



(11) **MX 2015000259 A**

(12)

SOLICITUD de PATENTE

(43) Fecha de publicación:	15/06/2016	(51) Int. Cl:	B09C 1/02 (2006.01)
(22) Fecha de presentación:	16/12/2014		A62D 3/11 (2007.01)
(21) Número de solicitud:	2015000259		B09C 1/08 (2006.01)
			C25B 11/10 (2006.01)
			B08B 3/08 (2006.01)
			B08B 7/04 (2006.01)
			G21F 9/28 (2006.01)

<p>(71) Solicitante: CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ELECTROQUÍMICA, S. C. Parque Tecnológico Querétaro 76703 PEDRO ESCOBEDO Queretaro MX</p> <p>(72) Inventor(es): ERIKA BUSTOS BUSTOS Parque Tecnológico Querétaro PEDRO ESCOBEDO Queretaro 76703 MX VIRIDIANA VALDOVINOS GARCÍA FABIOLA MONROY GUZMÁN</p> <p>(74) Representante: CLAUDIA RÍOS ÁLVAREZ Camino a los Olvera No.44 Corregidora Queretaro 76904 MX</p>	
--	--

(54) Título: **EQUIPO Y PROCESO DE TRATAMIENTO ELECTROKINÉTICO ON SITE DE SUELO CONTAMINADO CON COMPUESTOS RADIATIVOS.**

(54) Title: **DEVICE AND PROCESS OF ON-SITE ELECTROKINETIC TREATMENT OF CONTAMINATED SOIL WITH RADIOACTIVE COMPOUNDS.**

(57) Resumen

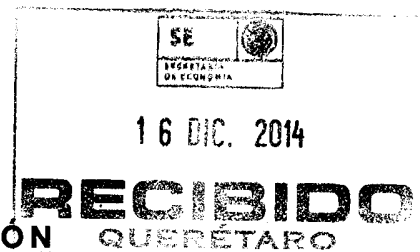
La presente invención consiste en efectuar un tratamiento electrocinético on site de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como cátodo una barra de Alnox en el centro del contenedor del suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico, y como ánodo una malla de titanio alrededor del cátodo.

(57) Abstract

The present disclosure is related to an on-site electrokinetic treatment of contaminated soil by liquid scintillation containing metallic radioactive isotopes; considering for said treatment a tubular array with a pair of concentric electrodes; using as cathode an Alnox bar in the center of the container of the contaminated soil by liquid scintillation containing radioactive radioisotopes of metallic origin, and as an anode, a titanium mesh around the cathode.

**EQUIPO Y PROCESO DE TRATAMIENTO
ELECTROKINÉTICO *ON SITE* DE SUELO
CONTAMINADO CON COMPUESTOS RADIATIVOS**

5



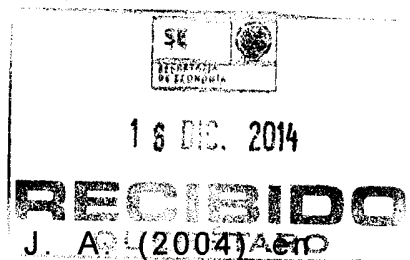
CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con el equipo y proceso de tratamiento electrocinético *on site* (TEC *on site*) de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico (CR) considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como cátodo una barra de acero inoxidable (Alnox) y como ánodo una malla de titanio (Ti).

15

OBJETIVOS DE LA INVENCION

El principal objetivo de la presente invención es efectuar el TEC *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico de diferentes tamaños de partícula; en donde el suelo contaminado puede ser desde limo, arcilla y grava; y considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como cátodo una barra de Alnox y como ánodo una malla de Ti.

ANTECEDENTES

De acuerdo con Volke S. T. y Velasco T. J. A. (2004) en el “Tecnologías de Remediación para Suelos Contaminados” en el Instituto Nacional de Ecología, México; Bustos, E. (2009) en “El Remedio Electroquímico contra la Contaminación del Suelo” en la Revista de Divulgación Serendipia, No. 7, p.p. 9 – 11; Méndez, E. y Bustos, E. (2010) en “Electro-remediación de Suelos: Una Alternativa más para Recuperar Sitios Contaminados”, No. 3, p.p. 4 – 7, así como en los documentos de patente AU2003285830B2, CA2307961, CN102527707, ES2031583, ES2061425T1, RU2125122C1, US005476992A, US006120579A, US20030210957, US20040208706, US6214189 y WO2005/053866, indican que la electro-remediación, también llamada remediación o tratamiento electroquímico, tratamiento electro-cinético (TEC), electro-reclamación entre otros; es una técnica que se encuentra dentro de los tratamientos fisicoquímicos.

El TEC ha sido reconocido como un proceso prometedor para hacer frente a dificultades tales como suelos heterogéneos y de baja permeabilidad; asimismo, el TEC puede ser aplicado *in situ* o *ex situ*, siendo especialmente útil para la remediación de sitios inaccesibles con mínima alteración de sus propiedades, donde otras tecnologías fracasan, como el lavado de suelos y biorremediación, de acuerdo con lo que se indica en el artículo indexado de Méndez, E., Castellanos, D., Alba, G. I., Hernández, G., Solís, S., Levresse, G., Vega, M., Rodríguez, F., Urbina, E., Cuevas, M. C., García, M. G. y Bustos E. (2011) en “Effect in the Physical and Chemical Properties of Gleysol

Soil after an Electrokinetic Treatment in Presence of Surfactant Triton X-114 to Remove Hydrocarbon” de la revista International Journal of Electrochemical Science, No. 6, p.p. 1250 - 1268; así como Alba, G. I., Cuevas M. C. y Bustos E. en “Comparing the Electroremediation of Gleysol Soil Contaminated with Hydrocarbons with Triton X-114 Washing and Bioremediation with Solid cultures Employing Agroindustrial Residues” en la revista International Journal of Electrochemical Science, No. 8, p.p. 4735 – 4746. El TEC además es sensible a una amplia variedad de contaminantes.

Las ventajas antes mencionadas han dado lugar a programas de investigación en todo el mundo para el desarrollo del proceso electroquímico, existiendo aun la necesidad de continuar ampliando la investigación que permita tener un mejor entendimiento de los procesos geoquímicos, geofísicos y electro-cinéticos involucrados para poder llevar a cabo exitosamente la aplicación en campo, representando este tratamiento un reto tecnológico por todos los factores involucrados.

El TEC es relativamente seguro, efectivo, de fácil implementación, económico y flexible porque puede emplearse en diferentes tipos de suelo y contaminantes.

Según De la Rosa P. D., Teutli L. M. y Ramírez I. M. (2007) en “Electro-remediación de Suelos Contaminados, una Revisión Técnica para su Aplicación en Campo” en la Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 23; así como Bustos E. (2012) en el artículo “Remediación Electro-cinética de Suelos



16 DIC. 2014

RECIBIDO
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

Contaminados con Hidrocarburo” del capítulo 5 del libro de
 Remediación de Suelos y Acuíferos Contaminados en México:
 Bases Teóricas y Experiencias Reales de la UAQ – CONCyTEQ
 – FUNDAp - GIZ, indican que el TEC es una tecnología para
 5 restaurar suelos contaminados que se basa en la generación de
 un campo eléctrico a partir de imponer corriente directa
 mediante el empleo de electrodos (ánodo y cátodo) y en
 presencia de un electrolito soporte (sal inerte) para mejorar las
 condiciones de conducción del campo eléctrico como lo indican
 10 los documentos de patente AU2003285830B2, CA2307961,
 CN102527707, ES2031583, ES2061425T1, RU2125122C1,
 US005476992A, US006120579A, US20030210957, US6214189,
 US20040208706 y WO2005/053866. La acción del electrodo
 permite transportar el contaminante hacia los pozos en donde
 15 será extraído.



Reddy R. K. y Camesselle C. (2009), en “Electrochemical
 Remediation Technologies for Polluted Soils, Sediments and
 Groundwater” por A Jonh Wiley & Sons, Inc. EUA, indican que
 el TEC de suelo involucra factores como el flujo de fluidos,
 20 electricidad y procesos químicos, bajo la influencia de
 gradientes hidráulicos, eléctricos y químicos. Además, De la
 Rosa P. D., Teutli L. M. y Ramírez I. M. (2007), Prasad M.,
 Sajwan K. y Naidu R. (2006) en “Trace Elements in the
 Environment, Biogeochemisstry, Biotechnology and
 25 Bioremediation” por Taylor & Francis, EUA, y Bustos E. (2012),
 indican que los mecanismos principales por los cuales el campo
 eléctrico conduce los contaminantes hacia los electrodos son:
 electro-migración (movimiento de iones), electro-ósmosis
 (movimiento de moléculas sin carga) y electro-foresis



16 DIC. 2014

RECIBIDO
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

(movimiento de coloides), siendo los dos primeros los que ejercen la mayor influencia en el transporte del contaminante.

Otros fenómenos de transporte de masa que ocurren durante el TEC, son la difusión que es el movimiento de las especies debido a los gradientes de concentración, así como la advección generada por gradientes hidráulicos.

Prasad M., Sajwan K. y Naidu R. (2006), Méndez E. y Bustos E. (2010), así como Bustos E. (2009 y 2012) indican también que la electrólisis de agua ocurre sobre la superficie de los electrodos al aplicar una corriente eléctrica, lo que origina una frontera ácida (con un pH cercano a 2) en el ánodo y una frontera básica (pH con valor cerca de 12) en el cátodo, debido a la generación de H^+ e OH^- respectivamente. Además, cuando la concentración de iones de los electrolitos es alta, se puedan llevar a cabo otros procesos en la superficie de los electrodos como es el depósito de metales en el cátodo y la precipitación de los metales como hidróxidos, óxidos, sulfatos o fosfatos, dependiendo del pH de la solución. Asimismo, estos procesos indican que las reacciones de electrólisis dependen del tipo y disposición de los electrodos, así como las especies químicas y potencial eléctrico que se use durante la electro-remediación.

Es así como Martínez G. A. J. (2001) en "Electro-remediación de Suelos Contaminados con Hidrocarburos" en la Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma Metropolitana, México, así como Pérez – Corona, M., Cárdenas J., y Bustos E. (2012) en el artículo "La Electro-remediación *in situ*: Una Alternativa más para el Saneamiento de Suelos Contaminados" en la revista de divulgación Nthe, No. 5, p.p. 52 – 55, y Bustos

E. (2009 y 2012); indican que en las últimas tres décadas se han realizado diversas investigaciones a nivel laboratorio, piloto y campo aplicando el fundamento electro-cinético para remover una amplia variedad de contaminantes como los hidrocarburos. Es así como en el TEC de suelo contaminado se tienen que considerar varios factores que involucraran los costos de la aplicación de la técnica que comprenden el volumen de suelo a remediar, así como el tipo de contaminante, el tiempo que dure el tratamiento, materiales electrónicos, consumo de energía eléctrica. Asimismo, los materiales requeridos para la aplicación de la técnica y la mano de obra del personal involucrado, destacando de este proceso el gasto de inversión inicial requerido pero contrarrestándolo con el tiempo de ejecución que puede llegar a ser mínimo (meses e incluso horas), contrastado con otras tecnologías que pueden llegar a durar años.

Los electrodos durante la electro-remediación de suelos pueden ser dispuestos de manera horizontal o verticalmente en un plano espacial $x - y$. Sin embargo, las investigaciones reportadas se han limitado a conducir el estudio de la configuración de electrodos hacia la eficiencia de la extracción electrocinética.

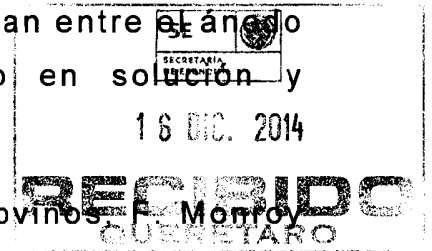
La mayoría de estudios reportados como el de Alshawabkeh A. N., Yeung A. T. y Brick M. R. (1999) en "Practical Aspects of *in situ* Electrokinetic Extraction" del Journal Environmental Engineering, 125; indican que a escala laboratorio y piloto del TEC se han realizado teniendo una dimensión (1D), es decir un ánodo en frente de un cátodo, como se muestra en los



16 DIC. 2014

RECIBIDO
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

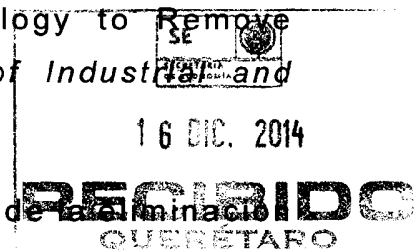
documentos de patente ES2031583, RU2125122C1 y US005476992A. Asimismo, en los documentos de patente WO 94/03399 y DE4210949 se muestra el tratamiento *on site* de lodo para remover contaminantes orgánicos mediante el empleo de un reactor de placas paralelas con arreglo 1D de electrodos, el cual usa una mezcla de agentes oxidantes iónicos, no iónicos o anfotéricos como ozono (O₃) o peróxido de hidrógeno (H₂O₂) generados de manera externa al reactor y pasan entre el ánodo y cátodo teniendo el compuesto orgánico en solución y destruyéndolo.



En el capítulo de libro reportado por V. Valdovinos – Guzmán y E. Bustos “Treatment Methods for Radioactive Wastes and Its Electrochemical Applications” en la editorial de InTech se indica que hay diferentes tratamientos para desechos radiactivos como: (1) tratamiento para desechos líquidos acuoso, (2) tratamiento para desechos líquidos orgánicos y (3) tratamiento para desechos sólidos compactables y no compactables; en este último tratamiento se considera al TEC, el cual se propone como una muy buena alternativa para remover especies radiactivas, como ²²Na, ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ⁸⁵Sr, ⁹⁰Sr, ⁶⁰Co y ²³⁸U, de suelos saturados e insaturados, lodos, polvos y sedimentos con menor tiempo y gran eficiencia de remoción comparado con otras alternativas para residuos radioactivos:

- TEC para remover ⁶⁰Co y ¹³⁷Cs en presencia de ácido nítrico y acético en Corea del Sur, como lo indican K. Gye - Nam, L. Seung – Soo, Sh. Dong – Bin, L. Ki – Won y Ch. Un – Soo (2010), en el documento titulado "Development of Pilot –

Scale Electrokinetic Remediation Technology to Remove ^{60}Co and ^{137}Cs from Soil" del *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16, p.p. 986 – 991.

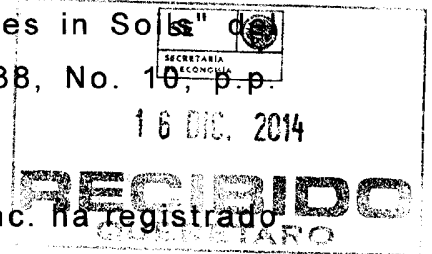


- 5 • Aplicación del análisis PIXE para el estudio de la eliminación electrocinética de ^{137}Cs en suelo en Tokio, Japón, como lo indican Y. Oguri, K. Miyake, H. Fukuda, J. Kaneko, J. Hasagawa y M. Ogawa (2004), en el documento "Application of Pixe Analysis to the study of Electrokinetic Removal of Cesium from Soil" del *International Journal of PIXE*, Vol. 14, 10 1 – 2, p.p. 49 - 56.
- 15 • Desarrollo de un sistema de lavado de suelos contaminados con radionúclidos alrededor de los reactores TRIGA en Daejon, Korea, como lo indican K. Gye – Nam, Ch. Wang – Kyu, J. Chong – Hun y M. Jei – Kwon (2007), en "Development of a Washing System for Soil Contaminated with Radionuclides around TRIGA Reactors" del *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 13, No. 3 p.p. 406 – 413.
- 20 • Desarrollo de tecnología vertical para la descontaminación lavado-electrocinética para eliminar ^{60}Co y ^{137}Cs de un emplazamiento de una instalación nuclear de Corea, República de Corea, como lo indican K. Gye – Nam, Y. Byeong – Il, Ch. Wang – Kyu y L. Kune – Woo (2009) en "Development of Vertical Electrokinetic – Flushing Decontamination Technology to Remove ^{60}Co and ^{137}Cs from a Korean Nuclear Facility Site" del *Separation and Purification Technology*, 68, p.p. 222 – 226, así como K.

25

Kyeong - Hee, K. Soon - Oh, L. Chang - Woo, L. Myung - Ho
 y K. Kyoung-Woong (2003) en el document "Electrokinetic
 Processing for the Removal of Radionuclides in Soils"
 Separation Science and Technology, Vol. 38, No. 10, p.p.
 2137 – 2163.

5



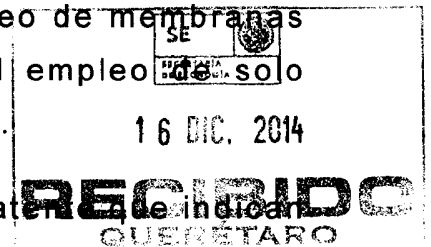
La empresa Comodoro Applied Technologies, Inc. ha registrado
 en varios países los documentos de patente AU199536305,
 AU686894, BR9509005, BR9508923, CA2198385, CN1083302,
 EP0781174, MX9701698, MX9701827, RU2151435, US5495062,
 10 US005613238, WO1998001866 y WO9608323, en las cuales se
 indica un procedimiento para el tratamiento de suelo que
 incluye arena y arcilla contaminada con materiales de desecho
 nuclear como el plutonio, uranio, torio y/o iones metálicos
 peligrosos no radiactivos o metaloides incluyendo amoniaco
 15 líquido anhidro solo o en combinación con "electrones
 solvatados". Con este procedimiento se disminuyen los costos
 frente a sistemas acuosos ya que puede recuperarse y
 reciclarse el amoniaco. Al concentrar desechos nucleares y no
 nucleares en tierras finas se pueden reducir significativamente
 20 los requerimientos de espacio y los costos de manejo que
 ordinariamente son necesarios para el almacenamiento de tierra
 o terreno no tratado.

Por otra parte, existen documentos de patente que indican el
 empleo de matrices que pueden inmovilizar los radionúclidos
 25 como ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{40}K , ^{236}Pu , ^{235}U , ^{238}U , ^{106}Ru , ^{131}Te , ^{90}Sr , ^{87}Rb ,
 ^{90}Y , ^{187}Re , ^{106}Rh , ^{107}Pd , ^{99}Tc , ^{237}Np y ^{241}Am . Aquí podemos
 encontrar los siguientes documentos de patente: US3723338
 que indica que se puede inyectar un monómero polimerizable;

US4156658 que indica que se puede inyectar un gel con un ion intercambiable; US2800445 que indica el empleo de membranas de intercambio iónico con resinas macroporosas, macroreticulares o isoporosas; US3808305 que indica el empleo de una matriz interpolimérica que contiene un polielectrolito con un agente de reticulación para lograr el tamaño de poro deseado; US2957206 involucra una membrana con butiralactona; US3227662 que indica el empleo de membranas depolarizantes; y WO9013488 que indica el empleo de solo membranas de membranas poliméricas *in situ*.

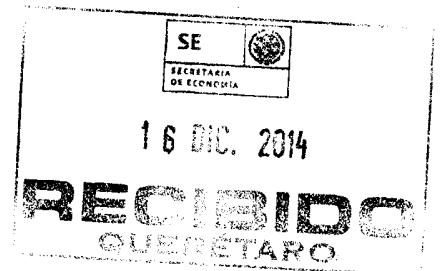
Sin embargo, existen varios documentos de patentes que indican el empleo de procesos o aparatos para remover materiales iónicos como los radionúclidos o metales pesados del suelo y medio acuoso por el transporte iónico electropotencial y una matriz con un ion inmovilizado, como se menciona en los documentos de patente WO1991001392, WO9608324A1 y WO9101382, o en empleo de membranas de intercambio iónico como se indica en los documentos de patente US2636851, US4632745, US3869376, US4632745, US3149061, US2815320 y US3808305.

En el caso específico de la patente US6214189 se indica un método y aparato electrocinético para descontaminar suelo con residuos radiactivos, el cual se coloca en un contenedor que puede ser almacenado si tiene suelo con bajos niveles de radioactividad y finalmente se regresa a la naturaleza, y cuando tiene altos niveles de radioactividad se trata electroquímicamente para bajar dicha emisión por electroósmosis y electromigración.



Este sistema está constituido por (1) ánodos de 3 o más tubos metálicos de titanio o zirconia con un diámetro de 5 cm o menos; (2) al menos 6 o más varillas de metal hechas de acero inoxidable, titanio, o zirconia; y (3) tamices de acero inoxidable.

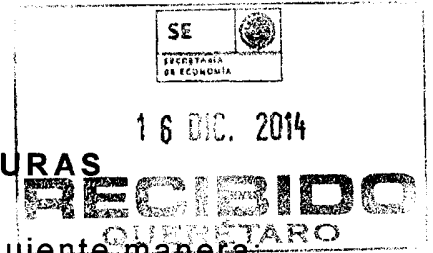
5 El cátodo es un tubo hecho de acero al carbono, acero inoxidable, o de paladio, y tiene un diámetro de 10 cm o menos. Documentos de patentes que describen celdas electrocinéticas parecidas son CA2632788 y US6203682.



10

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

A diferencia de lo descrito en el estado de la técnica, la presente invención consiste en efectuar un TEC *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico, considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como cátodo una barra de Alnox en el centro del contenedor del suelo contaminado, y como ánodo una malla de Titanio (Ti) alrededor del cátodo. Además, es importante mencionar que para efectuar el TEC es recomendable que el reactor tubular conteniendo al suelo contaminado sea llenado entre un 70 y 90% de su capacidad, así como saturar el reactor con el electrolito de soporte al menos 12 h antes de comenzar el TEC, para remover los radionúclidos, aplicando un campo eléctrico entre 1 y 3 V cm⁻¹ de 8 a 10 h.



BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las figuras que se anexan se explican de la siguiente manera:

- 5 - La Figura 1 es una vista superior de la celda electrocinética (1) *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico, considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como electrodos un cátodo de barra de acero inoxidable (16) en el centro del contenedor del suelo contaminado, y un ánodo de malla de titanio (15) alrededor del cátodo.
- 10 - La Figura 2 es una vista lateral de la celda electrocinética (1) *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico, considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como electrodos un cátodo de barra de acero inoxidable (16) en el centro del contenedor del suelo contaminado, y un ánodo de malla de titanio (15) alrededor del cátodo.
- 15 - La Figura 3 es una vista completa de la celda electrocinética (1) *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico; considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como electrodos un cátodo de barra de acero inoxidable (16) en el centro del contenedor del suelo contaminado, y un ánodo de malla de titanio (15) alrededor del cátodo.
- 20 - La Figura 3 es una vista completa de la celda electrocinética (1) *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico; considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como electrodos un cátodo de barra de acero inoxidable (16) en el centro del contenedor del suelo contaminado, y un ánodo de malla de titanio (15) alrededor del cátodo.
- 25 - La Figura 3 es una vista completa de la celda electrocinética (1) *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico; considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como electrodos un cátodo de barra de acero inoxidable (16) en el centro del contenedor del suelo contaminado, y un ánodo de malla de titanio (15) alrededor del cátodo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un equipo y proceso de TEC *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico, considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como cátodo una barra de Alnox en el centro del contenedor del suelo contaminado, y como ánodo una malla de Titanio (Ti) alrededor del cátodo.

10 El equipo para el tratamiento electrocinético *on site* de suelo contaminado con compuestos radiactivos, comprende una celda electrocinética (1) con un arreglo cilíndrico *on site* de electrodos; dichos electrodos son un Ánodo de malla de titanio (15) y un cátodo de barra de acero inoxidable (16); este equipo
15 incluye una tapa de la celda electrocinética (2) en la cual se marcan dos orificios para toma de muestra cerca del ánodo (3), dos orificios para toma de muestra cerca del cátodo (4) y un orificio para el contacto eléctrico del ánodo (5).

En esta celda electrocinética (1) se incluye una zona de contacto eléctrico del ánodo (7), cable eléctrico para conectar el rectificador de corriente al polo negativo de la fuente de poder (8), cable eléctrico para conectar el rectificador de corriente al polo positivo de la fuente de poder y una fuente de poder con un rectificador de corriente (10).

25 Adicionalmente, esta celda electrocinética (1) tiene acoplada, mediante un tubo de vidrio para salida de gases generados en la celda electrocinética (6) y una manguera de látex (11), una trampa de gases (12) que contiene agua destilada (13).

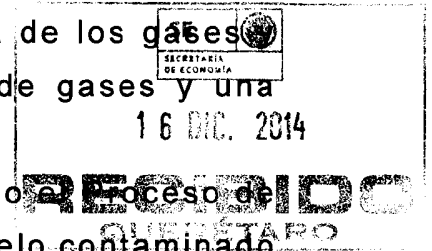
16 DIC. 2014

RECIBIDO
QUEPÉTARO

Este equipo para el tratamiento electrocinético *on site* de suelo contaminado con compuestos radiactivos tiene una capacidad de tratamiento de 0.2 a 1 m³ de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico, considerando una celda electroquímica cilíndrica empleando una barra de acero inoxidable como cátodo y una malla de titanio como ánodo. Además, se consideró el empleo de una tapadera de acrílico para evitar la fuga de los gases del material radiactivo, teniendo una trampa de gases y una salida para conectar los electrodos.

Mediante el uso del este equipo, se lleva a cabo el Proceso de Tratamiento Electrocinético (TEC) *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico, que consiste en:

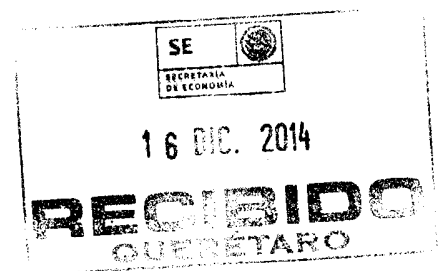
- 15 a) Caracterizar fisicoquímicamente el suelo contaminado para definir pH, conductividad eléctrica, composición química mediante cromatografía de gases acoplado a un detector de ionización de flama, y composición estructural mediante microscopía electrónica de barrido haciendo un análisis elemental por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (MEB-EDX).
- 20 b) Preparar muestras suelo-electrolito soporte, marcadas con ²⁴Na y ^{99m}Tc para ser tratadas electrocinéticamente.
- 25 c) Efectuar el tratamiento electrocinético empleando el equipo para el TEC *on site* en flujo utilizando para el tratamiento de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico, para elegir las condiciones experimentales que generan la mejor eficiencia



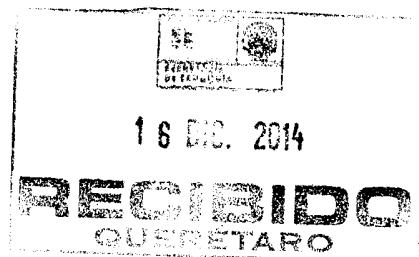
de remoción de estos radioisótopos: densidad de corriente y tiempo de remoción.

- 5 d) Seleccionar el electrolito de soporte con base en las curvas de polarización construidas por resultados de pruebas cronoamperométricas que genere la mayor densidad de corriente con el menor potencial de celda en el mismo tiempo de evaluación.
- 10 e) Analizar la fase líquida resultante del tratamiento electrocinético mediante cromatografía de gases acoplada a un detector de ionización de flama (CG-DIF).
- f) Analizar la fase sólida resultante del tratamiento electrocinético mediante espectrometría de infrarrojo con transformada de Fourier.
- 15 g) Realizar los cálculos de electro-remoción de los líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico empleando un detector de Germanio hiperpuro.

Con el propósito de ilustrar el proceso de la presente invención, se muestran los siguientes ejemplos. Estos ejemplos son
20 propuestos simplemente para ilustrar dicho proceso y no indican las condiciones límite de la invención.



EJEMPLOS



Ejemplo 1.

Se prepararon muestras sintéticas de líquidos orgánicos
5 (líquidos de centelleo) radiactivos absorbidos en suelo por
seguridad radiológica. En esta invención se consideró emplear
diferentes líquidos de centelleo (INSTAL GEL® XF, ULTIMA
GOLD AB™ y ULTIMA GOLD XR™) como electrolito soporte y
10 se construyeron curvas de polarización para elegir el potencial
al cual se tenía un control termodinámico para obtener la mayor
corriente constante debida al transporte de masa de los iones
presentes en el agua entre los poros del suelo durante el
tratamiento electroquímico.

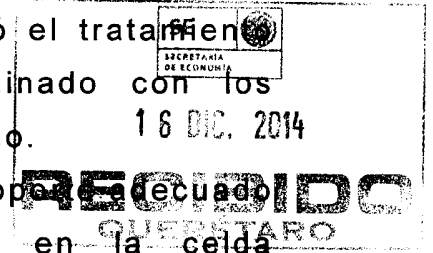
A partir de los resultados de las curvas de polarización se
15 eligieron las condiciones experimentales a aplicar en el
tratamiento electroquímico como la corriente y el electrolito de
soporte. Posteriormente se prepararon muestras suelo-
electrolito soporte, marcadas con ^{24}Na y $^{99\text{m}}\text{Tc}$, para determinar
la eficiencia de remoción de estos radioisótopos. El ^{24}Na y el
20 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ fueron cuantificados en un espectrómetro Gamma
constituido por un detector de Germanio hiperpuro conectado a
una tarjeta multicanal, en las energías de 140.5 keV para $^{99\text{m}}\text{Tc}$
y 1368.6 keV para el ^{24}Na , todos a una geometría constante.

Una vez decaídos el ^{24}Na y el $^{99\text{m}}\text{Tc}$ se analizaron las fases
25 líquidas y sólidas; la fase líquida se analizó mediante
cromatografía de gases acoplada a un detector de ionización de
flama, así como por espectrometría de infrarrojo con
transformada de Fourier; empleando esta última técnica se
analizaron las muestras sólidas también.

Finalmente, se realizaron los cálculos de electro-remoción de los líquidos orgánicos radiactivos y se evaluó el tratamiento electroquímico del suelo Phaeozem contaminado con los líquidos orgánicos radiactivos a nivel laboratorio.

- 5 De este ejemplo se observó que el electrolito sobre el cual se generó la mayor corriente en la celda electroquímica directamente proporcional al transporte de masa con un mayor control termodinámico por el menor consumo energético, fue el líquido de centelleo ULTIMA GOLD XR™: agua (1:1) al aplicar $0.06 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ con 5 V en celda. Además, en el estudio cinético para el $^{99\text{m}}\text{Tc}$ se obtuvo un porcentaje de remoción acumulado del 61% cerca del ánodo en 4 h de tratamiento. Para el ^{24}Na , en 2 h de tratamiento se observó que cerca del cátodo se tiene una cantidad significativa de ^{24}Na y en el ánodo no, es aquí donde se puede demostrar que el ion si se desplaza de acuerdo a su carga por electro-migración, y en 4 h de tratamiento se tiene una remoción acumulativa del 71.8% de ^{24}Na cerca del cátodo.

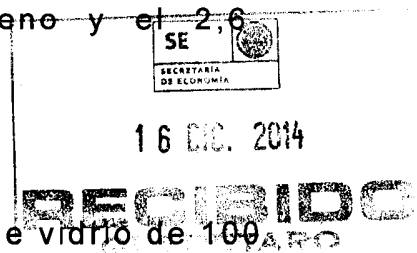
- El análisis de la fase líquida después de la electro-remediación por CG-DIF demuestra que hay una degradación de hasta el 50% del 1,2-diisopropil naftaleno y 2,6-diisopropil naftaleno presentes en el líquido de centelleo, con lo que se demuestra que existió una oxidación anódica debido a la presencia de éteres y aminas aromáticas, como consecuencia de la estabilidad física y química mostrada por los electrodos de titanio y acero inoxidable empleados durante las pruebas electroquímicas de acuerdo a la caracterización por MEB-EDX.



Finalmente, se demostró la degradación de algunos contaminantes como el 1,2-diisopropil naftaleno y el 2,6-diisopropil naftaleno.

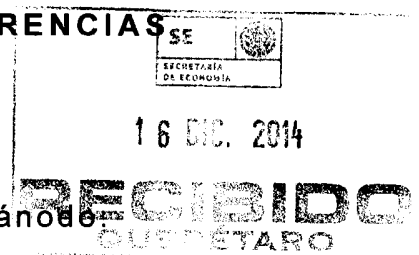
5 Ejemplo 2.

Empleando una celda electroquímica cilíndrica de vidrio de 100 mL se trató el suelo Phaeozem contaminado con compuestos radiactivos empleando una barra de acero inoxidable como cátodo, y una malla de titanio como ánodo. Además, se consideró el empleo de una tapadera de acrílico para evitar la fuga de los gases y del material radiactivo, teniendo una trampa de gases y una salida para conectar los electrodos. Las características del suelo Phaeozem mostraban una densidad a diferentes profundidades de 2.16 a 2.41 g mL⁻¹, un pH de 4.56 a los 0.15 m de profundidad, y cercano a 7.15 entre 0.30 y 0.70 m considerando con base en la NOM-021-RECNAT-2000 que la superficie del suelo era ácida, debido a la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos provenientes de la materia orgánica, la conductividad eléctrica del suelo siguió un perfil de concentración salina baja por contener menos de 2 dS m⁻¹, así como menos del 5% de materia orgánica por ser de origen mineral de acuerdo con la clasificación de suelos en la NOM-021-RECNAT-2000; el mayor porcentaje de humedad que se presentó en las muestras evaluadas fue de 4.76% a los 0.15 m, y el menor porcentaje fue de 2.01% a los 0.30 m, como consecuencia del bajo contenido de materia orgánica, < 2% en la profundidad de 0.15 y 0.30 m y nula a los 0.70 m, pues el suelo no tiene la suficiente cantidad de agua en su composición para permitir el desarrollo de flora y fauna.



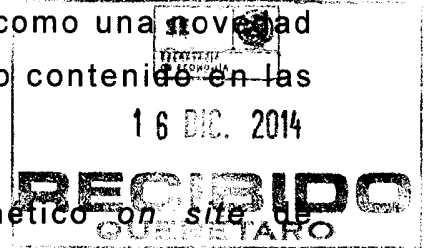
LISTA DE COMPONENTES Y SUS REFERENCIAS

- (1) Celda electrocinética.
- (2) Tapa de la celda electrocinética.
- (3) Orificios para toma de muestra cerca del ánodo.
- 5 (4) Orificios para toma de muestra cerca del cátodo.
- (5) Orificio para el contacto eléctrico del ánodo.
- (6) Tubo de vidrio para salida de gases generados en la celda electrocinética.
- (7) Contacto eléctrico del cátodo.
- 10 (8) Cable eléctrico para conectar el rectificador de corriente al polo negativo de la fuente de poder.
- (9) Cable eléctrico para conectar el rectificador de corriente al polo positivo de la fuente de poder.
- (10) Fuente de poder con un rectificador de corriente.
- 15 (11) Manguera de látex.
- (12) Trampa de gases.
- (13) Agua destilada.
- (14) Suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico.
- 20 (15) Ánodo de malla de titanio.
- (16) Cátodo de barra de acero inoxidable.
- (17) Zona de contacto eléctrico del ánodo.



R E I V I N D I C A C I O N E S

La descripción de la invención se considera como una **novedad** y por lo tanto se reclaman como propiedad lo **contenido en las** siguientes cláusulas:



- 5 1. Equipo para el tratamiento electrocinético *on site* de suelos contaminado con compuestos radiactivos caracterizado por comprender una celda electrocinética (1) con un arreglo cilíndrico *on site* de electrodos.

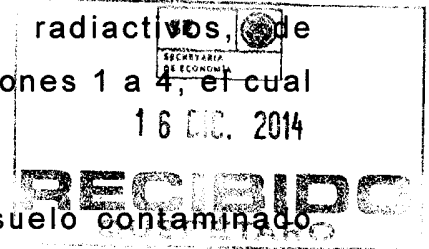
- 10 2. Equipo para el tratamiento electrocinético *on site* de suelos contaminado con compuestos radiactivos de acuerdo a lo descrito en la reivindicación 1, caracterizado porque la celda electrocinética incluye una tapa de la celda electrocinética (2) que incluye orificios para toma de muestra cerca del ánodo (3), orificios para toma de muestra cerca del cátodo (4), orificio para el contacto eléctrico del ánodo (5) tubo de vidrio para salida de gases generados en la celda electrocinética (6), contacto eléctrico del cátodo (7), cable eléctrico para conectar el rectificador de corriente al polo negativo de la fuente de poder (8), cable eléctrico para conectar el rectificador de corriente al polo positivo de la fuente de poder y dos electrodos.

- 15 3. Equipo para el tratamiento electrocinético *on site* de suelos contaminado con compuestos radiactivos de acuerdo a lo descrito en las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque cuenta con un par de electrodos concéntricos que consisten en un ánodo de malla de titanio (15) y un cátodo de barra de acero inoxidable (16).

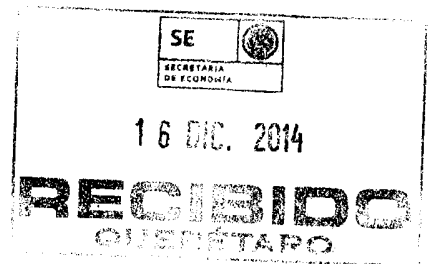
- 20

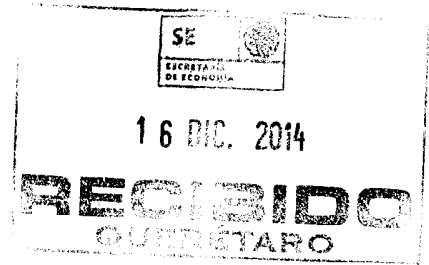
- 25

4. Equipo para el tratamiento electrocinético *on site* de suelos contaminado con compuestos radiactivos de acuerdo a lo descrito en las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque los electrodos forman una primera media celda inferior del reactor tubular en donde el ánodo de malla de titanio (15) es colocado alrededor del cátodo de barra de acero inoxidable (16).
5. Proceso para el Tratamiento Electrocinético *on site* de suelo contaminado con compuestos radiactivos, de acuerdo a lo descrito en las reivindicaciones 1 a 4, el cual consiste en:
- a) Caracterizar fisicoquímicamente el suelo contaminado para definir pH, conductividad eléctrica, composición química mediante cromatografía de gases acoplado a un detector de ionización de flama, y composición estructural mediante microscopía electrónica de barrido haciendo un análisis elemental por espectroscopía de energía dispersiva de rayos X.
- b) Preparar muestras suelo-electrolito soporte, marcadas con ^{24}Na y $^{99\text{m}}\text{Tc}$ para ser tratadas electrocinéticamente.
- c) Efectuar el tratamiento electrocinético empleando el equipo para el TEC *on site* en flujo utilizando para el tratamiento de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico para elegir las condiciones experimentales que generan la mejor eficiencia de remoción de estos radioisótopos: densidad de corriente y tiempo de remoción.

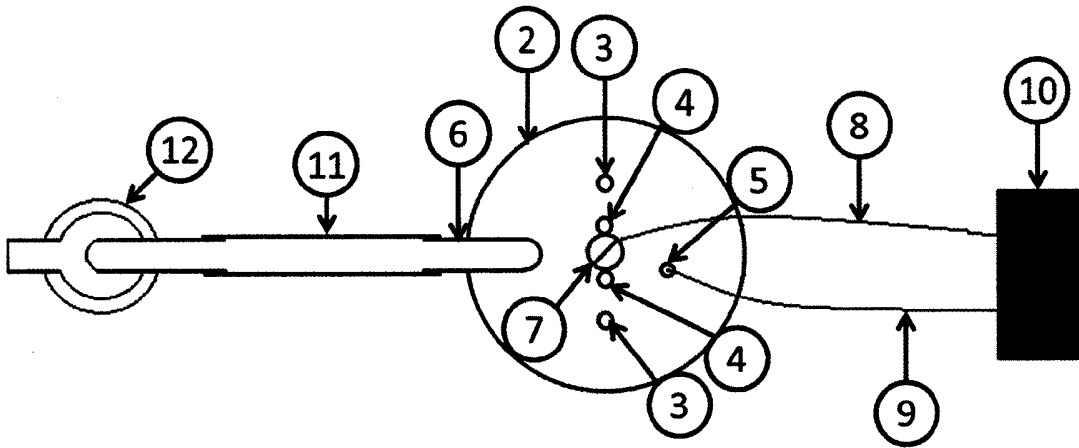
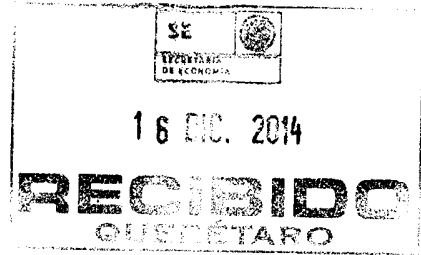


- 5
- d) Seleccionar el electrolito de soporte con base en las curvas de polarización construidas por resultados de pruebas cronoamperométricas que genere la mayor densidad de corriente con el menor potencial de celda en el mismo tiempo de evaluación.
- e) Analizar la fase líquida resultante del tratamiento electrocinético mediante cromatografía de gases acoplada a un detector de ionización de flama.
- 10
- f) Analizar la fase sólida resultante del tratamiento electrocinético mediante espectrometría de infrarrojo con transformada de Fourier.
- 15
- g) Realizar los cálculos de electro-remoción de los líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico empleando un detector de Germanio hiperpuro.



R E S U M E N

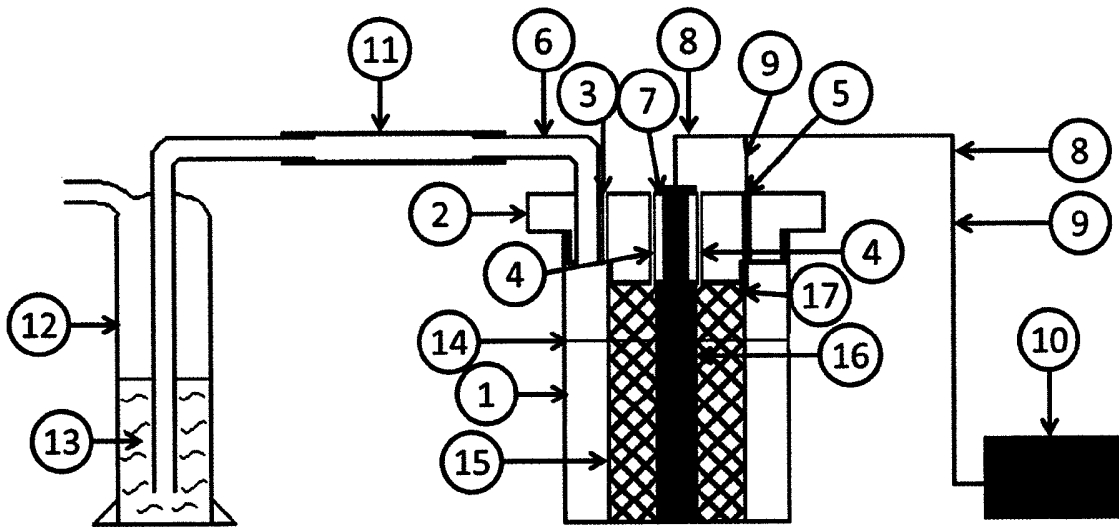
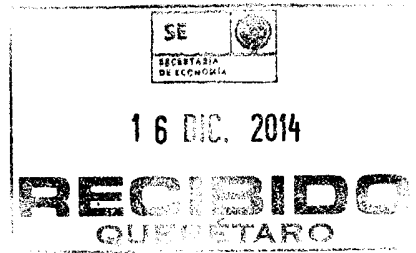
La presente invención consiste en efectuar un tratamiento electrocinético *on site* de suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico considerando para dicho tratamiento un arreglo tubular con un par de electrodos concéntricos, empleando como cátodo una barra de Alnox en el centro del contenedor del suelo contaminado por líquidos de centelleo conteniendo radioisótopos radiactivos de origen metálico, y como ánodo una malla de titanio alrededor del cátodo.



5

10

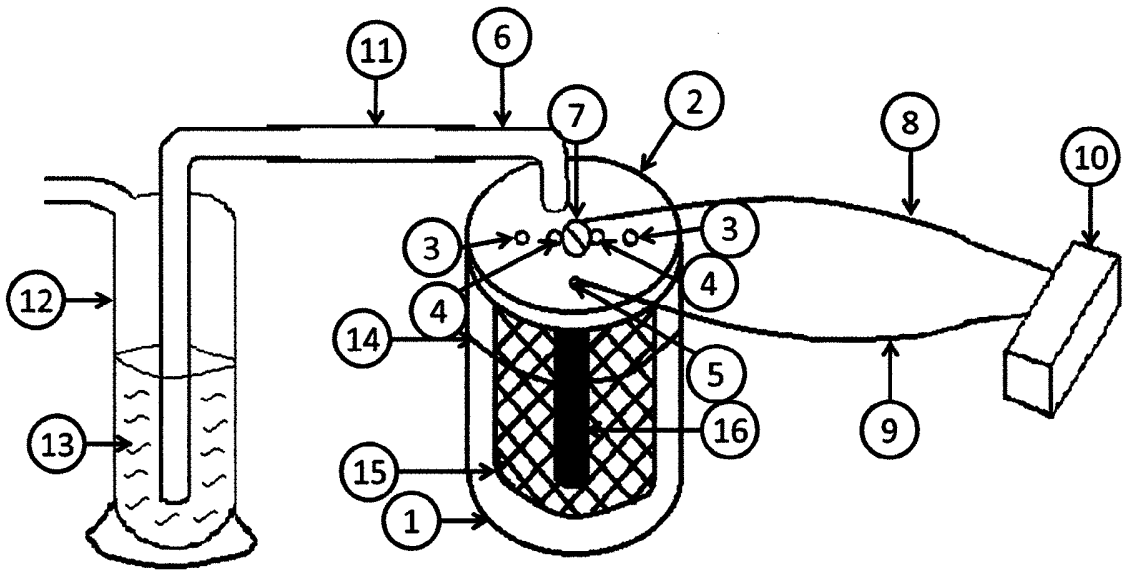
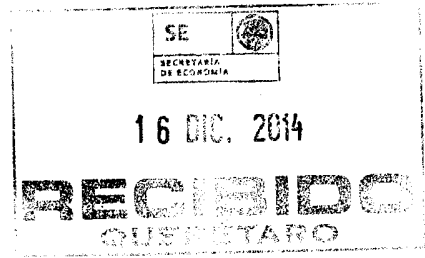
Figura 1



5

10

Figura 2



5

10

Figura 3