el funcionamiento de la celda.
- 10 Las dos celdas de electrocoagulación descritas anteriormente usan un sistema separador similar para mantener la separación entre los electrodos. Los electrodos se modelan de manera que encajen en surcos individuales dentro del alojamiento de la celda, según se ilustra en la fig. 2 de la patente de EE.UU. nº 6.139.710. Sin embargo, la introducción y la retirada de los electrodos usando este sistema separador provoca probablemente, en ocasiones, el atasco de los electrodos en los surcos individuales.
- 15 Se ilustra un sistema separador alternativo en la fig. 7 de la patente de EE.UU. nº 6.139.710 en la que los electrodos se interconectan y se mantienen en una relación separada mediante una pluralidad de varillas no conductoras. Sin embargo, el sistema separador podría fallar durante el funcionamiento de la celda conforme se corroe el material de electrodo que rodea a las varillas no conductoras.
- 20 La Morselt Redbox (marca registrada de Morselt Borne B.V., Gildestraat 12, 7622 AC Borne, Países Bajos) es una celda de electrocoagulación en la que se monta una multitud de electrodos sustancialmente paralelos en una celda de electrocoagulación. Los electrodos son monopolares y están conectados a una fuente de alimentación mediante conexiones por cable. Como en la patente de EE.UU. nº 6.139.710, las conexiones por cable son ineficaces espacialmente, por lo que limitan el número de electrodos que pueden alojarse en la celda. Además, durante el funcionamiento de la celda, estas conexiones por cable deben protegerse de salpicaduras de líquido o de la formación de espuma, limitando así aún más la cantidad de espacio disponible. Cuanto menor es el número de electrodos en la celda de electrocoagulación, menor es el área superficial que se pone a disposición para que se produzca la electrocoagulación para de un volumen dado.
- 30 La Publicación de Patente de EE.UU. nº 2003/0.024.809 describe una celda electrolítica para la cloración del agua de una piscina en la que se monta una multitud de electrodos sustancialmente paralelos en una trayectoria de flujo del agua que se someterá a cloración. Los electrodos son monopolares (anódicos o catódicos). Sin embargo, es evidente a partir de la fig. 3 de la Publicación de Patente de EE.UU. nº 2003/0.024.809 que el sistema de conexión eléctrica de la celda electrolítica parece estar sumergido o está, como poco, en el nivel del electrolito. El sistema de conexión eléctrica es así extremadamente susceptible a una extensa humidificación que conduzca a una rápida corrosión de los separadores eléctricamente conductores y a un descenso asociado en el rendimiento de la celda.
- 35 El sistema separador descrito en la Publicación de Patente de EE.UU. nº 2003/0.024.809 implica el uso de varillas roscadas no conductoras que pasan a través de cada electrodo y que tienen separadores no conductores dispuestos en los mismos y entre cada par de electrodos adyacentes. Este sistema separador es adecuado para la aplicación desvelada en la Publicación de Patente de EE.UU. nº 2003/0.024.809, a saber, la cloración de un volumen relativamente pequeño de agua mediante la colocación de un cartucho de electrodo preensamblado en una tubería de plástico disponible comúnmente a través de la cual pasa el agua que se va a tratar. Sin embargo, el preensamblado de un cartucho de electrodo no es adecuado para el tratamiento de agua u otras soluciones a gran costra.
- 50 La Publicación de Patente alemana nº DE-29.01.850 describe una celda electrolítica para el tratamiento de efluentes. Los cátodos están conectados a una fuente de alimentación por conexiones por cable. Al igual que en la celda de electrocoagulación de la patente de EE.UU. nº 6.139.710, las conexiones por cable son ineficaces espacialmente, limitando con ello el número de electrodos que pueden alojarse en la celda. El contacto eléctrico con los ánodos parece establecerse mediante muelles que producirán un contacto eléctrico deficiente, con lo que se afecta adversamente la eficacia de la celda.
- 55 La patente de EE.UU. nº 3.006.826 describe una celda de electrocoagulación, que usa manguitos de plástico y grasa para evitar el contacto entre los casquillos conductores y el agua. Esta solución provoca problemas graves.

El uso de las celdas de electrocoagulación descritas anteriormente para fines industriales se ve obstaculizada por las limitaciones mencionadas anteriormente. Además, la corriente máxima que puede aplicarse a estas celdas es de

aproximadamente 300 amperios y dicha limitación influye adversamente en el volumen de líquido que puede tratarse eficazmente en un marco de tiempo dado.

Así, existe la necesidad de una celda de electrocoagulación más eficaz que sea susceptible de utilizarse con fines industriales y que supere los problemas de las celdas de electrocoagulación descritas anteriormente.

Divulgación de la invención

Según esto, la invención proporciona una celda de electrocoagulación que comprende una cámara de reacción, un primer y segundo conjunto de electrodos dispuestos dentro de la cámara de reacción de manera que el primer conjunto de electrodos está intercalado con el segundo conjunto de electrodos, estando dispuesto un casquillo eléctricamente conductor entre cada par de electrodos adyacentes del mismo conjunto, manteniéndose los electrodos y los casquillos eléctricamente conductores del mismo conjunto en contacto eléctrico entre sí mediante una varilla de unión que puede extenderse a través de una abertura en cada electrodo y una abertura coalineada en cada casquillo eléctricamente conductor, pudiendo conectarse el primer conjunto de electrodos por medio de una conexión eléctrica dispuesta en el o en cada extremo de la varilla de unión a un polo de una fuente de alimentación eléctrica, pudiendo conectarse el segundo conjunto de electrodos por medio de una conexión eléctrica dispuesta en el o en cada extremo de la varilla de unión con el polo opuesto de la fuente de alimentación y pudiendo colocarse los casquillos conductores con respecto a los electrodos de manera que se evite el contacto con el líquido contenido en la cámara de reacción en uso.

Todos los electrodos del mismo conjunto están en contacto eléctrico directo entre sí y todos son electrodos monopolares. Así, la celda comprende electrodos anódicos y catódicos alternos, estando todos los electrodos anódicos conectados entre sí y estando todos los electrodos catódicos conectados entre sí. No se produce ningún cortocircuito de corriente entre electrodos, ya que todos los electrodos son monopolares.

La configuración de la pluralidad de casquillos y varilla de unión con respecto a los electrodos produce una buena área de contacto entre los casquillos eléctricamente conductores y los electrodos del mismo conjunto dispuestos a cada lado de los mismos. Un acoplamiento excelente entre cada casquillo y electrodos adyacentes aumenta el número de puntos de contacto en cada conexión. Esto proporciona baja resistencia a través de cada conexión con una baja caída de tensión asociada a través de cada conexión. La baja caída de tensión a través de cada conexión reduce al mínimo la pérdida de potencia de la celda. El acoplamiento entre cada casquillo y los electrodos adyacentes produce también una distribución de corriente uniforme a través del área de contacto. Además, el calor generado en los casquillos por la corriente que fluye entre ellos se transfiere por medio del mayor número de puntos de contacto a los electrodos, enfriándose posteriormente los electrodos por contacto con el líquido que se está tratando. La varilla de unión proporciona soporte mecánico para los electrodos y los casquillos, dispuestos en ellos, y es, en esencia, eléctricamente inerte durante el funcionamiento de la celda de electrocoagulación.

La conexión eléctrica entre los electrodos del mismo conjunto elimina la necesidad de conexiones por cable con cada electrodo monopolar. Las ventajas asociadas con la eliminación del requisito de conexiones por cable son triples:

i) Más espacio disponible en la celda: puede disponerse un número mayor de electrodos dentro de la celda; cuanto mayor es el número de electrodos en la celda de electrocoagulación, mayor es el área superficial que se pone a disposición para que se produzca la electrocoagulación dentro de un volumen dado, y mayor es la eficacia de la celda;

ii) Sencillez: un sistema de conexión eléctrica mucho menos complejo; facilidad de ensamblaje y reducción en la posibilidad de errores que se producen cuando se conectan múltiples electrodos a una fuente de alimentación; y

iii) Seguridad: elimina la preocupación por tener un número elevado de conexiones eléctricas por cable en estrecha proximidad con una gran masa de agua.

Los casquillos están hechos con material eléctricamente conductor que, generalmente, es susceptible de corrosión. La corrosión de los casquillos mediante el contacto repetido con el líquido en tratamiento reduce inevitablemente el tamaño del área de contacto de cada casquillo con los electrodos. Un área de contacto menor se asocia con una mayor resistencia a través de la conexión, con la desventaja adjunta de una alta caída de tensión a través de la conexión y una mayor pérdida de potencia desde la celda. El contacto con el líquido que se está tratando se evita colocando los casquillos con respecto a los electrodos consiguientemente, en general a una distancia adecuada por

encima del nivel del líquido que se está tratando.

En una realización de la celda de electrocoagulación según la invención, se dispone un medio de apriete en uno o ambos extremos de la varilla de unión, que, en uso, fuerza los electrodos contra los casquillos eléctricamente conductores aumentando con ello el contacto eléctrico entre los electrodos y los casquillos eléctricamente conductores dispuestos entre sí.

El acoplamiento mejorado entre cada casquillo y los electrodos adyacentes aumenta adicionalmente el número de puntos de contacto en cada conexión. Así se reduce adicionalmente la resistencia a través de cada conexión y, por tanto, reduce también la caída de tensión a través de cada conexión. La menor caída de tensión a través de cada conexión reduce al mínimo la pérdida de potencia desde la celda.

Además, al compactar los electrodos y los casquillos entre sí se permite que un mayor número de electrodos se disponga dentro de la cámara de reacción y, según se observa anteriormente, cuanto mayor es el número de electrodos en la celda de electrocoagulación, mayor es el área superficial que se pone a disposición para que se produzca electrocoagulación dentro de un volumen dado y mayor es la eficacia de la celda.

Preferentemente, la varilla de unión es roscada y el medio de apriete es una tuerca roscada.

Más preferentemente, la tensión en la varilla de unión se mantiene mediante casquillos de presión separados por arandelas elásticas.

Más preferentemente todavía, las arandelas elásticas son arandelas Belleville.

Una arandela Belleville es un tipo de arandela no plana. Tiene una ligera forma cónica que da a la arandela una característica elástica. Las arandelas Belleville se emplean en esta situación para proporcionar una calidad flexible al medio de apriete de la varilla de unión de manera que compense cualquier cambio en el grosor de los electrodos y/o los casquillos eléctricamente conductores a lo largo de la varilla de unión en uso.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, cada casquillo es un casquillo de metal mecanizado.

La mecanización de los casquillos mejora el acoplamiento entre cada casquillo y los electrodos adyacentes aumentando con ello, además, el número de puntos de contacto en cada conexión. Así se reduce la resistencia y, en consecuencia, la caída de tensión a través de cada conexión. La baja caída de tensión a través de cada conexión reduce al mínimo la pérdida de potencia de la celda. La mejora en el acoplamiento entre cada casquillo y los electrodos adyacentes también produce una distribución de corriente mejorada a través del área de contacto.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, se dispone un medio de conexión eléctrica adicional en un punto a lo largo de la varilla de unión.

No existe límite en el tamaño de una celda de electrocoagulación según la invención y, por tanto, una celda puede incluir 60, 70 o incluso más electrodos. A pesar del hecho de que la caída de tensión a través de cada conexión, entre los casquillos eléctricamente conductores y los electrodos adyacentes, es baja, la caída de tensión acumulada a través de un gran número de electrodos puede hacerse importante. Los electrodos situados más allá desde el medio de conexión eléctrica son incapaces de extraer la misma corriente a partir de la fuente de alimentación que los electrodos situados más cerca del medio de conexión eléctrica. La colocación de uno o más medio de conexión eléctrica adicionales en puntos seleccionados a lo largo de la varilla de unión permite a cada electrodo extraer sustancialmente la misma corriente de la fuente de alimentación.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, los conjuntos de electrodos primero y segundo están dispuestos dentro de la cámara de reacción en relación separada y paralela uno con respecto al otro.

La principal preocupación en lo que respecta a la colocación de los electrodos dentro de la cámara de reacción es que los electrodos no inhiban el flujo de una corriente de líquido a través de la cámara de reacción. En consecuencia, los electrodos se mantienen en una relación separada uno con respecto al otro. No es necesario que los espacios entre los electrodos sean exactamente paralelos en la medida en que se proporcione un área superficial para el contacto con la corriente de líquido, se producirá el procedimiento de electrocoagulación. Sin

embargo, la relación separada y paralela evita puntos de estrangulamiento o huecos comparativamente estrechos entre electrodos y evita así que tenga lugar la obstrucción entre los electrodos puenteando las partículas sólidas.

Preferentemente, los conjuntos de electrodos primero y segundo se mantienen en relación separada y paralela uno con respecto al otro mediante separadores no conductores ajustados a los electrodos del primero o del segundo conjunto de electrodos.

La localización de los separadores en los electrodos en lugar de en las paredes de la cámara de reacción elimina el problema de atasco de los electrodos en los surcos separadores que se encuentran en los dispositivos de la técnica anterior. Esto contribuye a facilitar el ensamblaje y al mantenimiento de la celda de electrocoagulación.

Más preferentemente, cada separador no conductor comprende una tuerca y un tornillo, pudiendo extenderse el tornillo a través de una abertura adicional en un electrodo y susceptible de sujeción mediante la tuerca, de manera que la cabeza del tornillo actúa como un separador en un lado del electrodo y la tuerca actúa como un separador en el otro lado del electrodo.

La ventaja principal de un sistema separador como este es su sencillez innata. Además, el electrodo que contiene separador no se corroe en las áreas del electrodo cubiertas por la cabeza del tornillo y la tuerca y el electrodo que no contiene separador no se corroe en el punto de contacto con el separador. Así, la relación separada y paralela entre electrodos adyacentes se mantiene sin que importe el grado de corrosión que haya tenido lugar en el resto del electrodo.

Más preferentemente todavía, la tuerca y el tornillo están hechos con material plástico resistente a la temperatura.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, los dos conjuntos de electrodos están sostenidos en una varilla no conductor a que puede extenderse a través de una abertura adicional en cada electrodo.

Los electrodos están suspendidos a una distancia establecida por encima del fondo de la cámara de reacción de manera que los electrodos estrechamente compactados dispuestos en la cámara de reacción no representan una obstrucción al líquido que se tratará, que entra a través de una entrada situada en el fondo de la cámara de reacción. Además, la varilla no conductora impide que los electrodos se comben cuando se corroen.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, las superficies de contacto de cada casquillo pueden recubrirse con grasa de contacto.

El recubrimiento de las superficies de contacto de cada casquillo con grasa de contacto sella herméticamente el área de contacto y evita que la pulverización del líquido que se está tratando corra el área de contacto.

Además, la grasa de contacto puede incluir un agente antióxido que elimine las capas de óxido de las superficies de contacto de cada casquillo y el área correspondiente en electrodos adyacentes y evita que se formen nuevas capas de óxido. La eliminación de cualquier capa de óxido presente en las superficies de contacto de cada casquillo y los electrodos adyacentes reduce la resistencia a través de cada conexión y, por tanto, reduce también la caída de tensión a través de cada conexión. La menor caída de tensión a través de cada conexión reduce al mínimo la pérdida de potencia de la celda.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, la superficie expuesta de cada casquillo está cubierta por un blindaje.

La generación de gases durante el procedimiento de electrocoagulación provoca espumación o formación de espuma en la celda y, ocasionalmente, esta espuma puede ascender hasta entrar en contacto con los casquillos provocando una corrosión subsiguiente de los casquillos según se ha descrito anteriormente. Si se cubre la superficie expuesta de cada casquillo con un blindaje se protege adicionalmente cada casquillo de la espuma y la pulverización del líquido que se está tratando.

Preferentemente, el blindaje está hecho de un material plástico resistente a la temperatura.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, la fuente de alimentación eléctrica puede conectarse a un medio de conversión para permitir la inversión de la polaridad de cada conjunto de

electrodos.

Con el tiempo, el conjunto de electrodos catódico puede recubrirse con un recubrimiento o costra no conductores. Este recubrimiento no conductor puede retirarse del conjunto de electrodos catódico invirtiendo la polaridad de la potencia a los dos conjuntos de electrodos, conmutando el conjunto de electrodos catódico para que se convierta en el conjunto de electrodos anódico y conmutando el conjunto de electrodos anódico para que se convierta en el conjunto de electrodos catódico.

Preferentemente, el medio de conversión es un rectificador.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, los conjuntos de electrodos primero y segundo están hechos de materiales corrosibles.

Si el conjunto de electrodos catódico está hecho de un material no corrosible, el procedimiento de electrocoagulación se interrumpirá temporalmente cuando se invierte la polaridad de los conjuntos de electrodos. Sin embargo, cuando el primer y el segundo conjunto de electrodos están hechos de materiales corrosibles, el procedimiento de electrocoagulación continuará cuando se invierta la polaridad de los conjuntos de electrodos.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, la polaridad de cada conjunto de electrodos se invierte en intervalos de tiempo que están determinados por velocidades relativas de corrosión de los conjuntos de electrodos.

Invertir la polaridad de cada conjunto de electrodos en intervalos de tiempo significa que los dos conjuntos de electrodos se corroen en la misma velocidad. Así, se hace un uso máximo de los dos conjuntos de electrodos. Si los conjuntos de electrodos están hechos de materiales diferentes, los intervalos de tiempo están determinados por las velocidades relativas de corrosión de los diferentes materiales.

Preferentemente, los intervalos de tiempo son iguales cuando los conjuntos de electrodos primero y segundo están hechos del mismo material.

Si los dos conjuntos de electrodos están hechos del mismo material, por ejemplo, aluminio, los intervalos de tiempo serán iguales necesariamente con el fin de corroer los dos conjuntos de electrodos a la misma velocidad.

Alternativamente, los intervalos de tiempo pueden variar cuando los conjuntos de electrodos primero y segundo están hechos de materiales diferentes.

Si los dos conjuntos de electrodos están hechos de materiales diferentes, por ejemplo, aluminio y hierro respectivamente, los intervalos de tiempo serán necesariamente diferentes con el fin de corroer los dos conjuntos de electrodos a la misma velocidad. La velocidad de corrosión relativa de aluminio frente a hierro determina los intervalos de tiempo. Esto permite efectuar un procedimiento de electrocoagulación metálico mixto en la misma celda mientras se garantiza que se hace un uso máximo de los dos conjuntos de electrodos.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, el primer conjunto de electrodos está hecho de material seleccionado entre aluminio, hierro, acero, cinc, platino, oro o cobre, y el segundo conjunto de electrodos está hecho de material seleccionado entre aluminio, hierro, acero, cinc, platino, oro o cobre.

En una realización adicional de la celda de electrocoagulación según la invención, la cámara de reacción puede conectarse a un sistema de pulverización para suprimir cualquier formación de espuma de líquido contenida en la cámara de reacción durante el uso.

En uso se pulveriza agua sobre la superficie de la celda de electrocoagulación suprimiendo con ello la espuma resultante de la generación de gases por el procedimiento de electrocoagulación.

Los expertos en la materia observarán que las celdas de electrocoagulación individuales pueden interconectarse entre sí. Las celdas de electrocoagulación pueden disponerse en:

i) Serie hidráulica (el líquido que se trata se transfiere consecutivamente de una celda a la siguiente);

ii) Paralelo hidráulica (el líquido que se trata se transfiere a cada celda simultáneamente);

iii) Serie eléctrica (la corriente se transfiere consecutivamente de una celda a la siguiente); y

iv) Paralelo eléctrica (la corriente se transfiere a cada celda simultáneamente)

5

o en cualquier combinación de i) o ii) con iii) o iv) anterior.

La organización de las celdas de electrocoagulación en serie hidráulica es especialmente útil cuando el paso del líquido que se tratará a través de una celda de electrocoagulación es insuficiente para retirar los contaminantes del líquido.

10

Breve descripción de los dibujos

la fig. 1 es una vista en perspectiva de una primera realización de una celda de electrocoagulación de acuerdo con la invención;

15

la fig. 2 es una vista de alguna de las partes componentes de la celda de electrocoagulación de la fig. 1, antes del ensamblaje de la misma;

la fig. 3a es una vista en perspectiva de la celda de electrocoagulación de la fig. 1, con un panel frontal y lateral retirado, para ilustrar una fase inicial en el ensamblaje de la celda;

20

la fig. 3b es una vista en perspectiva de la celda de electrocoagulación de la fig. 1, con un panel frontal y lateral retirado, para ilustrar una fase adicional en el ensamblaje de la celda;

25

la fig. 3c es una vista en perspectiva de la celda de electrocoagulación de la fig. 1, con un panel frontal y lateral retirado, para ilustrar una fase adicional más en el ensamblaje de la celda;

la fig. 3d es una vista en perspectiva de la celda de electrocoagulación de la fig. 3c, con un electrodo parcialmente en corte transversal;

30

la fig. 4 es una vista en perspectiva de la celda de electrocoagulación de la fig. 1, con un panel frontal y lateral retirado, para ilustrar una fase adicional en el ensamblaje de la celda;

la fig. 5 es una vista en perspectiva de la celda de electrocoagulación de la fig. 1, con un panel frontal y lateral retirado, para ilustrar la fase en el ensamblaje de la celda cuando todos los electrodos se han introducido en la misma;

35

la fig. 6 es un alzado lateral de la celda de electrocoagulación de la fig. 1, con un ensamblaje de cubierta en posición en la misma;

40

la fig. 7 es una representación esquemática del circuito eléctrico de un rectificador al que puede conectarse una celda de electrocoagulación, de acuerdo con la invención; y

la fig. 8 es una vista en planta desde arriba de una realización adicional de la invención, en la que se conectan juntas en uso ocho celdas de electrocoagulación.

45

Formas de realizar la invención

En referencia a la fig. 1, se indica, generalmente con 10, una celda de electrocoagulación según la invención, comprendiendo la celda de electrocoagulación una cámara de reacción 11 y un primer y segundo conjunto de electrodos, 12 y 13 respectivamente, dispuestos dentro de la cámara de reacción 11 de manera que el primer conjunto de electrodos 12 está intercalado con el segundo conjunto de electrodos 13.

50

La celda de electrocoagulación 10 según la invención se comprende mejor describiendo primero el ensamblaje de la misma.

55

La fig. 2 ilustra los diversos componentes individuales que comprenden la celda de electrocoagulación 10, a saber, un electrodo individual 12' del primer conjunto de electrodos 12, un electrodo individual 13' del segundo conjunto de

electrodos 13, una tuerca de nailon 14 y un tornillo de nailon 15, un casquillo eléctricamente conductor 16 que tiene una abertura central 17 transversal, un blindaje de polipropileno 18, una varilla de unión roscada 19, una varilla de soporte no conductora 20, un separador de PVC 21 que tiene una abertura 22 en la misma, un casquillo colector de aluminio 23 que tiene una abertura central 24 transversal, un conector eléctrico 25, un distribuidor de presión de 5 acero inoxidable 26 que tiene una abertura central 27 transversal, una arandela Belleville 28, una arandela 29, una tuerca 30 y una tuerca terminal 31.

Antes del ensamblaje, todos los componentes se limpian minuciosamente. Las superficies de extremo de cada casquillo eléctricamente conductor 16 están recubiertas con grasa de contacto, a saber, grasa SGA (marca 10 registrada) distribuida por Electrolube (una división de H K Wentworth, Kingsbury Park, Midland Road, Swadlincote, Derbyshire, DE11 0AN, Inglaterra).

Cada electrodo individual 13' del segundo conjunto de electrodos 13 tiene una primera abertura 32, una segunda 15 abertura 33 y cuatro aberturas idénticas 34. El electrodo 13' está colocado en un banco de manera que la primera abertura 32 está en el lado derecho superior del electrodo 13' y se hace pasar un tornillo de nailon 15 a través de cada una de las cuatro aberturas idénticas 34 desde abajo y se asegura en su lugar mediante una tuerca de nailon 14. La cabeza del tornillo de nailon 15 actúa como un separador en un lado del electrodo 13' y la tuerca de nailon 14 actúa como un separador en el otro lado del electrodo 13'.

20 Cada electrodo individual 12' del primer conjunto de electrodos 12 tiene una primera abertura 35 y una segunda abertura 36.

En referencia a la fig. 3a, el diseño del interior de la cámara de reacción 11 incluye un par de pies de PVC 37. Los 25 soportes de PVC 37 potencian la función de la varilla de soporte no conductora 20:

- i) Para proporcionar soporte mecánico para los electrodos en la celda; y
- ii) Para impedir que los electrodos estrechamente compactados obstruyan la entrada del líquido que se está tratando a través de una entrada (no mostrada) situada en el extremo inferior de la cámara de reacción 11.

30 Para empezar el ensamblaje de la celda de electrocoagulación 10, se extiende un par de varillas de unión 19 (no mostrado en la fig. 3a) y la varilla de soporte no conductora 20 a través de la parte superior de la cámara de reacción 11 vacía. Se coloca un primer separador de PVC 21 estrechamente contra una pared lateral 38 de la cámara de reacción 11 de manera que la varilla de soporte no conductora 20 se extiende a través de la abertura 22 en el 35 separador de PVC 21.

En referencia a la fig. 3b, se coloca un electrodo individual 12' del primer conjunto de electrodos 12 estrechamente contra el separador de PVC 21 con la varilla de unión 19 en el lado izquierdo de la cámara de reacción 11 que se 40 extiende a través de la primera abertura 35 y la varilla de soporte no conductora 20 se extiende a través de la segunda abertura 36. Se coloca un casquillo eléctricamente conductor 16 con respecto al electrodo 12' extendiendo la varilla de unión 19 a través de la abertura 17 en el casquillo eléctricamente conductor 16. A continuación se ajusta un blindaje de polipropileno 18 sobre el casquillo eléctricamente conductor 16.

En referencia a la fig. 3c, se coloca un electrodo individual 13' del segundo conjunto de electrodos 13 estrechamente 45 contra el electrodo individual 12' ya en su lugar con la varilla de unión 19 en el lado derecho de la cámara de reacción 11 que se extiende a través de la primera abertura 32, y la varilla de soporte no conductora 20 que se extiende a través de la segunda abertura 33. Como antes, se coloca un casquillo eléctricamente conductor 16 con respecto al electrodo 13' por el que se extiende la varilla de unión 19 a través de la abertura 17 del casquillo eléctricamente conductor 16 y se ajusta un blindaje de polipropileno 18 sobre el casquillo eléctricamente conductor 50 16.

La fig. 3d ilustra cómo actúan la tuerca de nailon 14 y el tornillo de nailon 15 como separador entre los electrodos adyacentes 12' y 13'.

55 El procedimiento descrito anteriormente se repite con electrodos individuales 12' y 13' del conjunto primero y segundo de electrodos 12 y 13, respectivamente, que están dispuestos en las varillas de unión 19 respectivas de una manera alterna, según se ilustra en la fig. 4. La forma de los electrodos 12' y 13', en particular los bordes superiores en pendiente 39, 40, respectivamente, significa que la parte más baja del borde superior (no mostrada) del electrodo 12' del primer conjunto de electrodos 12 se extiende por debajo de los casquillos eléctricamente

conductores 16 dispuestos entre los electrodos 13' del segundo conjunto de electrodos 13 y viceversa.

La forma de los electrodos 12' y 13' de la celda de electrocoagulación 10 hace un uso máximo de la lámina de metal a partir de la cual se cortan los electrodos ya que no existe el requisito de una lengüeta integrada, que se extienda por encima del cuerpo principal del electrodo, como en algunas celdas de la técnica anterior (véase patente de EE.UU. nº 6.139.710 y Publicación Internacional nº WO-2004/046.051).

La fig. 5 ilustra la celda de electrocoagulación 10 ensamblada. Una vez que el primer y segundo conjunto de electrodos 12, 13 se han dispuesto dentro de la cámara de reacción 11, se coloca un segundo separador de PVC 21 entre el electrodo 12' de extremo del primer conjunto de electrodos 12 y una pared de extremo (no mostrada) de la cámara de reacción 11, de manera que la varilla de soporte no conductora 20 se extiende a través de la abertura 22 en el separador de PVC 21. El primer y segundo conjunto de electrodos 12 y 13 están compactados tan estrechamente en la cámara de reacción 11 que el segundo separador de PVC 21 sólo encaja justamente en la cámara de reacción 11 y provoca con ello una compactación adicional del primer y segundo conjunto de electrodos 12 y 13 y los casquillos eléctricamente conductores 16 dispuestos entre electrodos del mismo conjunto.

Durante el ensamblaje de la celda, cada varilla de unión 19 se extiende a través de las aberturas relevantes en los electrodos respectivos y las aberturas 17 de los casquillos eléctricamente conductores 16 de manera que los extremos 41 de cada varilla de unión 19 que se extiende más allá de los electrodos dispuestos en la cámara de reacción 11 son de longitud sustancialmente igual.

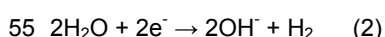
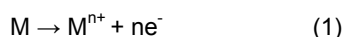
El ensamblaje de la celda de electrocoagulación 10 se completa ajustando a su vez los extremos 41 de cada varilla de unión 19, un casquillo colector de aluminio 23, un conector eléctrico 25, un primer distribuidor de presión de acero inoxidable 26, un par de arandelas Belleville 28 opuestas, un segundo distribuidor de presión de acero inoxidable 26, una arandela (no mostrada) y una tuerca 30.

La tuerca 30 en cada extremo de cada varilla de unión 19 se aprieta hasta que el par de arandelas Belleville 28 opuestas sea casi plano. Así se mejora el acoplamiento de los casquillos eléctricamente conductores 16 con los electrodos del mismo conjunto y se asegura que pueda acoplarse el número de electrodos máximo en la cámara de reacción 11.

Se atornilla una tuerca terminal 31 en cada extremo 41 de cada varilla de unión 19 con el fin de proteger las roscas de cada varilla de unión 19.

En referencia a la fig. 6, en funcionamiento, el líquido a procesar se introduce en la cámara de reacción 11 por medio de una entrada 42. Normalmente, el líquido a procesar se filtra antes de la introducción en la cámara de reacción 11 con el fin de retirar partículas grandes. Los factores más relevantes para determinar la cantidad de tensión y corriente que se aplicará a la celda 10 son la velocidad de flujo del líquido que entra en la cámara de reacción 11 y la concentración de contaminantes contenidos en la misma. La velocidad de flujo del líquido que entra en la cámara de reacción 11 se mide y se controla mediante una placa de orificios (no mostrada) situada corriente arriba de la entrada 42.

La corriente se hace pasar inicialmente a través de los casquillos colectores de aluminio 23 y los casquillos eléctricamente conductores 16 a cada electrodo 12' del primer conjunto de electrodos 12. Cuando se hace pasar corriente a través de cada electrodo 12' del primer conjunto de electrodos 12, el metal (M) se oxida a su catión (M^{n+}) (Ecuación 1). Simultáneamente, el agua se reduce a gas hidrógeno e ion hidroxilo (OH^-) en cada electrodo 13' del segundo conjunto de electrodos 13 (Ecuación 2). La polaridad de cada conjunto de electrodos 12 y 13 respectivamente, se invierte periódicamente de manera que la reacción anódica (Ecuación 1) tiene lugar en cada electrodo 13' del segundo conjunto de electrodos 13 y la reacción catódica (Ecuación 2) tiene lugar en cada electrodo 12' del segundo conjunto de electrodos 12. La electrocoagulación introduce así cationes metálicos *in situ* usando ánodos protectores fungibles, normalmente de aluminio o hierro.



Los cationes altamente cargados desestabilizan cualquier partícula coloidal por la formación de complejos de polihidróxidos polivalentes. Estos complejos tienen altas propiedades de adsorción, formando agregados con contaminantes. La evolución del gas hidrógeno ayuda a la mezcla y crea un efecto de flotación que retira los

contaminantes coagulados a la superficie.

El flujo de líquido a través de la cámara de reacción 11 tiene una dirección ascendente y el líquido pasa hacia el exterior de la cámara de reacción 11 por medio de un conducto de salida 43 en un vaso de recogida 44. La velocidad de flujo del líquido a través de la cámara de reacción 11 es por lo común suficientemente rápida para acarrear todas las partículas coaguladas en el vaso de recogida 44. A continuación se mueve el líquido a un punto de tratamiento de separación secundaria en el que, dependiendo del volumen de líquido afectado, las partículas coaguladas pueden retirarse del líquido por técnicas de aclaramiento conocidas en la técnica, por ejemplo, sedimentación por gravedad, sedimentación centrífuga, filtrado y separación magnética.

10

La cámara de reacción 11 puede conectarse a un sistema de pulverización, mostrado generalmente en 45, usado para suprimir cualquier formación de espuma de líquido contenida en la cámara de reacción 11 durante el uso. El sistema de pulverización 45 tiene una cubierta 46 y una cabeza de pulverización 47. La cabeza de pulverización 47 se atornilla en una sección de tubería de plástico 48 que corre a lo largo del vértice de la cubierta 46. La sección de tubería de plástico 48 puede conectarse a una red de suministro de agua y el flujo de agua a través de la cabeza de pulverización 47 hace que el agua se pulverice sobre la cámara de reacción 11 según se indica por la pulverización de agua 49, suprimiendo con ello la formación de espuma de líquido contenido en la misma. La cámara de reacción 11 puede conectarse también a una sección adicional de tubería de plástico 50 que tiene una multitud de aberturas en toda su longitud y está sellada herméticamente en un extremo. La sección de tubería de plástico 50 está dispuesta en un saliente 51 de la cámara de reacción 11 y está tapada por la cubierta 46 del sistema de pulverización 45. La sección de tubería de plástico 50 puede conectarse a una red de suministro de agua y el flujo de agua a través de las aberturas en toda su longitud hace que el agua se pulverice sobre la cámara de reacción 11 según se indica por la pulverización de agua 52, ayudando a suprimir la formación de espuma del líquido contenido en la misma y dirigiendo la espuma hacia el conducto de salida 43. En general, la red de suministro de agua se abastece con agua reciclada a partir del procedimiento de electrocoagulación.

En referencia a la fig. 7, se muestra una representación en diagrama de una fuente de alimentación para la celda de electrocoagulación 10. A la fuente de alimentación se le suministra una entrada corriente alterna trifásica 53. La tensión y la corriente aplicada a la celda de electrocoagulación 10 se ajustan según la velocidad de flujo del líquido a procesar, el tipo y concentración de contaminantes y el tamaño físico de la celda de electrocoagulación 10. La información requerida es asimilada por un Controlador de Lógica Programable (PLC) 54 y la tensión y la corriente aplicadas a la celda de electrocoagulación 10 se ajusta automáticamente por medio del PLC 54. La tensión y la corriente ajustadas se aplican a un transformador 55 para elevar o reducir la tensión según pueda requerirse. Un rectificador 56 toma la corriente alterna del transformador 55, la rectifica y proporciona corriente continua al conector eléctrico 25 de la celda de electrocoagulación 10.

El rectificador 56 es un rectificador controlado por tiristor (RCT). Para proporcionar una corrosión uniforme de los electrodos 12' y 13' y limpiar los electrodos 12' y 13' de depósitos y gases no deseados, la corriente del rectificador 56 se invierte en intervalos de tiempo seleccionados.

40

En referencia de nuevo a la fig. 5, el terminal positivo del rectificador 56 está conectado a los conectores eléctricos 25 dispuestos en ambos extremos 41 de la varilla de unión 19, que pasa a través del primer conjunto de electrodos 12, y el terminal negativo del rectificador 56 está conectado a los conectores eléctricos 25 dispuestos en ambos extremos 41 de la varilla de unión 19, que pasa a través del segundo conjunto de electrodos 13. Así, la corriente se hace pasar por la celda de electrocoagulación 10 en ambos extremos de la varilla de unión 19 en el lado izquierdo y se retira de la celda de electrocoagulación 10 de ambos extremos de la varilla de unión 19 en el lado derecho. En intervalos de tiempo preestablecidos, se invierte la polaridad de la celda de electrocoagulación 10.

La fig. 8 es una vista en planta desde arriba de una realización adicional de la invención, en la que se conectan entre sí ocho celdas de electrocoagulación 10 en uso. Las celdas de electrocoagulación 10 se conectan en paralelo hidráulico. Resulta especialmente útil cuando se debe tratar un volumen grande o continuo de líquido.

La invención se ilustrará adicionalmente mediante los siguientes Ejemplos.

55 Ejemplo 1

Se ensambló una celda de electrocoagulación 10 según se ilustra en la fig. 1, que tenía un primer conjunto de veintiún electrodos de aluminio 12' y un segundo conjunto de veinte electrodos de aluminio 13' según se ha descrito anteriormente y se conectó al sistema de pulverización 45. La celda de electrocoagulación 10 se conectó al

rectificador 56. El terminal positivo del rectificador 56 se conectó a los conectores eléctricos 25 dispuestos en cualquiera de los extremos de la primera varilla de unión 19 y el terminal negativo del rectificador 56 se conectó a los conectores eléctricos 25 dispuestos en cualquiera de los extremos de la segunda varilla de unión 19.

- 5 Se hicieron pasar 800 amperios de corriente en la celda de electrocoagulación 10, 400 amperios por medio del casquillo colector de aluminio 23 dispuesto en un extremo de la primera varilla de unión 19 y 400 amperios por medio del casquillo colector de aluminio 23 dispuesto en el otro extremo de la primera varilla de unión 19, con cada electrodo 12' dispuesto en la primera varilla de unión 19 que lleva una corriente de 40 amperios por medio de los casquillos eléctricamente conductores 16 dispuestos entre sí. La corriente que pasa desde los electrodos anódicos a los electrodos catódicos y que se retiró de la celda de electrocoagulación 10 de ambos extremos de la segunda varilla de unión 19.

- Se bombearon 8 m³ por hora de efluente procedente de una operación de corte de vidrio a través de la celda de electrocoagulación 10. El efluente contenía de 800 a 1.000 mg por litro de vidrio molido en suspensión y de 40 a 60 mg por litro de plomo disuelto. La celda de electrocoagulación 10 se accionó continuamente durante 108 horas y la polaridad de celda de electrocoagulación 10 se invirtió cada diez minutos.

- Las aguas madres descargadas de la celda 10 en el vaso de recogida 44 se trataron con polielectrolito y se dejó sedimentar. Se analizaron las aguas madres sobrenadantes transparentes y contenían aproximadamente 10 mg por litro de sólidos en suspensión y 0,2 mg por litro de plomo disuelto.

- Durante el procedimiento de electrocoagulación, se vigilaron las caídas de tensión desde los casquillos colectores de aluminio 23 a los casquillos eléctricamente conductores 16 situados aproximadamente en el centro de las varillas de unión 19. Las caídas de tensión estuvieron en el intervalo de 0,33 a 0,45 voltios, lo que indicaba que había buen contacto eléctrico entre cada casquillo eléctricamente conductor 16 y los electrodos adyacentes del mismo conjunto.

Ejemplo 2

- Se ensamblaron cuatro celdas de electrocoagulación 10, cada una de las cuales tenía un primer conjunto de veintidós electrodos de aluminio 12' y un segundo conjunto de veinte electrodos de aluminio 13', según se describe anteriormente, conectados al sistema de pulverización 45 y dispuestos en serie eléctrica y paralelo hidráulico, de la misma manera que las celdas de electrocoagulación 10 de la fig. 8.

- El terminal positivo del rectificador 56 se conectó a los conectores eléctricos 25 dispuestos en cualquiera de los extremos de una varilla de unión 19 de una primera celda de electrocoagulación 10. Los conectores eléctricos 25 dispuestos en cualquiera de los extremos de la otra varilla de unión 19 de la primera celda de electrocoagulación se conectaron al medio de conexión eléctrica 25 dispuesto en cualquiera de los extremos de una varilla de unión 19 de una segunda celda de electrocoagulación 10. La segunda celda de electrocoagulación 10 se conectó a la tercera celda de electrocoagulación 10 y la tercera celda de electrocoagulación 10 a la cuarta celda de electrocoagulación 10 de forma similar. Los conectores eléctricos 25 de la cuarta celda de electrocoagulación 10 no conectados a la tercera celda de electrocoagulación 10 se conectaron al terminal negativo del rectificador 50.

- Las cuatro celdas de electrocoagulación 10 se conectaron en paralelo hidráulico de manera que el flujo total del líquido a procesar se dividió uniformemente entre las cuatro celdas 10. La cantidad de corriente que se hizo pasar por las celdas 10 varió entre 300 y 900 amperios debido a la velocidad de flujo variable en el líquido en las celdas 10.

- La corriente se hizo pasar en la primera celda de electrocoagulación 10 según la manera descrita en el Ejemplo 1 y posteriormente se hizo pasar a través de las celdas de electrocoagulación 10 segunda, tercera y cuarta y de nuevo al rectificador 56 por medio de los conectores eléctricos 25 de la cuarta celda de electrocoagulación 10 no conectada a la tercera celda de electrocoagulación 10.

- Se bombearon de 16 a 39 m³ por hora de efluente procedente una operación de corte de vidrio a través de las celdas 10. El efluente contenía de 800 a 1.000 mg por litro de vidrio molido en suspensión y de 40 a 60 mg por litro de plomo disuelto. Las celdas de electrocoagulación 10 se accionaron de forma continua durante 24 días y la polaridad de celdas de electrocoagulación 10 se invirtió cada diez minutos.

Las aguas madres descargadas de las celdas de electrocoagulación 10 en el vaso de recogida 44 se trataron con polielectrolito y se bombearon a un dispositivo de aclaramiento continuo. Se analizaron las aguas madres

sobrenadantes transparentes y contenían aproximadamente 10 mg por litro de sólidos en suspensión y 0,2 mg por litro de plomo disuelto.

5 Durante el procedimiento de electrocoagulación, se vigilaron las caídas de tensión de los casquillos colectores de aluminio 23 a los casquillos eléctricamente conductores 16 situados aproximadamente en el centro de las varillas de unión 19. Las caídas de tensión estuvieron en el intervalo de 0,3 a 0,8 volts, lo que indica que el buen contacto eléctrico entre los casquillos eléctricamente conductores 16 y los electrodos adyacentes del mismo conjunto se mantuvo durante el transcurso de los 24 días. Cuando se desmontaron las celdas de electrocoagulación 10 al final de la electrolisis, no era evidente ninguna corrosión de los casquillos eléctricamente conductores 16 y los casquillos 10 16 se volvieron a usar.

Ejemplo 3

Se ensamblaron cuatro celdas de electrocoagulación 10, cada una de las cuales tenía un primer conjunto de veintidós 15 electrodos de aluminio 12' y un segundo conjunto de veinte electrodos de aluminio 13', según se describe anteriormente, conectadas al sistema de pulverización 45 y dispuestas en serie eléctrica y paralelo hidráulico, de la misma manera que las celdas de electrocoagulación 10 de la fig. 8. La cantidad de corriente que se hizo pasar en las celdas de electrocoagulación 10 varió entre 400 y 450 amperios debido a la velocidad de flujo variable del líquido en las celdas 10. La corriente se hizo pasar en y a través de las celdas de electrocoagulación 10 de la manera 20 descrita en el Ejemplo 1 y el Ejemplo 2.

Se bombearon de 36 a 39 m³ por hora de efluente procedente una operación de corte de vidrio a través de las celdas de electrocoagulación 10. El efluente contenía de 800 a 1.000 mg por litro de vidrio molido en suspensión y de 40 a 60 mg por litro de plomo disuelto. Las celdas de electrocoagulación 10 se accionaron continuamente durante 22 días 25 y la polaridad de celdas de electrocoagulación 10 se invirtió cada diez minutos.

Las aguas madres descargadas de la celda 10 en el vaso de recogida 44 se trataron con polielectrolito y se bombearon a un dispositivo de aclaramiento continuo. Se analizaron las aguas madres sobrenadantes transparentes y contenían aproximadamente 10 mg por litro de sólidos en suspensión y 0,6 mg por litro de plomo disuelto.

30 Durante el procedimiento de electrocoagulación, se vigilaron las caídas de tensión desde los casquillos colectores de aluminio 23 a los casquillos eléctricamente conductores 16 situados aproximadamente en el centro de las varillas de unión 19. Las caídas de tensión estuvieron en el intervalo de 0,2 a 0,3 voltios, lo que indicaba que se mantuvo el buen contacto eléctrico entre los casquillos eléctricamente conductores 16 y los electrodos adyacentes del mismo 35 conjunto durante el transcurso de los 22 días. Cuando se desmontaron las celdas de electrocoagulación 10 al final de la electrolisis, no era evidente la corrosión de los casquillos eléctricamente conductores 16 y estos casquillos 16 se volvieron a usar.

REIVINDICACIONES

1. Una celda de electrocoagulación (10) que comprende una cámara de reacción (11), un primer y segundo conjunto de electrodos (12, 13) dispuestos dentro de la cámara de reacción (11) de manera que el primer conjunto de electrodos (12) está intercalado con el segundo conjunto de electrodos (13), estando dispuesto un casquillo eléctricamente conductor (16) entre cada par de electrodos adyacentes del mismo conjunto, manteniéndose los electrodos y casquillos eléctricamente conductores del mismo conjunto en contacto eléctrico entre sí mediante una varilla de unión (19) que puede extenderse a través de una abertura en cada electrodo y una abertura coalineada en cada casquillo eléctricamente conductor, pudiendo conectarse el primer conjunto de electrodos (12) mediante un medio de conexión eléctrica (25) dispuesto en el o en cada extremo de la varilla de unión (19) a un polo de una fuente de alimentación eléctrica, pudiendo conectarse el segundo conjunto de electrodos (13) mediante un medio de conexión eléctrica (25) dispuesto en el o en cada extremo de la varilla de unión (19) al polo opuesto de la fuente de alimentación y estando colocados los casquillos conductores (16) con respecto a los electrodos de manera que se evite el contacto con el líquido contenido en la cámara de reacción en uso.
2. Una celda de electrocoagulación según la reivindicación 1, en la que se dispone un medio de apriete (14) en uno o ambos extremos de la varilla de unión (19), lo que, en uso, fuerza los electrodos (12, 13) contra los casquillos eléctricamente conductores (16) aumentando con ello el contacto eléctrico entre los electrodos (12, 13) y los casquillos eléctricamente conductores (16) dispuestos entre sí.
3. Una celda de electrocoagulación según la reivindicación 2, en la que la tensión en la varilla de unión (19) se mantiene mediante casquillos de presión (26) separados por arandelas elásticas (28, 29).
4. Una celda de electrocoagulación según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que se dispone un medio de conexión eléctrica adicional en un punto a lo largo de la varilla de unión (19).
5. Una celda de electrocoagulación según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que los conjuntos primero y segundo de electrodos (12, 13) están dispuestos dentro de la cámara de reacción (11) en relación separada y paralela uno con respecto al otro.
6. Una celda de electrocoagulación según la reivindicación 5, en la que los conjuntos primero y segundo de electrodos (12, 13) se mantienen en relación separada y paralela uno con respecto al otro mediante separadores no conductores (14, 15) ajustados a los electrodos del primero o el segundo conjunto de electrodos.
7. Una celda de electrocoagulación según la reivindicación 6, en la que cada separador no conductor comprende una tuerca (14) y un tornillo (15), pudiendo extenderse el tornillo (15) a través de una abertura adicional en un electrodo y pudiendo ajustarse por medio de la tuerca (14), de manera que la cabeza del tornillo (15) actúa como un separador en un lado del electrodo y la tuerca actúa como un separador en el otro lado del electrodo.
8. Una celda de electrocoagulación según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que los dos conjuntos de electrodos (12, 13) están sustentados en una varilla no conductora (20) que puede extenderse a través de una abertura adicional en cada electrodo.
9. Una celda de electrocoagulación según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que las superficies de contacto de cada casquillo (16) pueden recubrirse con grasa de contacto.
10. Una celda de electrocoagulación según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la superficie expuesta de cada casquillo (16) está cubierta por un blindaje (18).
11. Una celda de electrocoagulación según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la fuente de alimentación eléctrica puede conectarse a un medio de conversión, en particular un rectificador, para permitir la inversión de la polaridad de cada conjunto de electrodos.
12. Una celda de electrocoagulación según la reivindicación 11, en la que la polaridad de cada conjunto de electrodos (12, 13) se invierte en intervalos de tiempo que están determinados por las velocidades relativas de corrosión de los conjuntos de electrodos.
13. Una celda de electrocoagulación según la reivindicación 12, en la que los intervalos de tiempo son iguales cuando los conjuntos de electrodos primero y segundo (12, 13) están hechos del mismo material.

14. Una celda de electrocoagulación según la reivindicación 12, en la que los intervalos de tiempo pueden variar cuando los conjuntos de electrodos primero y segundo (12, 13) están hechos de materiales diferentes.

15. Una celda de electrocoagulación según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la cámara de
5 reacción (11) puede conectarse a un sistema de pulverización usado para suprimir la formación de espuma de líquido contenido en la cámara de reacción durante el uso.

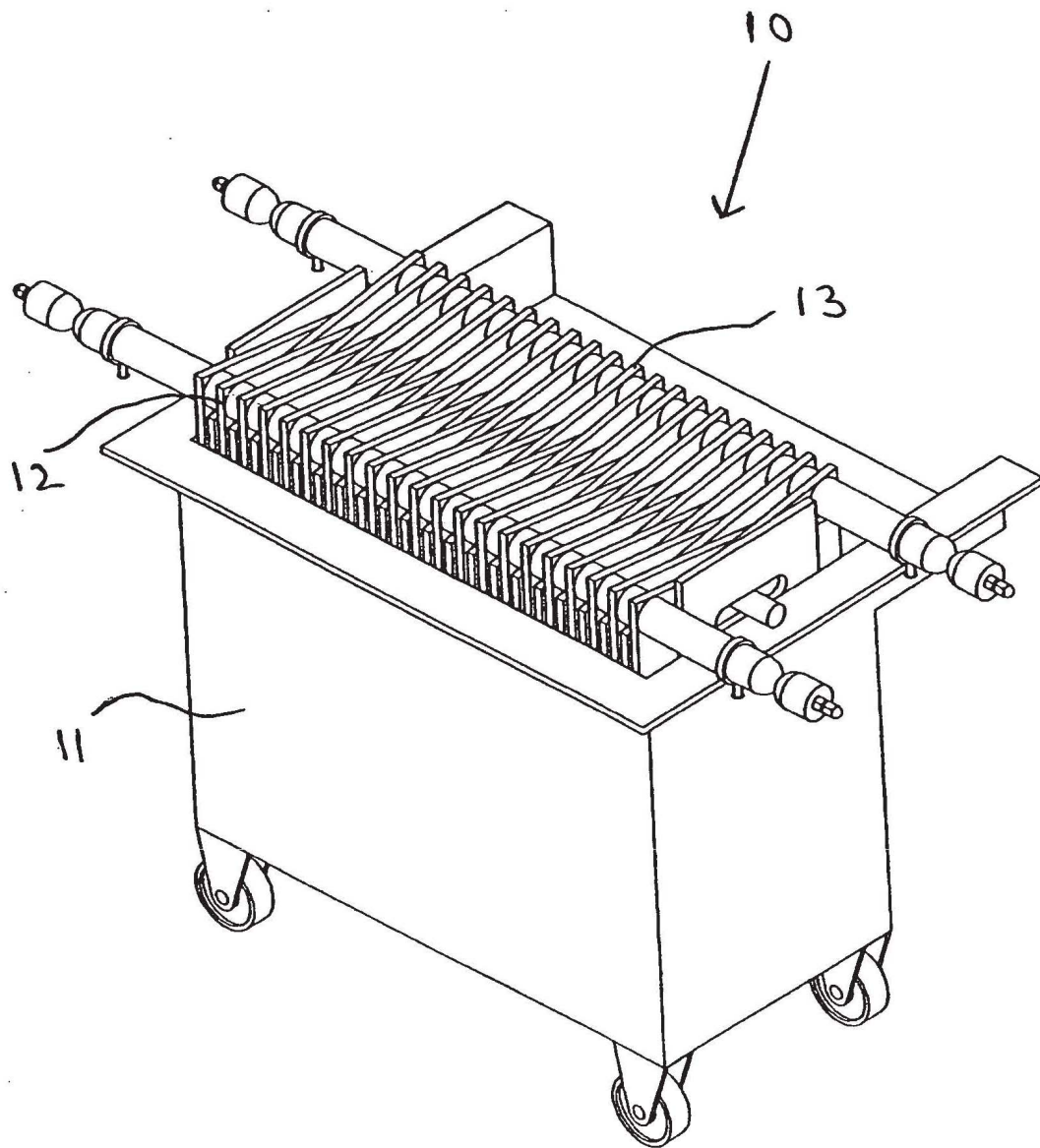


Fig. 1

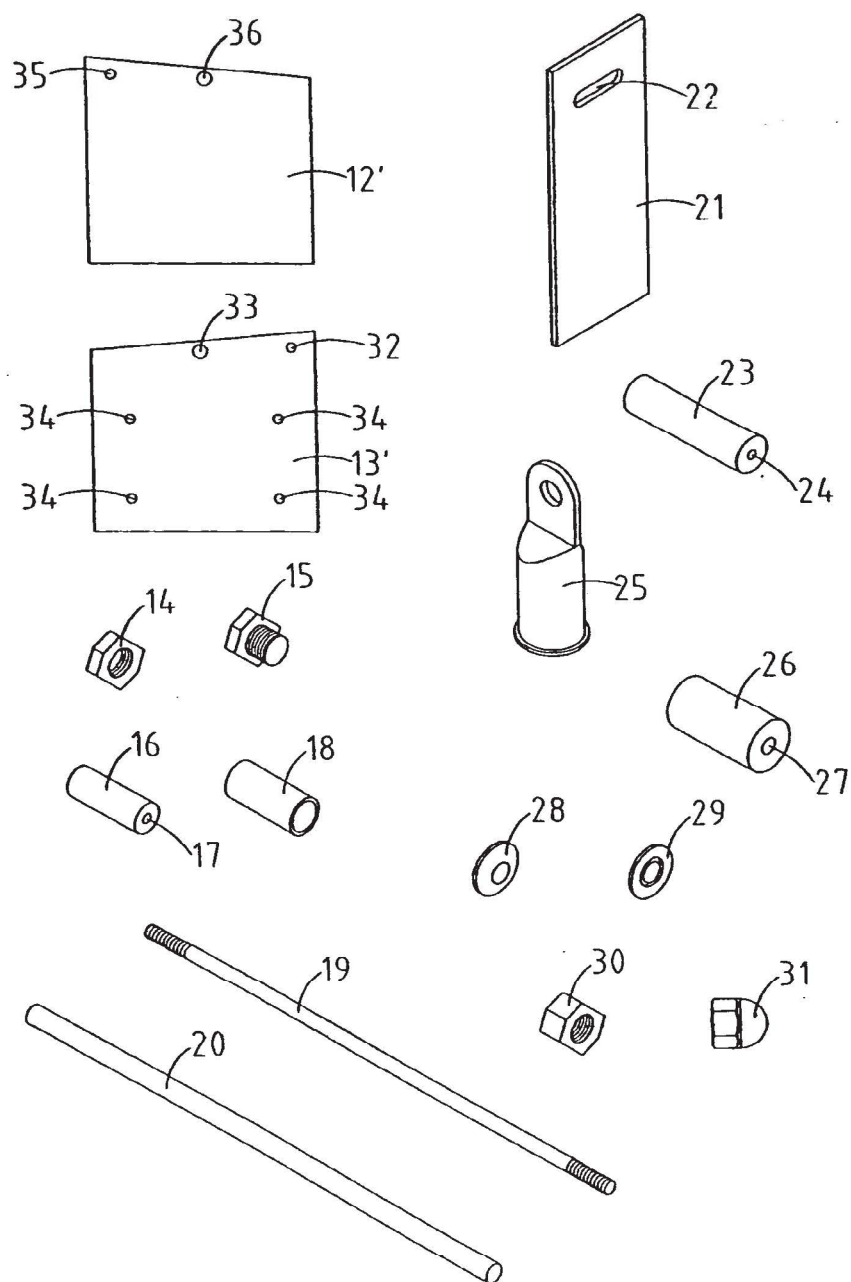


Fig. 2

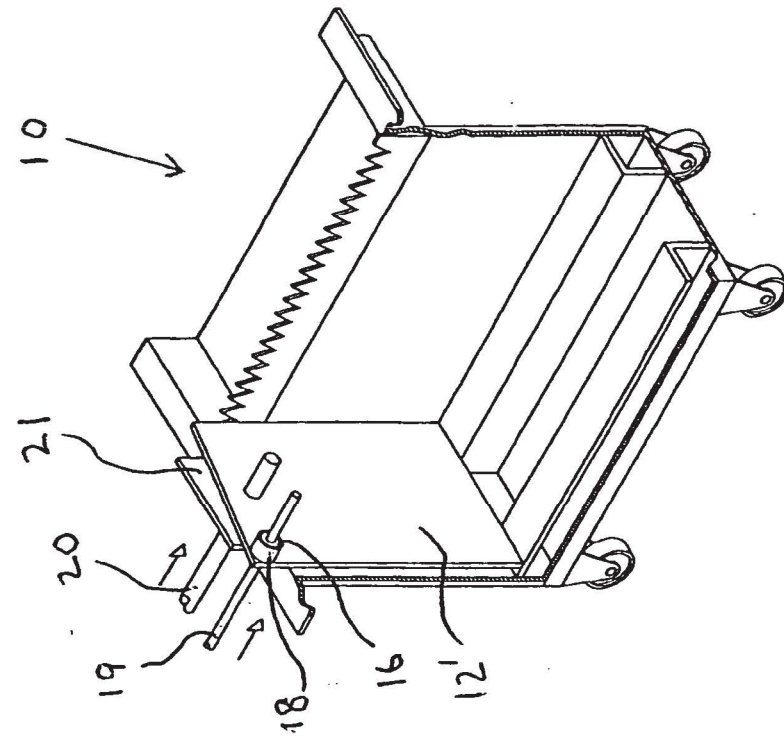


Fig. 3b

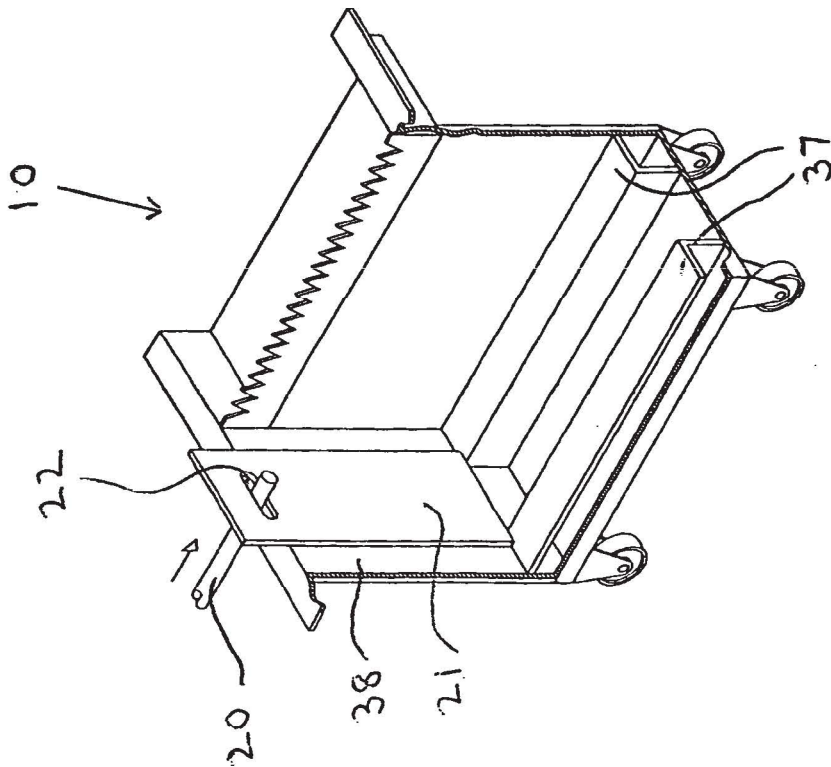


Fig. 3a

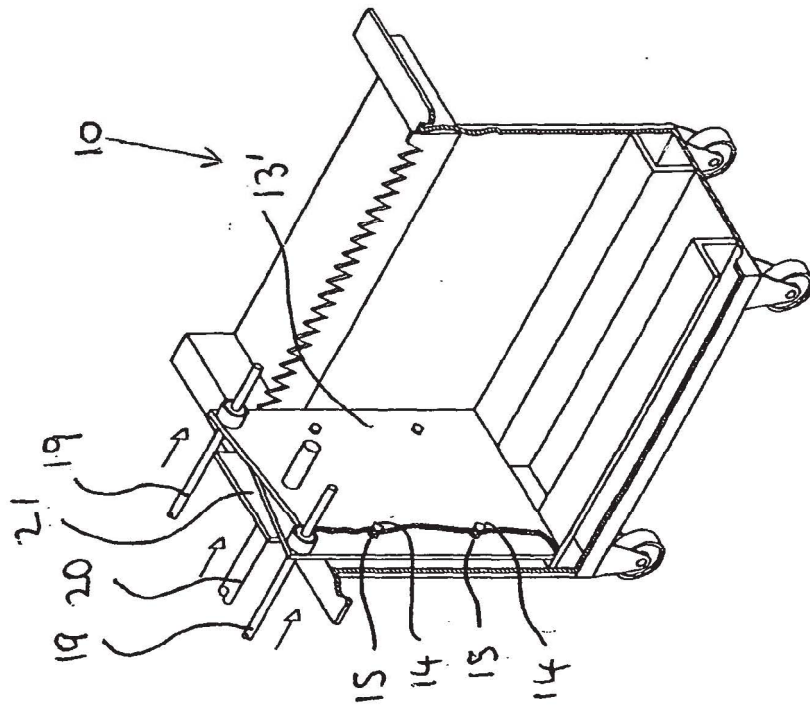


Fig. 3d

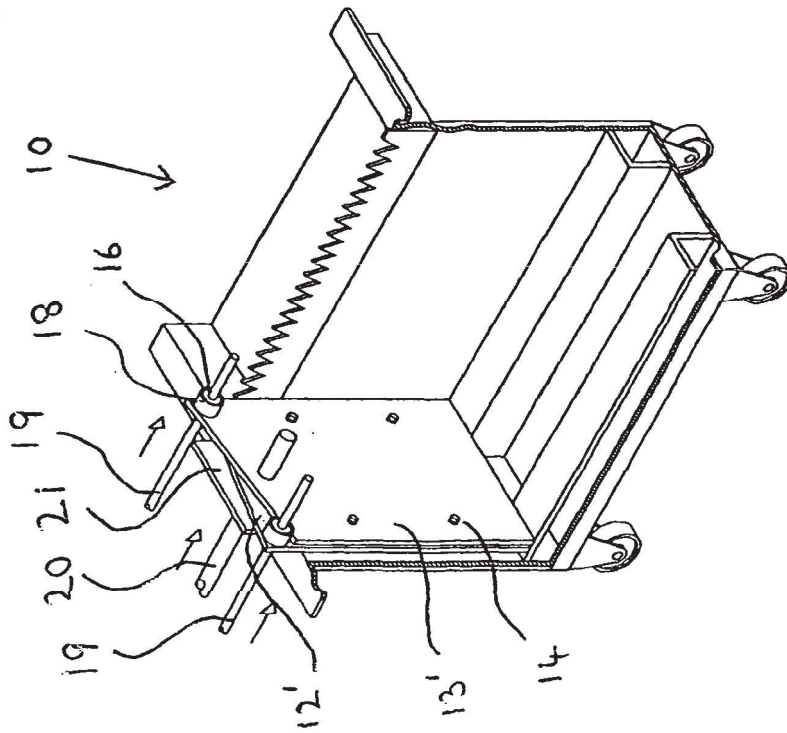


Fig. 3c

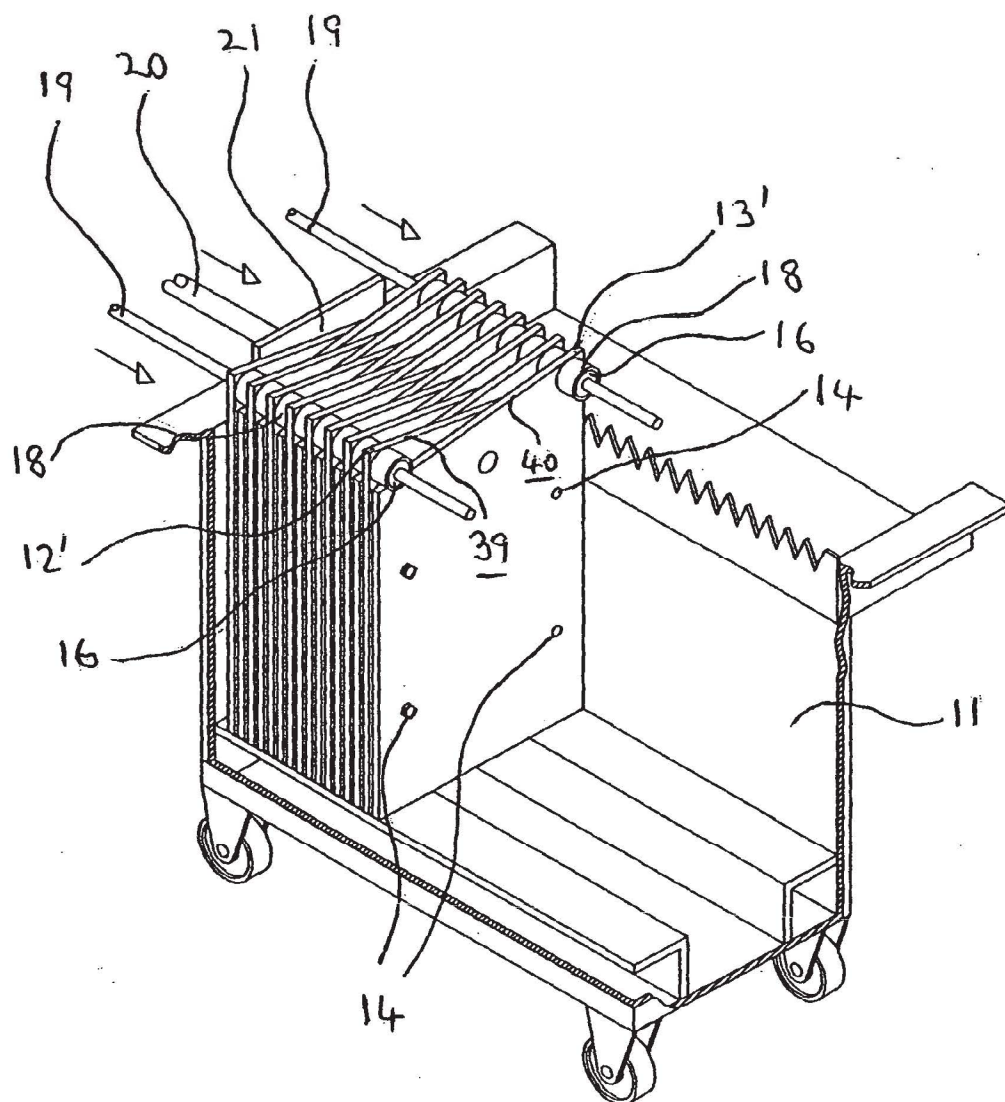


Fig. 4

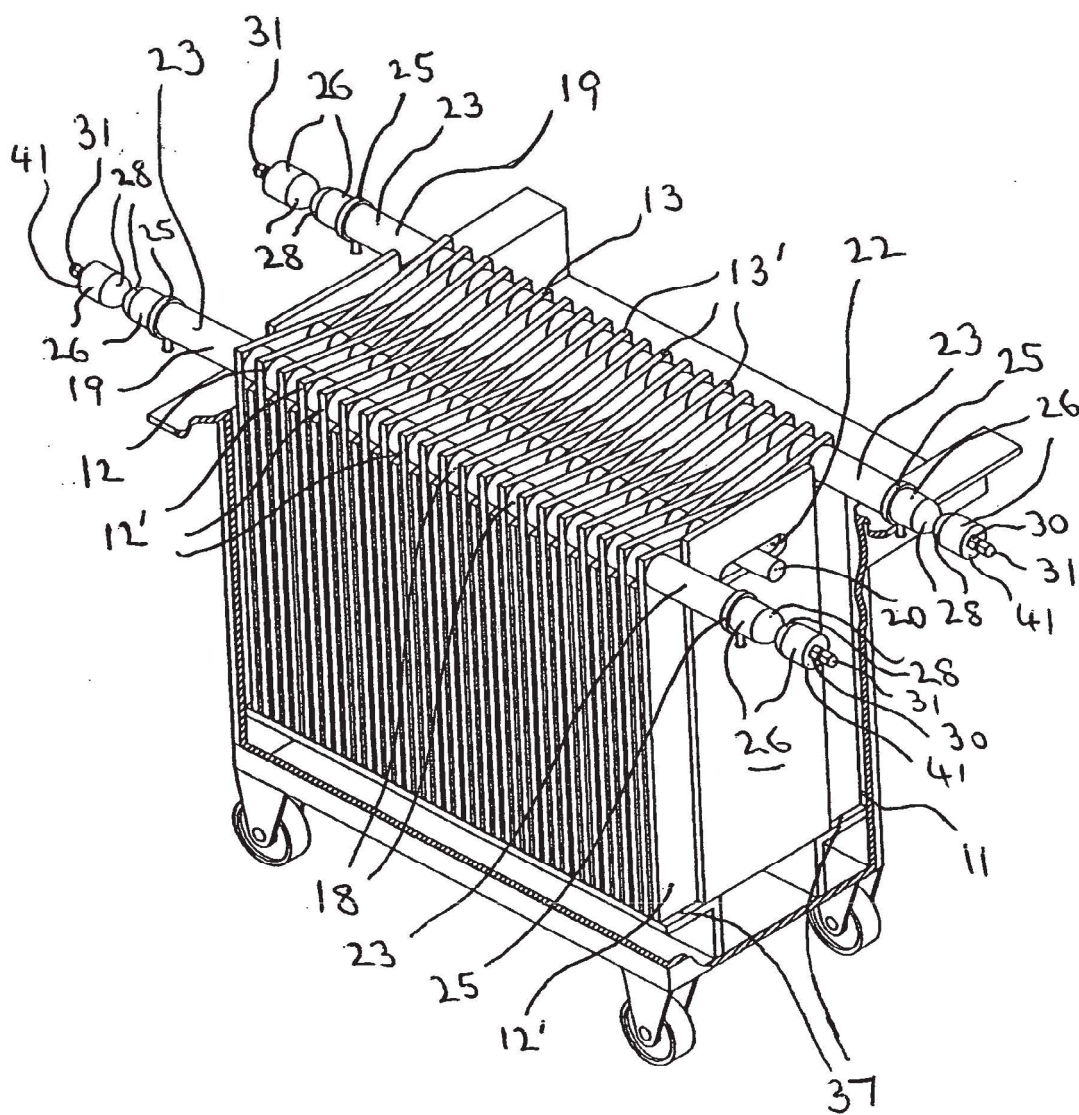


Fig. 5

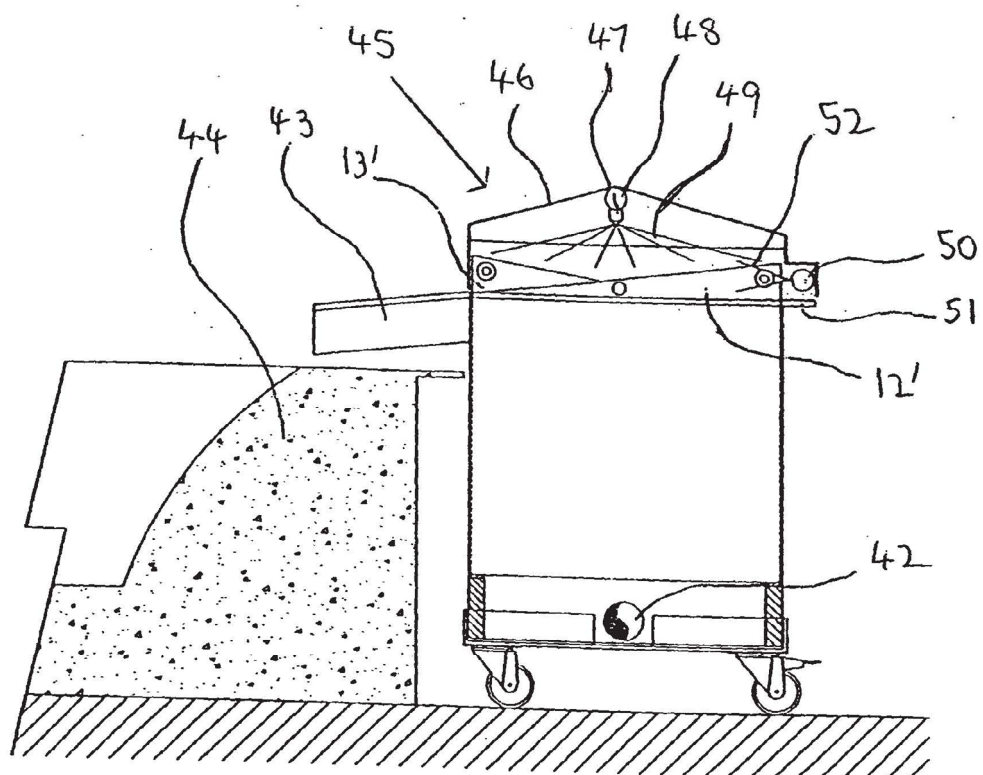


Fig. 6

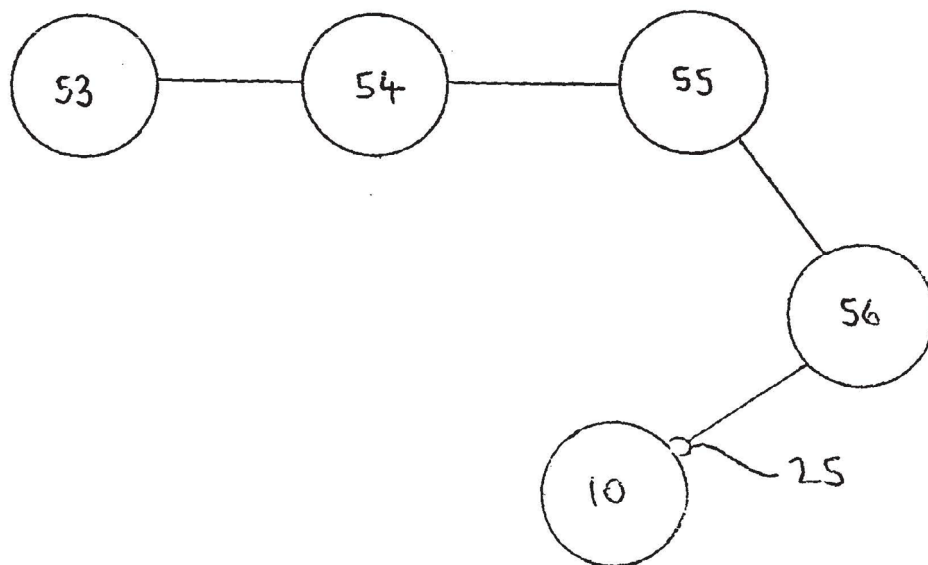


Fig. 7

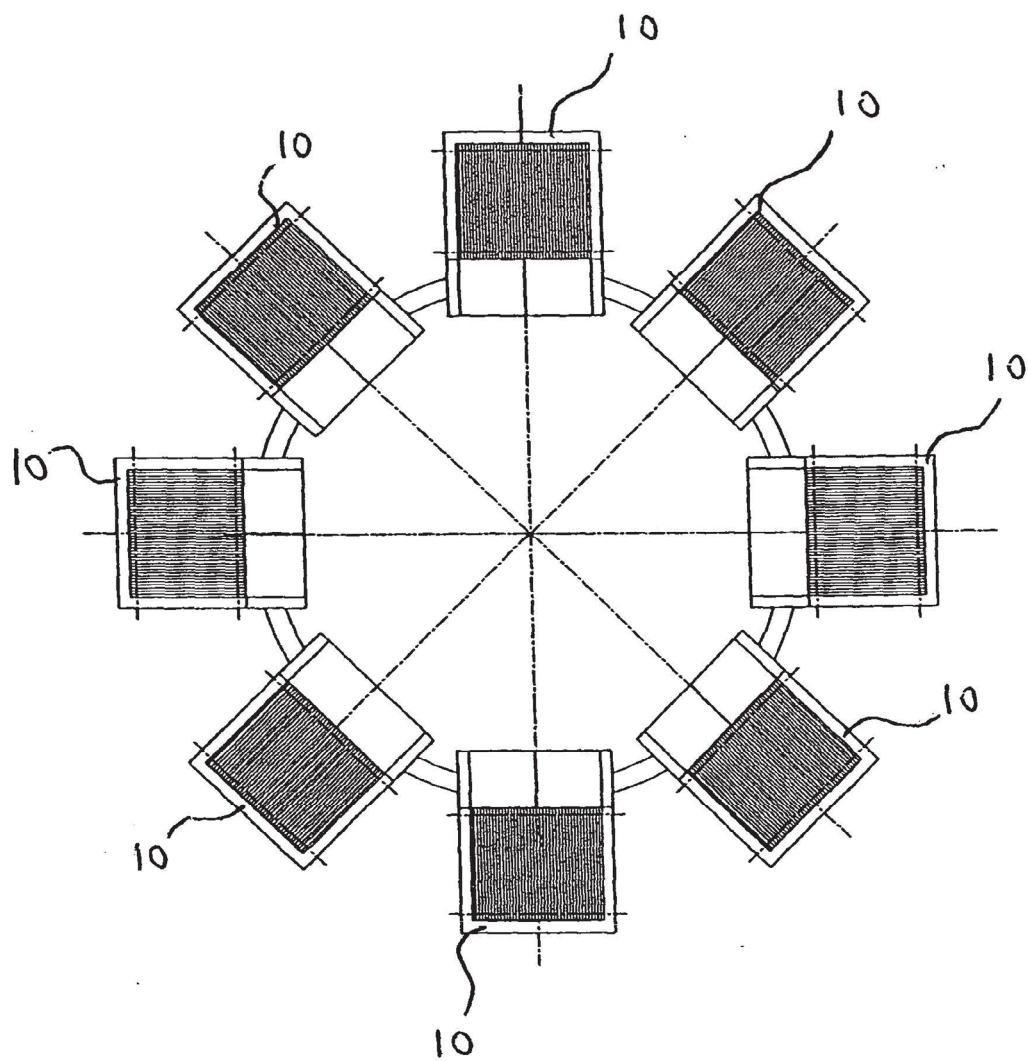


Fig. 8