

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 413 390**

51 Int. Cl.:

B01D 61/48 (2006.01)

C02F 1/469 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.10.2004 E 04795987 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2013 EP 1682699**

54 Título: **Dispositivo de electrodeionización espiral y componentes del mismo**

30 Prioridad:

20.10.2003 US 512661 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

16.07.2013

73 Titular/es:

**IONICS, INCORPORATED (100.0%)
65 GROVE STREET
WATERTOWN, MA 02472, US**

72 Inventor/es:

**GREBENYUK, VLADIMIR;
GREBENYUK, OLEG;
SIMS, KEITH, J.;
CARSON, WILLIAM, W.;
MACDONALD, RUSSELL, J. y
ZHANG, LI**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 413 390 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

Dispositivo de electrodeionización espiral y componentes del mismo

Antecedentes

5 La presente invención se refiere a procedimientos y dispositivos de desmineralización de fluidos, y se refiere a cartuchos o módulos de filtración o tratamiento, que tienen un aspecto genéricamente cilíndrico y construido con capas de membranas permeables selectivamente enrolladas de manera espiral. Se refiere en particular a dispositivos de electrodiálisis y electrodeionización, en los que las membranas poseen selectividad iónica, y el dispositivo incluye electrodos para inducir transportes de especies a través de las membranas por conducción iónica.

10 En general, los dispositivos de electrodiálisis (ED) y de electrodeionización (EDI) operan proporcionando una estructura que dispone canales de flujo de manera que un flujo de un fluido de alimentación que ha de ser tratado es canalizado entre dos membranas de intercambio de iones de tipo de intercambio opuesto, al tiempo que se aplica un potencial eléctrico a través de las membranas transversales al flujo para mantener una corriente iónica que desmineraliza el fluido de alimentación, moviendo especies ionizables desde el fluido de alimentación en un canal, a través de la membranas, y dentro de canales adyacentes, produciendo de este modo un flujo de producto desmineralizado a partir de la alimentación. Unos espaciadores posicionan sucesivas membranas separadas para definir los canales de tratamiento de fluido o "diluir" espacios de flujo.

20 Una subclase de dispositivos de electrodiálisis (ED), a menudo designados como dispositivos de electrodeionización (EDI), incluye, además, un empaquetado de material de intercambio de iones, típicamente perlas o fieltro, como un empaquetado permeable al flujo dentro de los canales de tratamiento de flujo y, en algunas construcciones, dentro de los canales de recepción de minerales adyacentes. La presencia de material de intercambio en los canales o células de tratamiento mejora la zona de interacción de fluido activo y la captura de iones a partir de la alimentación, y proporciona un medio de transferencia estacionario de buena conductividad eléctrica e iónica para transportar los iones capturados a, y a través de, las membranas circundantes. Esta construcción ofrece un mecanismo robusto y eficiente para separar de manera efectiva muchos materiales disueltos a partir del flujo a lo largo de una trayectoria de flujo relativamente corta. El material de intercambio de iones se mantiene de manera continua en un estado al menos parcialmente regenerado (activo) por disociación de agua.

30 Durante muchos años, los promotores de estas unidades han explorado la idoneidad y las características operativas de dispositivos ED y EDI con un intervalo de geometrías de canales de flujo y velocidades de flujo, varias membranas que definen células de diferente espesor fijo o incluso progresivo, y varios rellenos de intercambio de iones distribuidos en varios modelos localizados (tal como barras, bandas, lechos mixtos o de monotipo especial) y otras variaciones. Para algunas aplicaciones, el uso de perlas con propiedades especiales de sorción, catalítica u otras propiedades han sido descritas para estabilizar características operativas o efectuar otros aspectos de tratamiento.

35 En estos dispositivos, el fluido de alimentación fluye una o más veces a través de espacios o células "diluidas", que abandona sus iones, para emerger como flujo de producto sustancialmente desmineralizar o tratado, al tiempo que un fluido separado en células adyacentes "concentradas" o de "salmuera" recibe los minerales despojados de la alimentación por canalización iónica a través de las membranas, junto con tales pequeñas moléculas no iónicas ya que pueden pasar a través de las membranas. Varias implementaciones físicas de unidades ED y EDI son conocidas. La mayoría de los dispositivos comerciales, particularmente los dispositivos EDI, han empleado históricamente una arquitectura basada en "pilas" de placas planas – disposiciones de muchas células formadas apilando membranas sustancialmente oblongas, espaciadores, y rejillas – que forman colectivamente muchas células - entre placas de extremo, con electrodos y habitualmente orificios o colectores posicionados en los extremos de la pila. Pilas similares de células en forma de disco son históricamente conocidas. Además de estas construcciones de "pila", muchas publicaciones describen también, y varias compañías tan comercializados dispositivos ED o EDI de forma cilíndrica que tienen células formadas entre membranas de intercambio de iones que están enrolladas en espiral alrededor de un tubo o núcleo. Estos dispositivos tienen electrodos en posiciones radialmente interior y exterior para aplicar un campo eléctrico sustancialmente radial entre el núcleo y la envoltura exterior del dispositivo cilíndrico.

50 Los dispositivos ED (sin relleno) han encontrado un uso en el tratamiento de numerosos fluidos de la industria alimentaria. Una construcción enrollada en espiral similar a las unidades ED o EDI espirales se ha utilizado durante mucho tiempo en la fabricación de módulos de ósmosis inversa de flujo cruzado (RO), microfiltración (MF) y otros tipos de módulos de filtración/separación para su uso con corrientes de alimentación de fluidos alimentarios o corrientes de productos de fermentación, por lo tanto la arquitectura espiral es bien aceptada en esa industria por sus características dinámicas de flujo, requisitos de fontanería, capacidad para manejar la presión elevada y otras propiedades deseables. Estos otros dispositivos de filtración enrollados en espiral se basan típicamente en presión

elevada para conducir el procedimiento de filtración o el producto a través de una membrana, en lugar de sobre un potencial eléctrico para transportar componentes ionizables a través de una membrana. Tales construcciones de filtro en espiral permiten típicamente solo pequeñas desviaciones, y pueden sostener altas presiones sin romper las membranas. El solicitante cree que una construcción EDI espiral puede disfrutar potencialmente de una construcción resistente a la presión que permitiría deseablemente un rendimiento mejorado, una longitud de trayectoria de tratamiento más eficiente y más larga u otra propiedad mejorada.

Entre los productos ED y EDI en espiral publicados o promocionados comercialmente, ejemplos tempranos de Ionics, Incorporated, como se muestra en el documento US 2.741.591, describen varias direcciones para los flujos diluidos y concentrados respectivos, tanto respecto del electrodo interior y exterior como el uno respecto del otro. La compañía Christ, A.G. de Suiza ha comercializado más recientemente dispositivo EDI en espiral, de los cuales se muestran ejemplos en su patentes de los Estados Unidos nº 5.376.253, titulada Apparatus for the continuous electrochemical desalination of aqueous solutions, a nombre de los inventores Rychem *et al.* La construcción mostrada en esa patente es un EDI enrollado en espiral con electrodos interior y exterior, que tienen sus células diluidas de tratamiento de fluido selladas a la pared de, y que se abren dentro de, el electrodo interior (que también sirve de tubo de flujo central), y que tiene sus células concentradas abiertas a la pared cilíndrica circundante que forma un contraelectrodo.

Otra unidad EDI comercial de arquitectura en espiral, desarrollada originalmente en China, emplea una envoltura concentrada envuelta rellena de malla y proporciona un fluido diluido axialmente orientado entre los bobinados. Este dispositivo es comercializado en los Estados Unidos por Omexell, Inc de Houston, Texas. El dispositivo Omexell está ilustrado en la patente de los Estados Unidos 6.190.528, a nombre de los inventores Xiang Li y Gou-Lin Luo. En esa construcción, un tubo central es tanto un electrodo como un distribuidor de agua, al tiempo que la barra o hilo de metal forma el electrodo exterior. Dos membranas que rodean un tejido de malla forman una envoltura sin ningún relleno de perlas de intercambio, y la envoltura está enrollada en espiral alrededor del tubo central para formar el espacio o espacios de flujo concentrado. Las regiones alternas entre espiras sucesivas de la envoltura están rellenas con perlas de resina de intercambio de iones y la producción de producto tratada avanza el espacio de relleno de perlas de intercambio a lo largo de una dirección axial, desde un extremo del cilindro al otro, al tiempo que los flujos concentrados desde la entrada de alimentación de producto (realización #2, mostrada en la figura 4 de la patente 6.190.528 mencionada anteriormente) o desde una ranura a lo largo de la mitad del electrodo/tubo central (realización #1, mostrada en las figuras 1-3 de esa patente), a lo largo de una trayectoria helicoidal a través de la envoltura concentrada enrollada y dentro (o de nuevo dentro) del electrodo/tubo central. De este modo, la construcción Omexell enrolla una envoltura concentrada de membrana/espaciador/membrana, y rellena el espacio entre bobinados con resina para formar los pasos diluidos. El relleno de resina tal como se establece se puede sustituir.

Algunos dispositivos EDI en espiral pueden emplear un tubo central como electrodo que sirve de colector de fluido. Las pilas EDI de placa planas anteriores estaban dispuestas con sus flujos diluidos y concentrados en planos paralelos pero formando un ángulo recto entre sí, o formando un ángulo sinuoso entre sí, al tiempo que muchas pilas EDI rectangulares u oblongas de placas planas de moderm están ahora configuradas de manera que flujos diluidos y concentrados están dispuestos en láminas paralelas poco espaciadas bien en una disposición co-corriente o a contracorriente. Los dispositivos EDI en espiral tienden a disponer una porción principal de las dos trayectorias de flujo de corriente transversal, con un flujo que es axial y el otro atraviesa localmente el eje a lo largo de una trayectoria globalmente helicoidal que sigue el contorno espiral de las envolturas de membrana que definen las células diluidas y/o de salmuera. La arquitectura espiral permite que se definan diferentes longitudes de trayectoria relativa y caudales de los dos fluidos (por ejemplo, la trayectoria axial puede ser más corta que la trayectoria espiral), y puede permitir alguna flexibilidad o algunas ventajas en otros aspectos, tal como facilidad de relleno o de renovación, en diseños de pilas de placas fijadas.

La construcción EDI de espiral Omexell se anuncia como siendo fácilmente utilizable, y la patente 6.190.528 menciona la sustitución de perlas de intercambio de células diluidas cada día abriendo los extremos del cilindro, el soplado de las perlas de intercambio, y el relleno. Esa compañía ha presentado un número de. Esa accesibilidad de las perlas en la construcción de la patente 6.190.528 ha sido anunciada para promocionar el producto contrastándolo con la situación a la que se aplica pilas convencionales de construcción rectangular mencionadas anteriormente, en la que la sustitución separada de las perlas de intercambio es generalmente bien bastante complicado (por ejemplo, que requiere desmontar y volver a montar la pila, que requiere un régimen complejo de vaciado y llenado) o además no es factible (debido a que las células diluidas están cada una formadas como células de envoltura discretas permanente cerradas que no pueden abrirse). Sin embargo, no está totalmente claro a partir de la patente 6.190.528 o de la descripción de producto comercial por qué la sustitución de perlas es considerada necesaria. Es posible que la patente, que es una descripción técnica corta esbozada por una tercera parte en una etapa temprana de desarrollo, contenga una descripción errónea. Asimismo es posible que la práctica común en China de basarse en lechos de intercambio de de iones para tratamiento de agua primario influenció a los inventores para insistir, en la patente 6.190.528, sobre la reemplazabilidad de perlas de intercambio, de manera que la nueva tecnología EDI sería vista no como una tecnología diferente y no probada, sino como simplemente una forma aumentada del tratamiento

aceptado y probado que implica la renovación periódica de un lecho de intercambio de iones. Asimismo es posible, sin embargo, que el dispositivo descrito en la patente 6.190.528 fuese proclive a incrustaciones como consecuencia de los minerales (tales como calcio y sílice) presentes en las aguas locales y la naturaleza de los flujos de fluido y los campos eléctricos dentro del dispositivo, y que la sustitución de resina fuese necesaria en ese contexto particular.

5 Otro ejemplo de un EDI espiral es dado por la patente alemana DE 1 101 364.

Las unidades EDI se desarrollaron en primer lugar hace cuarenta o cincuenta años. En un periodo históricamente reciente de este desarrollo, el relleno de perlas fue a menudo más o menos de fácil acceso y se podía sustituir o regenerar las perlas por separado a intervalos frecuentes para conseguir un grado deseado de tratamiento. Esto permitía que el régimen de tratamiento se basase en parte en la capacidad de almacenamiento de perlas (como la

10 de un lecho de intercambio de iones convencional) para alojar parte de la carga de supresión o para eliminar de manera efectiva algunos de los iones menos móviles. Durante la operación, una porción del relleno de perlas de intercambio se regenera eléctricamente de manera continua, y los dispositivos son utilizados en un estado estable. Mientras se pueden especificar algunas normas de calidad de agua de alimentación para asegurar estabilidad a largo plazo, se pueden realizar ciclos ocasionales de regeneración y/o de limpieza o inversión para solucionar la

15 acumulación de incrustaciones o reducción de rendimiento, y para prevenir cualquier ensuciamiento o incrustación a partir de una operación de deterioro irreversible.

Sin querer profundizar más en generalidades o construcciones específicas, se puede decir que las construcciones EDI tanto de las arquitecturas de pila como en espiral se basan en la captura de iones por perlas de intercambio y el transporte de los iones capturados a través de una cadena de una o más perlas bien a, o más cerca de, las

20 membranas de intercambio que transfieren de hecho los iones fuera de y separan los iones del flujo de alimentación/trayectoria diluida. Las perlas de intercambio se regeneran de manera continua (por ejemplo, por iones de hidronio o hidróxido que se crean por disociación de agua en lugares de alta intensidad de campo, tal como uniones de perla heterogénea (perla o perla membrana), y los dispositivos están en general configurados para funcionar en un estado estable en una alimentación dada para largos periodos de tiempos. Sin embargo, la

25 distribución de velocidad o flujo y otros factores que gobiernan todos estos efectos son tales que las condiciones de gran concentración de iones específicos, pH extremo, o estancamiento de flujo se pueden producir en uso, y algunas combinaciones de estas condiciones pueden plantear problemas de control, reducir la eficiencia o grado de tratamiento, o correr el riesgo de daño de membrana irreversible y/o las producciones de incrustaciones de resina o membrana dentro del dispositivo. Las dimensiones y la geometría de las células de flujo, la naturaleza de las

30 formulaciones de llenado de intercambio, y los detalles de la fontanería hidráulica pueden ser todos importantes en la solución de tales problemas, y una cierta cantidad de pretratamiento del fluido de alimentación también es necesaria para asegurar una calidad de alimentación inicial apropiada que no planteara problemas a lo largo del tiempo. La gran experiencia operativa industrial permite, además, especificar parámetros operativos y protocolos a seguir para cada dispositivo con varias alimentaciones para evitar de manera segura, solucionar o minimizar

35 deterioro de rendimiento a largo plazo.

Un aspecto de la construcción de dispositivos EDI merece una especial mención, en concreto el hecho de que las membranas así como las perlas de intercambio empleadas en estos dispositivos se pueden hinchar, y experimentan en general cambios dimensionales entre sus formas seca e hidratada. Algunas membranas de intercambio heterogéneas pueden hincharse en un veinte por ciento, y los lechos húmedos de perlas de intercambios también

40 aumentan su volumen y pueden ejercer una gran presión si están confinados indebidamente. Tal hinchamiento puede deteriorar la impedancia de flujo, o puede afectar a la integridad de las membranas o los elementos estructurales. Esto puede llevar a varios fabricantes de pilas EDI a proponer pasos de montaje tales remojar previamente membranas durante periodos prolongados antes del montaje; usar conjuntos de marcos o espaciadores intermedios más rígidos que tienen múltiples suelos, protuberancias, perlas y/o patillas de registro para asegurar las

45 membranas, confinar las perlas de intercambio y mantener la alineación y la estanqueidad; llenar de perlas en cantidades medidas con precisión en forma seca o salada para conseguir un hinchamiento cuantificado con precisión, o llenar en formar de bloques preformados o geles de medios de intercambio, o llenar de manera dinámica células mediante una suspensión fluidizada y posiblemente salada, para asegurar un empaquetado de células deseado.

Para construcciones en espiral, la inestabilidad dimensional de medios de membranas y perlas, junto con el deslizamiento local introducido bobinando en radios diferentes, y la longitud relativamente grande de membranas individuales, plantean potenciales problemas adicionales de espaciamiento o soporte, tensión, contracción o pandeo, y fisuración de membrana. Numerosos investigadores han propuesto el uso de elementos espaciadores fijos o preformados tales como resaltes, postes, o nervaduras en lugar de perlas, bien como elementos separados o como

50 características formadas en la superficie de membrana, para evitar espaciamiento irregular o tensiones mecánicas indebidas y para mantener un espaciamiento deseado de membrana a membrana.

Dentro de esta visión general, se pueden plantear varios problemas o problemas percibidos o condicionantes de diseño. Por ejemplo, en los años 60 se mostró que algunas propiedades de la operación EDI se optimizaban con perlas de intercambio de iones de dimensiones uniformes, y con células llenas delgadas; en el campo comercial,

algunos defensores de esta industria llevan mucho tiempo instando que un espesor de célula definido por un número bajo de perlas de intercambio (por ejemplo, 4-10 perlas) es óptimo. Las células gruesas también han sido defendidas para fines específicos, tales como la eliminación elevada de sílice conseguida induciendo un cambio de pH hacia arriba debido a la eliminación diferida de hidroxilo bajo operación polarizada. Es evidente que un pequeño espesor de célula introduce limitaciones de flujo hidráulico que variarán en gran medida en función de la dimensión de perla de intercambio y la viscosidad del fluido de alimentación; la modelización teórica o empírica realizada con agua no se aplicaría necesariamente a sistemas para tratar fluidos alimentarios comunes. Además, con cualquier alimentación, la densidad de corriente local puede variar dentro de muchas células de una pila o dispositivo EDI, y se ve sustancialmente afectada por variaciones locales en la distribución de perlas de intercambio, así como la canalización o las variaciones locales de flujo que se pueden producir. Estas variaciones de corriente y los potenciales resultantes pueden alterar profundamente el rendimiento operativo deseado. Además, en los dispositivos en espiral, la densidad de corriente aumenta inversamente a la posición radial, planteando mayores dificultades de control o de funcionamiento. Además, fluidos tales como fluidos alimentarios o de fermentación son claramente proclives al ensuciamiento - tanto ensuciamiento funcional de superficies de perlas de intercambio y su funcionalidad, como el bloqueo físico de flujo a través de los lechos de intercambio. Los lechos de intercambio fluidizados han sido empleados para solucionar este último problema, pero este enfoque no puede emplearse con el relleno de perlas de intercambio de dispositivos EDI, porque es inconsistente con el requisito de contacto directo entre perlas de intercambio y el espacio limitado existente entre las membranas de intercambio.

Por tales motivos, la fabricación y el funcionamiento de dispositivo de desmineralización EDI siguen siendo bastante complejos y costosos, y cada construcción particular puede tener sus propias limitaciones y sus propios inconvenientes.

No hay necesidad de nuevas construcciones de tales dispositivos para dispositivos que ofrecen costes mejorados o facilidad de fabricación, y para dispositivos EDI que proporcionan capacidades operativas diferentes o mejoradas.

Sumario de la invención

Una o más de estas y otras características deseables se consiguen de acuerdo con la presente invención mediante un aparato para desmineralizar un flujo fluido. La presente invención proporciona un dispositivo de electrodeionización según la reivindicación 1 del presente documento. El aparato incluye dos electrodos conductores, y uno o más bobinados, comprendiendo cada bobinado al menos un par de membranas selectivamente permanentes, en general una membrana de intercambio de cationes y una membrana de intercambio de aniones, junto con un elemento espaciador. Las membranas de intercambio de cationes y de aniones están dispuestas paralelas entre sí, y el elemento espaciador mantiene una separación o huelgo que permite que el líquido fluya en el espacio entre membranas. De acuerdo con un aspecto de la invención, en conjunto de membranas y el espaciador (denominado en el presente documento como "hoja") o varias de tales hojas, están enrolladas alrededor de un núcleo cilíndrico central formado por material no eléctricamente conductor, al tiempo que se mantiene un espacio, por ejemplo mediante un espaciador adicional, entre sucesivas hojas, o entre los sucesivos bobinados de una sola hoja. El dispositivo montado comprende dos tipos de células o cámaras que son adyacentes entre sí de manera alterna, y las células están definidas por los elementos espaciadores y los espaciadores, formando cámaras de flujo, es decir, cámaras diluidas y concentradas dentro del dispositivo. En una realización preferida, tanto las cámaras diluidas y concentradas incluyen cada una material de intercambio de iones. De acuerdo con otro aspecto del dispositivo, los espaciadores son láminas que pueden ser manejadas, enrolladas y manipuladas durante el montaje del dispositivo.

El elemento espaciador entre membranas, así como el espaciador adicional, pueden estar formados por material polimérico inerte, perlas de intercambio de iones, fibras de intercambio de iones, una combinación de dos o más de estos elementos, o un medio poroso (tal como esponja, fieltro o lámina) que incorpora uno o más de tales elementos como parte intrínseca.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, el aparato está ensamblado en un alojamiento que tiene una forma cilíndrica, e incluye dos componentes metálicos o conductores radialmente separados que actúan como electrodos. Al menos uno de estos componentes conductores está colocado en una posición radialmente interior que rodea el núcleo central y el otro de los componentes conductores está colocado en una posición radialmente exterior cerca del perímetro, estableciendo de este modo una corriente eléctrica o iónica radialmente orientada entre el electrodo interior y el electrodo exterior, a través de los espacios de flujo dispuestos helicoidalmente definidos dentro y entre los bobinados de membrana/espaciadores de un conjunto de hojas enrolladas. Uno o preferiblemente cada uno de los electrodos puede estar formado como una espiral de hoja metálica, con una abertura de extensión radial que recibe el extremo de una hoja, y posiciona las células de flujo activas del dispositivo en un campo eléctrico uniforme libre de ensombrecimiento y puntos calientes. La abertura forma una caja estanca e isoeléctrica alrededor del extremo de las capas que definen células.

Un electrodo preferido está formado como una lámina conductora enrollada en una voluta que circunscribe más de una espira entera, con un huelgo o abertura de tipo banda de extensión axial definido en una región de solapamiento entre los bordes radialmente interiores y radialmente exteriores de la voluta. La abertura aloja el paso del extremo de una hoja a lo largo de una trayectoria tangencial paralela a la superficie de electrodo dentro de una bolsa estanca del electrodo (por ejemplo, entre la superficie interior y el borde de la superficie exterior de la voluta), al tiempo que la comunicación de fluido con el espacio de flujo intermembranar y la conexión a un orificio o colector de fluido pueden verse afectados por el electrodo. La hoja que entra o sale de la bolsa de electrodo se aproxima a un ángulo tangencial, y puede por lo tanto envolverse cercanamente en paralelo a la superficie de electrodo, proporcionando una distribución de corriente excepcionalmente uniforme alrededor del electrodo libre del ensombrecimiento y las homogeneidades que se producen con las construcciones de la técnica anterior que emplean sujeción, duplicación de membranas u otras estructuras de fijación o terminación irregulares. La construcción también evita introducir reducción o retrodifusión de colector de salmuera que puede, en alguna medida, afectar las construcciones de la técnica anterior. Una membrana puede asimismo ser sellada o fijada al electrodo en la región de solapamiento, que simplifica la fabricación de la estructura de células enrollada en espiral.

Aunque se prefiere que los electrodos estén formados por una lámina metálica continua en este aspecto de la invención; en otras realizaciones el electrodo puede tener abertura y puede tomar la forma, por ejemplo de una rejilla metálica, o de múltiples segmentos discretos pero eléctricamente interconectados que están dispuestos para formar un contorno de superficie generalmente equipotencial. Por ejemplo, los elementos discretos pueden estar cubiertos por ripias o dispuestas de manera adyacente entre sí para formar un cilindro (de radio sustancialmente constante), una voluta abierta (de radio algo superior), o una forma similar que define una espira circunferencia completa de superficie equipotencial.

En los dispositivos EDI de la presente invención, la hoja (u hojas) están enrolladas de manera que, visto en sección transversal, espacios diluidos y concentrados se alternan adyacentes entre sí a lo largo de la dirección radial, y preferiblemente la envoltura forma el canal concentrado. Preferiblemente el flujo de alimentación de líquido a tratar entra en el aparato (por ejemplo, entra en las células diluidas) en un extremo del dispositivo entre el núcleo interior y el núcleo exterior, y pasa a lo largo de una trayectoria de tratamiento paralela al eje del dispositivo a través de las células diluidas entre membranas, al tiempo que un flujo concentrado de recepción de iones se mantiene en una célula centrada correspondiente definida en el otro lado de cada membrana dentro de los espacios intermembranares helicoidales descritos anteriormente.

Las trayectorias de flujo tomadas por flujos dentro de las células helicoidales están definidas por una o más juntas que se extienden entre pares de membranas adyacentes, y que pueden constituir juntas de borde, barreras de bloqueo o canalización, o un laberinto de prolongación de trayectoria para dirigir el flujo. Otras juntas en una o más membranas pueden definir una región seca o inerte de la espiral en una posición efectiva para evitar que los flujos de alimentación y los flujos concentrados se mezclen, por ejemplo, en los extremos de una hoja.

De acuerdo con estas realizaciones de este aspecto de la invención las juntas a lo largo de o entre porciones de la trayectoria de flujo pueden definir un dispositivo de varias etapas, pueden definir flujos de alimentación separados y/o flujos concentrados para diferentes etapas, pueden definir caudales relativos de los fluidos concentrados y/o diluidos, y/o pueden utilizarse para definir subregiones funcionales de la trayectoria de tratamiento. Las juntas pueden también dirigir los flujos de alimentación concentrados a lo largo de direcciones preferidas o a lo largo de orientaciones relativas preferidas, o pueden dirigir el concentrado para mantener flujos separados de diferentes grupos de especies eliminadas en una o más porciones de las trayectorias definidas. La orientación relativa de flujo de alimentación y concentrado en lados opuestos de una membrana puede, por ejemplo, ser diferente en posiciones diferentes a lo largo de la trayectoria de flujo, basándose en consideraciones tales como la especie iónica predominante y sus concentraciones, la resistencia eléctrica, el estado de polarización y/o el pH en esa región, el tipo de iones (tales como iones monovalentes, divalentes o específicos formadores de incrustaciones) transportados en esa región o regiones de flujo corriente arriba, y la carga de mineral o gas del flujo diluido, el flujo concentrado, o ambos flujos. En algunas realizaciones, las juntas pueden utilizarse para formar colectores de distribución interna, por ejemplo que dirigen una porción de la alimentación o la alimentación parcialmente tratada en la trayectoria concentrada; o pueden utilizarse como reguladores de presión para ajustar la presión en una célula respecto de las células adyacentes para asegurar el flujo apropiado o para resistir la presión de las paredes celulares.

El flujo puede asimismo estar segregado en el lado concentrado por cordones orientados de un espaciador de malla, o por bandas de material impermeable colocadas en el espaciador en un modelo orientado. En una realización preferida de este aspecto de la invención, el flujo diluido sigue una trayectoria paralela al eje del bobinado cilíndrico, y el flujo concentrado está dirigido de manera que sigue en o fluye paralelo a un plano perpendicular al eje. De este modo, como metales bivalentes tales como calcio, seguido por iones tales como sulfato o carbonato, son sucesivamente eliminados del flujo diluido axial y entran en las células concentradas, cada una de las impurezas eliminadas permanece en una banda dentro de la célula a medida que fluye hacia la salida de célula, y no se mezcla con las otras especies eliminadas. El flujo segregado evita de manera efectiva la formación de incrustaciones. En otra realización adicional de este aspecto de la invención, las células diluidas pueden tener un relleno en banda en el

que la resina en una banda en una etapa a lo largo de la trayectoria de flujo de producto de alimentación es de un tipo seleccionado para la eliminación mejorada de las especies (por ejemplo, para capturar iones metálicos formadores de incrustaciones) en esa etapa, o para bloquear de manera selectiva la captura o el paso transmembrar de una especie (por ejemplo, sulfato carbonato) hasta una última posición donde pueden encontrarse una resina seleccionada para promover la captura. Tal relleno de resina en banda agudiza la separación de las diferentes especies formadoras de incrustaciones que pueden presentarse en la alimentación.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, las estructuras normalizan la densidad de corriente para promover una desmineralización uniforme y efectiva. Una distribución de pasos de entrada y/o salida diluidos puede definir un distribución de flujo radialmente variable adaptada a la densidad de corriente eléctrica predominante.

10 Breve descripción de los dibujos

La invención será entendida por el experto en la técnica a partir de la siguiente descripción de varias realizaciones y detalles ilustrativos de construcción, y algunas de sus variaciones y características deseables, junto con las figuras de las mismas, en las que

- La figura 1 es una vista en planta esquemática de una primera realización de un aparato EDI en espiral de forma cilíndrica según la presente invención, que ilustra un plano de componentes representativos;
- La figura 1A ilustra un procedimiento según un aspecto de la invención para formar células del aparato EDI de la figura 1;
- La figura 1B es una vista en planta de una primera envoltura de membrana que ilustra aspecto de estanqueidad según la presente invención para definir células de un dispositivo EDI tal como se ilustra esquemáticamente en la figura 1;
- La figura 1C es una vista en sección transversal de las células construidas como en las figuras 1A y 1B;
- La figura 1D ilustra una construcción de colector útil en las células de las figuras 1A-1C;
- La figura 2A es una vista en planta de una segunda envoltura de membrana y componentes asociados para un dispositivo EDI en espiral como se ilustra en la figura 1;
- La figura 2B es una sección vertical tomada en paralelo al eje de balanceo de un dispositivo EDI en espiral realizado con la envoltura de membrana de la figura 2A;
- La figura 3 ilustra una construcción de electrodo interior de una realización de prototipo de acuerdo con un aspecto de la invención;
- La figura 4 ilustra una construcción de electrodo exterior de la construcción de prototipo de acuerdo con este aspecto de la invención;
- Las figuras 5, 6, 7 y 7A son vistas en planta de realizaciones adicionales de envolturas de membrana de intercambio y detalles asociados para otras realizaciones de un dispositivo EDI en espiral como se ilustra en la figura 1;
- La figura 8 ilustra un detalle de una construcción de espaciador de rejilla bicapa dispersa que tiene deflectores de trayectoria transversal para una conductividad de celda uniforme y un tratamiento mejorado;
- Las figuras 9A-B ilustran una construcción de segregación concentrada según otro aspecto de la invención;
- La figura 10 ilustra otro aspecto adicional de la invención para evitar la segregación de especie o las incrustaciones; y
- Las figuras 11A-B ilustran detalles de una construcción de orificio de flujo y un perfilado de flujo según otro aspecto de la invención.

Descripción detallada

La figura 1 es una vista en planta esquemática de una primera realización 10 de un aparato EDI cilíndrico según la presente invención, que muestra un plano general de componentes. El aparato EDI 10 incluye un alojamiento constituido de manera ilustrativo por una placa de reborde inferior B, una placa de reborde superior T y un cuerpo cilíndrico C que juntos definen un recipiente genéricamente cilíndrico o una cámara de contención que confina fluido. Un rollo de membrana 15, del cual varios ejemplos son descritos a continuación, se enrolla alrededor de un núcleo central 12 dentro del alojamiento. De manera ilustrativa, un soporte de rollo de membrana 18, cuya estructura puede tomar varias formas, soporta el rollo de membrana. Un electrodo interior 14 rodea el núcleo central 12, y está acoplado a un conductor de corriente 14a para su conexión a una fuente de alimentación externa y un electrodo exterior 16, acoplado a un segundo conductor de corriente 16a, rodea sustancialmente el rollo de membrana 15. El rollo de membrana está enrollado en espiral en el espacio anular entre los dos electrodos 14, 16. Dentro de varios límites mencionados a continuación uno o ambos de estos electrodos puede ser una lámina continua, puede estar perforada, puede ser una lámina de tipo malla o rejilla, o puede estar formada por elementos eléctricamente conductores discretos interconectados que en general se extienden por un contorno que rodea el centro o la periferia, respectivamente. El electrodo si es de tipo rejilla, perforado o continuo tiene su superficie conductora suficiente extensiva para proporcionar lo que es sustancialmente una superficie equipotencial alrededor del eje

interior (respectivamente, la periferia exterior) del rollo de membrana. Preferiblemente, como se ha descrito más adelante en relación con las figuras 2A y 2B, al menos uno y preferiblemente ambos de los electrodos son electrodos de lámina continua que se extienden por más de una espira completa para definir una bolsa o abertura para recibir el extremo del rollo de membrana de manera tangencial dentro del electrodo.

- 5 Esta geometría general posiciona los espacios de flujo definidos entre un par de membranas en general transversales a la dirección (radial) de trayectorias de corriente que se extienden entre los electrodos interior y exterior 14, 16. La abertura de electrodo permite que un espacio de flujo intermembranar termine en una región inerte o libre de campo, al tiempo que se evitan las regiones localizadas de ensombrecimiento y falta de homogeneidad de campo previamente causadas por membranas de fijación, bloqueo o dobles, y estructuras de sellado de la técnica anterior. La construcción de bolsa de electrodos también permite una estanqueidad de cámara diluida que aísla la corriente tratada a partir de concentraciones de electrolito excesivas cercanas a los electrodos. No son necesarias cámaras o corrientes de electrolito separadas.

15 El núcleo central 12, que puede estar sustancialmente contiguo al electrodo interior, es preferiblemente un elemento estructural no conductor tal como un tubo de polímero, o si es conductor carece de corriente para definir un campo de conducción. Se puede dimensionar de manera que el electrodo interior se asienta directamente contra su superficie exterior, sirviendo de este modo de miembro estructural o de soporte, y puede incluir aberturas apropiadas para servir de entrada o salida de fluido para porciones del dispositivo. Según un aspecto importante de la presente invención, el electrodo interior puede tener un diámetro o dimensión transversal que es una fracción sustancial del diámetro del electrodo exterior, de manera que los bobinados activos del rollo de membrana están posicionados en un anillo cilíndrico relativamente estrecho entre los electrodos interior y exterior que experimenta un campo bastante uniforme. Esta región anular tiene una extensión radial inferior a, por ejemplo la mitad del diámetro del electrodo exterior, preferiblemente inferior a aproximadamente un treinta por ciento, y más preferiblemente inferior a aproximadamente el veinte por ciento. La magnitud relativamente similar de los radios de los dos electrodos mejora la operación eléctrica manteniendo la distribución de densidad de corriente bastante uniforme: la densidad de corriente cerna a las espiras interiores del rollo de membrana permanece relativamente limitada. Por ejemplo, otras cosas que son iguales, las densidades de corriente relativa variarían inversamente a las zonas relativas, por lo tanto los radios, de los electrodos. Establecer el diámetro de electrodo interior próximo al diámetro de electrodo exterior se puede realizar de manera que la relación de las zonas de electrodos interior y exterior, por lo tanto las densidades de corriente relativa nominales en las superficies de electrodos exterior e interior, puedan ser inferiores a 1:2, inferior a 1:(1,5) o incluso inferior a aproximadamente 1:(1,2). Aunque no se muestra de manera explícita, varios rellenos, conductos, orificios y conducciones pueden pasar a través del alojamiento y/o el soporte 18 para introducir, distribuir, recoger o dispensar los flujos de corriente de alimentación, productos tratados y concentrados. Más adelante se mencionará algún ejemplo respecto de construcciones particulares.

35 El rollo de membrana 15 incluye una o más "hojas", estando cada hoja enrollada o envuelta en espiral alrededor del electrodo interior y núcleo central. Una hoja incluye dos membranas selectivamente permeables a iones, y estas están dispuestas de manera que el rollo de membrana defina conjuntos adyacentes o paralelos de trayectorias de flujo diluidos (alimentación) y concentrados (salmuera) posicionadas en el espacio anular entre los electrodos. Según una característica principal de un aspecto de la presente invención, las células diluidas y de salmuera están constituidas por espaciadores que tienen trayectorias de flujo definidas por varias juntas de bloqueo de flujo o de direccionamiento de flujo entre superficies de membrana adyacentes de una hoja. En algunos casos, las regiones espaciadoras de mejora de flujo están también posicionadas para conseguir un modelo deseado de dirección dentro del alojamiento. La geometría y el modelo de las trayectorias de flujo pueden estar configurados de varias maneras según la invención para de este modo mejorar las características de tratamiento de flujo, tales como mayor eliminación de iones, menor retrodifusión, incrustaciones u otros efectos no deseados, o perfeccionamiento o control de otras características de funcionamiento. Estas características se entenderán a partir de los siguientes ejemplos específicos.

50 La figura 1A ilustra de manera esquemática un procedimiento para fabricar un dispositivo según un aspecto de la presente invención. Como se muestra, un rollo de membrana 15 como se ha descrito anteriormente está formado por una sola hoja continua 20 usando una lámina continua de membrana de intercambio de aniones 22, un espaciador de células de salmuera 24, una lámina continua de membrana de intercambio de cationes 26 y un espaciador de células diluidas 28. El espaciador de células de salmuera 24 puede consistir en una o más capas de una malla de rejilla no tejida flexible, tal como un polietileno de 0,25 a 1,77mm de espesor u otro material compatible con fluidos de espesor y dimensión de rejilla apropiadas que, después del ensamblado, proporciona un soporte distribuido entre las dos membranas adyacentes al mismo al tiempo que se permite que el fluido fluya a través de la capa ocupada por la malla. El espaciador en las construcciones preferidas incluye otros elementos en su ensamblado, particularmente perlas particularmente conductoras y/o de intercambio de iones distribuidas para constituir un relleno intermembranar apropiadamente permeable a fluidos pero iónica o eléctricamente conductor. Preferiblemente, el espaciador es un tejido constituido por una o más láminas de malla que tiene perlas de intercambio de iones, permanente o temporalmente estabilizada por las mismas, esparcidas en su interior, o fijadas o adheridas a las mismas. Tal lámina puede ser manipulada con facilidad durante el ensamblado de los dispositivos

EDI. El cuerpo de la rejilla, por ejemplo, los filamentos o filamentos cruzados, asegura un espacio intermembrana mínimo, al tiempo que las perlas proporcionan soporte de contacto de membrana y un cierto nivel de conducción eléctrica (en el espacio concentrado) o de actividad de captura de iones y conductividad de iones o de transporte (en el espacio diluido). En una realización actualmente preferida, el compartimento concentrado emplea preferiblemente solo perlas de intercambio de cationes, aunque en el compartimento diluido se desea en general una capa espaciadora que tiene perlas tanto de tipos de intercambio de cationes como de aniones para la captura y eliminación de todas las especies ionizables. Un conjunto espaciador preferido 24 incluye tanto una malla de rejilla, como perlas de intercambio de iones o un medio conductor, que junto determinan el espesor de célula, la impedancia de flujo y otras características de flujo, y la conductividad y eficacia total de la desmineralización. La rejilla diluida también sirve preferiblemente para la función de segregación de perlas, permitiendo rellenos de células diluidos en los que las perlas están segregadas por tipos – las perlas de intercambio de aniones y las perlas de intercambio de cationes están retenidas en posiciones físicas separadas.

Unas pocas dimensiones representativas serán dadas aquí simplemente como una ayuda para la visualización de dimensiones comercialmente útiles de los dispositivos EDI en espiral contemplados por la invención, sin, sin embargo limitar la invención a tales dimensiones. La longitud axial del aparato puede ser del orden de aproximadamente 25 cm a aproximadamente 1 metro de más, al tiempo que el dispositivo puede tener un diámetro inferior a diez a aproximadamente sesenta centímetros. Las células de flujo en espiral definidas por la membrana enrollada y los espaciadores pueden extenderse hasta varios metros o más, y la trayectoria de flujo de fluido dentro del espacio o capa en espiral de un rollo de diámetro dado puede limitarse a una dirección axial o helicoidal o puede seguir una trayectoria constituida por varios segmentos que cambian de dirección o tipo. El espacio intermembrana está bien definido con material espaciador que comprende una o más rejillas y un relleno de perlas de intercambio definido. Se prefiere que el relleno de perlas de intercambio de iones sea un relleno relativamente de repuesto, como se describe en de la solicitud Internacional PCT de propiedad común PCT/US03/28815 titulada SPARSE MEDIA EDI APARATUS AND METHOD, presentada en la oficina de recepción de PCT de los Estados Unidos el 12 de septiembre de 2003. La divulgación de esa solicitud internacional se incorpora en la presente por referencia en la presente memoria en su integridad. En resumen, esa solicitud de patente describe procedimientos para formar rellenos de intercambio de iones que consisten en una capa de perlas dispersadas, o una monocapa relativamente completa, bicapa o varias capas desnudas, en banda o segregadas de otro modo de perlas de intercambio de iones. En células EDI delgadas que funcionan con eficiencia eléctrica mejorada o control y exhiben características de impedancia de flujo baja o bien controlada. Estas capas, que incluyen preferiblemente una rejilla además de las perlas de intercambio, promueven el soporte y el espacio intermembrana extremadamente uniformes, y en funcionamiento consiguen una eficiencia eléctrica mejorada y una contaminación residual reducida. Asimismo funcionan de manera fiable con trayectoria de flujo largas, permiten un mayor número de células paralelas en una longitud radial dada del bobinado, y presentan una sección transversal de flujo que permanece relativamente libre de canalización.

De este modo, de acuerdo con un aspecto importante de la presente invención, se construye un dispositivo EDI en espiral que tiene células formadas por el interior de uno o más conjuntos de envoltura enrollable delgada que caracterizan tanto un tejido de malla como un relleno disperso de perlas de intercambio de iones. Ventajosamente, uniéndose o pegando de manera permanente o temporal las perlas al tejido de malla, una lámina o un tejido continuo de material espaciador de rejilla/perlas puede formarse, y las estructuras de hoja, por ejemplo, una capa espaciadora cargada de perlas, un capa de espaciador/membrana o una capa de membrana/espaciador/membrana o una capa de membrana/espaciador/membrana/espaciador, puede entonces enrollarse en una operación discreta o continua como se muestra en la figura 1A.

Cuando la capa o estructura de células emplea un relleno disperso, una denominada resina de “trayectoria de difusión corta” o “envoltura poco profunda” puede usarse para ayudar a controlar o hacer coincidir las resistencias eléctricas de las resinas en construcciones en las que se colocan dos o más resinas cercanas entre sí en un campo eléctrico común, o para mejorar la eficiencia cuando resinas de diferentes diámetros han de colocarse juntas. Estas perlas se generarán asimismo más rápidamente después de un procedimiento de limpieza in situ o después de ser ensambladas en forma de sal, y se espera que funcionen en general y se regeneren sensiblemente de manera más eficiente en un dispositivo EDI relleno de manera dispersa, donde exhibirán tiempos de purga claramente definidos después de la regeneración o inversión.

Se pueden emplear varios protocolos para fijar una monocapa dispersa o continua de perlas a la rejilla (por ejemplo, con perlas individuales mantenidas en las aberturas de una rejilla que tiene una dimensión de malla aproximadamente igual al diámetro de perla), o para fijar una monocapa sustancialmente completa de perlas a cada lado de la rejilla (por ejemplo tratando la rejilla con adhesivo y a continuación disponiendo encasada perlas de intercambio de iones contra cada lado de la rejilla para capturar y unir las perlas). En cada caso, el conjunto de perlas/espaciadores puede entonces ser manejado y manipulado libremente, permitiendo tratamiento en masa o semicontinuo de enrollamiento y ensamblado para producir un dispositivo EDI acabado. Cuando las perlas de intercambio de cationes y aniones están colocadas en lados opuestos de la rejilla diluida, la rejilla diluida debería orientarse en el conjunto final para tener las perlas de intercambio de cationes en su lado contiguo a la membrana de intercambio de cationes, y para

tener las perlas de intercambio de aniones en el lado de la membrana de intercambio de aniones. Asimismo, cuando se enrollan entre un electrodo interior y un electrodo exterior, los espaciadores de células diluidas están orientados preferiblemente de manera que una membrana de intercambio de cationes se encuentre en el lado catódico de la célula y la membrana de intercambio de aniones se encuentra en el lado anódico de la célula.

5 En células de espaciadores de la construcción mencionada anteriormente, la malla de rejilla y la dimensión de perla puede seleccionarse de manera que la rejilla mantenga la separación de las capas de perlas en lados opuestos de la malla, y de manera que las perlas y la malla aseguren un espacio intermembrana total apropiado, que se puede seleccionar en el intervalo de inferior a aproximadamente un milímetro a como mucho algunos milímetros. Cuando las perlas están fijadas a lados respectivos de la malla de esta manera, la dimensión de malla se puede asimismo
10 seleccionar de manera que perlas de tipo opuesto estén en contacto entre sí a través de las aberturas de mala, sin migrar a través de las aberturas. En estas construcciones, se prefiere que durante la fabricación, la rejilla sea revestida de un adhesivo de contacto para capturar y mantener las perlas respectivas, pero que las propias perlas carezcan de adhesivo; esto asegura que la superficie de las perlas permanece activa, y que las uniones de perla a perla que se producen en el conjunto completada son contactos conductores directos sin capa intermedia adhesiva u
15 otras deficiencias de contacto eléctrico o iónico. Como se ha descrito en la solicitud de patente internacional mencionada anteriormente, estas construcciones aseguran un nivel útil de disociación de agua, pero no introducen uniones inversas extrañas que tiren sal o causen ineficiencia eléctrica. Cuando se segregan diferentes tipos de intercambio en lados opuestos de la malla, algunas barreras de un lado o desviadores pueden también ser provistos a lo largo de la trayectoria de flujo para mejora, asimismo, la eficiencia haciendo que la corriente diluida serpenteen
20 hacia atrás y hacia delante a través de la rejilla, es decir, desde el lado de los cationes de la célula al lado de los aniones y regreso al lado de los cationes de manera que el fluido pasa a través de ambas capas de perlas de intercambio. Esta construcción a la que el solicitante denomina "estratificación s- y que se muestra de manera esquemática en la figura 8 más adelante, que asegura que el fluido tratado entra en contacto con ambos tipos de perla de intercambio, ofrece las ventajas de rendimiento asociada con el relleno cebra o de capas, y asimismo evita
25 la creación de regiones localizadas de conductividad irregular y promueve una distribución de corriente más uniforme, porque los dos tipos de perlas entran en contacto entre sí en serie a través de la célula. Por lo tanto, la misma corriente debe pasar a través de ambas perlas de intercambio de iones y cationes, a pesar de sus afinidades de captura relativas o eficiencias de transporte de iones. En consecuencia, la eliminación de aniones y cationes del flujo se lleva a cabo para cada uno a ritmos comparables, y el flujo no está sometido a parches irregulares de agotamiento y polarización de especie. Además, la falta de "granularidad" tiende a evitar regiones localizadas de pH elevado que puedan de otro modo ser proclives a incrustaciones de membrana.

Como se muestra de manera esquemática en la figura 1A para formar las hojas de dispositivos EDI de la presente invención implica proporcionar una lámina 110 de membrana de intercambio de aniones, colocando una lámina 115
35 constituida por una o más capas de una rejilla o malla cargada con perlas de intercambio en o adyacentes a la lámina 110, y que cubre la lámina de malla/perlas 115 con una lámina de membrana de intercambio de cationes 120. Las dos membranas pueden estar selladas juntas a lo largo de una estructura de envoltura alrededor de la malla; esto se puede realizar, por ejemplo, para formar una estructura de envoltura de célula concentrada. La envoltura está ensamblada con una capa de rejilla adicional 125 que tiene perlas de intercambio apropiadas, que, para la capa espaciadora de células diluidas, será en general de un tipo de intercambio de aniones y cationes, y las membranas y
40 espaciadores no están entonces enrollados para formar una unidad EDI en espiral. Tal proceso de fabricación se indica de manera esquemática mediante la disposición de rodillos 130 en la figura 1A. En la práctica, el proceso de montaje empleará varias guías y frenos para mantener la tensión del tejido, y capas particulares de las capas que terminan o se extienden más allá de otras, como se menciona más adelante, para efectuar geometrías de extremo apropiadas y para posicionar de manera adecuada electrodo, la célula espaciadora u otros componentes funcionales del dispositivo. Varias etapas o componentes subsidiarios, tales como la adición de deflectores de flujo, cuñas
45 espaciadoras y juntas u obturadores de borde, algunos de cuyas etapas o componentes son mencionados asimismo, más adelante, no se muestran específicamente pero pueden efectuarse en puntos apropiados a lo largo de la línea como la primera membrana, espaciador y otros pasos de tejido a lo largo de las etapas para el ensamblado de los espaciadores y las membranas en un rollo de envoltura/espaciador. Esta estructura básica es enrollada y
50 ensamblada dentro de un recipiente cilíndrico para formar el dispositivo EDI completo. Un electrodo puede él mismo constituir una pared del recipiente, aunque es necesario tener al menos algunas porciones que sean eléctricamente no conductoras para evitar peligros de cortocircuitos y/o de descarga eléctrica. En una realización de prototipo, los electrodos están formados por una lámina, y pueden ensamblarse en un proceso en el que la primera y última espiras del conjunto de membrana/espaciador están enrolladas con y según los electrodos.

55 En una escala global, las trayectorias de flujo en el dispositivo EDI ensamblado se implementan con el flujo diluido (producto de alimentación) que proceden dentro de los espaciadores enrollados en espiral que constituyen las células diluidas y las células de salmuera. En la célula diluida, el flujo puede ser preferiblemente paralelo al eje longitudinal del dispositivo, al tiempo que en las células concentradas o las células de salmuera, el flujo procede a lo largo de una o más direcciones, ejemplos de los cuales se ilustran más adelante, dentro de la o las envolturas
60 enrolladas en espiral que definen las células. Dentro de al menos algunas células - ilustrativamente las células concentradas - el flujo está confinado y su dirección está determinada por juntas impermeables que se extienden entre

las superficies opuestas de las dos membranas en ambos lados de un espaciador. Estas juntas pueden confinar, desviar, orientar o concentrar el flujo de varias maneras, mencionada asimismo más adelante, y se implementan preferiblemente estableciendo una o más barras de una banda o cinta adhesiva de sellante viscoso en posiciones deseadas. Las juntas se pueden formar, por ejemplo aplicando una formulación líquida por una boquilla de aplicación a medida que el conjunto de membrana/espaciador/membrana se está disponiendo, o a medida que se está enrollando si el enrollamiento de la lámina múltiple se realiza directamente como se muestra en la figura 1A. Cuando las bandas de estanqueidad se aplican para formar trayectorias de flujo de células diluidas, éstas se aplican preferiblemente durante el proceso de enrollamiento (Figura 1A), al tiempo que las trayectorias de células concentradas pueden aplicarse bien durante una operación de disposición rectilínea preliminar, o durante un procedimiento de formación de rollo.

Se pueden implementar realizaciones de la invención con diferentes modelos de bandas de estanqueidad para conseguir diferentes modelos de flujo deseado.

Las figuras 1B y 1C ilustran un modelo de bandas de estanqueidad de células de salmuera para efectuar una construcción de célula de salmuera en espiral básica. En esta realización, la malla espaciadora 115 está impregnada con un sellante apropiado a lo largo de una primera y segunda bandas de estanqueidad 116a, 116b que se extienden a lo largo de la parte superior e inferior del espaciador (que corresponde a los extremo superior e inferior del dispositivo en la orientación mostrada en la figura 1), por encima y por debajo de la región central de soporte de perlas 117 del espaciador entre las dos membranas opuestas 120, 110. Esto da como resultado una estructura de envoltura en la que los extremo de la envoltura de membrana/espaciador/membrana (los extremo izquierdo y derecho en la figura 1B) se abren al interior de la envoltura para proporcionar y recibir el flujo concentrado. El sellante puede, por ejemplo ser un material (poli)etilenoinilacetato ("EVA" o "PVA") aplicado a ambos extremo de (y a través de) el borde de la rejilla, que de otra manera constituye un espaciador permeable al flujo. El sellante puede estar formado por otro material apropiado, por ejemplo, un sellante viscoso preferiblemente endurecible o una cinta con dos lados adhesivos efectiva para proporcionar una junta impermeable que se extiende para el espesor del espaciador entre y unida a ambas membranas a lo largo de los bordes del conjunto espaciador. En estas construcciones, el espaciador en la región de las bandas de estanqueidad está preferiblemente, pero no necesariamente, libre de perlas de intercambio de iones. Cuando se une con las membranas 110, 120 en un bobinado enrollado, el espaciador define entonces una célula de flujo de salmuera que tiene una parte superior y una parte inferior cerradas en las que la salmuera fluye dentro de, y puede seguir, el espacio de bobinado helicoidal del rollo de membrana entre sus extremos interior y exterior. Ventajosamente, cuando el modelo de sellante se aplica en el componente en el momento del ensamblado, las diversas capas de membrana y espaciador pueden deslizarse para alojar movimientos diferenciales a medida que la hoja se enrolla (con tensión apropiada en las bandas) dentro de una espiral. Tal deslizamiento da como resultado un proceso de ensamblado libre de ondulaciones y libre de tensiones; el sellante puede asimismo polimerizarse y reticularse para formar una barrera impermeable flexible o inflexible más resistente entre componentes (por ejemplo, una junta "formada in situ". En otras realizaciones, sin embargo, una junta puede conseguirse colocando burletes eléctricamente no conductores impermeable a los líquidos entre las membranas, por ejemplo, colocando juntas a lo largo de bandas en los bordes de las membranas y fuera de la zona de rejilla. Se pueden construir dispositivo EDI de la invención que consiguen estanqueidad formando el propio conjunto espaciador con bordes de caucho o sólido plástico eléctricamente no conductor (sin malla) que se extienden sobre el huelgo entre las membranas, una construcción similar a los "espaciadores de rejilla" de una pieza usados comúnmente en células de salmuera de la mayoría de pilas EDI de tipo placa planas comerciales que tienen una junta de banda formada por comoldeo alrededor de su periferia. Sin embargo, en este caso el módulo, las tolerancias de acabado y dimensionales del material de junta de región de borde debe ajustarse adecuadamente para asegurar que los bordes de separador se sellarán de manera efectiva contra la superficie de las membranas adyacentes. Además puede ser aconsejable emplear sellante líquido o junta de cemento en las superficies relevantes de contacto de membrana de la periferia sólida. Sin embargo, se prefiere el uso de un sellante viscoso aplicado a través de la malla espaciadora, posiblemente con lámina adicional de malla para proporcionar un espesor de célula idéntico al espaciador de mala más perla del centro, por su facilidad de implementación. En cada caso, el material sellante de cemento o de junta es preferiblemente de una composición seleccionada para ser no lixiviante de manera que no purga disolvente o polímero dentro de la corriente, y es de una composición probada que tolera las condiciones EDI y los canales de tratamiento o condicionamiento que pueden estar presentes en el flujo de tratamiento. Los sellantes compuestos por un material de relleno (tal como dióxido de titanio u otro polvo inorgánico) se han asimismo de evitar. Cuando la estructura de hoja o el conjunto de rollo se ha de ensamblar por vía húmeda (incluyendo la puesta enrehojo con un disolvente no acuoso), se prefiere que el sellante o el adhesivo sean compatibles con tal conjunto, y cuando el conjunto se ha de sellar antes del enrollamiento, el sellante debería ser flexible, o que no se endurezca al menos durante el proceso de ensamblado. Asimismo es deseable que el curado o secado del sellante no introduzcan tales cambios de rigidez o dimensionales ya que podrían introducir tensiones mecánicas en la membrana adyacente, o causen fisuración.

El solicitante ha encontrado una gran variedad de adhesivo que se pueden utilizar. Estos incluyen un sellante epoxídico de dos partes para superficies húmedas realizado por Hardman Company; un sellante adhesivo marino de una parte comercializado por 3M Company; pegamento de resorcinol en dos partes DAP cemento de caucho de

neopreno líquido DAP; un sellante de poliuretano de dos partes de H. B. Fuller Company; sellante Wellbond™; y un sellador de poliuretano curado al agua de una parte 4R-0215MF de H. B. Fuller Comapny.

5 La figura 1 muestra una vista en sección transversal del espaciador 115 de la figura 1B ensamblado entre dos membranas 110, 120 como en la figura 1. La membrana de intercambio de cationes 120 se encuentra en un lado del espaciador, y la membrana de intercambio de aniones 110 se encuentra en el lado opuesto, con las juntas 116a, 116b formando barreras impermeables en los bordes superior e inferior de las membranas. Cuando están enrolladas en el alojamiento, las células de salmuera constituyen de este modo el espacio dispuesto helicoidalmente entre las dos bandas de estanqueidad. El fluido puede ser introducido y eliminado en los extremo interior y exterior del bobinado

10 La figura 1D ilustra una construcción útil para aplicar o eliminar fluido de las células concentradas formadas en el rollo de membrana. Según esta realización, el elemento espaciador 115 comprende una rejilla, o varias capas de rejilla, junto con algunas perlas de intercambio que mantienen un nivel valor de umbral de conductividad eléctrica mínimo (no mostrado específicamente), y como se ha mencionado anteriormente, y que mantiene en general la separación entre las membranas 110, 120 y asegura un soporte distribuido contra el pellizco del espacio de flujo intermembranas. Una banda o región del espaciador, que puede ser una de las bandas 116a, 116b o puede ser una banda colocada en otro lugar, tal como en un extremo de la espiral, está cerrada por una junta adicional 119, y una porción de la rejilla adyacente al extremo permanece libre de tales perlas, ofreciendo de este modo una trayectoria de flujo más abierta y resistencia de flujo reducida. Este espaciador abierto o no llenado, si está posicionado cerca de la entrada del flujo puede servir ventajosamente de región de distribución de flujo para asignar de manera eficiente el flujo a través de la anchura del espaciador dentro de la región adyacente de malla cargada de perlas; de manera alternativa, cuando está posicionado distal a la entrada, puede funcionar como una región de salida colectora de flujo para recibir de manera eficiente el flujo saliente de la malla espaciadora cargada de perlas y conduce el flujo saliente combinado. De este modo presenta una baja caída de presión (en el extremo de entrada para la distribución) o una alta caída de presión respecto de la impedancia de trayectoria rellena (en el extremo de salida) y un conducto de salida de baja impedancia que sirve para definir la dirección general de flujo dentro de la célula desde una entrada de suministro a una salida.

Un conductor de entrada/salida separado 128, tal como un tubo perforado, puede colocarse opcionalmente en esta zona, para dispensar a o recoger el fluido presente en la rejilla sin rellenar de baja impedancia, y en ese caso el tubo de entrada (respectivamente, de salida) puede pasar a través de una de las juntas 116a, 116b, 119 u otra estructura para conectarse con un orificio de entrada o salida de recipiente del dispositivo ensamblado. Tal orificio puede ser interno (cuando, por ejemplo la salmuera es alimentada por un purgado desde la alimentación de entrada, desde la trayectoria intermedia diluida, o desde los flujos de salida de producto diluidos, o puede ser externo como puede ser puede desear cuando la salmuera se ha de alimentar por el interior de la tubería, o ha de ser recirculada de manera activa tener su presión flujo establecidos por una válvula o regulador externo. En general, se espera que con las células de flujo definidas por una malla abierta y la presencia o ausencia de un relleno relativamente disperso de material de intercambio, la hoja u hojas de los dispositivos EDI en espiral y los flujos concentrados para proporcionar de manera pasiva flujos diluidos y concentrados usando juntas, longitudes de trayectoria y aberturas de trayectoria de intercomunicación apropiadas, sin dependencia de bombas de circulación o sistemas de control de flujo complejos.

40 La rejilla de células concentradas puede tener material mejorador de la conductividad, tal como perlas de metal conductor, copolímero o carbono fijadas temporal o permanentemente a la misma o capturadas en su interior, para aumentar sus propiedades de soporte estructural y/o conducción eléctrica, bien en lugar de o además de material de intercambio de cationes. El tubo de entrada o salida, si está provisto para aplicar o llevar fluido alejado del espacio intermembranas, se puede formar mediante un tubo de acero inoxidable perforado u otro conducto/estructura de distribución apropiado que se extiende dentro de la malla abierta (sin relleno) o que se extiende a lo largo del borde sellado.

Estos elementos de construcción pueden ser realizados para implementar diferentes trayectorias de flujo. La figura 2A ilustra una disposición de este tipo, mostrando una hoja (desplegada) 40 que tiene un modelo de bandas de estanqueidad 1, malla sin relleno 2, y una región de malla rellena de perlas 3 que forma una envoltura medio señalada que permanece abierta a lo largo del borde de fondo. La media envoltura está configurada para recibir un flujo de entrada en el fondo. La región de malla sin relleno de baja impedancia 2 que se extiende a lo largo del borde superior promueve un flujo generalmente ascendente a través de la malla rellena 3, paralelo al eje del dispositivo, como se indica mediante flechas en la figura. La malla rellena puede, por ejemplo emplear una rejilla con un espesor de 0,7 mm (28 milésimas de pulgada) con un revestimiento de perlas de intercambio de cationes de 650C, para definir regiones de células de salmuera 3 de resistencia hidráulica apropiada y buena conductividad eléctrica, y una rejilla sin relleno más gruesa (por ejemplo 1,77 mm) puede emplearse en la región 2 para mantener espaciamiento de membrana al tiempo que presenta menor resistencia que promueve la distribución de flujo deseada. Como se indica mediante flecha en la figura 2A, el flujo sigue la caída de presión hacia la región espaciadora sin relleno 2, y entonces gira para seguir a lo largo de una trayectoria de flujo saliente que se ramifica, discurriendo en horizontal a

lo largo de la parte superior de la hoja para llevar el flujo de salmuera fuera de ambos extremos (por ejemplo los extremos interior y exterior de la espiral cuando la envoltura está enrollada en un dispositivo EDI). En conductor de salida concentrada corto puede insertarse dentro de la región de flujo de salida 2 en las espiras más interior y más exterior del rollo para conectar este flujo a uno o más orificios de recipiente. La figura 2B muestra una sección transversal vertical a través de varias espiras del conjunto enrollado en espiral, omitiendo los electrodos, para ilustrar direcciones relativas de las trayectorias de flujo de alimentación y concentrado en la zona de tratamiento central del dispositivo que se producen con la hoja de la figura 2A cuando la célula de salmuera es alimentada en el fondo (por ejemplo, con el agua de producto como se ilustra, o con una conexión de fluido separada de alimentación o salmuera acondicionada). El agua de alimentación sigue hacia abajo a lo largo del eje del dispositivo, al tiempo que en el otro lado de la membrana hay un flujo axial hacia arriba desde el extremo de entrada concentrada que se convierte en un flujo de salida más rápido del concentrado a lo largo de la banda 2 de la malla sin relleno, que define una trayectoria de flujo de salida en espiral que se encuentra en un plano en general horizontal en la parte superior del dispositivo. En general, cuando se alimenta desde el flujo de alimentación o de producto de esta manera, el flujo concentrado solo necesita ser una pequeña porción, por ejemplo entre el 1% y el 10% del flujo total, y tal fracción menor puede desviarse de manera automática y pasiva dentro de las células concentradas usando parámetros apropiados de malla y relleno. Las células concentradas delgadas que tienen algunas perlas de intercambio de cationes retienen, o alcanzan rápidamente una conductividad apropiada incluso cuando se alimenta con agua de producto, y la recuperación es elevada. Se pueden posicionar elementos de distribución o deflectores o una o más válvulas (tales como una válvula de retropresión de producto y/o una válvula de entrada de salmuera) en el fondo de la unidad si se desea para establecer, o para controlar o ajustar, la cantidad de flujo desviado a o que pasa dentro de las células de salmuera. La retropresión de salmuera puede establecerse de manera alternativa en la salida de salmuera para controlar el flujo de salmuera.

Estas disposiciones de la trayectoria concentrada presentan características de funcionamiento ventajosas. Cuando se usa una única pasada, en lugar de la recirculación, de la salmuera alimentada en una célula rellena, el extremo de salida de producto del diluido se puede polarizar en gran medida, dando como resultado características de eliminación muy estables y una capacidad consistente para tratar con condiciones inesperadas o iniciales y cambios en la calidad de la alimentación.

La hoja de la figura 2A puede de manera alternativa instalarse en una orientación invertida con su banda de junta 1 posicionada a lo largo de el extremo de fondo o de salida de producto de la unidad. En ese caso, las células concentradas pueden ser alimentadas de manera similar por un purgado desde la alimentación, y tanto el flujo concentrado como el diluido seguirán a lo largo de la misma dirección (axial hacia abajo) durante la porción inicial de su trayectoria, con el flujo concentrado girando para formar una trayectoria transversal más rápida cerca del extremo de salida del dispositivo.

Otras geometrías son implementadas según la invención empleando diferentes modelos de estanqueidad de hoja, varios de los cuales se describen más adelante con referencia a las figuras 5-7. Estos pueden incluir hojas con un extremo al menos parcialmente abierto (interior o exterior, y lados al menos parcialmente abiertos para definir trayectorias que discurren en segmentos a lo largo de una o más direcciones en espiral. Las juntas proporcionan una gran latitud en el establecimiento de la longitud de trayectoria, dirección de trayectoria, y tales características como impedancia de flujo, caída de presión y diferencia de presión diluida/de salmuera.

Según otro aspecto de la invención, una hoja de membrana/espaciador está ajustada en un dispositivo fabricado con uno o más conjuntos de electrodos que están implementados como una lámina de electrodos conductores que se enrollada en paralelo a la hoja enrollada, y que tiene más de una espira completa de superficie de electrodo de manera que se forma una bolsa en una región de solapamiento de electrodo. El electrodo forma una voluta o hélice de una espira, y la hoja pasa dentro del huelgo radialmente abierto que se extiende entre el extremo del electrodo y la siguiente espira. Esta construcción posiciona la hoja en plano y en paralelo contra la superficie de electrodo alrededor de su circunferencia completa; y coloca el extremo o terminación de envoltura en una región libre de campo, por ejemplo, el interior del electrodo o bolsa. La geometría de envoltura/electrodo en la que la envoltura permanece sustancialmente paralela en su totalidad a un contorno de electrodo continuamente cilíndrico, sin espiras abruptas o pliegues de capas en las regiones de fijación, y sin proyección de estructuras de sujeción, da como resultado un campo más uniforme a través de las células diluidas y concentradas cercanas a los electrodos, libres del ensombrecimiento, la falta de homogeneidades y apantallamiento que se derivan de las disposiciones de la técnica anterior de aberturas ranuradas, estructuras de sujeción de láminas y similar. Cuando se aplica a las células concentradas, se permite el paso de concentrado a través del electrodo y dentro de una región libre de campo al tiempo que se mantiene un aislamiento sustancial de la trayectoria de flujo de alimentación-producto, y se evitan de este modo los problemas de cortocircuito o retrodifusión de salmuera que se pueden dar cerca de los colectores concentrados y células electrolitas de dispositivos EDI de la técnica anterior

La figura 3 es una vista en sección transversal de un electrodo interior y una hoja enrollada en espiral, tomadas en un plano normal al eje de bobinado, que ilustra tal bolsa de electrodo y tal terminación de la estructura de membrana/células, tal como la estructura de espaciador/hoja de las figuras 1A-1D, en el electrodo en un dispositivo

EDI en espiral prototipo. La figura 4 muestra una vista correspondiente de una estructura de electrodo exterior para la realización prototipo. Cada electrodo está formado preferiblemente por patrón de lámina de un material de lámina conductor apropiado, tal como acero inoxidable, titanio o platino (por ejemplo, pintado de platino o con su superficie por el contrario platinizada) u otra lámina de superficie metálica inerte o conductora. Preferiblemente un material no oxidante, tal como una lámina de superficie de platino se emplea para el ánodo. Estructuras auxiliares tales como cables conductores de corriente, lengüetas de conexión y similar (no mostrado) pueden conectarse al electrodo y extenderse o comunicarse eléctricamente a través del alojamiento de recipiente (Figura 1), y el extremo final de una membrana, espaciador u hoja puede fijarse a la superficie de electrodo mediante un cemento, una o más pinzas de fijación, una banda metálica enroscada o similar (tampoco se muestra).

10 Como se muestra en la figura 3, según este aspecto de la invención, el electrodo central 114 (que corresponde al electrodo 14 de la figura 1) que en el dispositivo prototipo es el ánodo, está constituido por una lámina enrollada de la que las regiones de extremo 114c se extienden unos pocos centímetros y en la que terminan los extremos sellados de la hoja. Esta región de solapamiento forma una bolsa de electrodo que recibe el extremo de hoja – membranas, espaciadores diluidos y de salmuera, y se encuentra en un potencial único, de manera que no hay campo eléctrico en la región de bolsa. La terminación de bolsa de la hoja, que incluye espaciadores, puede estar sellada, por ejemplo con un poliuretano curable que asegura que los fluidos diluidos y de salmuera no pueden fugarse o entremezclarse. El espaciador individual y las capas de membrana pueden terminar sucesivamente, o con ligeros desvíos, como se ilustra, para formar una inserción de extremo ahusado, en lugar de un inserto de fondo plano, donde el borde exterior de electrodo solapa el interior. El bobinado de electrodo se ajusta bien de este modo contra la superficie angular en la región de bolsa y está plenamente soportado. La chapa delgada u otra lámina metálica pueden usarse para formar la superficie de electrodo. El rolo de espaciador/membrana se encuentra exactamente en paralelo y en plano contra la superficie exterior del electrodo central a medida que el espaciador/hoja sale de la bolsa.

25 En esta construcción prototipo, la estructura de bobinado comprende una secuencia de repetición de cuatro capas, en concreto un conjunto de espaciador de salmuera B, una membrana de intercambio de aniones A, un conjunto espaciador diluido D y una membrana de intercambio de cationes C. En la construcción del prototipo ilustrado con un ánodo central, la capa espaciadora de salmuera B se extiende por una longitud de una circunferencia completa del electrodo central, más allá del extremo de la membrana de intercambio de cationes C_x . De este modo, cuando la hoja está montada en la bolsa, el espaciador de salmuera B se encuentra directamente contra la superficie exterior del ánodo 114 para una espira entera y la célula diluida adyacente está unidad en el lado opuesto al ánodo por una membrana de intercambio de aniones. El primer bobinado o longitud de extremo de la trayectoria espaciadora de salmuera funciona de este modo como la célula de anolito de un dispositivo EDI convencional. Preferiblemente el ánodo, electrodo 114, tiene una o más aberturas 114 a través de los mismos colocando el espacio de salmuera en comunicación fluidica, por ejemplo, con un orificio en el reborde de fondo como se muestra en la figura 1, por ejemplo, un orificio de salmuera, que permite que el fluido concentrado pase a través del electrodo interior.

40 El espaciador concentrado de salmuera y la membrana de intercambio de aniones se colocan adyacentes al electrodo, y se enrollan y sellan con las capas restantes en la bolsa en la región 114c, después de los cual el conjunto de hoja/espaciador se enrolla múltiples veces y a continuación termina en el electrodo exterior. La estructura de electrodo exterior, un ejemplo de la cual se ilustra en la figura 4, emplea preferiblemente una construcción similar como un bobinado con una bolsa. Después de enrollar el electrodo exterior, se pueden colocar tornillo u otros dispositivos de fijación a través de las capas de electrodo de solapamiento, o la circunferencia puede estar bandeada y sujeta para sellar la unidad junta. De este modo uno de los dos electrodos con forma la forma de la primera espira del conjunto de membrana/espaciador y el otro sigue la forma de la última espira. En el caso del conjunto de cátodo exterior, la terminación se puede efectuar extendiendo la capa espaciadora de salmuera durante una longitud de una circunferencia de electrodo más allá de la membrana de intercambio de aniones, de manera que la capa espaciadora de salmuera final se disponga directamente contra la superficie interior del electrodo exterior (el cátodo, como se ha ilustrado), y una membrana de cationes se encuentra en sellado catódico de la siguiente célula diluida adyacente. Todo o una porción de un electrodo puede realizarse a partir de rejilla metálica, hilo o malla conductora, en lugar de malla o hilo en una lámina de soporte, pero se prefiere laminilla conductora. Además, la chapa (por ejemplo una chapa de 0,05 mm (dos milésimas de pulgada) puede enrollarse en varias espiras adicionales alrededor del exterior (cuando se usan para formar el electrodo exterior como se indica de manera esquemáticamente en la figura 4) para de este modo constituir un recipiente de contención para el conjunto, o se puede enrollar inicialmente en varias espiras en el electrodo interior, antes de la fijación de la hoja, para de este modo constituir un tubo central, realizando la porción estructural correspondiente del elemento de alojamiento, recipiente o soporte de manera innecesaria. En este caso, uno o más orificios P como se muestran en las figuras 3 y 4 pueden ser taladrados a través del electrodo y ajustados con accesorios apropiados para permitir una comunicación fluidica a través del bobinado de electrodo con las células de salmuera.

60 La figura 4 es una vista en sección transversal del electrodo exterior 116 formado con una lámina enrollada similar y solapamiento de estructura de bolsa en un sector angular 116c donde terminan los extremos sellados de la hoja. El rolo de envoltura/espaciador del prototipo está construido de manera que aquí también, el espaciador de salmuera B

se encuentra adyacente a la superficie de electrodo, y comunica a través de un orificio apropiado P. Cuando el espaciador de salmuera es un espaciador como se muestra en las figuras 1A-1C, constreñido entre dos membranas selladas en la parte superior y el fondo, entonces el flujo concentrado pasa a través de la capa espaciadora concentrada en espiral B, y puede pasar directamente a través de uno o más de los electrodos. Cuando se usa la
 5 envoltura de salmuera de la figura 2a, con un borde abierto para recibir la entrada de salmuera, tanto los orificios de electrodo entrada como los orificios de electrodo salida pueden ser salidas de salmuera. Sin embargo, en otras realizaciones, puede ser preferible tener la salmuera que entra en un extremo de la espiral, por ejemplo en el ánodo,, que es preferiblemente el electrodo interior (menor), y sigue hacia el cátodo de manera que la corriente de salmuera se acidifica inicialmente por anolito y resiste mejor la incrustaciones. En otras realizaciones adicionales, la capa de
 10 salmuera depositarse caliente inmediatamente adyacente al electrodo, pero en su lugar se pueden proporcionar células separadoras de electrodo separadas (células de electrolito) en uno o más electrodos para permitir un flujo separado de fluido adyacente a uno o ambos electrodos. Esto permite que uno o ambos flujos de electrolito sean suministrados, tratados o acondicionados por separado a partir de los flujos diluidos o de salmuera a granel, de una manera análoga al tratamiento de electrolito de las construcciones de dispositivo EDI de la técnica anterior.

15 Los ejemplos anteriores ilustran varias propiedades en general ventajosas. Las unidades EDI en espiral de la invención emplean un número relativamente bajo de componentes material y espaciadores, y estos son de bajo coste. El uso de un relleno de perlas dispersas permite que las células de pequeña anchura soporten grandes velocidades de flujo de producto, y el proceso de estanqueidad de rollo y ensamblado permite definir y optimizar longitudes de trayectoria para alojar flujos o distribuir flujos sin causar oclusión o contaminación cruzada de células.
 20 Esto permite también que el dispositivo EDI se ensamble fácilmente en un estado seco o no hinchado, sin pretratamiento de membrana. La posterior conversión (humidificación y/o desalación) conduce entonces a la expansión y estanqueidad mejorada así como a un contacto de membrana-perlas mejorado y una conductividad iónica y eléctrica altamente uniforme. Las construcciones con una envoltura como se muestra en la figura 2A que sella la célula de salmuera en solo un extremo superior o inferior de la envoltura permiten también que las células concentradas sea alimentadas con facilidad por una porción del agua de alimentación o de producto internamente del recipiente. Además, el uso de un modelo intermembrana de múltiples segmentos de líneas de junta para formar envolturas rellenas de perlas da como resultado la utilización de membranas muy eficiente –hasta el 95% de la zona
 25 de membrana participa activamente en la electrodeionización, mucho más que las arquitectura EDI de placa plana actuales – y proporciona gran control sobre la dirección de flujo en ambas células diluidas y de salmuera. Las regiones de malla rellena de manera dispersa y las regiones de malla no rellena tienen baja resistencia hidráulica que pueden ser explotadas para definir colectores de distribución o recogida o determinar dirección de flujo y trayectorias dentro del dispositivo que están libres de canalización.

La estructura espaciadora, que consiste en una o más capas de malla (por ejemplo, rejilla de polímero) con perlas de intercambio fijadas en/sobre la rejilla determina eficientemente la distancia entre membranas, proporcionando tanto
 35 soporte de membrana como un medio para captura y transporte de iones, y evita de manera efectiva la migración o pérdida de la resina. Además, en regiones localizadas (por ejemplo adyacente a un orificio o en los extremos del flujo) se puede usar una rejilla con una malla inferior dimensionada para de este modo servir como trampa para perlas, o con regiones sin relleno o un mayor espesor global destinado a servir de distribuidor de flujo o colector de flujo. El fieltro de intercambio de iones o el algodón apropiado (por ejemplo polipropileno) también se pueden aplicar cerca de bordes o en extremos del recipiente de contención para asegurar que las perlas quedan retenidas en la
 40 unidad, o en zonas de tratamiento activas.

Construcciones delgadas de un espaciador con perlas de intercambio, o u modelo definido y distribución de tipos de perlas, se forman fácilmente fijando las perlas a la rejilla con adhesivo, y conjuntos de espaciadores especializados pueden formarse de este modo antes del enrollamiento final y montaje del dispositivo. Las dimensiones de rejilla se
 45 pueden seleccionar de manera que el huelgo entre cualquier hilo y una de las dos membranas vecinas es inferior a la dimensión de perla, evitando que las perlas se desplacen o se acumulen, y asegurando de este modo características de flujo efectivo, intercambio efectivo o conductividad. El espaciamiento de las membranas adyacentes en un rollo se puede también conseguir empleando una membrana “con protuberancias”, es decir una membrana formada con bultos u otras características que sobresalen por encima del plano de superficie nominal; porciones elevadas de la superficie entran en contacto entonces con la membrana opuesta. En este caso, no se requiere necesariamente una rejilla o malla para determinar el espaciamiento intermembrana o la distribución de partículas de intercambio, y se puede omitir en algunas realizaciones. Cabe señalar, sin embargo, que en el pasado, se ha revelado difícil fabricar membranas de intercambio con salientes de superficie, y el solicitante no cree que ninguna membrana de intercambio irregular esté disponible comercialmente en la actualidad. Una alternativa, sin
 55 embargo, es fijar perlas de intercambio de iones dispersas a la superficie de al menos una de las membranas de intercambio de iones usando, por ejemplo un compuesto de fijación no aislante, tal como un pegamento soluble. Las perlas, una vez ensambladas entran en contacto con la membrana opuesta (que puede prepararse de manera similar) para determinar el espaciamiento de membrana, la conductividad de célula y/o la conductividad iónica. El conjunto puede hidratarse e hincharse después del ensamblado, el cual enjuaga el pegamento del conjunto, mejora además el contacto de membrana-perla, y evita que las perlas se desplacen de posición. En las células diluidas, se posiciona preferiblemente material de intercambio de iones entre membranas por cualquiera de estos
 60

- procedimientos de manera que la masa de intercambio de aniones entre en contacto con la membrana de intercambio de aniones en el lado anódico, y la masa de intercambio de cationes entra en contacto con la membrana de intercambio de cationes en el lado catódico. Debido a que la cantidad o la distribución de perlas de intercambio permanece limitada, el hinchamiento será pequeño y manejable en el dispositivo como un todo y no debería perjudicar ni las propiedades estructurales ni las propiedades de flujo del dispositivo. Las unidades pueden enrollarse y ensamblarse “secas” o usando un disolvente no basado en agua diferente del disolvente deseado durante la operación normal. El disolvente puede entonces ser sustituido/eliminado después del ensamblado, y la expansión de material de intercambio de iones y las membranas que resultan de esta conversión asegurarán un buen contacto entre componentes.
- 5
- 10 Las membranas de intercambio de aniones y cationes homogéneas son tales como las fabricadas Ionics, Incorporated de Watertown, Massachusetts se emplearon en la construcción de diversos prototipos. Se prefieren estas porque su resistencia, hinchamiento relativamente bajo y fuga de agua transmembrana limitada. Las membranas heterogéneas se pueden usar también, pero en este último caso, se prefiere que al menos algún grado de preinchamiento o hidratación de membrana sea efectuada antes del ensamblado, y etapas tales como tensionado de tejido durante un enrollamiento de hoja o ensamblado pueda requerir un control más cercano debido a la menor resistencia, mayor hinchado y aflojamiento y flacidez general de membrana heterogénea.
- 15

Como se ha indicado anteriormente, las construcciones descritas proporcionan un enfoque flexible hacia la definición de diferentes trayectorias de flujo de fluido dentro del dispositivo EDI en espiral por modelos apropiados de las bandas de estanqueidad y regiones de colector de una envoltura. La figura 5 ilustra una realización de una envoltura de dos membranas para definir células de flujo EDI en espiral, en la que el flujo de salmuera es alimentado en un extremo del alojamiento cilíndrico, entre el centro y el exterior de la espiral, y se ramifica en flujo hacia dentro y hacia fuera dentro del espacio de flujo de salmuera en espiral. Cada rama gira en el extremo el extremo interior/exterior respectivo de una junta de bloqueo 1 para invertir su dirección a lo largo de la espiral, y se invierte una vez más a medida que pasa a través de la abertura central entre dos deflectores de flujo adicionales 1b, 1c. Los extremos distales de las trayectorias de flujo bifurcadas salen entonces a través de las aberturas en los bordes interior y exterior del rollo, que han seguido dos trayectorias generalmente en espiral de longitud algo mayor que la longitud del propio bobinado.

20

25

La figura 6 ilustra otra configuración de trayectoria definida por líneas de junta de envoltura 1. En esta realización, la salmuera que entra en la esquina derecha inferior, está limitada a lo largo de dos espiras de “circuito de carreras” para desplazar aproximadamente tres veces la longitud de espiral, y salir en la esquina izquierda superior: “derecha inferior” e “izquierda superior” se refieren a las posiciones en la membrana sin enrollar, pero corresponderán a las posiciones en la interior (centro) y en el exterior (periferia) en lados opuestos cuando la envoltura está enrollada en el dispositivo. La entrada o salida puede efectuarse por cualquier medio mencionado anteriormente – por ejemplo, un conducto que pasa dentro de la célula, una abertura a través de un electrodo de unión u otra construcción.

30

La figura 7 ilustra otra configuración, similar a la de la figura 5 pero empleando entradas separadas para las dos ramas de flujo de salmuera que se mantienen por separado al tiempo que se disponen las juntas barreras 1 de manera que las dos trayectorias de flujo son de trayectorias diferentes.

35

Las juntas pueden definir, además trayectorias de flujo que están limitadas a la región de los electrodos, por ejemplo por una línea de junta extendida en paralelo al eje de bobinado en el borde de la región de electrodo – es decir una distancia de una circunferencia de electrodo hacia el interior desde el extremo de hoja. La figura 7A ilustra tal realización, que muestra las bandas de pegamento/sellante (líneas oscuras y trayectorias de flujo a través de una célula de salmuera en la que el extremo de la derecha corresponde al ánodo o célula de ánodo, y el extremo de la izquierda al cátodo o célula de cátodo. Como se muestra, el flujo de entrada de salmuera b_i entra en el fondo de la célula de ánodo y está limitado al flujo axialmente a lo largo de la longitud del ánodo por la línea de junta s_a que se convierte en ácida. La salmuera acidificada vuelve entonces a lo largo de sucesivos segmentos de trayectoria helicoidal a , b , c antes de entrar en la zona de cátodo de la célula de salmuera o cátodo, donde la línea de junta s_c retiene el flujo en el cátodo o célula de cátodo. El espaciador diluido cubre solo la zona entre las líneas de junta de zona de ánodo y cátodo s_a y s_c separada de la zona de electrolito altamente concentrada (véase las figuras 3 y 4), limitando de este modo efectos tales como la zrotródifusión. Además, la salmuera inicialmente acidificada previene contra la ocurrencia de condiciones de pH excesivamente alto en la célula de salmuera o en el lado de la salmuera de la membrana de intercambio de aniones que puede de otro modo contribuir o inducir susceptibilidad a incrustaciones.

40

45

50

Además de las juntas que definen trayectorias de flujo de célula de salmuera, dispositivos de la invención pueden emplear juntas para limitar o delimitar las trayectorias de flujo diluido, de manera que el dispositivo enrollado en espiral funciona de manera efectiva con el diluido que fluye en una trayectoria más larga o en serie a través de dos o más células, se convierte en un dispositivo de dos etapas, o se convierte en dispositivo de dos etapas con diferentes flujos de salmuera o configuraciones de trayectoria para cada etapa.

55

Otro aspecto importante de construcción que se puede emplear en células diluidas de un dispositivo EDI de la presente invención es emplear una malla de rejilla dentro de la célula diluida rellena de manera dispersa en la que la rejilla segrega los diferentes tipos de perlas de intercambio, y desvía el flujo para asegurar un contacto adecuado entre el flujo diluido y ambos tipos de perlas. Una construcción, a la que los inventores se refieren como

5 estratificación-s, se ilustra en la figura 8, en una vista esquemática, tomada normal al plano tangente de la célula diluida y a lo largo de una línea que se extiende en la dirección de flujo nominal. Como se muestra en la figura 8, una célula diluida está definida entre una membrana de intercambio de aniones A_x y una membrana de intercambio de cationes C_x de manera que el material de intercambio de cationes C se encuentra adyacente a la membrana C_x y el material de intercambio de aniones se encuentra adyacente a la membrana A_x . Esto puede conseguirse como se ha

10 descrito anteriormente revistiendo de manera selectiva lados opuestos de una rejilla revestida de adhesivo S con los diferentes tipos de perlas de intercambio para formar un conjunto de espaciador de célula diluidas. La construcción de estratificación-s según este aspecto de la invención se caracteriza, además, por una pluralidad de obstrucciones de un lado o deflectores de flujo D_c (posicionados en el lado catiónico para desviar flujo hacia el lado aniónico) y D_a (posicionados en el lado aniónico para desviar flujo hacia el lado catiónico) que se colocan de manera alterna a través de la dirección general de flujo para desviar el flujo al lado opuesto de la célula diluida. Los deflectores de flujo pueden ser parte de la propia rejilla, tal como filamentos de mayor altura o sección transversal que discurre por la

15 dirección de flujo y que sobresale en lados alternos de la rejilla por una cantidad que obstruye el flujo a través de una porción sustancial de un lado. De manera alterna, los deflectores pueden estar formados o colocados separadamente, por ejemplo como filamentos o líneas de sellante depositado en las posiciones indicadas para desviar flujo desde mitades alternas del canal. La construcción de rejilla o espaciador puede también efectuarse usando más de una capa de rejilla, o puede efectuarse usando rejilla o malla formada por los materiales de intercambio de iones correspondientes, en cuyo caso se pueden omitir las perlas de intercambio. Este aspecto de la invención se emplea ventajosamente en dispositivos EDI de placa plana de construcción de célula delgada y no se limita al uso en dispositivos EDI de hoja enrollada de construcción en espiral.

25 Varios dispositivos EDI en espiral pueden configurarse con membranas y espaciadores según un tipo o más de los tipos específicos anteriores. Una construcción particularmente ventajosa se consigue según la presente invención proporcionando un espaciador de célula de salmuera que tiene bandas de segregación que se extienden a través de la dirección general del flujo diluido (que puede ser axial), y que funcionan para operar las especies que entran en la célula concentrada cerca de la parte delantera de la trayectoria diluida desde las especies que entran en la célula

30 concentrada a lo largo de la trayectoria diluida. Este aspecto se ilustra en la figura 9A.

Como se muestra en la figura 9A, un espaciador de salmuera, indicado en general B tiene una o más bandas **BB** que se extienden al menos el espesor completo del espaciador para entrar en contacto con la membrana adyacente y limita el flujo concentrado dentro de una horizontal (como se muestra) que corresponde a un segmento inicial o posterior de la trayectoria de flujo diluido. Se muestran tres bandas de este tipo **BB**, que corresponden a diferentes

35 regiones características de desmineralización a lo largo de la trayectoria diluida como se ilustra esquemáticamente en la figura 9B. Mientras algunas especies pueden estar ausentes o tener un efecto insignificante muchos fluidos de alimentación, estas regiones incluyen de manera ilustrativa una primera región a de la trayectoria diluida en la que cationes en el flujo diluido tal como algunos iones de metal bivalente como calcio o magnesio entran en la célula concentrada; una segunda región b donde iones monovalentes e mayores o menores iones móviles de mayor valencia tales como CO_3 , sulfato y similar pasan del flujo diluido, y una tercera banda c situada hacia la salida de producto del dispositivo puede funcionar en un modo más polarizado generación sustancial de iones de hidroxilo y hidronio y su paso dentro de la célula concentrada. Las bandas **BB** separan estas regiones de la célula concentrada dentro de tiras de flujo distintas y separadas, de manera que el flujo de cada especie o grupo de especies sigue a lo largo de una trayectoria separada hacia la salida o salidas concentradas. De esta manera, se evita la ocurrencia de

40 los diversos componentes complementarios que podrían de otra manera producir incrustaciones. Algunas especies, tales como gas neutro CO_2 , que puede pasar a través de las membranas de manera relativamente libre, se retrodifunden dentro de la corriente diluida y vuelven a entrar en la célula concentrada, pueden entrar en todas las regiones concentradas, a , b , c , pero en cada localización la ausencia de un componente segregado en otro lugar convertiría esta combinación en esencialmente no formadora de incrustaciones.

50 Las bandas de segregación **BB** pueden implementarse por diversos medios alternativos. Un enfoque es depositar una banda de sellante impermeable a lo largo de una tira para rellenar el espaciador de rejilla de salmuera y evitar que el movimiento de fluido a través de la banda. Otro enfoque es emplear, como espaciador, una rejilla asimétrica en la que los hilos de mayor dimensión de una red se extienden de manera continua y en paralelo entre sí por todo el espesor del espaciador, al tiempo que los hilos cruzados de menor dimensión permiten que el flujo siga en

55 paralelo a los hilos grandes. En este caso, el espaciamiento de rejilla puede ser relativamente pequeño, como una malla de 0,5 a 5 centímetro, de manera que los grandes hilos crearían docenas o cientos de trayectorias de flujo concentrado segregadas a lo largo de una trayectoria de flujo diluido largas de un metro, en lugar de las tres regiones generales ilustradas en las figuras 9A-B. Para evitar la formación de incrustaciones, es importante que las bandas sean de composición suficientemente distinta de manera que la especie formadora de incrustaciones complementaria no se produzca en condiciones de pH que harían que se depositase. Esta función se puede

60

conseguir mediante unas pocas bandas BB, o por las decenas o cientos de bandas provistas orientando los hilos de una rejilla asimétrica a lo largo de la dirección transversal al flujo diluido.

5 La separación espacial de la especie relevante puede mejorarse o definirse más precisamente según otros aspecto o aspecto adicional de la presente invención, disponiendo resinas de intercambio seleccionadas en regiones a lo largo de la trayectoria diluida de manera a seleccionar una banda de un tipo de ion en esa región, o inhibir el paso de unión complementario dentro del concentrado, separando de este modo más claramente la incrustación u otros componentes. La figura 10 ilustra este aspecto de la invención, mostrando de manera esquemática una célula diluida de un dispositivo EDI enrollado (o de tres dispositivos dispuestos para un flujo en serie. Como se muestra, la región inicial de la trayectoria, que corresponde a la región a se rellena con una resina de intercambio de cationes C para 10 capturar y transportar de manera más completa los cationes metálicos formadores de incrustaciones dentro de la banda concentrada, al tiempo que se discriminan de manera efectiva algunos co- o contraiones potencialmente nocivos. Una secuencia posterior de la célula diluida tiene un relleno de material de intercambio de aniones A para mejorar la eliminación de los iones de sulfato y otros componentes voluminosos o impedidos, al tiempo que una tercera región o etapa contiene un relleno mixto convencional de material de intercambio para un mejor pulido. Tres 15 electrodos energizados por separado **E1, E2, E3** se pueden emplear para ajustar o controlar el funcionamiento más de cerca para la distribución del material presente en la alimentación.

20 Como se ha indicado anteriormente, realizaciones de la invención solucionan algunas faltas de homogeneidad intrínsecas de las construcciones de la técnica anterior mediante características tales como una bolsa de electrodo blindada, para terminación de envoltura, disponiendo los bobinados para evitar efectos de ensombrecimiento, y empleando un núcleo relativamente grande para limitar el aumento de densidad de corriente que se produce en células interiores del bobinado. Según otro aspecto de la invención la espiral está equipada con una estructura de orificio de extremo que proporciona un perfil de flujo compensatorio.

25 Las figuras 11A y 11B ilustran este aspecto de la invención. Un espaciador S que es ilustrativamente una malla de hilo relativamente grande como se describe en la solicitud internacional del solicitante WO03/3043721, está ranurada para recibir una pluralidad de tubos o varillas T a lo largo de un borde y la rejilla y tubos están insertados en una banda de estanqueidad de anchura plena. La banda puede estar formada por un material de poliuretano epoxídico que cura y proporciona suficiente flexibilidad para permitir que la rejilla se enrolle junto con la membrana de intercambio y otro espaciador como se ha descrito anteriormente, en un conjunto EDI enrollado. El extremo del conjunto enrollado está preferiblemente encapsulado, de manera similar al empleado para formar módulo M de fibra hueca, de manera que todas las membranas y todos los espaciadores están sellados en el borde inferior (como se muestra) y las células concentradas están bien aisladas de las células diluidas. Las varillas /tubos T sobresalen a través del material de encapsulación. Si se usan varillas en lugar de tubos, estas pueden ser retiradas del conjunto dejando que agujeros pasantes comuniquen con la malla S, que, como los tubos, funcionan como orificios de extremo dentro de las células definidas por los espaciadores S. Como se muestra, además en la figura 11A, los 30 elementos T están espaciados a intervalos progresivamente mayores hacia un extremo del espaciador S. Esto da como resultado un mayor número de orificios, de este modo un flujo aumentado en una región de extremo del espaciador, que es preferiblemente la porción interior (menor diámetro) del conjunto enrollado.

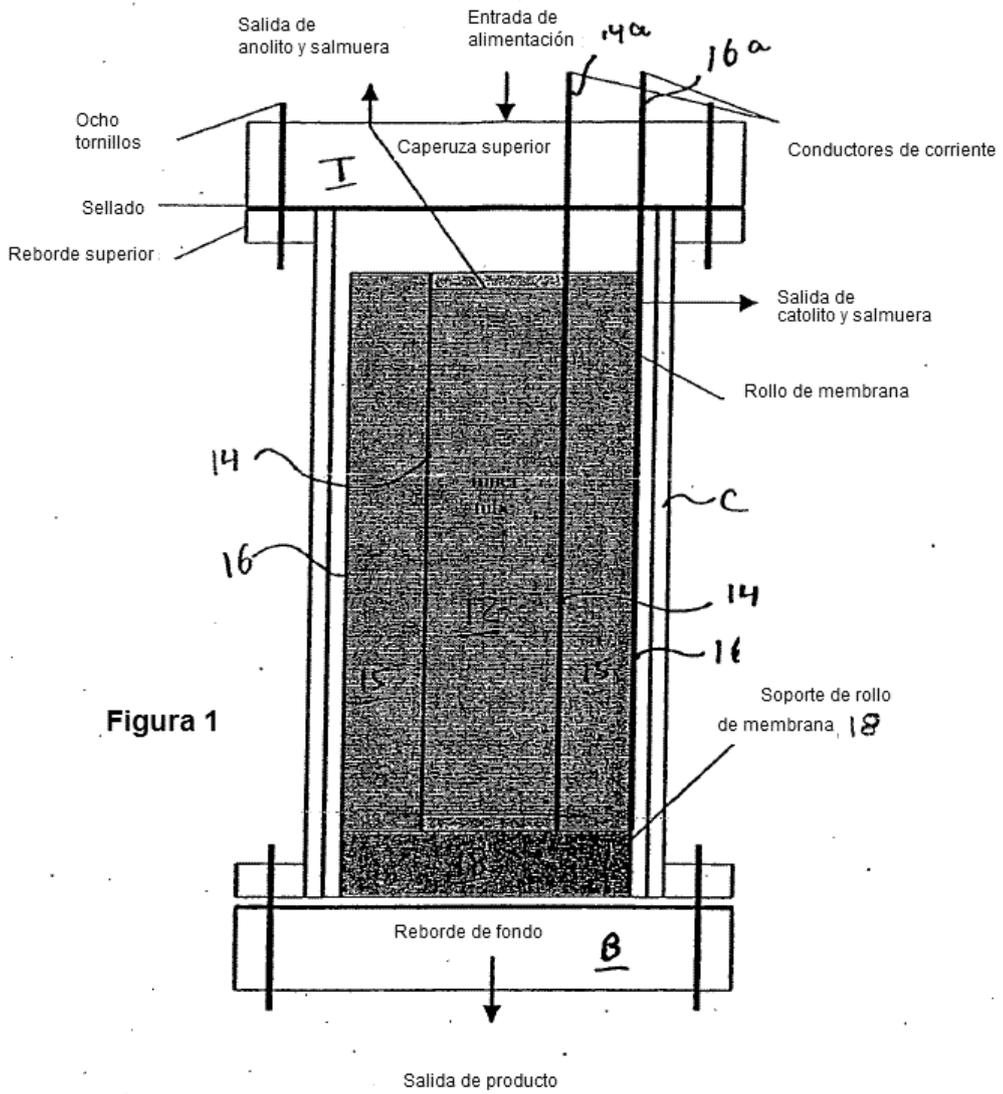
40 La figura 11B ilustra esquemáticamente este efecto. El mayor número de orificios de entrada o salida permite más flujo, o mayor velocidad de flujo en la porción radialmente interior de la espiral, la región que experimenta también una mayor densidad de corriente. El fluido que fluye en esa región tiene de este modo el mismo punto de extremo (por ejemplo, una conductividad de 15-16 megahomios, a media que el fluido pasa a través de los bobinados exteriores, sin causar una operación polarizada y de agotamiento excesivo. El resultado es un rendimiento elevado, un producto de calidad uniforme, libre de regiones operativas extremas o ineficientes.

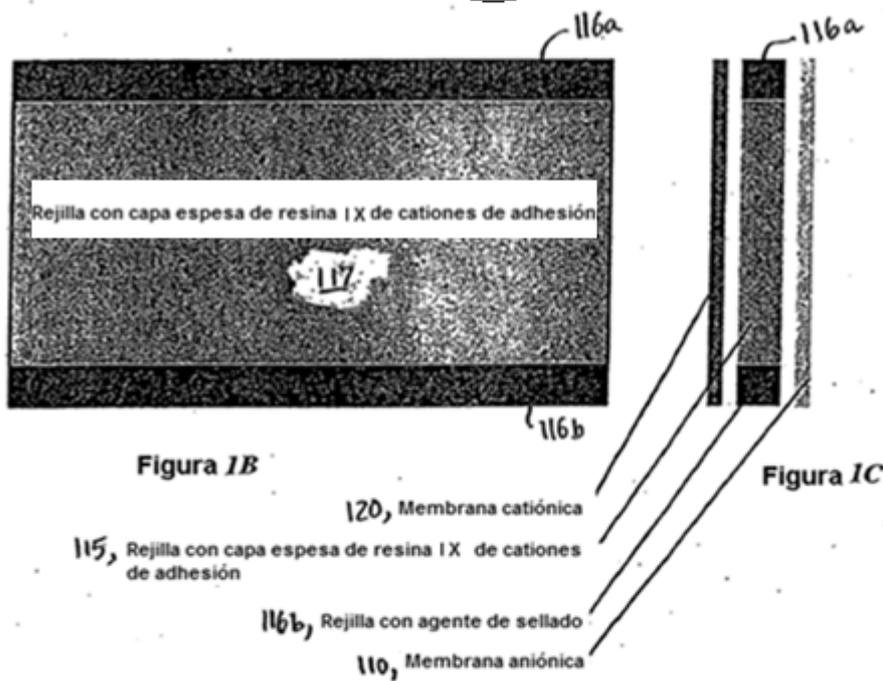
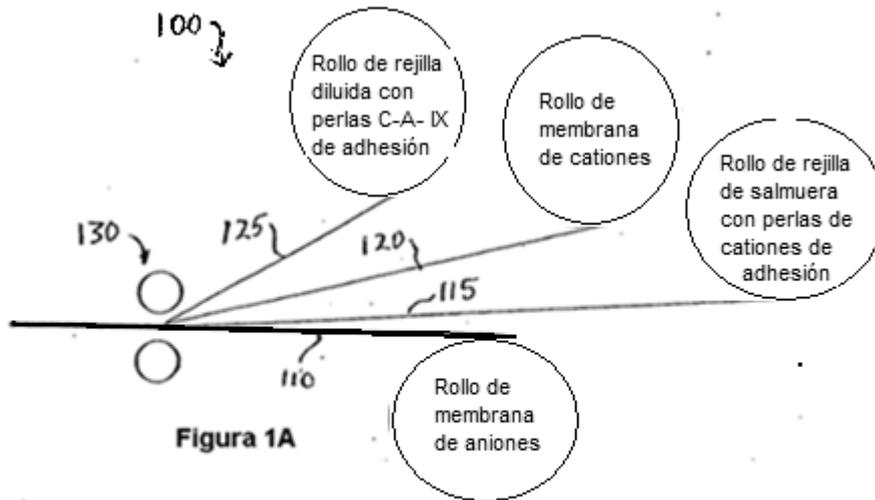
45 Los dispositivos descritos anteriormente materializan de este modo un número de construcciones novedosas, inventivas y ventajosas. Para dispositivos EDI que mejoran la facilidad de fabricación, la efectividad de funcionamiento y el rendimiento total o las capacidades de los dispositivos así construidos. En la descripción anterior de realizaciones ilustrativas, varios elementos novedosos y características destacadas han sido puestas de manifiesto, pero estas pueden variar o complementarse con variaciones de arquitectura general y otros detalles de construcción conocidos de la bibliografía técnica de dispositivos EDI en espiral y de placa plana, muchos de los cuales están ahora en el mercado. Detalles auxiliares que se refieren a aspectos tales como receptores de perlas, orificios, válvulas construcciones de electrodos así como control operativo son bien conocidos por el experto en la técnica, y pueden aplicarse con modificaciones apropiadas a las construcciones descritas en la presente memoria. Habiéndose divulgado de este modo la invención, otras variaciones y modificaciones adicionales se les ocurrirán al experto en la técnica, y tales variaciones y modificaciones se considera que forman parte del alcance de la invención 55 como se describe en la presente memoria y se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un dispositivo de electrodeionización (10) que comprende un alojamiento genéricamente cilíndrico que incluye un electrodo radialmente interior (14) dispuesto en una forma genéricamente cilíndrica a lo largo de un eje;
- 5 una hoja que contiene dos membranas espaciadas (110, 120) y un espaciador (115) dispuesto como un bobinado en espiral alrededor del electrodo interior;
- un electrodo radialmente exterior (116) que se extiende alrededor del bobinado en espiral,
- en el que células diluidas y concentradas están definidas por espacios y por espacios intercalados dentro de dicho bobinado en espiral en una región entre los electrodos radialmente interior (14) y radialmente exterior (16), formando
- 10 las células diluidas y concentradas trayectorias de flujo diluidos y concentrado correspondientes;
- una corriente formada por dichos electrodos (14, 16) que tiene una densidad de corriente a través de dichas células que varía inversamente a la posición radial de una célula, y
- medios (T) para hacer variar el flujo como una función de posición radial para utilizar de manera más efectiva la corriente disponible, en el que los medios (T) para hacer variar el flujo comprende un número de orificios de flujo (T)
- 15 posicionados en un extremo de la trayectoria de flujo y con un número o dimensión efectiva para proporcionar un mayor flujo en una posición menos radial.
- 2.- El dispositivo de electrodeionización (10) de la reivindicación 1, en el que la hoja es una hoja enrollada y los medios para hacer variar el flujo comprenden un número de orificios de flujo espaciado progresivamente a lo largo de su longitud.

20





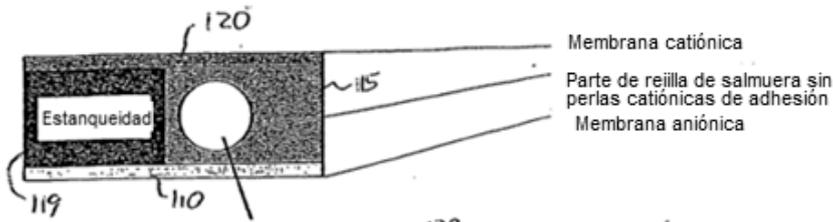


Figura 1D Tubería de entrada-salida, 128

Célula de salmuera (tubería de entrada-salida)

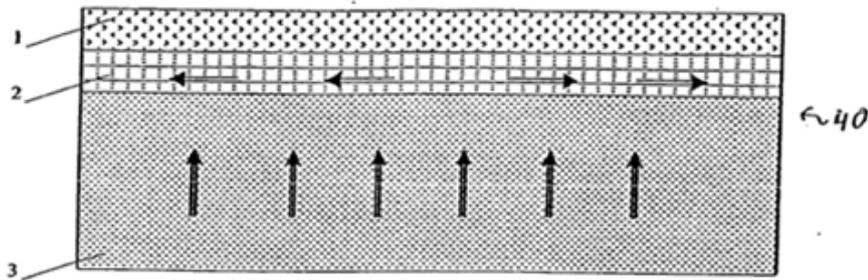


Figura 2A

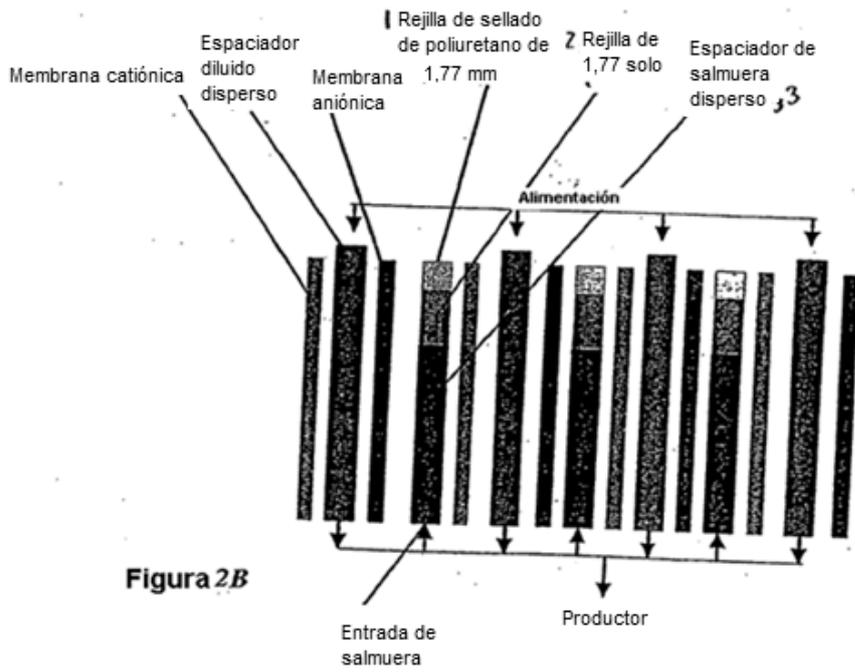
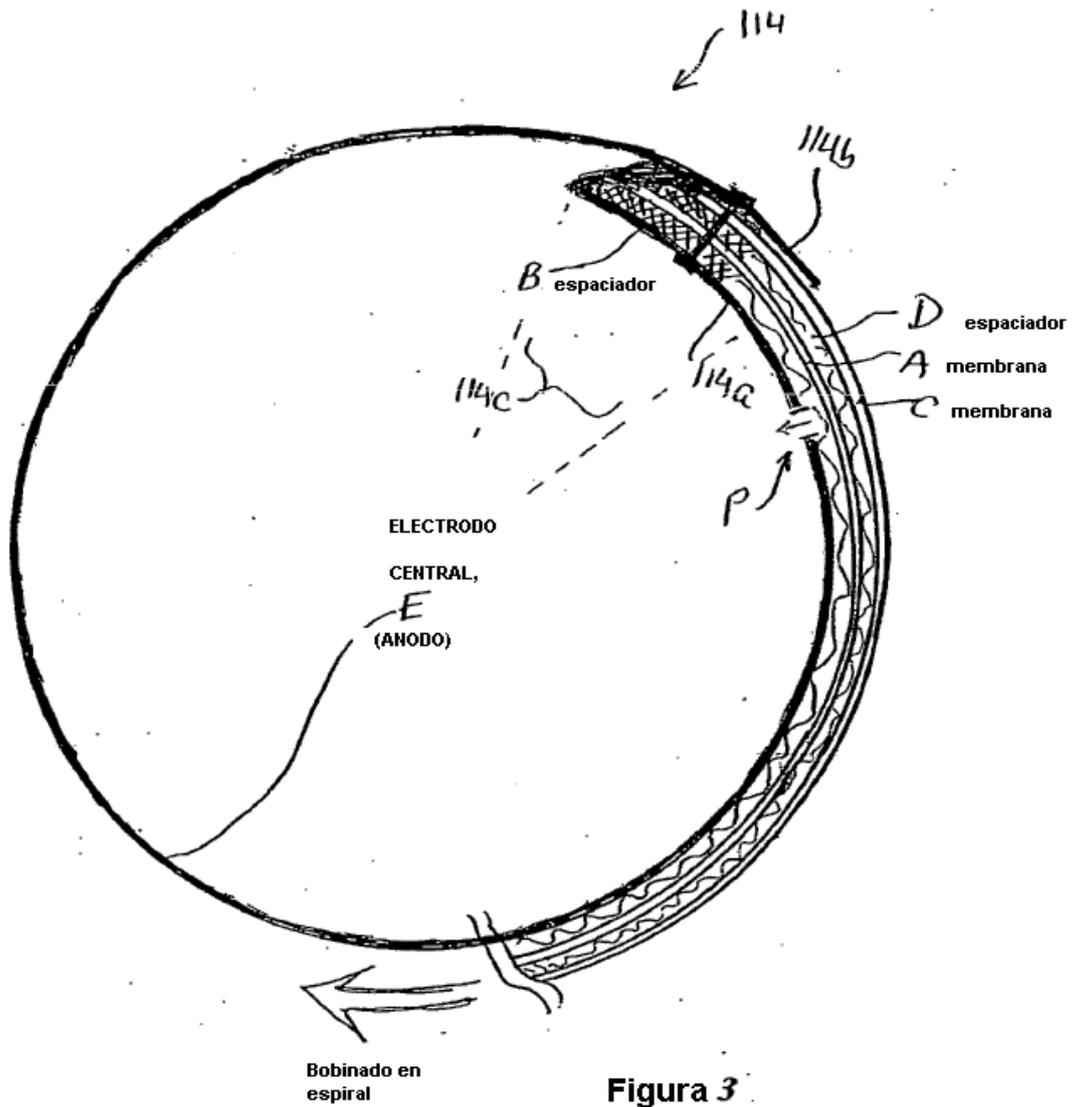


Figura 2B



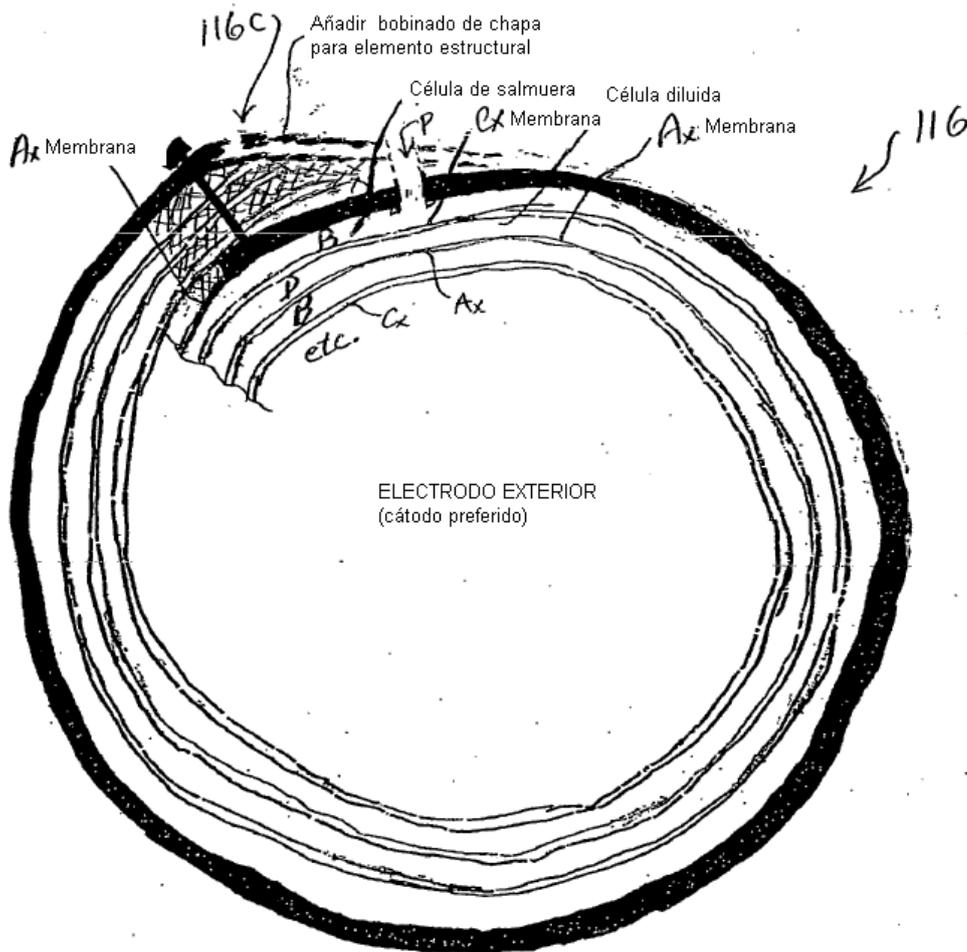
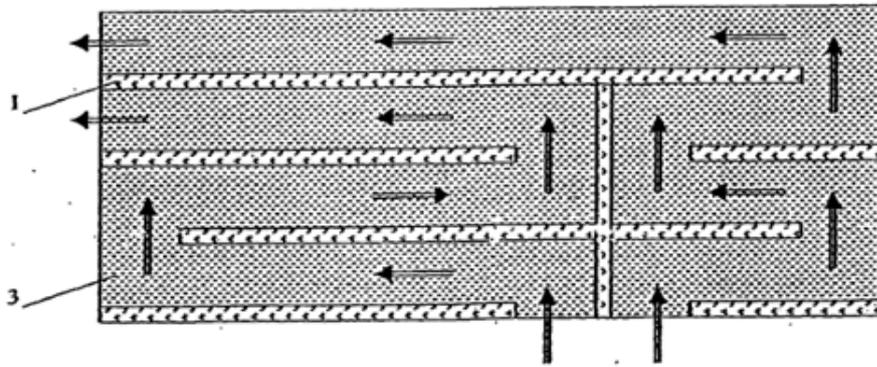
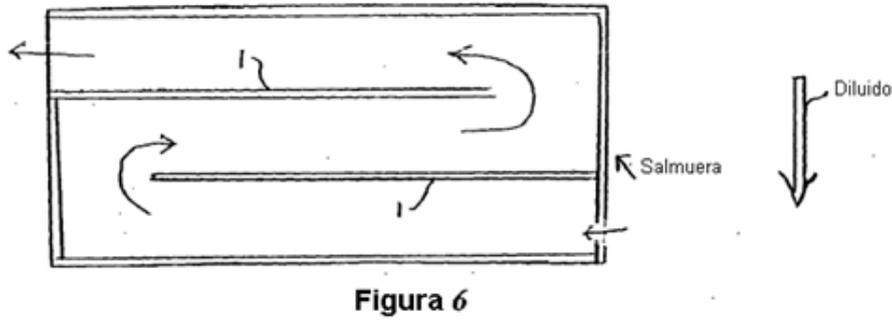
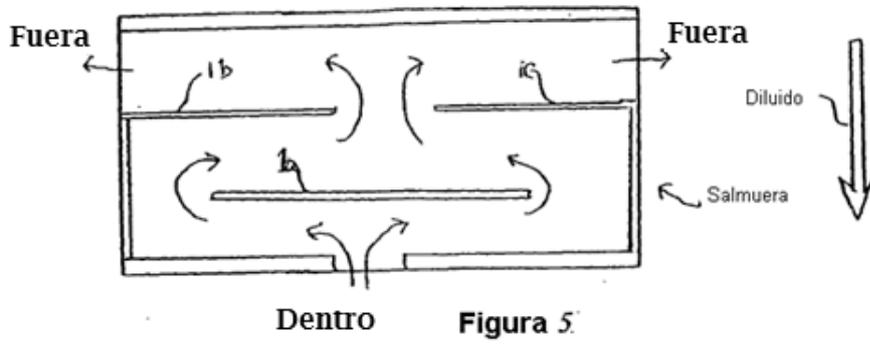
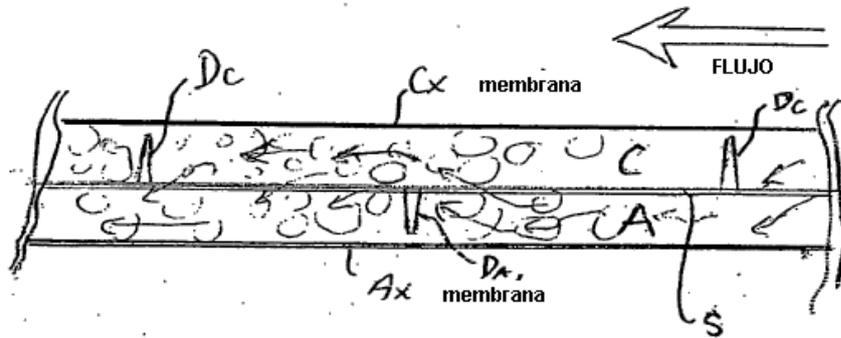
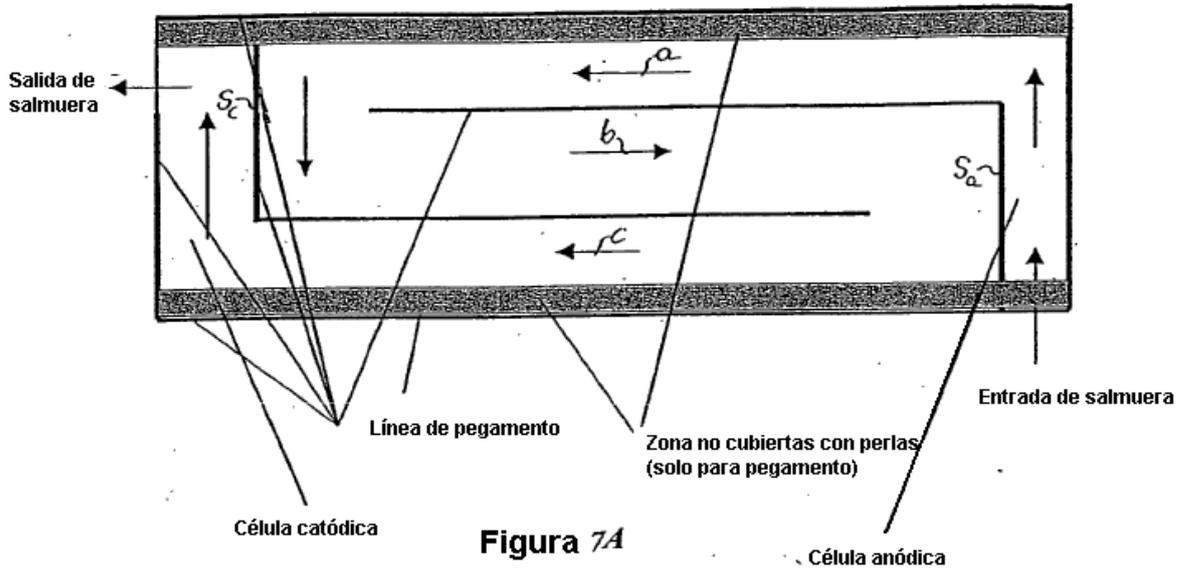


Figura 4





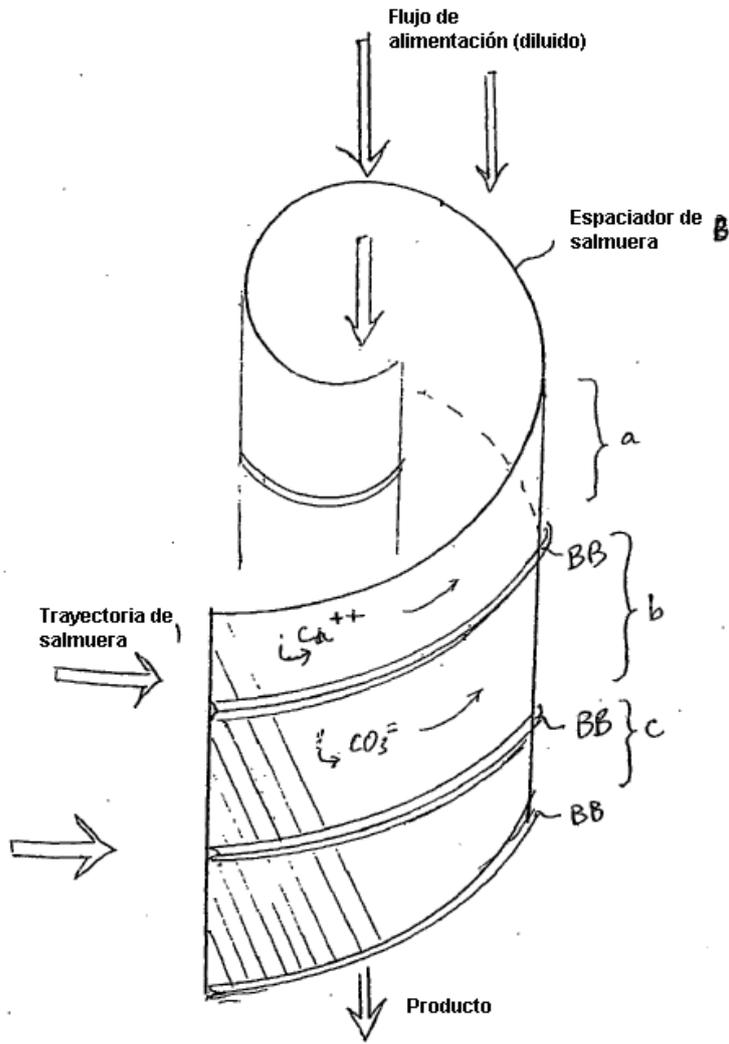


Figura 9A

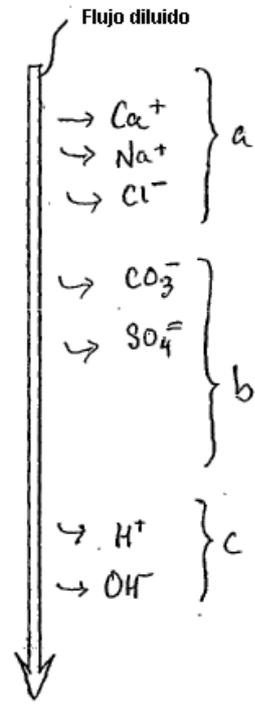


Figura 9B

ra

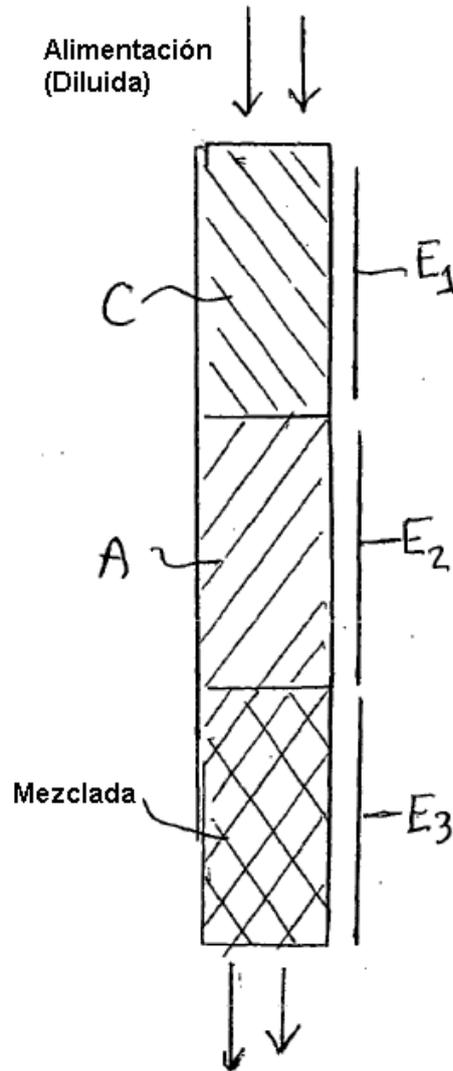


Figura 10

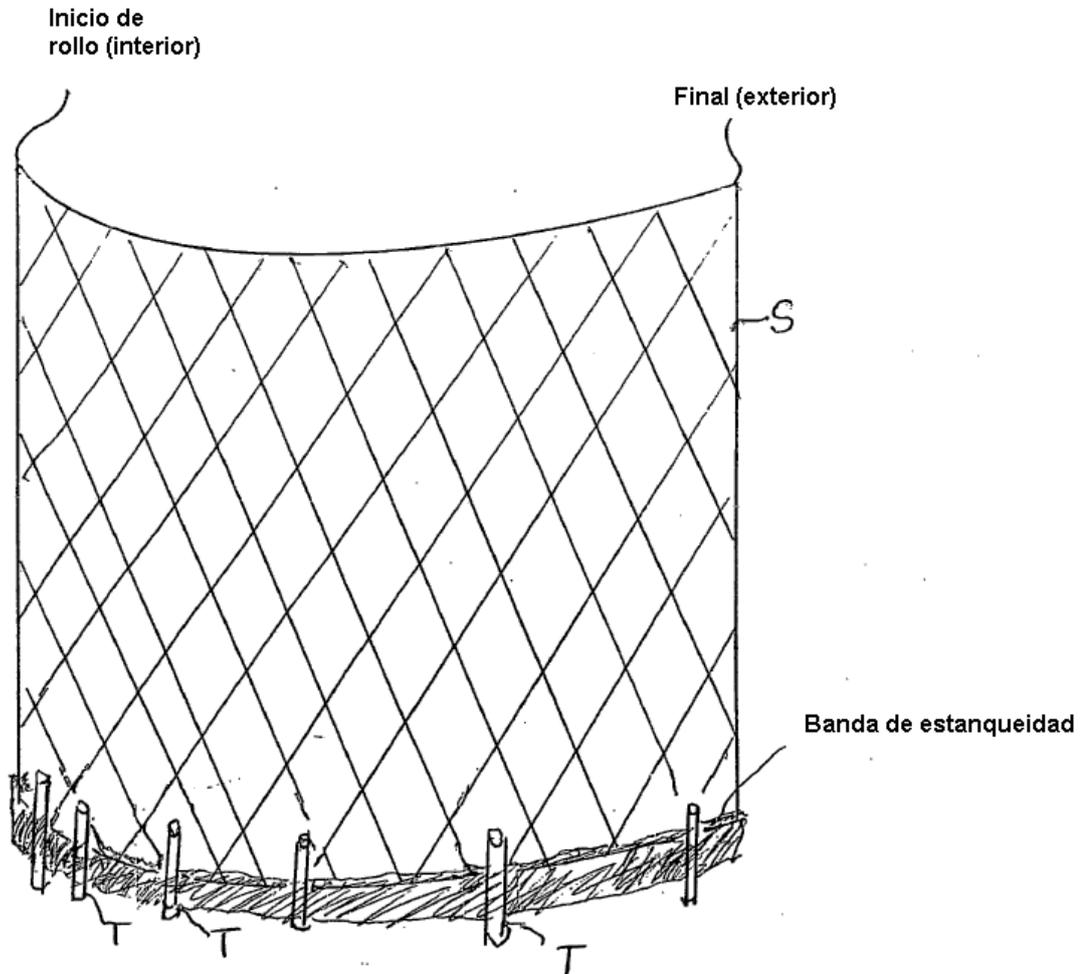
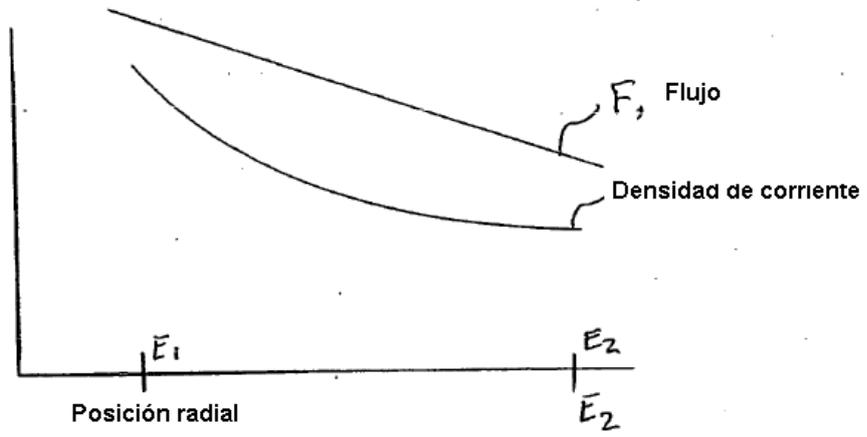


Figura 11A



E_1 = electrodo interior

E_2 = electrodo exterior

Figura 11B