

CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere a un sistema y un método de gestión y control de dispositivos que ejecutan técnicas electroquímicas para analizar y monitorear parámetros
5 fisicoquímicos y analitos presentes en matrices acuosas u oleosas, el cual invento integra hardware y software de aplicación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 En el ámbito industrial, los métodos analíticos convencionales se catalogan como métodos instrumentales y métodos químicos. Hoy día, es más común el empleo de métodos químicos cualitativos y cuantitativos llevados a cabo en el laboratorio con el fin de realizar controles de calidad de materias primas, productos intermedios, productos finales o el monitoreo de cualquier otra corriente a lo largo de un proceso industrial;
15 también es común y más ahora necesario, llevar a cabo análisis químicos con fines ambientales como por ejemplo en el caso de la caracterización de vertimientos como aguas residuales, en la generación de emisiones gaseosas o en la generación de residuos sólidos.

20 Los métodos instrumentales que ofrecen resultados en tiempo real no son prácticas convencionales, pues lo más común es llevar a cabo protocolos de muestreo con traslado a un laboratorio dentro o fuera del complejo industrial.

Ahora bien, en análisis aplicados al medio ambiente, sobre todo en caracterización de
25 aguas, todos los parámetros que se deben medir y que influyen en la calidad de las aguas o en la calidad de matrices acuosas se deben realizar directamente en laboratorio. Esta necesidad requiere de métodos precisos para identificar el tamaño de la muestra, para llevar a cabo el muestreo, para la conservación de las muestras, su digestión y elección de métodos que finalmente permitan obtener resultados de la
30 caracterización con niveles de precisión óptimos. Todos estos protocolos generan

tiempos de obtención de resultados muy largos que pueden estar entre uno y tres meses, incluso considerando la realización de análisis microbiológicos.

En algunas industrias como en la del petróleo, es deseable contar con tecnologías que permita caracterizaciones para monitoreo in situ, en tiempo real y multiparamétrico, dada la agilidad de las operaciones propias de dichas industrias, como la recuperación secundaria y terciaria de petróleo que requiere la caracterización inmediata de aguas y matrices acuosas, la detección inmediata de emisiones de ácido sulfhídrico que son muy riesgosas para la salud de los operarios, la caracterización de aguas residuales resultantes de las operaciones de superficie, entre otras.

En el estado de la técnica se encuentran algunos aparatos y métodos para la detección y medición de sustancias químicas en matrices acuosas y oleosas, tal como se puede identificar a continuación:

15

En el documento de patente No. NC2018/0007011 publicado en Colombia, se divulga un sensor para la detección y medición de sólidos suspendidos en agua, basado en las técnicas de transmitancia y retro dispersión, diseñado para la medición de sólidos suspendidos en aguas con presencia de hidrocarburos y mezclas de agua y otros fluidos. El sensor puede ser sumergido en el agua o insertado en tuberías de agua de baja presión.

El sensor divulgado comprende unas fuentes y receptores de radiación electromagnética, un sistema mecánico o encapsulado de polímero de bajo coeficiente de fricción, un sistema electrónico de procesamiento y control que entrega una salida de voltaje proporcional a la concentración de sólidos suspendidos en agua y un circuito de alimentación de energía del sistema basado en baterías recargables y fuentes de energía como paneles solares, generadores eólicos o redes eléctricas industriales.

En el documento de patente No. 20140100700 publicado en México, se divulga un sensor de lengua o nariz electrónica para analizar una muestra o detectar un objetivo.

El sensor comprende un sensor en cuya superficie se encuentran una pluralidad de zonas sensibles que comprenden cada una al menos un receptor, cada zona sensible puede emitir una señal medible generada por la interacción de al menos un constituyente de la muestra o de un objetivo con al menos un receptor, caracterizado porque comprende cuando menos tres zonas sensibles que difieren entre sí en términos de sus respectivas composiciones de receptor, cuando menos una de las zonas sensibles comprende una mezcla de al menos dos receptores diferentes, mientras que las otras dos zonas sensibles comprenden cada una al menos dos receptores.

A pesar de los intentos por superar los problemas antes mencionados, aún existe la necesidad de realizar esfuerzos para desarrollar nuevas tecnologías con las cuales se puedan llevar a cabo análisis in situ, de múltiples parámetros, de manera simultánea y en tiempo real, de modo que pueda obtenerse una caracterización del agua eficaz, rápida, económica y precisa.

OBJETO DE LA INVENCION

El objeto de la invención es proporcionar un sistema de gestión, control y monitoreo de dispositivos de lengua electrónica y nariz electrónica, mediante software de aplicación, hardware e infraestructura Cloud, que permita conectar dichos dispositivos de manera remota a una plataforma de software de aplicación desarrollada, y que realice el intercambio de datos e información a través de componentes electrónicos y diferentes protocolos de comunicación a través de internet.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

La presente invención se entenderá de mejor manera con referencia a las figuras.

En las figuras que acompañan este documento se ilustra, a modo de ejemplo, una realización del aparato y el método de la invención, pero sin limitar su alcance. En tales figuras, los códigos de referencia indican elementos idénticos o similares.

La figura 1 presenta un esquema general explicativo del sistema completo de la invención con sus principales componentes que lo conforman.

- 5 La figura 2 presenta un diagrama general del sistema de la invención y una división en los subsistemas esenciales que lo conforman.

La figura 3 presenta una proyección isométrica del dispositivo que forma parte de la presente invención con una compuerta abierta.

10

La figura 4 presenta otra proyección del dispositivo que forma parte de la presente invención con la compuerta abierta.

- La figura 5 presenta una proyección isométrica del dispositivo de la invención sin
15 ilustrar la carcasa externa y señalando el conjunto de soportes internos y mecanismos para movimiento.

- La figura 6 presenta la misma proyección isométrica del dispositivo de la invención, pero señalando el conjunto de reservorios para reactivos que forman parte de dicho
20 dispositivo.

- La figura 7 presenta la misma proyección isométrica del dispositivo de la invención, pero señalando el mecanismo de bombeo de los reservorios que forman parte de dicho dispositivo.

- 25 La figura 8 presenta la misma proyección isométrica del dispositivo de la invención, pero señalando el mecanismo de control de flujo que forma parte de dicho dispositivo.

- La figura 9 presenta una vista superior del dispositivo de la presente invención con corte mediante plano paralelo al eje “x” y sin ilustrar la visualización de la parte superior
30 de la carcasa externa.

La figura 10 presenta una proyección isométrica que detalla la estación de lijado que forma parte del dispositivo de la invención.

La figura 11 presenta una vista frontal con corte mediante plano paralelo al eje “y” que
5 detalla la estación de lijado que forma parte del dispositivo de la invención.

La figura 12 presenta una vista lateral interna de los elementos del dispositivo de la invención que se encuentran cercanos a la pared lateral izquierda del encerramiento.

10 La figura 13 presenta una vista frontal con corte mediante plano longitudinal.

La figura 14 presenta la vista frontal notable al abrir la compuerta del encerramiento del dispositivo de la invención.

15 La figura 15 presenta una vista lateral derecha con un corte mediante plano transversal.

La figura 16 presenta una vista superior que detalla la caja de bombas para la nariz electrónica que forma parte de unas modalidades del dispositivo de la invención.

20 La figura 17 presenta un diagrama esquemático de la placa electrónica para control mecánico, hidráulico y de agitación, que incorpora el microcontrolador y otros dispositivos electrónicos tanto análogos como digitales, que son parte de la invención.

La figura 18 presenta un diagrama del circuito general de un potenciómetro que
25 incorpora: una celda voltamperométrica, que determina las diferencias de potencial, mediante una combinación de circuitos integrados amplificadores operacionales y resistencias.

La figura 19 presenta un diagrama ilustrativo de bloques e interacción entre los
30 mismos, con circuitos electrónicos que intervienen en la invención tales como: bloque de circuito de comunicación; el módulo de procesamiento de datos; el módulo de

transformación de señales; el módulo de sistema análogo; y el módulo de celdas electroquímicas donde se encuentran los electrodos de: referencia, contra electrodo y de trabajo.

- 5
- La figura 20 presenta un diagrama de flujo que integra los diferentes procesos de: lectura potenciométrica; o voltamperométrica; o medición de pH; cada flujo muestra el recorrido de pasos y actividades, de acuerdo con el dispositivo que se conecte al sistema.
- 10
- La figura 21 presenta un diagrama general de bloques y tareas, de cada una de las fases y procesos realizados por el sistema desde el análisis de muestras, hasta la generación de resultados.

LISTADO DE ELEMENTOS DE LA INVENCION

15

El siguiente listado corresponde al conjunto de elementos que hacen parte de la presente invención. Al frente de cada elemento se indica el código de referencia incluido en el juego de figuras para su fácil identificación.

Sistema de gestión y control de dispositivos de lengua y nariz electrónica	S
Placa electrónica para control de electrodos y medición de temperatura	s.1
Placa electrónica para control de pH-metro	s.2
Placa electrónica para control mecánico, hidráulico y de agitación	s.3
Sensores de posición	s.4
Microcontrolador	s.5
Minicomputadora	s.6
Ethernet/Wi-Fi	s.7
Gestores de bases de datos	s.8

Software de aplicación	s.9
Infraestructura de servicios y servidores Cloud	s.10
Interfaz con el usuario	s.11
Circuito de Alimentación de energía del sistema	s.12
Circuito DAC	s.13
Circuito ADC	s.14
Puertos USB	s.15
Termocupla	s.16
Circuito de comunicación I2C	s.17
Amplificador de transimpedancia	s.18
Potenciostato	s.19
Placa de la nariz electrónica	s.20
Sensor de ácido sulfhídrico	s.21
Sensor de metano	s.22
Dispositivo de lengua electrónica	1
Encerramiento	1.1
Paredes	1.1.1
Compartimiento interior	1.1.2
Compuerta	1.1.3
Bisagras	1.1.4
Mecanismo de ajuste de la compuerta	1.1.5
Manijas	1.1.6
Prensa estopa	1.1.7

Rodachinas	1.1.8
Conducto de ingreso de la muestra	1.1.9
Conducto de salida del encerramiento	1.1.10
Conjunto de soportes	1.2
Soportes para reservorios de reactivos	1.2.1
Abrazaderas para reservorios de reactivos	1.2.2
Soporte para nariz electrónica	1.2.3
Soporte para placas electrónicas	1.2.4
Soporte para reservorio del líquido de limpieza química	1.2.5
Conjunto de mecanismos para movimiento	1.3
Plataforma móvil en eje “x”	1.3.1
Varilla roscada en eje “x”	1.3.1.1
Acople para cambio en eje “x”	1.3.1.2
Rodamiento	1.3.1.3
Tope soporte	1.3.1.4
Motor para movimientos en el eje “x”	1.3.1.5
Rodamiento lineal	1.3.1.6
Varillas lisas en eje “x”	1.3.1.7
Plataforma móvil en eje “y”	1.3.2
Perfil estructural	1.3.2.1
Soporte estructural	1.3.2.2

Rodamiento	1.3.2.3
Varilla roscada en eje “y”	1.3.2.4
Tuerca de cuatro hilos	1.3.2.5
Acople para cambio en eje “y”	1.3.2.6
Motor para movimientos en el eje “y”	1.3.2.7
Reservorios para reactivos	1.4
Reservorio del líquido de almacenamiento de sensores	1.4.1
Reservorio de la solución buffer y electrolito soporte	1.4.2
Reservorio del líquido de limpieza electroquímica de sensores	1.4.3
Reservorio del líquido de limpieza química	1.4.4
Reservorio de nitrógeno	1.4.5
Regulador de flujo de nitrógeno	1.4.5.1
Mecanismo de bombeo de los reservorios	1.5
Bomba del reservorio del líquido de almacenamiento de sensores	1.5.1
Bomba del reservorio de la solución buffer y electrolito soporte	1.5.2
Bomba del reservorio del líquido de limpieza electroquímica de sensores	1.5.3
Bomba de succión desde el recipiente de medición de pH hasta el recipiente de análisis electroquímico	1.5.4
Bomba de succión desde los recipientes 1.7.2, 1.7.3 y 1.7.4 hasta la salida del encerramiento	1.5.5
Bomba del reservorio del líquido de limpieza química	1.5.6

Mecanismo de control de flujo de sustancias	1.6
Electroválvula para control de flujo de KCl desde el reservorio del líquido de almacenamiento de sensores al recipiente de medición de pH	1.6.1
Electroválvula para control de flujo de KCl al recipiente de análisis electroquímico	1.6.2
Electroválvula para control de flujo entre el recipiente de análisis de pH y el de análisis electroquímico	1.6.3
Electroválvula para control de flujo entre el recipiente de análisis de pH y la salida del encerramiento	1.6.4
Electroválvula para control de flujo de salida desde el recipiente para análisis electroquímico	1.6.5
Electroválvula para control de flujo de salida del recipiente de limpieza electroquímica	1.6.6
Electroválvula para control de flujo de salida del recipiente para almacenamiento de sensores	1.6.7
Electroválvula para control de flujo entre el reservorio de limpieza electroquímica y el reservorio de solución buffer y electrolito soporte	1.6.8
Electroválvula para control de flujo entre el reservorio de limpieza electroquímica y el recipiente para el almacenamiento de sensores	1.6.9
Electroválvula para control entre el reservorio de líquido de limpieza electroquímica y el recipiente para realizar análisis electroquímico	1.6.10
Conjunto de recipientes	1.7
Recipiente para análisis de pH	1.7.1

Tapa del recipiente para análisis de pH	1.7.1.1
Recipiente para análisis electroquímico	1.7.2
Tapa del recipiente para análisis electroquímico	1.7.2.1
Agitador magnético	1.7.2.2
Recipiente para limpieza electroquímica	1.7.3
Tapa del recipiente para limpieza electroquímica	1.7.3.1
Recipiente para almacenamiento de sensores	1.7.4
Tapa del recipiente para almacenamiento de sensores	1.7.4.1
Estación de lijado	1.8
Disco de lijado de material abrasivo con grano semi-grueso	1.8.1
Disco de lijado de material abrasivo con grano fino	1.8.2
Discos de material suave para remoción de virutas	1.8.3
Motor de la estación de lijado	1.8.4
Dispositivos de medición	1.9
pH-metro	1.9.1
Conjunto de electrodos	1.9.2
Acople del conjunto de electrodos	1.9.2.1
Nariz electrónica	1.9.3
Caja de bombas para la nariz electrónica	1.9.3.1
Bomba de succión	1.9.3.1.1
Bomba de exhalación	1.9.3.1.2
Electroválvula para gases	1.9.3.1.3

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

5 La presente invención se relaciona con un sistema y un método de gestión y control de dispositivos que ejecutan técnicas electroquímicas para el análisis y monitoreo in situ, en tiempo real, de parámetros fisicoquímicos y analitos presentes en matrices acuosas u oleosas mediante, siendo los dispositivos especialmente lengua y nariz electrónica; fundamentada la invención en el análisis electroquímico mediante técnicas de
10 voltamperometría de redisolución anódica y catódica, voltamperometría escalonada, voltamperometría cíclica y de redisolución de amplitud de pulso diferencial, dependiendo del tipo de muestra por analizar con el objetivo de obtener respuestas replicables para la implementación de modelos de machine learning. Esta invención integra todos los componentes químicos, mecánicos, electrónicos y de software
15 necesarios para un desempeño continuo con mínima intervención humana.

El sistema incorpora necesariamente un software de aplicación requerido que cuenta con una plataforma de control, gestión y monitoreo desarrollada para tener la posibilidad de interconectar diferentes dispositivos de lengua y/o nariz electrónica
20 ubicados en diferentes zonas geográficas, para intercambiar información gracias a componentes electrónicos, Infraestructura de servicios y servidores Cloud y conexión a internet; también poder realizar diferentes funciones de manera remota.

El sistema permite visualizar a un usuario diferentes gráficas, entre las cuales se
25 encuentra la gráfica de barrido en donde aparecen patrones para correlacionar la corriente generada en los análisis electroquímicos con la concentración de los analitos de la muestra. Otras funcionalidades permiten mostrar otro tipo de información en diferentes pantallas, que facilita la operabilidad del sistema al usuario, incluyendo su mantenimiento preventivo y correctivo.

La plataforma desarrollada es una aplicación web que puede estar alojada en infraestructura en servidores en la nube o cloud, junto con sistemas gestores de bases de datos SQL o NoSQL o distribuidos como Blockchain, para almacenamiento de información de los diferentes dispositivos. Los clientes o usuarios de la aplicación
5 accederán a ella a través de diferentes dispositivos como smartphones, tabletas, PC's o cualquier dispositivo que pueda acceder a internet mediante un navegador web.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

10 Esta divulgación corresponde a la explicación detallada de algunas de las modalidades de la invención y no implica la limitación del alcance de la invención definida en las reivindicaciones.

Para una comprensión más completa de la presente invención, ahora se hace
15 referencia a la siguiente descripción de un modo ilustrativo y no limitativo de la misma, tomada en conjunto con los dibujos acompañantes en los cuales los números de referencia indican elementos idénticos o semejantes en los dibujos correspondientes.

Para propósito de comprensión de la invención descrita, la expresión “*sistema*” se
20 refiere al conjunto de todos los elementos esenciales que engloban de manera general y superior toda la invención y que está conformado por los dispositivos, los reservorios, los recipientes, los reactivos, los sensores, los circuitos electrónicos, el hardware y el software de aplicación, la infraestructura de servidores, el software de aplicación, las bases de datos y demás almacenamientos de información, las interfaces de usuario,
25 todos este conjunto de elementos que se encuentran interrelacionados y que ordenadamente permiten lograr el objetivo de medición y monitoreo de sustancias químicas y cumplir las funciones para la cual fue diseñado.

La expresión “*subsistema*” se refiere a un conjunto de elementos interrelacionados que,
30 en sí mismo, es un sistema pero que es menor y conforma al sistema general superior. La clasificación de subsistemas elegido para la descripción de la invención está

ordenada en tres subsistemas que son el subsistema químico, el subsistema mecánico y el subsistema electrónico y de software.

La expresión “*dispositivo*” se refiere a un mecanismo o artificio para producir una acción
5 prevista.

La expresión “*método*” se refiere a la secuencia de operaciones que se llevan a cabo para lograr el análisis y el monitoreo de sustancias químicas; el cual comprende etapas con características mecánicas, electroquímicas, químicas, electrónicas y digitales,
10 dicho método iniciando desde el ingreso de la muestra al sistema hasta que se generan reportes en la interfaz de usuario.

La expresión “*eje “x”*” hace referencia a un eje imaginario paralelo al eje de las abscisas convencional del plano cartesiano, el cual está dispuesto de manera horizontal y con el
15 cual se facilita identificar la dirección de desplazamiento horizontal de algunos elementos dentro del dispositivo de la invención.

La expresión “*eje “y”*” hace referencia a un eje imaginario paralelo al eje de las ordenadas convencional del plano cartesiano, el cual está dispuesto de manera vertical
20 y con el cual se facilita identificar la dirección de desplazamiento vertical de algunos elementos dentro del dispositivo de la invención.

De acuerdo con las figuras 1 y 2, y definiendo de la manera general posible, el sistema (S), está conformado por tres subsistemas principales:

25 1) un subsistema químico, conformado por todos los sensores, reactivos, y soluciones de limpieza, necesarios para lograr la voltamperometría y la potenciometría;

2) un subsistema mecánico que comprende el armazón estructural, el mecanismo
30 dinámico de los componentes, la organización de los elementos hidráulicos necesarios

para lograr desarrollar las etapas en el orden adecuado que implica el dispositivo de lengua electrónica, y el mecanismo implementado para la limpieza mecánica; y

3) un subsistema electrónico y de software, conectado con hardware y software de aplicación, el cual abarca todos los componentes electrónicos de control de todos los demás subsistemas, la adquisición y manejo de señales y datos, el aprendizaje artificial del dispositivo, las respuestas arrojadas por el sistema y los mecanismos de interacción con el usuario.

A continuación, se describe con más detalle el sistema general para el análisis y el monitoreo in situ, en tiempo real y multiparamétrico de sustancias químicas presentes en matrices acuosas u oleosas (S), mediante la definición específica de los subsistemas que lo conforman:

SUBSISTEMA QUÍMICO

Los objetivos del subsistema químico son dos fundamentales: realizar el análisis de las muestras y garantizar la limpieza química y electroquímica de los componentes esenciales del dispositivo de la invención.

Para el caso de la realización del análisis de las muestras, este subsistema está conformado por una celda electroquímica compuesta por:

- una muestra o matriz a analizar;

- una línea de inyección de nitrógeno gaseoso proveniente de un reservorio de nitrógeno (1.4.5) y controlado por un regulador de flujo de nitrógeno (1.4.5.1);

- reactivos adicionales para mejorar la transferencia de electrones (electrolito soporte y solución buffer);

- un conjunto de electrodos (1.9.2) con los que se realiza la voltamperometría dependiendo del analito a medir.

- un electrodo para medición de pH (1.9.1); y

-un dispositivo para medición de temperatura.

A continuación, se detallan aún más cada uno de estos elementos:

Muestra

5

La muestra o matriz a analizar es la porción de materia seleccionada proveniente de un sistema externo el cual debe ser monitoreado y controlado. El sistema externo puede ser un espejo de agua, un equipo o línea de proceso industrial que contenga o transporte fluidos, o un fluido residual de los vertimientos provenientes de procesos industriales o minería.

10

Entre las muestras más comunes para ser objeto de análisis con el sistema y el dispositivo de la presente invención se encuentra el agua, como agua potable, aguas de procesos y las aguas residuales. Por otro lado, se encuentran las matrices oleosas como: el crudo de petróleo, el aceite o los lodos, sin embargo, estas matrices suelen ser altamente viscosas y poco conductivas, por lo cual se debe proceder a un proceso de extracción líquido-líquido con solventes orgánicos convencionales para evaluar la fase acuosa de la extracción y no la fase oleosa.

15

Para su correcto análisis, la muestra debe cumplir algunas condiciones con el fin de obtener respuestas electroquímicas fidedignas: un pH estable, una conductividad alta o considerable para que exista flujo de electrones en el medio y evitar matrices altamente viscosas para aumentar la vida útil de los electrodos que sirven como sensores en la medición. Por lo tanto, en electroquímica no es posible realizar la medición directamente sobre la muestra tal como ha sido extraída de su fuente, sino que es preliminarmente adaptada mediante la adición de nitrógeno gaseoso y otros reactivos para luego dar paso al análisis de parámetros, como a continuación se explica:

25

Inyección de nitrógeno

30

La invención posee una línea que inyecta nitrógeno a la muestra desde un reservorio de nitrógeno (1.4.5) controlado mediante un regulador de flujo de nitrógeno (1.4.5.1), tal como puede observarse en las figura 6 y 13. Esta la línea de inyección de nitrógeno cumple la función crucial dentro de la celda de desplazar el oxígeno disuelto en la muestra, sobre todo en las matrices de agua ya que esta es un solvente altamente oxidable y reducible, lo cual puede generar ruido dentro del experimento debido a las reacciones redox propias de la muestra. Para evitar ese ruido, se inyecta nitrógeno gaseoso al 99% en un intervalo de tiempo de entre 3 a 5 minutos y así lograr el objetivo de desplazar el oxígeno disuelto en el agua y así aumentar la sensibilidad del experimento.

En la figura 13 también se observa el reservorio de nitrógeno (1.4.5) con su regulador de flujo de nitrógeno (1.4.5.1), el cual se conecta mediante manguera a la tapa (1.7.2.1) del recipiente para análisis electroquímico (1.7.2). En las secciones siguientes se realizan más especificaciones al respecto.

Reactivos adicionales

Los reactivos adicionales para la preparación de la muestra antes de ser sometida a análisis consisten en un electrolito soporte para mejorar el flujo de electrones generado y una solución buffer que regula el pH.

Convencionalmente, para realizar mediciones multiparamétricas las tecnologías hasta ahora conocidas requieren de diferentes electrolitos soportes y diferentes soluciones buffer y por esto, llevar a cabo las mediciones electroquímicas se limitan por ejemplo a medir plomo, cadmio, zinc. Caso contrario, con la invención se llevan a cabo mediciones multiparamétricas con un solo reactivo y por ello al momento de tener cuatro electrodos de trabajo y cuatro respuestas, no es necesaria la utilización de más reactivos, sino que, con ese electrolito, con esas soluciones químicas y las diferentes respuestas en los cuatro electrodos es posible obtener diferentes respuestas.

Electrolito soporte

Dado que la corriente generada en la reacción química corresponde a un flujo de electrones producido y transferido por las redacciones redox, un puente salino o puente de sal facilita la migración de electrones al contra electrodo. Por eso, el electrolito soporte es un reactivo esencial.

El electrolito soporte cumple con el objetivo de minimizar la resistencia eléctrica y promover la migración de electrones de la solución, es decir, aumentar significativamente la conductividad de la muestra. Es importante que el electrolito soporte no modifique las semi-reacciones generadas por los analitos y por ello debe ser una solución inerte.

Adicional a lo anterior, el electrolito soporte posee una función fundamental y es aumentar la selectividad de la técnica, mostrando con mayor facilidad los picos y analitos dentro de una muestra.

Los electrolitos soporte pueden modificar los potenciales criterio de los analitos, por lo cual se ha realizado una investigación ardua sobre cuál tipo de electrolito escoger y asociarlo a las ventanas de potencial.

En modalidades deseables de la invención, los electrolitos soporte empleados se seleccionan del grupo conformado por cloruro de potasio, acetonitrilo, TBAP (Perclorato de tetrabutilamonio), ácido sulfúrico y ácido nítrico. En modalidades aún más preferidas, el electrolito de cloruro de potasio se encuentra al 0,1 M.

Solución buffer

Las soluciones buffer o amortiguadoras cumplen con su objetivo fundamental de estabilizar el pH dentro de la celda electroquímica. Dadas las posibles reacciones generadas en la muestra, en donde se desprenden iones H^+ , iones hidroxilo OH^- u

otros, la celda es susceptible a cambios de pH, lo cual modificaría constantemente las condiciones del experimento. El pH es un factor esencial para la potencialización de los picos generados dentro de la celda; si no se controla este factor, la reproducibilidad se ve afectada, así como los modelos generados por analítica.

5

En modalidades preferibles de la invención, la solución buffer es seleccionada del grupo conformado por acetato de sodio y amonio-amoniaco.

En la figura 6 se puede observar la presencia de un reservorio de la solución buffer y
10 electrolito soporte (1.4.2) el cual provee estos reactivos para la preparación preliminar de la muestra.

Conjunto de electrodos

15 El conjunto de electrodos (1.9.2) es el conjunto de sensores que forma parte del dispositivo de lengua electrónica (1) de la invención, los cuales cumplen el papel de detección y medición de sustancias químicas.

Convencionalmente, los dispositivos de lengua electrónica solo poseen un electrodo de
20 trabajo. Contrario a lo convencional y en una modalidad preferible de la invención, el dispositivo de lengua electrónica (1) de la invención está conformado por tres tipos principales de electrodos: -los electrodos de trabajo, -el electrodo de referencia y -el electrodo auxiliar o contra electrodo. Esta característica esencial proporciona una ventaja en la precisión del analito a medir.

25

Adicionar varios electrodos de trabajo de diferentes materiales conlleva avances innovadores. Por ejemplo, al tener cuatro electrodos de trabajo se logran patrones diferentes porque son electrodos de materiales diferentes que proporcionan cuatro respuestas por cada analito en un tiempo aproximado de 2 a 3 minutos. De esta
30 manera, se obtienen diferentes patrones con lo cual se observa por ejemplo que un electrodo reacciona muy bien a zinc, plomo y cadmio; otro reacciona muy bien a

cloruros, sulfatos y conductividad; el carbono es apropiado para metales y el antimonio es apropiado para otros cationes y aniones.

En modalidades deseables de la invención, los electrodos de trabajo pueden ser de bismuto, tantalio, rodio, iridio, aluminio y/o titanio; el electrodo de referencia puede ser electrodo saturado de calomelanos y el contra electrodo puede ser de carbono vítreo o grafito.

Con este arreglo de electrodos se obtiene una visión y barrido excelente en cuanto a todos los parámetros medibles en agua o matrices acuosas, para de esta manera lograr detección in situ, en tiempo real y con una gran precisión de los analitos, sin necesidad de recurrir a trabajos extra en un laboratorio.

A continuación, se proporcionan más detalles de cada uno de los tipos de electrodos presentes en el dispositivo de la invención:

Electrodos de trabajo

En los electrodos de trabajo que están integrados en el dispositivo de lengua electrónica, sucede la deposición o unificación del analito sobre la superficie de dichos electrodos.

En una modalidad deseable de la invención, los electrodos de trabajo pueden ser de bismuto, tantalio, rodio, iridio, aluminio y/o titanio, como se mencionó previamente.

En una modalidad preferida de la invención, los electrodos de trabajo son de cuatro materiales diferentes: carbono vítreo, antimonio, oro y platino, y están cubiertos por un polímero aislante que protege cada uno de los materiales mencionados. Estos materiales cumplen con varias características dentro del sistema pues no son fácilmente oxidados o reducidos dentro del rango de potencial aplicado en la celda electroquímica; son buenos conductores de electricidad; generan una repetitividad

dentro del experimento; son de porosidad muy reducida; son materiales inertes, lo cual significa que solo sirven para transferir electrones hacia o desde las especies a analizar; y no oxidan ni reducen el solvente o la solución buffer en donde se realiza el análisis electroquímico.

5

Convencionalmente, los electrodos de carbono normalmente están fabricados de grafito, sin embargo, este material no es deseable porque la estructura del grafito no permite una buena reproducibilidad de los muestreos, presenta una estructura porosa y por esta misma porosidad, su limpieza por medios mecánicos como el polichado, no es

10 recomendable.

A diferencia del grafito, el carbono vítreo presenta propiedades cerámicas y vítreas, que lo hace un material altamente resistente a ataques químicos, matrices viscosas y altas temperaturas. El carbono vítreo es uno de los materiales con mayor ventana de

15 potencial pues su rango puede ir de -1 V a 1 V según el electrolito soporte o solución buffer utilizado.

El antimonio es un metal que presenta propiedades parecidas al mercurio, con la ventaja de ser un material amigable con el medio ambiente y no tóxico. El electrodo

20 más utilizado en la electroquímica es el denominado electrodo de gota de mercurio, dado que es de los pocos materiales que poseen una ventana de potencial ampliamente negativa que va de -2 V a 0,5 V. Entre esas ventanas de potencial se logran identificar contaminantes como metales pesados y livianos, dado que sus potenciales de reducción se encuentran en dichos rangos. Sin embargo, el mercurio en

25 condiciones ambientales se encuentra en estado líquido, lo cual imposibilita las limpiezas químicas o mecánicas. Por lo anterior, la invención incluye el antimonio en lugar del mercurio porque posee características similares y por las ventajas antedichas.

Los electrodos de oro y platino poseen propiedades deseables porque son metales

30 inertes con alta conductividad y potenciales de oxidación mayores a 1,5 V, lo cual favorece el análisis de contaminantes/parámetros en el lado positivo del voltaje.

Frente al aspecto de no reducir ni oxidar el solvente o solución, es esencial analizar el tipo de solvente y sus puntos de oxidación y reducción. Por ejemplo, el electrodo de platino posee un punto máximo en el rango negativo de -0,7 V; en ese punto el agua comienza a reducirse produciendo hidrógeno e iones hidroxilo y por ende la corriente generada comienza a crecer de manera exponencial. En el lado positivo, el punto máximo es de +1,0 V, en donde el agua comienza a oxidarse para formar oxígeno. Sin embargo, el electrodo de carbono vítreo puede ampliar esa ventana de potencial entre -1 V a +1 V.

El dispositivo de lengua electrónica (1) que forma parte de la presente invención posee la facilidad de poner en estos cuatro espacios, diferentes materiales de electrodos sólidos dependiendo a qué matriz se va a aplicar. Los materiales antes identificados presentan muchas ventajas para las mediciones.

Electrodo de referencia

En el electrodo de referencia se tiene un punto de referencia o un potencial de reducción conocido. Este mantiene un potencial fijo pues, si en un electrodo de trabajo se lleva a cabo una reacción de reducción, en el otro se produce una de oxidación para compensación.

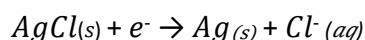
El electrodo de referencia proporciona un punto de referencia o un voltaje el cual va a ser fijo y estable. Si durante el análisis de muestra se aplica +0,5 V al electrodo de trabajo, se espera que toda esa energía se dirija a la creación de una caída de potencial entre la superficie del electrodo de trabajo y la solución. A diferencia del electrodo de trabajo, el electrodo de referencia no puede ser polarizable, es decir, cuando se le aplica un voltaje a la celda electroquímica, el electrodo de referencia debe proporcionar cualquier corriente que sea necesaria sin moverse del resto de potencial de reposo.

El electrodo de referencia ideal transferirá electrones tan fácilmente que, una nueva distribución de cargas nunca podrá acumularse en la interfaz de la solución del electrodo. Si mantiene su potencial, toda la energía aplicada irá desde la interfaz de la solución del electrodo hacia el electrodo de trabajo.

5

Los electrodos de referencia poseen incorporadas semi-reacciones producidas en sus capilares o cámaras. El electrodo de referencia usado en la invención es un electrodo de Ag/AgCl. Este electrodo tiene una semi-reacción de reducción del cloruro de plata (AgCl) a plata sólida y la forma oxidada iones de cloro libre. Tanto la forma oxidada como la reducida están en la superficie del alambre.

10



Según la ecuación de Nerst, la cual rige la relación entre la actividad de los analitos reducidos y oxidados con el voltaje criterio, establece para la reacción del electrodo de referencia:

15

$$E_{ref} = E^0_{Ag/AgCl} - 0,05916 * \log \{A_{Cl}\}$$

Si $A_{Cl} = 1$ M de $E_{ref} = +0,222$ V, en condiciones ideales. En la experimentación, el electrodo de referencia es llenado con cloruro de potasio (KCl) saturado para tener unas condiciones lo más cercanas posibles a la teórica, determinando que el $E_{ref} = +0,197$ V.

20

En una modalidad deseable de la invención, el electrodo de referencia puede ser electrodo saturado de calomelanos.

25

Electrodo auxiliar o contra electrodo

Para llevar la corriente generada en el experimento, el único modo de realizar ese flujo es pasando a través del electrodo auxiliar o también llamado contra electrodo. Si el electrodo de trabajo está reduciendo algún analito específico, los electrones se

30

moverán hacia la solución generando un desbalance, es por ello que algún componente adicional tiene que eliminar los electrones de la solución para mantener el equilibrio en la misma.

- 5 Si la tasa de transferencia de electrones en el electrodo de trabajo es solo del orden de nano Amperios, el electrodo de referencia probablemente pueda manejar eso sin cambiar su potencial de referencia. Si llega a ser mayor que eso, existe cierto riesgo de que distorsione el experimento y es mejor pasar la corriente con la ayuda de un electrodo auxiliar. En una modalidad deseable de la invención, el electrodo auxiliar es
- 10 de platino. En una modalidad preferible de la invención, el electrodo auxiliar puede ser de carbono vítreo o grafito.

Limpiezas química y electroquímica

- 15 Como ya se ha mencionado, en los procesos de análisis de muestras, las superficies de los arreglos de electrodos que forman parte del dispositivo de la invención, están electrodepositando analitos y este hecho provoca el cambio del material de los electrodos junto con su morfología. Por ello, es indispensable aplicar limpiezas para que los arreglos de electrodos presenten una nueva capa de material de electrodo y
- 20 con ello lograr una repetibilidad de los experimentos y garantizar su precisión.

Por lo anterior, el dispositivo de lengua electrónica (1) posee tres tipos de limpieza: química, electroquímica y mecánica. Las dos primeras se discuten a continuación, mientras que la última se discute en la sección que describe el subsistema mecánico.

- 25 Las limpiezas química y electroquímica son características esenciales requeridas para lograr la repetibilidad de la técnica de análisis implementada, para que los electrodos no lleguen a envenenarse y los datos arrojados por el sistema sean precisos. Por ello, el subsistema químico también se encarga de parte del mantenimiento de los
- 30 electrodos del sistema, la limpieza química y electroquímica de los componentes y el almacenamiento de los electrodos. Bajo todos estos criterios, el subsistema integra

soluciones para limpieza y almacenamiento de todos los elementos del dispositivo de lengua electrónica (1).

Esta característica es esencial en la invención y supera lo conocido hasta el momento en el arte previo, porque lo común es que los dispositivos convencionales posean solo un tipo de limpieza sin ningún tipo de automatización mientras que la presente invención incorpora los tres tipos de limpieza completamente automatizados.

En modalidades deseables de la invención, la limpieza química es una limpieza superficial que se realiza con una solución líquida de agua y alcohol, mientras que la limpieza electroquímica se lleva a cabo con ácido nítrico. En modalidades preferidas, el alcohol puede ser uno del grupo conformado por metanol y etanol.

La limpieza electroquímica incluye dos funciones: remover con ácido nítrico los electrolitos depositados en los electrodos y realizar la detección de sustancias dentro de los electrodos mediante voltamperometría cíclica. La detección de un pico luego de la voltamperometría cíclica indica la presencia de impurezas dentro del electrodo lo cual lleva a continuar con la limpieza electroquímica. Esta metodología permite verificar la efectividad de la limpieza. Así, es posible rectificar los electrodos y determinar si están aptos para el siguiente análisis.

Para la limpieza electroquímica se prefiere emplear soluciones acuosas de uno de los compuestos del grupo conformado por ácido nítrico, ferrocianuro de potasio 0,1 M, ácido sulfúrico 1 M, acetonitrilo/TBAP 0,1 M, siendo aún de más interés el ácido nítrico.

Medición de pH

El parámetro de pH influye notablemente en la electroquímica. Llevar a cabo esta medición es muy importante para mantener el registro de ese parámetro y determinar si hay detecciones abruptas de pH y de esta manera poder realizar un sistema de

redundancia al momento que se cuenta con otro compuesto que puede regular el pH, como sucede con el electrolito soporte y la solución buffer.

Electrodo indicador (potenciometría)

5

El electrodo indicador o llamado también electrodo de ion selectivo, es aquel que interactúa con el analito a detectar. Cambia su potencial a medida que varíe la concentración del analito. Los electrodos de ion selectivo son sensores electroquímicos, que tienen una especificidad hacia un determinado tipo de ion, como lo es el pH-metro el cual tiene su especificidad al ion hidronio.

10

La parte esencial de un electrodo de ion selectivo es la membrana, idealmente permeable solo al ion por medir. Contiene sitios fijos o móviles que interaccionan con los iones en la disolución. La membrana separa dos disoluciones acuosas, la disolución interna que está dentro de la cámara del electrodo y tiene una actividad fija del ion a medir y la disolución externa a la cual se le hará medición para determinar la cantidad de analito que se encuentra en la muestra.

15

Electrodo de referencia (potenciometría)

20

Tiene las mismas funciones que el electrodo de referencia de la voltamperometría.

Medición de temperatura

La medición de temperatura realizada con termocupla, permite la recolección de información relacionada con la temperatura de la muestra cuando ingresa al dispositivo que forma parte de la invención.

25

SUBSISTEMA MECÁNICO

30

El subsistema mecánico logra cuatro objetivos esenciales: proteger el dispositivo de lengua electrónica de los factores externos, implementar la movilidad de los componentes que forman parte del dispositivo de lengua electrónica, permitir el funcionamiento controlado del mecanismo hidráulico requerido para la provisión de sustancias químicas necesarias durante los análisis y garantizar la limpieza mecánica del arreglo de electrodos.

El primer objetivo está relacionado con el encerramiento (1.1) configurado para la protección del dispositivo de lengua electrónica (1) de factores externos que pueden estar presentes durante su traslado y operación en planta o campo. La configuración externa del dispositivo de lengua electrónica (1) será descrita en detalle en esta sección.

Para cumplir con el segundo objetivo, el subsistema mecánico consiste en dos mecanismos independientes; uno de ellos permite que el conjunto de electrodos (1.9.2) se pueda desplazar de forma vertical al interior del dispositivo de lengua electrónica (1) y el otro mecanismo permite que una plataforma móvil en eje "x" (1.3.1) que sostiene el conjunto de recipientes (1.7) para análisis de muestras, limpieza, almacenamiento y el mecanismo de limpieza mecánica (1.8), se desplacen de forma horizontal. De esta manera, se logra un dispositivo de lengua electrónica (1) con dos grados de libertad y posibilidad de interceptar las partes esenciales en varios puntos, logrando ubicar el conjunto de recipientes (1.7) y el conjunto de electrodos (1.9.2) en posiciones controladas según la etapa necesaria.

Para cumplir con el tercer objetivo, el subsistema mecánico ejecuta el mecanismo hidráulico necesario al interior del dispositivo de lengua electrónica (1), el cual mecanismo está conformado por un conjunto de reservorios para reactivos (1.4), mangueras, un mecanismo de bombeo de los reservorios (1.5), un mecanismo de control de flujo de sustancias (1.6) y sensores de nivel que controlan el paso de las soluciones, los reactivos, los líquidos de limpieza e incluso de la muestra, para lograr

dosificar de manera precisa las proporciones de las sustancias y contribuir con la realización eficaz de las funciones de muestreo, limpieza y almacenamiento.

En cuanto al cuarto objetivo y tal como se mencionó en el subsistema químico, los arreglos de electrodos para análisis de muestra, no solo deben intervenir en la ejecución de la técnica de voltamperometría, sino que también participan en una limpieza mecánica para al final terminar en un almacenamiento seguro y garantizar la repetibilidad y confiabilidad de los análisis.

A continuación, se explica con más detalle la caracterización estructural y funcional de todos los componentes del subsistema mecánico:

Encerramiento

En las figuras 3 y 4 se puede observar una modalidad preferida del encerramiento (1.1) que forma parte del dispositivo de lengua electrónica (1) de la invención.

El encerramiento (1.1) cumple con el propósito de protección del dispositivo de lengua electrónica (1) y posee clasificación de seguridad con certificado IP66 (*“Ingress Protection” – Equipo hermético al polvo y protegido contra chorros de agua potentes, según la norma internacional EN 60529 (BS británica EN60529:1992; IEC europea 60509: 1989)*).

El encerramiento (1.1) es una carcasa a modo de caja conformada por paredes (1.1.1) planas, que presenta un compartimiento interior (1.1.2) en donde se alojan todos los componentes esenciales del dispositivo de lengua electrónica (1). La forma preferida del ensamblaje de las paredes (1.1.1) es en ortoedro o prisma rectangular hueco y con una de sus paredes a modo de compuerta (1.1.3) para abrir y cerrar. Esta compuerta (1.1.3) posee bisagras (1.1.4) y un mecanismo de ajuste de la compuerta (1.1.5) para cerrarla herméticamente.

Externamente, el encerramiento (1.1) posee unas manijas (1.1.6) para fácil portabilidad del usuario y dispuestas en las paredes (1.1.1) laterales; varios prensa estopa (1.1.7) en la pared (1.1.1) superior, unas rodachinas (1.1.8) en la pared (1.1.1) inferior, el conducto de ingreso de la muestra (1.1.9) en una de las paredes (1.1.1) laterales y el conducto de salida de la muestra del encerramiento (1.1.10) en la otra pared (1.1.1) lateral.

Tal como puede verse en las figuras 5 y 14, internamente, el encerramiento (1.1) posee en sus paredes laterales un conjunto de soportes (1.2) que proporcionan sujeción segura a los componentes. Este conjunto de soportes (1.2) está conformado por unos soportes para reservorios de reactivos (1.2.1), unas abrazaderas para reservorios de reactivos (1.2.2), un soporte para nariz electrónica (1.2.3), un soporte para placa electrónica (1.2.4) y un soporte para reservorio del líquido de limpieza química (1.2.5).

Mecanismo de desplazamiento

Tal como se ha mencionado, el mecanismo de desplazamiento tiene dos grados de libertad macros con mecanismo para desplazamiento vertical y mecanismo para desplazamiento horizontal. Esto, con el propósito de que las plataformas que posee el dispositivo de lengua electrónica (1) pueda subir y bajar además de desplazarse horizontalmente. A continuación, se especifican con más detalle los mecanismos.

En las figuras 5, 9 y 15 se pueden apreciar los componentes esenciales del dispositivo (1) de la invención, en especial, se encuentra señalado el conjunto de soportes internos y mecanismos para movimiento (1.3).

Mecanismo de desplazamiento horizontal

La plataforma móvil en eje "x" (1.3.1) está vinculada con una varilla roscada en eje "x" (1.3.1.1) con sus respectivos rodamientos (1.3.1.3) y con un par de varillas lisas en eje "x" (1.3.1.7) mediante unos rodamientos lineales (1.3.1.6). Los finales de carrera de desplazamiento de la plataforma móvil en eje "x" (1.3.1) están definidos por unos topes

soporte (1.3.1.4), cada uno de ellos dispuesto en cada extremo del conjunto de varillas antes mencionado. La varilla roscada en eje “x” (1.3.1.1) presenta un acople para cambio en eje “x” (1.3.1.2) justo en la conexión con el motor para movimientos en el eje “x” (1.3.1.5). Dicho motor para movimientos en el eje “x” (1.3.1.5) hace rotar la varilla roscada en eje “x” (1.3.1.1) para generar el movimiento de desplazamiento, mientras que las varillas lisas en eje “x” (1.3.1.7) proporcionan estabilidad y guía al desplazamiento de la plataforma móvil en eje “x” (1.3.1)

Mecanismo de desplazamiento vertical

La plataforma móvil en eje “y” (1.3.2) está soportada por un par de perfiles estructurales (1.3.2.1) verticales, los cuales están conectados en su extremo superior a unos soportes estructurales (1.3.2.2). Cada perfil estructural (1.3.2.1) unido con cada soporte estructural (1.3.2.2) posee forma de “L” invertida, así que cada “L” invertida está ubicada una frente a otra y en el espacio entre ellas ocurre el desplazamiento vertical de la plataforma móvil en eje “y” (1.3.2). El final de carrera del eje “y” (1.3.2.3) se encuentra justo debajo de cada uno de los soportes estructurales (1.3.2.2).

A los soportes estructurales (1.3.2.2) se encuentran vinculadas verticalmente varillas roscada en eje “y” (1.3.2.5) con sus respectivos rodamientos (1.3.2.3). Cada varilla (1.3.2.5), en su extremo inferior a su vez está conectada a un motor para movimientos en el eje “y” (1.3.2.7) mediante un acople para cambio en eje “y” (1.3.2.6). Una tuerca de cuatro hilos (1.3.2.5) se encuentra asociada a cada varilla roscada en eje “y” (1.3.2.4) para la sujeción y el desplazamiento vertical de la plataforma móvil en eje “y” (1.3.2).

Los motores para movimientos en el eje “y” (1.3.2.7) accionan y mantienen un movimiento vertical de pH-metro (1.9.1) y del conjunto de electrodos (1.9.2) con el fin de ubicar y permitir el posicionamiento de ellos en el o los recipientes deseados.

Mecanismo hidráulico

Para cumplir con el tercer objetivo del subsistema mecánico respecto a lograr dosificar de manera precisa las proporciones de las sustancias y contribuir con la realización eficaz de las funciones de muestreo, limpieza y almacenamiento al interior del dispositivo de lengua electrónica, el mecanismo hidráulico abarca un conjunto de reservorios, recipientes, válvulas, bombas y motores, que se pueden apreciar en una modalidad de la invención en las figuras 5 a 9 y 12 a 16.

Debido a las múltiples sustancias que se manejan simultáneamente dentro del dispositivo de lengua electrónica (1), es necesaria la presencia de este mecanismo hidráulico específico para lograr eficacia en las líneas de conexión reservorio de almacenamiento – electroválvula – bomba – recipiente específico, según cada líquido y aplicación requerida.

En la figura 6 se puede observar la presencia de un conjunto de reservorios para reactivos (1.4) constituido por cinco reservorios que son los siguientes: un reservorio del líquido de almacenamiento de sensores (1.4.1), un reservorio de la solución buffer y electrolito soporte (1.4.2), un reservorio del líquido de limpieza electroquímica de sensores (1.4.3), un reservorio del líquido de limpieza química (1.4.4) y un reservorio de nitrógeno (1.4.5).

El reservorio del líquido de almacenamiento de sensores (1.4.1) es necesario para el almacenamiento de la solución empleada para la protección de los sensores cuando estos no se encuentran en análisis de muestras. La sustancia preferida para el almacenamiento seguro de los sensores es KCl 3 M. Por lo tanto, el reservorio líquido de almacenamiento de sensores (1.5.1) aloja KCl 3 M.

El reservorio de la solución buffer y electrolito soporte (1.4.2) almacena estas sustancias para tener disponible cada vez que se va a realizar la preparación de la muestra previo análisis electroquímico. Tal como se ha mencionado, en modalidades preferibles de la invención, la solución buffer es seleccionada del grupo conformado por

acetato de sodio y amonio-amoníaco. Además, los electrolitos soporte empleados se seleccionan del grupo conformado por cloruro de potasio, acetonitrilo, TBAP (Perclorato de tetrabutylamonio), ácido sulfúrico y ácido nítrico. En modalidades aún más preferidas, el electrolito de cloruro de potasio se encuentra al 0,1 M.

5

El reservorio del líquido de limpieza electroquímica de sensores (1.4.3) almacena la sustancia disponible para limpieza electroquímica. El reservorio del líquido de limpieza química (1.4.4) almacena la sustancia disponible para la limpieza química de los demás recipientes que intervienen en el análisis de muestras. Finalmente, el reservorio de
10 nitrógeno (1.4.5) almacena el nitrógeno gaseoso requerido para el desplazamiento de oxígeno de la muestra en preparación previa al análisis electroquímico.

El conjunto de los reservorios para reactivos (1.4) requiere de un mecanismo de bombeo de los reservorios (1.5) para garantizar el flujo de sustancias químicas y
15 también está asociado a un mecanismo de control de flujo de sustancias (1.6).

En la figura 7, se puede observar que el mecanismo de bombeo de los reservorios (1.5) está conformado por el siguiente conjunto de bombas: una bomba del reservorio del líquido de almacenamiento de sensores (1.5.1), una bomba del reservorio de la
20 solución buffer y electrolito soporte (1.5.2), una bomba del reservorio del líquido de limpieza electroquímica de sensores (1.5.3), una bomba de succión desde el recipiente de medición de pH y bombeo hasta el recipiente de análisis electroquímico (1.5.4), una bomba de succión desde los recipientes 1.7.2, 1.7.3 y 1.7.4 hasta la salida del encerramiento (1.5.5) y una bomba del reservorio del líquido de limpieza química
25 (1.5.6).

En la figura 8 se puede observar que el mecanismo de control de flujo de sustancias (1.6) consiste en el siguiente conjunto de electroválvulas: una electroválvula para control de flujo de KCl desde el reservorio del líquido de almacenamiento de sensores
30 al recipiente de medición de pH (1.6.1), una electroválvula para control de flujo de KCl al recipiente de identificación química (1.6.2), una electroválvula para control entre el

recipiente de análisis de pH y el de análisis electroquímico (1.6.3), una electroválvula para control de flujo entre el recipiente de análisis de pH y la salida del encerramiento (1.6.4), una electroválvula para el control de flujo de salida desde el recipiente para análisis electroquímico (1.6.5), una electroválvula para control de flujo de salida del
5 recipiente de limpieza electroquímica (1.6.6), una electroválvula para control de flujo de salida del recipiente para almacenamiento de sensores (1.6.7), una electroválvula para control de flujo entre el reservorio de limpieza electroquímica y el reservorio de solución buffer y electrolito soporte (1.6.8), una electroválvula para control de flujo entre el reservorio de limpieza electroquímica y el recipiente para el almacenamiento de
10 sensores (1.6.9) y una electroválvula para control entre el reservorio de líquido de limpieza electroquímica y el recipiente para realizar análisis electroquímico (1.6.10).

En las figuras 9, 13 a 15, se observa que el conjunto de recipientes para análisis de muestras (1.7) está conformado por: un recipiente para análisis de pH (1.7.1) el cual
15 posee una tapa (1.7.1.1); un recipiente para análisis electroquímico (1.7.2) el cual posee una tapa (1.7.2.1) y aloja en su interior un agitador magnético (1.7.2.2); un recipiente para limpieza electroquímica (1.7.3) el cual posee una tapa (1.7.3.1); un recipiente para almacenamiento de sensores (1.7.4) el cual posee una tapa (1.7.4.1).

20 El recipiente para análisis de pH (1.7.1) permite recibir la muestra para la identificación de pH, temperatura, limpieza química del pH-metro y almacenamiento final de este último. El recipiente para análisis de pH (1.7.1) es el único dispuesto fuera de la plataforma móvil en eje "x" (1.3.1).

25 El recipiente para análisis electroquímico (1.7.2), el recipiente para limpieza electroquímica (1.7.3) y el recipiente para almacenamiento de sensores (1.7.4), todos ellos se encuentran dispuestos en ese mismo orden consecutivo dentro del dispositivo de lengua electrónica específicamente sobre la plataforma móvil en eje "x" (1.3.1) tal como se observa en la figura 9.

El recipiente para análisis electroquímico (1.7.2) es el recipiente que recibe la muestra a ser analizada. Este recipiente posee varias entradas por tener muchas conexiones: conexión al recipiente del pH, conexión al reservorio de electrolito soporte y solución buffer, conexión al recipiente de limpieza química de solución de etanol y conexión a la línea de nitrógeno gaseoso. En este recipiente ingresa la muestra con su preparación previa, se realiza la agitación, recibe el arreglo de electrodos y en ella se lleva a cabo la voltamperometría.

El recipiente para limpieza electroquímica (1.7.3) cumple la función de recibir los electrodos una vez se termina el análisis de muestra y poder ser sometidos a limpieza para su recuperación superficial.

El recipiente para almacenamiento de sensores (1.7.4) es un recipiente aislado que cumple la función de almacenar los electrodos una vez que han sido completamente limpiados. Dado que el sensor de referencia no puede estar expuesto mucho tiempo a la intemperie, tiene que permanecer almacenado en este recipiente y sumergido en una solución de KCl 3 M. Se independizó el sistema de almacenamiento para poder garantizar el funcionamiento de los electrodos y tener ese almacenamiento libre de cualquier contacto con la muestra para evitar cualquier tipo de contaminación.

Mecanismo de agitación

En la figura 15 se observa la disposición de un mecanismo de agitación, el cual es un agitador magnético (1.7.2.2) en una de las modalidades preferidas de la invención. Este agitador magnético (1.7.2.2) se encuentra dispuesto directamente en el recipiente para análisis electroquímico de sustancias químicas (1.7.2). En modalidades aún más preferibles de la invención, el agitador magnético posee una pequeña cápsula que al ser accionada comienza su movimiento en el fondo de dicho recipiente.

Mecanismo de limpieza mecánica

La limpieza mecánica es la tercera limpieza necesaria a la cual debe ser sometido el conjunto de electrodos (1.9.2). La figura 9 permite observar la disposición de la estación de lijado (1.8) que corresponde al mecanismo de limpieza mecánica preferido en esta modalidad de la invención. Detalles de la configuración de la estación de lijado (1.8) se pueden apreciar en las figuras 10 y 11.

La estación de lijado consiste en un compartimiento a modo de caja abierta en la superficie superior, conformada en su interior por un disco de lijado de material abrasivo con grano semi-grueso (1.8.1), un disco de lijado de material abrasivo con grano fino (1.8.2), discos de material suave para remoción de virutas (1.8.3) y un motor de la estación de lijado (1.8.4) para accionar el conjunto de engranajes que proporcionan transmisión de movimiento a los discos antes mencionados.

Los engranajes son los que presentan en su superficie los materiales abrasivos antedichos que permite el lijado de los electrodos para su limpieza. Este sistema de engranajes permite reducir notablemente el número de elementos motorizados y por ello, con un único motor es posible dinamizar la estación de lijado (1.8) y lograr el objetivo de limpieza mecánica.

Dispositivos de medición

El dispositivo de lengua electrónica (1) está conformado por los siguientes dispositivos de medición (1.9): un pH-metro (1.9.1) y un conjunto de electrodos (1.9.2). En algunas modalidades de la invención se incluye además una nariz electrónica (1.9.3), pero esto depende de los requerimientos de cada industria o campo. Con estos dispositivos, se puede realizar un amplio espectro de medición de parámetros en muestras, lo cual es una característica muy deseable.

En las figuras 13 a 15 se puede observar la disposición de los dispositivos de medición (1.9). En la plataforma móvil en eje “y” (1.3.2) se identifica un soporte para placa electrónica (1.4.4) la cual sostiene la placa electrónica principal que corresponde a la tarjeta electrónica de los electrodos (s.1), la placa electrónica para control de pH-metro

(s.2) y la placa electrónica para control mecánico, hidráulico y de agitación (s.3). Es notable que el conjunto de electrodos (1.9.2) se encuentra conectado directamente a la placa electrónica para control de electrodos (s.1). De otra parte, la placa del pH-metro se encuentra almacenada también sobre la plataforma móvil en eje “y” (1.3.2) y el pH-metro conectado directamente.

Algunas modalidades de la invención pueden incorporar o no una nariz electrónica (1.9.3) con el fin de realizar identificación de sustancias en muestras gaseosas o en la fase gaseosa de una muestra líquida o líquida/oleosa. La presencia o ausencia de la nariz electrónica (1.9.3) dependerá de los requerimientos en cada campo o industria en donde se requieran realizar las detecciones y monitoreos.

En cuanto a la nariz electrónica esta mide ácido sulfhídrico y metano, tiene similitudes a la nariz original desarrollada en una patente cuyo propietario es NUXTU S.A.S, y cuyo protocolo de comunicación es el mismo. Las etapas de inhalación, retención y purga son las mismas.

En las modalidades donde se incluye la nariz electrónica (1.9.3), esta se encuentra colocada independiente respecto de los demás dispositivos de medición antes señalados, dispuesta sobre un soporte para nariz electrónica (1.2.3) en una de las paredes laterales del interior del encerramiento (1.1) y conectada a la caja de bombas para la nariz electrónica (1.9.3.1) tal como se puede observar en la figura 13.

La caja de bombas para la nariz electrónica (1.9.3.1) incluye una bomba de succión (1.9.3.1.1) y una bomba de exhalación (1.9.3.1.2) las cuales cada una posee una electroválvula para gases (1.9.3.1.3) para el control de flujo de entrada y salida de gases. La caja (1.9.3.1) está conectada a la cavidad de la nariz electrónica (1.9.3) y tanto la disposición de la caja de bombas para la nariz electrónica (1.9.3.1) como de la nariz electrónica (1.9.3.1) en sí, se pueden apreciar en las figuras 5 a 9, 13 y 14.

El método de análisis y monitoreo realizado por el dispositivo de lengua electrónica (1) se encuentra descrito en el documento de patente denominado: “*MÉTODO PARA EL ANÁLISIS IN SITU EN TIEMPO REAL Y EL MONITOREO SIMULTÁNEO DE MÚLTIPLES PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS Y ANALITOS PRESENTES EN* MATRICES ACUOSAS U OLEOSAS” perteneciente al mismo propietario.

SUBSISTEMA ELECTRÓNICO Y DE SOFTWARE

El subsistema electrónico está compuesto por los siguientes componentes:

Placas electrónicas

La invención requiere cuatro placas electrónicas que son las siguientes:

-Una placa electrónica para control de electrodos y medición de temperatura (s.1) por medio de la termocupla. Es la encargada de enviar las señales emitidas por el conjunto de electrodos (1.9.2) al microcontrolador (s.5), luego procesarlas, y finalmente enviarlas a la minicomputadora (s.6). A través de esta placa (s.1) se comunica el o los usuarios con el dispositivo de lengua electrónica (1) y se establece la técnica de voltamperometría que se debe ejecutar. Un aspecto relevante de la invención es la implementación de una conexión directa con el conjunto de electrodos (1.9.2), en vez de usar cables eléctricos; de esta manera, se logra la disminución del ruido o interferencia de la respuesta de salida.

La placa electrónica para control de electrodos (s.1) se encarga de hacer la técnica de voltamperometría. Esta técnica está basada en potenciometría y se comunica a través del protocolo I²C o I2C, que define una diferencia de potencial que es el que se le va a poner en el electrodo de trabajo y de referencia y eso genera una corriente hacia el contra electrodo. Se coloca un circuito DAC (“*Digital Analogue Converter*”) (s.13), que es un conversor de señales digitales a análogas, que envía una señal análoga al electrodo, partiendo de un valor de voltaje representado por un valor digital binario y

que es convertido a señal análoga. El circuito DAC (s.13) hace una conversión análoga que se aplica en el electrodo y después a través de contra electrodo se mide la corriente, pero esta se pasa a el amplificador de transimpedancia (s.18) que convierte la corriente en voltaje. Para ilustrarlo, si llega un amperio 1 A, el electrodo de referencia, se convierte a 1 V para poderlo medir más fácilmente a través de un circuito ADC (*"Analogue Digital Converter"*) (s.13), que es un conversor análogo a digital, y enviar ese dato de nuevo a través de I2C. Este esquema se hace igual para cada uno de los electrodos que está en la lengua (ver figura 19).

-Una placa electrónica para control de pH-metro (s.2) para el sensor de pH. Esta placa está encargada de interpretar las señales emitidas por el pH-metro, enviarlas al microcontrolador (s.5), luego procesarlas y finalmente enviarlas a la minicomputadora (s.6).

-Una placa electrónica para control mecánico, hidráulico y de agitación (s.3), con la cual se manejan los componentes que generan los movimientos mecánicos anteriormente descritos, los componentes del sistema hidráulico y del sistema de agitación; este componente electrónico sincroniza las etapas del dispositivo de lengua electrónica (1) de manera que se mantenga el orden y los requerimientos del proceso de medición.

Esta placa (s.3) es la encargada de recibir las señales de la minicomputadora (s.6) y generar las órdenes a través del microcontrolador (s.5) que envía a los diferentes actuadores del mecanismo, de control de flujo de sustancias para realizar las diferentes funciones que requiera el dispositivo de lengua electrónica (1). Tal como se observa en la figura 17, la placa (s.3) está compuesta por un circuito DAC (s.13), un circuito ADC (s.14), puertos USB (s.15), termocupla (s.16), un circuito de comunicación I2C (s.17), un amplificador de transimpedancia (s.18), y un potenciómetro (s.19) (ver figura 19).

-Una placa de la nariz electrónica (s.20) conectada a sensores de ácido sulfhídrico y de metano, para determinar la presencia de estos elementos químicos en las fases gaseosas de las muestras. Esta placa está ubicada dentro de la nariz electrónica

(1.9.3) conectada con sensores de gases para detectar su concentración (ver figura 16).

Las cuatro placas anteriores están conectadas a una minicomputadora (s.6) que controla las señales de entrada y salida de las técnicas de voltamperometría, los tiempos de cada etapa del todo el proceso, las interfaces con el o los usuarios y el almacenamiento de los resultados.

Sensores de posición

Un sensor en un objeto capaz de identificar posiciones espaciales exactas, generando una señal digital. Los sensores de posición (s.4) incorporados en el dispositivo de lengua electrónica (1) tal como se señala en el diagrama de la figura 1, permiten detectar el desplazamiento físico de las estructuras móviles en el eje “x” y en el eje “y”.

Dado que el dispositivo de lengua electrónica (1) posee un conjunto de mecanismos para movimiento (1.3), mediante los sensores de posición (s.4) se detecta y controla el desplazamiento de la plataforma móvil en eje “x” (1.3.1) y el desplazamiento de la plataforma móvil en eje “y” (1.3.2) entre los límites de movimiento o finales de carrera posibles.

Microcontrolador

El microcontrolador (s.5) es un circuito integrado programable, que ejecuta las órdenes grabadas en su memoria que ha sido programada con un lenguaje de bajo nivel. Está compuesto de varios bloques funcionales que cumplen tareas específicas, tales como conversores de señales análogo a digital y viceversa. El microcontrolador (s.5) incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

Minicomputadora

La minicomputadora (s.6) es un ordenador de tamaño inferior al estándar de la industria. Normalmente, incorpora una placa base que tiene distintos componentes de un ordenador como un procesador, un chip gráfico y memoria RAM. Mediante sus
5 puertos y entradas, permite conectar dispositivos periféricos como una pantalla, un teclado e incluso un televisor. Permite la conexión a la red a través del puerto de Ethernet, y algunos modelos permiten conexión Wifi y Bluetooth. Consta de una ranura SD que permite instalar, a través de una tarjeta microSD, sistemas operativos. En una
modalidad de la invención se emplea una minicomputadora Jetson Nano sin ser
10 limitante o restrictivo a otros modelos.

Ethernet/Wi-Fi

Ethernet/Wi-Fi (s.7) son protocolos de comunicación para el intercambio de datos e
15 información en redes de telecomunicaciones con protocolos IP como internet. En la figura 1 se identifica la necesidad de estos protocolos de comunicación dentro del sistema general (S) de la invención.

Gestores de bases de datos

20

Los gestores de bases de datos (s.8) son programas de computación y software diseñadas para el almacenamiento de datos o información de manera organizada y estructurada, guardados electrónicamente en un sistema de computadora física o en la nube (Cloud). Pueden utilizar lenguaje de consulta estructurado (SQL) para escribir y
25 consultar datos, y existen otras NoSQL y distribuidas como Blockchain, por ejemplo. Tal como se observa en la figura 1, el sistema general (S) implica la presencia obligatoria de estos gestores de bases de datos (s.8).

Software de aplicación

30

El software de aplicación (s.9) es la plataforma informática, que registra toda la información de los procesos llevados a cabo por el aparato, los experimentos, muestreo y resultados, así como el control de la calibración de los electrodos. El software de aplicación (s.9) es alojado en una infraestructura de servicios y servidores Cloud (s.10),
5 y es accedido por diferentes dispositivos como computadoras portátiles y de sobre mesa a través de internet y las interfaces de usuario (s.11) que son visualizadas en un navegador Web. Puede generar reportes en diferentes formatos como PDF, archivos de Excel, o archivos con datos separados por comas (CSV).

10 Para el caso particular de la presente invención, el software de aplicación (s.9) desarrollado para el eficaz funcionamiento de la invención, fue creado y es propiedad de la empresa NUXTU S.A.S. Este software está registrado bajo la marca SENSESCUBE® y también está protegido por las leyes vigentes de derecho de autor en Colombia.

Infraestructura de servicios y servidores Cloud

La infraestructura de servicios y servidores Cloud (s.10) o tecnología Cloud Computing, permite a las personas y usuarios a través internet y de diferentes dispositivos y
20 herramientas tecnológicas, acceder de forma remota a hardware, servidores de aplicaciones y servicios, a aplicaciones de software y almacenamiento de información. El sistema general (1) requiere este elemento esencial tal como se observa en la figura 1.

Interfaz con el usuario

25 Las interfaces con el usuario (s.11) son pantallas del software de aplicación, que son presentadas en diferentes dispositivos como: smartphones, computadoras personales y de sobre mesa, o cualquier dispositivo con acceso internet que posea un navegador Web.

Este elemento permite que el usuario, que necesita realizar el monitoreo y control de sustancias químicas presentes en una muestra, pueda visibilizar los resultados a través de los dispositivos indicados, con el fin de realizar reportes, interpretar la información y verificar en tiempo real sistemas acuíferos, procesos industriales, etc., para toma de

5 decisiones.

Circuito de Alimentación de energía del sistema

El circuito de alimentación de energía del sistema (s.12) es el módulo que se encarga de suministrar energía a todos los componentes electrónicos de la invención. Pueden

10 emplearse baterías o adaptadores con suministro de 12 voltios de corriente directa (ver figura 17).

Circuito DAC

El circuito DAC (s.13) es un conversor capaz de transformar la señal digital en analógica (ver figura 17).

15

Circuito ADC

El circuito ADC (s.14) es un conversor capaz de transformar la señal analógica en digital (ver figura 17).

20

Puertos USB

Los puertos USB (s.15) son puertos diseñados para conectar periféricos a una computadora (ver figura 17).

25

Termocupla

30

Una termocupla (s.16) o termopar es un sensor de temperatura resultante de la unión de dos metales. Al aplicar calor o frío en el punto de intersección de ambos extremos metálicos se genera un voltaje (ver figura 17).

5 *Circuito de comunicación I2C*

El circuito de comunicación I2C (s.17) es un puerto y protocolo de comunicación serial para intercambio de información; este define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre dispositivos digitales de la invención (ver figura 17).

10

Amplificador de transimpedancia

El amplificador de transimpedancia (s.18) es un circuito electrónico que se encarga de medir la corriente en los electrodos de la invención y la convierte en voltaje, mediante la combinación de circuitos integrados amplificadores operacionales y resistencias (ver figura 17).

15

Potenciostato

El potenciostato (s.19) es un dispositivo electrónico diseñado para controlar el conjunto de electrodos (1.9.2) y ejecutar la mayoría de los experimentos electro analíticos (ver figura 17).

20

Sensor de ácido sulfhídrico

El sensor de ácido sulfhídrico (s.21) es un dispositivo que mide la concentración del elemento químico H_2S presente en la fase gaseosa de una muestra (ver figura 1).

25

Sensor de metano

30

El sensor de metano (s.22) es un dispositivo que mide la concentración del elemento químico metano presente en la fase gaseosa de una muestra (ver figura 1).

El sistema (S) previamente descrito, posee una jerarquía de control particular. El nivel superior de control es la aplicación del software de aplicación (s.9), que se conecta a la tarjeta de desarrollo o minicomputadora (s.6). Para una modalidad preferida de la invención, se ha escogido como minicomputadora (s.6) una Jetson que es similar a Raspberry, pero con potencial mucho mayor; sin limitar por esto la incorporación de otras versiones de minicomputadoras.

En el siguiente nivel, la tarjeta de desarrollo o minicomputadora (s.6) se encarga de controlar los periféricos y todos los componentes del dispositivo lengua electrónica (1). Utiliza dos protocolos de comunicación para interactuar con las cuatro placas de la lengua electrónica: la placa para control de electrodos y medición de T (s.1), la placa de la nariz electrónica (s.20), la placa para control de pH-metro (s.2) y la placa electrónica para control mecánico, hidráulico y de agitación (s.3). El protocolo de comunicación es I²C el cual es viable y emplea pocos cables.

La placa electrónica para control mecánico, hidráulico y de agitación (s.3) que es de control de bajo nivel, gobierna sobre los motores, bombas, electroválvulas, finales de carrera, y demás periféricos de la invención; posee un microcontrolador (s.5) preferiblemente un ATMEGA 2560 o controlador de Arduino, sin ser una limitante, y se encarga de intercambiar las señales para: leer los finales de carrera, accionar los drivers que controlan los motores, accionar las bombas, las electroválvulas y cualquier otro periférico, circuito o hardware, que esté conectado al dispositivo de lengua electrónica pero por medio de comandos seriales de la minicomputadora (s.6).

En una modalidad de la invención, el lenguaje de programación que se emplea en comunicación es código G, que es un lenguaje universal para impresoras 3D porque el sistema de movimiento está basado en una máquina CNC que es como las impresoras 3D, sin ser restrictivo a esa tecnología.

Al tener más actuadores que motores, se utiliza un código G especializado que viene de un robot denominado Farmbot, el cual es un robot CNC, pero la diferencia es que dicho robot tiene muchos actuadores y a través de su código abierto, permite controlar todos los actuadores con comandos seriales. Entonces, el código está inspirado en este código robot que es de código abierto. La alimentación de todo el sistema es de 12 V.

Ingeniería de software

Tal como se ha mencionado previamente, la invención cuenta un software de aplicación (s.9), que es una aplicación de software de control, monitoreo y gestión, al que se puede acceder desde cualquier parte del mundo mediante interfaces de usuario (s.11), y al que se conecta a través de internet a una Infraestructura de servicios y servidores Cloud (s.10), y en donde la información es almacenada en gestores de bases de datos (s.8) que la guardan en la nube.

Con el software de aplicación (s.9) se controlan todos los elementos que forman parte del dispositivo de lengua electrónica (1) que estén ubicados en diferentes puntos desde la misma plataforma o sistema, gracias a la interacción de todos los elementos de hardware y software.

El software (s.9) desarrollado en su nueva versión, tiene la facilidad de que está alojado en la nube, y se accede mediante un navegador web de algún dispositivo. A la fecha, se está usando Amazon Web Services, para todos los servicios cloud, y la información puede ser almacenada en bases de datos SQL y NoSQL, o distribuidas, de Infraestructura de servidores Cloud, o en servidores físicos, sin ser restrictivo a estas características de implementación.

Dependiendo del cliente que los esté utilizando, se accede a la información con unas credenciales que le suministra la empresa propietaria NUXTU S.A.S y puede ver la información recolectada en tiempo real y adicional, controlar algunos de los dispositivos

de NUXTU S.A.S. Para ello tiene que haber una conexión a internet, el dispositivo de lengua electrónica (1) debe estar en un lugar donde haya conexión a internet y la persona que desea interactuar también poseer una conexión a internet. Si la persona está cerca del dispositivo de lengua electrónica (1), este último posee su propia red wifi que le permite a cualquier persona que se encuentre a una distancia de aproximadamente 20 metros a la redonda conectarse a través de un smartphone, una tableta, o un computador, y así controlar el software y el lanzamiento de experimentos.

El funcionamiento de los algoritmos consta de tres etapas principales: -una fase de entrenamiento, -una fase de optimización y -una fase de producción.

Fase de entrenamiento. Para ilustrarlo se plantea la situación hipotética de entrenar el algoritmo para la identificación del catión magnesio. Para ello se realiza el muestreo y se somete a análisis mediante la tecnología convencional para la caracterización de magnesio que es la espectrofotometría de absorción atómica AAC y posteriormente, la muestra se somete a análisis mediante el dispositivo de lengua electrónica (1) de la invención.

Del análisis mediante espectrofotometría de absorción atómica se obtiene un valor de concentración de magnesio que posee esa muestra (ejemplo, 37 ppm) y con el dispositivo de lengua electrónica (1) se obtienen varias señales básicamente corrientes y voltajes que se relacionan con la muestra. Así las cosas, se realiza la recolección de gran cantidad de información.

Para realizar un entrenamiento óptimo del algoritmo, se necesitan como mínimo cien muestras y entre más muestras se sometan a estudio, mucho más preciso será el algoritmo que se esté generando. Y ese número varía dependiendo de la complejidad del parámetro que se requiere entrenar. Entonces se va realizando la recolección de la información, se repite el número de veces que sea necesario según la complejidad del parámetro y pasan a entrenamiento del modelo. Los pasos principales son:

1. Adquirir la información;
2. Preprocesamiento de la información en donde se elimina ruido de las señales, identificar los picos más característicos y extraer más información de las señales que estamos generando;
- 5 3. Entrenamiento en donde se utilizan diferentes tipos de algoritmos de machine learning, dependiendo del problema que estén tratando. Hay un sinnúmero de posibilidades. Para ilustrarlo, en el entrenamiento de un algoritmo para detección del metal pesado cromo, se identifica que para obtener mejor resultado se usa redes neuronales convencionales, pero para identificar aniones sulfatos o cloruros
10 se puede utilizar otras redes neuronales LSTM u otro tipo de modelos diferentes. En esto se presenta una gran variedad de posibilidades y lo que se lleva a cabo es correr algoritmos iterativos que prueban una gran cantidad de arquitecturas y de algoritmos basados en métricas de errores, hasta decidir cuál es el mejor. Una vez que eligen un algoritmo, empiezan a optimizarlo y todos los algoritmos tienen una
15 cantidad de parámetros que se pueden variar hasta que lleguen al mejor modelo posible.

Por ejemplo, se tienen cuatro imágenes de las señales obtenidas con el dispositivo de lengua electrónica (1) con respuesta a electrodo de oro, respuesta a electrodo de
20 platino, respuesta a electrodo de antimonio y respuesta a carbono vítreo para muestra de cromo. Pasan estas señales al preprocesamiento, luego pasan toda esta información numérica a los algoritmos, se genera el entrenamiento y una vez se tenga el entrenamiento lo optimizan y el modelo ya está listo para operar en producción, lo cual significa que el modelo está listo para que quede cargado en el
25 software de aplicación (s.9) y se lleve a cabo.

Hay dos etapas importantes por diferenciar; una es que el dispositivo de lengua electrónica (1) puede que esté listo y funcione completamente, pero si es llevado a campo o plantas industriales sin ningún tipo de entrenamiento, no se pueden obtener
30 los valores esperados con la precisión necesaria. Todo este proceso de entrenamiento

debe llevarse a cabo previamente para que funcione como se desea, y se pueda obtener esas concentraciones reales.

Una vez que se ha llevado a cabo el entrenamiento, se pasa a la etapa de producción donde se realiza la instalación de la tecnología del propietario de la invención, en el lugar donde se necesita realizar la medición. El software de aplicación (s.9) ya tiene cargado el modelo que han entrenado previamente.

Se toma la muestra, se pasa por el software de aplicación (s.9), se obtiene la señal, la señal pasa al modelo y el modelo genera la concentración del parámetro deseado y con esto, no se requiere emplear la absorción atómica, la cual es una técnica complicada que debe llevarse a cabo en laboratorio y no se puede ejecutar en campo.

Una vez se tenga el entrenamiento bien optimizado, se pueden hacer las caracterizaciones en campo en poco tiempo, de 2 a 20 minutos, que es lo que tarda el dispositivo de lengua electrónica (1) en desarrollar un proceso completo de caracterización utilizando las cuatro técnicas voltamperométricas.

Panel de calibración

El software de aplicación (s.9), es capaz de detectar cuando los sensores se descalibran o cuando están muy sucios generando dos tipos de respuestas. Primero, hay una calibración numérica que se realiza a las señales, entonces se procura realizar el ajuste de las señales de manera matemática. Para ello se posee una muestra blanco o patrón que se corre inicialmente antes de hacer cualquier experimento para observar qué tan desviado se encuentra el dispositivo de lengua electrónica (1) con respecto a su punto base. Y también, cuando la desviación del dispositivo (1) es muy alta, se da la orden de que se realice la limpieza mecánica.

No siempre, después de un experimento, se lleva a cabo la limpieza mecánica; solo se realiza cuando los electrodos están realmente muy sucios. Normalmente con solo la

limpieza electroquímica es suficiente pero el software de aplicación (s.9) es capaz de identificar ese tipo de eventualidades y mostrarlas al usuario para que se pase a una toma de decisiones al respecto.

- 5 Por lo anterior, se cuenta con un sistema de alertas según diferentes eventos. Se cuenta con alertas cuando el nivel de los líquidos está bajo en el conjunto de recipientes (1.7), alerta cuando alguno de los sensores no está funcionando bien, alertas cuando hay algún problema eléctrico, cuando se detecta un problema entre la comunicación de los sensores y el software de aplicación (s.9). Todo ello es posible
- 10 visualizar en el software de aplicación (s.9) a través del sistema de alertas que tiene incorporado.

Diseño general Arquitectura

- 15 La arquitectura de la plataforma de software de aplicación (s.9) se basa en las librerías de Django 3, Django Channels y ROS. Para lograr todas las funcionalidades, el software de aplicación (s.9) hace uso de los siguientes elementos adicionales: motor de bases de datos en memoria (por ejemplo, Redis), motor de base de datos SQL (por ejemplo, MySQL Server Community), sistema meta operativo para robot (por ejemplo:
- 20 ROS Melodic Morenia), lenguaje dinámico de programación (por ejemplo, Python 3.6), SMBus connector, Infraestructura de servicios y servidores Cloud.

- La plataforma del software utiliza la minicomputadora (s.6); en una modalidad puede emplear un dispositivo Nvidia Jetson (AGX, NX Xavier) para ejecutar todo el software y
- 25 a través de los pines GPIO se comunica con el hardware que está encargado de controlar. Para acceder al programa se puede utilizar cualquier dispositivo conectado a la misma red a través de un navegador web.

Ventana de estado

La ventana de estado de la plataforma de software de aplicación (s.9) permite monitorear y ver los diferentes dispositivos conectados al sistema, así como cambiar las configuraciones de cada uno. En ella se muestra una tarjeta por cada dispositivo encontrado en el bus I²C, entre lenguas potenciométricas, lenguas voltamperométricas y sensores de pH. En cada una de las tarjetas es posible acceder a la configuración al hacer clic sobre ellas, lo que permite editar los valores de nombre de electrodos, número de serie de electrodos y constantes de corriente. Además de estas configuraciones, también es posible visualizar información detallada en cada dispositivo y realizar control manual si se trata de una lengua voltamperométrica. Los datos adquiridos a través del nodo I²C van a la interfaz gráfica y a la base de datos MySQL, donde se crea un esquema por cada dispositivo encontrado para guardar las configuraciones.

Ventana de experimentos

La ventana de experimentos permite crear plantillas personalizadas para la adquisición de datos en el software de aplicación (s.9). En esta vista es posible seleccionar el tipo de voltamperometría que se desea utilizar y configurar cada uno de los parámetros que describen la curva de voltaje.

Ventana de calibraciones

La ventana de calibraciones permite realizar mediciones patrón para corregir la salida de los equipos a medida que su respuesta se va modificando con el tiempo. Cada tipo de dispositivo tiene un protocolo de calibración diferente, sin embargo, en esta sección solo se mostrará la calibración más general (lengua voltamperométrica). En la ventana que muestra el resumen de calibraciones, se pueden acceder a todas las calibraciones de un dispositivo en específico, así como a los coeficientes calculados a partir de esas. El usuario debe seleccionar un experimento base para calibrar, por lo que esta información también se muestra en la interfaz (s.11).

Una vez que se inicia la calibración, el software de aplicación (s.9) muestra la interfaz correspondiente; esta permite iniciar el experimento, muestra el estado actual del experimento y detecta los picos de corriente de forma automática. Estos picos son después utilizados para realizar la calibración con respecto al comportamiento original del dispositivo.

Ventana de adquirir datos

La ventana de adquirir datos reporta la información que se recibe del dispositivo lengua electrónica (1) mientras se ejecuta un experimento. Esta ventana es independiente para cada dispositivo, ya que es posible realizar varias adquisiciones de datos en paralelo, y permite visualizar el estado actual del experimento, los parámetros con los que se está ejecutando y las gráficas de datos provenientes de la lengua electrónica. Entre estos gráficos se encuentran: corriente vs voltaje de referencia, voltaje de referencia vs tiempo y corriente vs tiempo. El software de aplicación (s.9) crea una gráfica para cada ciclo, por lo que se puede visualizar la repetibilidad fácilmente.

Ventana de exportar datos

Después de que los datos han sido adquiridos, el usuario puede visualizarlos y exportarlos en una pantalla de la aplicación. Al ingresar, el usuario encontrará una lista de todas las adquisiciones realizadas, y podrá exportar cada una de manera independiente o en conjunto. Al entrar en una adquisición en específico, el software de aplicación (s.9) mostrará las gráficas de los datos, así como los meta-datos para dicha adquisición.

Estos datos ya se encuentran almacenados en la base de datos para cuando llegan a esta etapa, por lo que el flujo de datos es más simple que en los casos anteriores. El software de aplicación genera archivos para exportar en formato estándar CSV.

Modelos de aprendizaje

Los modelos de machine learning, tienen como objetivo transformar las señales de la lengua electrónica en concentraciones puntuales del parámetro de interés, para entrenar los modelos es necesario contar con una cantidad significativa de muestras, caracterizadas mediante las técnicas convencionales de química analítica. Por ejemplo, si se quiere entrenar un modelo para la cuantificación de un metal pesado como mercurio en agua, es necesario tener una buena cantidad de muestras de agua con concentraciones de mercurio conocidas y significativamente diferentes. La cantidad de muestras depende de dos factores principalmente, la precisión que se quiere tener y el rango de entrenamiento. Las muestras son analizadas mediante técnicas voltamperométricas o potenciométricas con la lengua electrónica, para cada uno de los electrodos se obtiene una señal de voltaje vs corriente, que contiene información que permite identificar los contaminantes en las muestras y sus concentraciones.

15 *Pre-procesamiento de datos*

Después de analizar varias muestras, se hace el pre-procesamiento de los datos, dónde se elimina el ruido utilizando medias móviles, se hacen interpolaciones de datos para que todas las señales queden con exactamente la misma cantidad de datos, posteriormente se hace una normalización para que toda la señal quede en valores entre 0 y 1 y así disminuir el poder computacional necesario para el entrenamiento. Todo este pre-procesamiento en una modalidad de la invención se hace en algún lenguaje de programación orientado a objetos como por ejemplo Python, utilizando Pandas, Scikit-learn, y Numpy. Una vez se hace el pre-procesamiento de todas las señales se pasa al entrenamiento de los algoritmos.

Entrenamiento de los modelos

El primer paso es dividir los datos en un set de entrenamiento y un set de validación o prueba, por lo general el set de entrenamiento corresponde al 70% de los datos disponibles, seleccionados de manera aleatoria. Todos los algoritmos son diferentes,

pero el proceso de entrenamiento es el mismo. Mediante un proceso iterativo, se evalúan diferentes arquitecturas de redes neuronales que incluyen capas convolucionales en 1 dimensión, y capas densas (o completamente conectadas), capas de pooling, dropout y de flattening. La evaluación de cada uno de los algoritmos creados se hace mediante el error medio absoluto (MAE) del set de entrenamiento y el set de validación:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|$$

Optimización

Una vez se seleccionan las arquitecturas que mejor desempeño tienen para cada problema se hace una optimización de los hiperparámetros de la arquitectura, variando levemente parámetros como el número de neuronas en las capas neuronales, el número de filtros en las capas de convolución y evaluando diferentes algoritmos de optimización con el objetivo de disminuir el error de los modelos.

Producción

Una vez se alcanza el punto óptimo se carga el modelo al software de aplicación (s.9), y queda listo para hacer predicciones en tiempo real. Durante esta etapa se evalúa el desempeño de los algoritmos en sus aplicaciones reales, si el algoritmo no tiene el desempeño esperado, se vuelve a la etapa de entrenamiento para corregir los problemas.

MÉTODO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA GENERAL

Como ya se ha mencionado, el dispositivo de lengua electrónica (1) está enfocado al análisis químico de sustancias. El método de funcionamiento de este dispositivo (1) consiste en un proceso secuencial que inicia desde el momento en que se captura la

sustancia a analizar hasta su disposición final. No obstante, dicho dispositivo de lengua electrónica (1) a su vez es parte de un sistema (S) requerido para que un usuario pueda acceder a los datos en tiempo real. En este sentido, el sistema (S) para el análisis y el monitoreo in situ, en tiempo real y multiparamétrico también implica un proceso secuencial que, además de abarcar el método de funcionamiento del dispositivo (1) con su tratamiento de muestras y técnicas de limpieza y almacenamiento, también implica otras etapas para el procesamiento de datos y presentación de estos al usuario final.

A continuación, se realiza una descripción completa y detallada del método de funcionamiento del dispositivo de lengua electrónica.

El fundamento sobre el cual reposa la invención es la electroquímica. Las reacciones redox o de oxidoreducción se aprovechan para hacer una lectura de cada uno de los analitos que se requieren medir y que se encuentran dentro de una muestra específica.

Voltamperometría

La voltamperometría es una técnica electroquímica en la cual se identifican tres agentes muy importantes para lograr la medición: el electrodo de trabajo, el contra electrodo y el electrodo de referencia. El conjunto de electrodos (1.9.2) genera una aplicación de voltaje que provoca la oxidación y reducción de un analito y a su vez la consecuente generación de una corriente eléctrica o señal, cuya magnitud es proporcional a la concentración del analito medido.

Para ilustrarlo, se puede considerar una muestra con analito plomo cuya presencia es común en aguas. Se realiza la medición con electrodo de Ag/AgCl como electrodo de referencia, platino como electrodo auxiliar, y antimonio, oro, platino y bismuto, como electrodos de trabajo.

Al aplicar un barrido de voltaje en el electrodo de referencia y en el electrodo de trabajo, se logra la deposición del analito plomo en la superficie del electrodo de trabajo. En el ámbito de reacciones redox es conocido que ocurre una etapa de reducción y otra de oxidación. En este caso, se realiza un barrido de voltaje (eje X) donde se tiene el potencial del electrodo de trabajo vs el electrodo de referencia (AgCl), se tiene ese barrido de potencial y una primera etapa, pues el plomo o cualquiera de los analitos entra en un proceso de reducción (pasó de estado de oxidación +2 a 0) pero cuando se realiza el barrido de voltaje, pasa de reducción a oxidación provocando la generación de una corriente eléctrica dentro del experimento. La reacción genera esta corriente y su magnitud es medida en el contra electrodo. La medición de la magnitud de la corriente generada se puede correlacionar con la medida de concentración de los analitos que es el parámetro de interés.

En la figura 18 se presenta un diagrama del circuito general de una celda voltamperométrica. Teniendo en cuenta lo anterior, se sabe que el $V_{ref} = +0,197\text{ V}$ y suponiendo que $V_1 = 0,5\text{ V}$, la interfaz de la solución va a estar $0,697\text{ V}$ por encima del electrodo de trabajo. Desde el punto de vista del electrodo de trabajo, este electrodo se encuentra $-0,697\text{ V}$ comparado con la solución o $-0,5\text{ V}$ comparado con el electrodo de referencia, por lo cual el programa o software SENSESCUBE mostrará que el voltaje aplicado es de $-0,5\text{ V}$, es decir siempre se hace con respecto al electrodo de referencia.

Considerando lo anterior, entre el electrodo de referencia y el electrodo de trabajo se realiza la medición de la diferencia de potencial, teniendo en cuenta que el electrodo de referencia actúa como el ánodo y el electrodo de trabajo es el cátodo, siendo así la diferencia de potencial va a estar dado por:

$$E_{celda} = E_{cátodo} - E_{ánodo} \rightarrow E_{WE} - E_{RE}$$

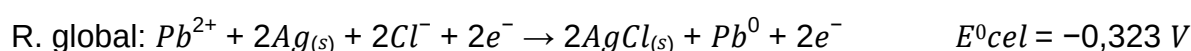
Para realizar el análisis del potencial criterio del analito a medir, por ejemplo, plomo, es importante tener en cuenta, que los potenciales de reducción estándar son magnitudes

a una temperatura y presión específicas ($T = 25^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$), por lo que el potencial de pico puede aparecer en un voltaje mayor o menor, pero no considerablemente diferente.

- 5 El análisis electroquímico se debe hacer teniendo en cuenta el electrodo de referencia (Ag/AgCl) y el analito a medir, en este caso plomo. Siendo así:



10 + _____



Los potenciales pico de los analitos no solo dependen del electrodo de referencia y de las condiciones ambientales del experimento como temperatura y presión, siendo esta
15 última en menor proporción de afectación, también se ve altamente influenciado por el pH, la elección del electrolito soporte, la solución buffer y la matriz a monitorear. Es por ello que cuando se realiza la investigación pertinente sobre el potencial pico del plomo el rango puede variar entre -0,3 a -0,7 V.

20 En el software de aplicación de la invención, se observa una gráfica en donde el barrido se hace dependiendo de la elección del usuario y en ese barrido van a aparecer picos o patrones de los cuales correlacionan la corriente con la concentración de analitos.

Potenciometría

25 A diferencia de la técnica de voltamperometría, la potenciometría tiene como variable respuesta la diferencia de potencial de una celda electroquímica sin paso de corriente apreciable. La medición de la diferencia de potencial se realiza entre dos electrodos inmersos en la solución, denominados: electrodo indicador y electrodo de referencia.
30 Esa diferencia es proporcional a la actividad o concentración del analito a detectar.

$$E_{celda} = E_{in} - E_{re} + E_j \text{ (Potencial del puente salino KCl)}$$

Medición pH

El parámetro de pH es necesario medir en todas las muestras. Es el primer parámetro de todas las caracterizaciones químicas y es importante para saber en qué estado está la matriz. Es un método rápido, sencillo y no invasivo con la muestra porque no agrega ningún tipo de analito o solvente a la misma.

La medición de pH se realiza con un electrodo de vidrio el cual se utiliza para medir la actividad de los iones hidronio. El electrodo de pH de vidrio combinado, tiene incorporado el electrodo indicador y el electrodo de referencia en un mismo capilar.

Lo más importante de la estructura del electrodo de pH es la membrana, la cual es una fina capa de vidrio de aproximadamente 50 micras con una dilución interna de HCl de 0,1 M, la cual tiene una concentración fija de iones hidronio y una dilución externa cuya actividad de iones hidronio es desconocida. Adicional a lo anterior, el electrodo posee un puente salino, el cual cierra el circuito y genera el flujo de electrones, y es por ello que se tienen en cuenta en la ecuación de la celda electroquímica. La membrana de vidrio normalmente está hecha de SiO₂, donde deja radicales O⁻ libres para que el H⁺ pueda estabilizar las cargas y generar un potencial y así relacionar dicha diferencia de potencial entre el indicador y el de referencia y extrapolarlo en la medición de pH.

Medición de otros parámetros

La medición de otros parámetros se realiza de manera similar a la medición de pH con electrodos de ion selectivo, donde se requiere que la membrana de dichos electrodos sea selectiva (permeable) a los iones que se desean analizar.

A lo largo de la membrana se establece un equilibrio de tal forma que el potencial electroquímico de la disolución interna iguale al potencial electroquímico de la

disolución externa. El potencial electroquímico está directamente relacionado con la actividad de las disoluciones por lo cual existe una diferencia de potencial químico entre la parte interna y externa. Este potencial no se puede medir directamente, entonces se necesita incluir un electrodo de referencia y medir la diferencia entre el
5 indicador y el de referencia.

En la invención, las técnicas implementadas son: la voltamperometría de redisolución anódica y catódica, la voltamperometría escalonada, la voltamperometría cíclica, la voltamperometría onda cuadrada, la voltamperometría de pulso diferencial, la voltamperometría amplitud de pulso, la amperometría de pulso y la potenciometría
10 directa e indirecta. A continuación, se detallan características de cada técnica:

Voltamperometría de disolución anódica y catódica

La voltamperometría de redisolución se realiza en tres etapas: pre-concentración,
15 reposo y redisolución. En la etapa de pre-concentración, se debe garantizar un diferencial de potencial en donde los analitos se encuentren en reducción, es decir, ganando electrones y se encuentren en su estado de oxidación 0.

Por el contrario, en la etapa de redisolución se debe garantizar un barrido de potencial
20 que sobrepase el potencial de reducción con el fin de que se oxide el analito. En la etapa de pre-concentración es necesario aplicar un potencial de entre 200 mV y 600 mV más negativo que el potencial de reducción estándar del metal, teniendo en cuenta los electrodos de referencia escogidos.

25 La duración del paso de deposición está determinada por la concentración de analito. Debería ser más larga para analitos de concentración más baja. Generalmente, el tiempo de deposición está entre 1 y 30 minutos. La solución que contiene el analito se agita durante este paso para asegurar un transporte más rápido y reproducible al electrodo. Durante el tiempo de reposo, el potencial todavía se aplica, pero la agitación
30 se detiene en un intervalo durante 30 a 60 segundos antes del análisis. En cuanto al

paso de redisolución, es preferible hacer el barrido desde el potencial de reposo hasta un potencial positivo de aproximadamente 200 mV.

La diferencia entre una redisolución anódica una catódica es la dirección del barrido de potencial. En la anódica el barrido es positivo, es decir que va desde el menor potencial al potencial más positivo, mientras que en la catódica el barrido es negativo, de mayor a menor potencial.

Voltamperometría escalonada

En la voltamperometría escalonada, barre el potencial de manera escalonada. Esta técnica mide la corriente generada en todo el barrido de potencial, por lo cual, la respuesta generada llega a consistir en picos con altas y bajas de corriente muy demarcadas. Lo ideal de esta técnica es evaluar la corriente vs el tiempo, más no la corriente vs el potencial como en las técnicas de redisolución.

Voltamperometría cíclica

En la voltamperometría cíclica, se busca realizar un barrido positivo y un barrido negativo en una misma técnica. Es por lo anterior que el barrido del potencial se tiene que hacer de manera triangular, para que se pueda cerrar el ciclo de voltaje lo mejor posible.

Esta técnica es una excelente herramienta para evaluar la limpieza superficial de los electrodos, dado que el patrón cíclico tiene una forma característica donde está el pico catódico y el pico anódico, dependiendo de la matriz que se está midiendo o calibrando.

Si dentro de la solución se encuentra más de un pico característica, eso significaría que los electrodos presentan un envenenamiento y tienen trazas o contaminantes

electrodepositados. Siendo así, se genera una alerta de limpieza y se procede a realizar una limpieza mecánica de los electrodos de trabajo.

Voltamperometría de onda cuadrada

5

En la voltamperometría de onda cuadrada, se tiene un barrido en forma de onda, el cual tiene como parámetros de entrada el paso inicial (E), la amplitud de la onda cuadrada, la frecuencia de las ondas y el tiempo del impulso. Esta técnica tiene límites de detección alrededor de los pM (picomolar) en concentración, dado que lo que mide es la diferencia de corriente entre un lapso de tiempo en milisegundos finalizando el impulso (Forward sample) y comenzando el siguiente impulso (Reverse sample), generando así un pico mucho más definido que las anteriores técnicas descritas.

Esta técnica se combina con la voltamperometría de redisolución, en donde en vez de hacer un barrido lineal, se realiza el barrido de manera de onda, acoplando las ventajas de la pre-concentración y el reposo de la redisolución y la precisión de detección de la onda cuadrada.

Voltamperometría de pulso diferencial

20

En la voltamperometría de pulso diferencial, a diferencia de la voltamperometría de onda cuadrada, el barrido de pulso diferencial no baja el impulso completamente, si no tiene un incremento de potencial. La ventaja de esta técnica, es que el barrido se realiza más rápido que el de onda cuadrada dado que el incremento de potencial ayuda a llegar al potencial final en poco tiempo. Al igual que la voltamperometría de onda cuadrada, se hace una diferencia de corriente entre el pulso inicial y final, donde se muestra T' y T, generando así un pico mucho más definido que las anteriores técnicas descritas.

Esta voltamperometría se combina con la voltamperometría de redisolución, en donde en vez de hacer un barrido lineal, se realiza el barrido de manera de onda, acoplando

las ventajas de la pre-concentración y el reposo de la redisolución y la precisión de detección del pulso diferencial.

Voltamperometría de amplitud de pulso

5

En la voltamperometría amplitud de pulso, se barre de manera positiva y de manera negativa con pulsos normales de voltaje. A diferencia de las otras técnicas y similar a la voltamperometría escalonada, la amplitud de pulsos busca generar un perfil de corriente vs tiempo para entender cómo los impulsos de esta variable cambian según la

10 concentración del analito.

En la amperometría de pulso, el electrodo de trabajo se coloca primero en un potencial de oxidación (A) durante un tiempo establecido de oxidación para oxidar las especies adsorbidas en la superficie del electrodo. Luego el potencial cambiar a un potencial de

15 reducción (B) durante un tiempo establecido de reducción para reducir las especies oxidadas con el fin de eliminar todas las trazas y regenerar la superficie del electrodo de trabajo. Por último, se aplica el potencial óptimo de detección del analito de interés a un tiempo establecido de detección (C) para monitorear el parámetro. El ciclo se repite varias veces durante el tiempo de análisis requerido.

20

Potenciometría directa e indirecta

La potenciometría directa es aquella que no necesita de un valorante (agente externo) para hacer la medición del parámetro. Es decir, como el pH o los electrodos de ISE los

25 cuales simplemente necesitan ser sumergidos en la solución y generan el diferencial de potencial explicado en la sección anterior.

Por el contrario, en la potenciometría indirecta, se relaciona un valorante con la variación potenciométrica del experimento. Es muy similar a una titulación, pero lo que

30 cambia es que la variable respuesta del sistema es la variación del potencial, más no la variación en volumen como en un método de titulación.

Método de funcionamiento del dispositivo

En el caso del método de funcionamiento del dispositivo (1), todo comienza con la captación o recolección de la muestra a ser analizada. Con base en esta muestra, se establecen parámetros dependientes, las proporciones de los reactivos, los ciclos de limpieza, el tiempo de muestreo y otros factores del método.

Lo siguiente es el control de las condiciones básicas de la muestra, en donde se recolectan datos iniciales de pH y temperatura. Estos parámetros se toman para el control y seguridad de la integridad de los componentes que están en contacto con la sustancia.

Avanzando en el proceso, se inicia la etapa de muestreo, en esta fase se pueden presentar variaciones en la técnica de voltamperometría que se implementa según las características de la muestra que ingresa al dispositivo (1).

El dispositivo de lengua electrónica (1) con técnica de voltamperometría permite tener la posibilidad de análisis de un amplio espectro de analitos, como son los metales pesados en agua, cationes, aniones, analitos fisicoquímicos en agua e incluso fisicoquímicos en aceite. Para lograr la identificación y el análisis de estas sustancias, el dispositivo puede implementar la voltamperometría de redisolución (anódica, catódica), escalonada, cíclica y redisolución de amplitud de pulso diferencial.

Cada una de las variaciones de la voltamperometría está orientada a un rango de muestras y tienen unas etapas específicas que las hacen diferenciarse entre sí durante el proceso de experimentación. Para metales pesado las técnicas que aplica el dispositivo son la de redisolución anódica y catódica, esta técnica consiste en la pre-concentración de los analitos mediante la reducción química, para que se depositen en los electrodos de trabajo. A los cuales luego se les aplica un potencial eléctrico positivo, este estímulo se aplica en rangos y a una tasa específicos que dependen de la

muestra, con el objetivo de provocar la oxidación de los metales y que se reincorporen a la disolución.

Por otra parte, para el muestreo de cationes, aniones y otros analitos fisicoquímicos como cloruros, sulfatos o metales livianos se implementa la voltamperometría escalonada o redisolución de amplitud de pulso. La voltamperometría de redisolución con amplitud de pulso es una técnica que optimiza la electrodeposición del analito en el electrodo de trabajo cambiando los parámetros del tiempo de pre-concentración, como su nombre lo indica, la amplitud del pulso aplicado, la velocidad de barrido y el tamaño del pulso, tal como fue especificado previamente.

De otra parte, en las matrices oleosas se implementa la voltamperometría cíclica, sin embargo, el dispositivo también puede implementar para este tipo de análisis en aceites la voltamperometría de amplitud de pulso. La técnica cíclica expone al electrodo de trabajo a un barrido de potencial triangular; es decir, un potencial en sentido directo y luego en sentido inverso. La aplicación de este potencial genera una oxidación, donde existe una relación entre la corriente de oxidación y el potencial de entrada.

Luego de la aplicación de la técnica, el dispositivo almacena y presenta la variable de respuesta del experimento por medio del software de aplicación SENSESCUBE. Según cada técnica empleada, se espera una respuesta característica.

MÉTODO DEL SUBSISTEMA ELECTRÓNICO

De acuerdo con la figura 20, el método llevado a cabo en el sistema (S) comprende las siguientes etapas:

MS1) El usuario conecta los dispositivos a la minicomputadora

MS2) Verifica si el dispositivo es una lengua potenciométrica, si no lo es pasa a

MS3, si lo es pasa a MS4

MS3) Revisa otros tipos de dispositivos

MS4) Verifica si el usuario quiere calibrar, si lo desea pasa MS5, de lo contrario
pasa a MS19

MS5) Adquiere puntos de calibración en voltaje

MS6) Almacena datos en el gestor de BD especificado

MS7) Finaliza la calibración

MS8) Verifica si el dispositivo es una lengua voltamperométrica

MS9) Verifica si el usuario quiere calibrar, en caso que no pasa a MS25, en caso
que sí pasa a MS10

MS10) Adquiere picos de calibración en corriente

MS11) Almacena datos en el gestor de BD especificado

MS12) Calibración terminada

MS13) Verifica si el dispositivo es sensor de pH

MS14) Verifica si el usuario quiere calibrar, en caso que sí lo desee pasa a M16,
en caso que no pasa a MS15

MS15) Adquisición imposible, fin

MS16) Adquiere puntos de calibración de pH vs voltaje

MS17) Almacena datos en el gestor de BD especificado

MS18) Calibración terminada

MS19) Verifica si el usuario quiere adquirir datos, si no pasa a MS20, si lo desea
pasa a MS22

MS20) Almacena datos en el gestor de BD especificado

MS21) El usuario puede descargar archivo CSV con los datos adquiridos

MS22) Se adquiere el voltaje en cada electrodo durante el tiempo solicitado. Se
almacena metadatos y variables de experimento

MS23) Almacena datos en el gestor de BD especificado

MS24) Los datos quedan almacenados

MS25) Verifica si el usuario quiere adquirir datos

MS26) Se genera el voltaje especificado por el experimento y se adquiere la
corriente en cada electrodo. Se almacenen variables y metadatos del
experimento

MS27) Almacena datos en el gestor de BD especificado

MS28) Los datos quedan almacenados

En la etapa MS1 el usuario conecta los dispositivos a la minicomputadora (s.6) como lo es la placa electrónica para control mecánico, hidráulico y de agitación (s.3), y puede pasar a las etapas MS2 o MS8 o MS3 dependiendo del proceso que se elija a realizar.

En la etapa MS2 verifica si el dispositivo es una lengua potenciométrica en la minicomputadora (s.6) escanea a través del circuito de comunicación I2C (s.17), si no lo es pasa a MS3, si lo es verifica los puertos USB (s.15) y pasa a MS4.

En la etapa MS4, verifica si el usuario quiere calibrar, esto lo hace con la placa para control de electrodos (s.1), y minicomputadora (s.6), sino lo desea pasa a MS19, de lo contrario pasa a M5 cumpliendo las siguientes etapas:

- MS5. Adquiere puntos de calibración en voltaje con el Software de aplicación (s.9), tomando información de referencia del gestor de base de datos (s.8);
- MS6. Almacena datos en el gestor de base de datos (s.8) que recibe información a través de la Infraestructura de servicios y servidores Cloud (s.10);
- MS7. Finaliza la calibración

En la etapa MS9 verifica si el usuario quiere calibrar con la placa para control de electrodos (s.1), y la minicomputadora (s.6), en caso que no pasa a MS25, en caso que sí pasa a MS10 siguiendo con estas etapas:

- MS10. Adquiere picos de calibración en corriente con la placa electrónica para control de electrodos (s.1),
- MS11. Almacena datos en el gestor de base de datos (s.8) que recibe información a través de la Infraestructura de servicios y servidores Cloud (s.10);

- MS12. Calibración terminada

En la etapa MS14 verifica si el usuario quiere calibrar; esto se hace con: la placa para control de electrodos (s.1), con la minicomputadora (s.6), en caso que sí lo desee pasa a M16, en caso que no pasa a la etapa MS15 donde la adquisición es imposible y finaliza el proceso.

En la etapa MS16 continua de la siguiente manera:

- MS16. Adquiere puntos de calibración de pH vs voltaje con la placa electrónica para control de pH-metro;
- MS17. Almacena datos en el gestor de base de datos (s.8) que recibe información a través de la Infraestructura de servicios y servidores Cloud (s.10);
- MS18. Calibración terminada

En la etapa MS19 verifica si el usuario quiere adquirir datos, gracias a la minicomputadora (s.6), si no pasa a MS20, si lo desea pasa a MS22 de la siguiente manera:

- MS22. Se adquiere el voltaje con el conjunto de electrodos (1.9.2) durante el tiempo solicitado junto con la placa electrónica para control de electrodos (s.1). Se almacena metadatos y variables de experimento
- MS23. Almacena datos en el gestor de base de datos (s.8)
- MS24 Los datos quedan almacenados con el gestor de base de datos (s.8)

En la etapa MS26 se genera el voltaje especificado por el experimento y se adquiere la corriente en cada electrodo con el conjunto de electrodos (1.9.2) durante el tiempo solicitado junto con la placa electrónica para control de electrodos (s.1) y con la minicomputadora (s.6).

Efectos técnicos

La invención presenta un conjunto de efectos técnicos notables y superiores respecto a lo convencional:

5

- El método de la invención presenta alta sensibilidad, reproducibilidad y repetibilidad en la detección de metales pesados.

10

- La invención presenta confiabilidad y calidad de los resultados cuando se realiza detención en bajas concentraciones. Detecta disoluciones de analitos hasta de 1 ppm en las muestras analizadas, las cuales son concentraciones notablemente bajas. Este efecto logrado es de mucho interés en la detección de metales pesados en muestras acuosas. Por ejemplo, si se corre una prueba de voltamperometría de disolución anódica, claramente se puede diferenciar una muestra que contiene 1 ppm de cromo respecto a otra que contiene 2 ppm de cromo.

15

- Es un sistema que posee inteligencia artificial entre lo que sobresale el aprendizaje del sistema mediante el almacenamiento de información en gestores de bases de datos, y gráficos de diferentes pruebas en donde se observa la diferencia de respuesta del dispositivo de lengua electrónica a diferentes concentraciones de parámetros diferentes.

20

- Medición multiparamétrica más amplia de contaminantes como son los metales pesados en medios acuosos, logrado por la presencia de al menos tres electrodos: al menos un electrodo de trabajo, un electrodo de referencia y un contra electrodo.

25

- Cada electrodo de trabajo realiza la misma técnica de voltamperometría definida según el espécimen, para el análisis de la muestra y genera una respuesta asociada a la concentración del contaminante en función de los parámetros de la técnica implementada.

30

- El subsistema químico para análisis electroquímico posee un mecanismo interno con tres grados de libertad de movimiento, pues consta de traslación horizontal para

los recipientes de muestreo, limpieza electroquímica y almacenamiento y para el sistema de limpieza mecánica; consta de traslación vertical para los sensores de la lengua y el sensor de pH; el mecanismo de limpieza mecánica consta de un grado de libertad en rotación para generar el movimiento de lijado al que se van exponer los electrodos.

– La invención es capaz de ejecutar múltiples técnicas de voltamperometría pues extiende su alcance de análisis electroquímico a analitos fisicoquímicos en matrices acuosas y oleosas en las cuales la voltamperometría de redisolución anódica no obtiene respuesta concluyente. Así, el dispositivo implementa otras técnicas como la voltamperometría cíclica, escalonada o de pulso diferencial.

– Sistema automatizado de muestreo pues implementa la captación automática de la muestra, el transporte dentro del dispositivo de lengua electrónica, la medición de propiedades físicas y la medición de concentraciones por voltamperometría de redisolución anódica sin ningún tipo de intervención humana durante la operación del dispositivo de lengua electrónica.

– Sistema automatizado, con mínima intervención humana, para el almacenamiento de todos los sensores, pues algunos sensores como el pH-metro y el electrodo de referencia, deben ser protegidos en todo momento pues su exposición a la intemperie provoca la deshidratación de la solución que aloja interiormente, por ello el dispositivo cuenta con un mecanismo de control que almacena el conjunto de electrodos y reduce la exposición esta exposición al mínimo tiempo posible.

– Estrategia de auto-limpieza automática de los electrodos y demás componentes que tienen contacto con la muestra analizada, gracias a elementos de software y hardware interconectados, con algoritmos de inteligencia artificial y machine learning, lo cual evita la intervención humana. La estrategia de limpieza al ser química, electroquímica y mecánica, garantiza el funcionamiento óptimo de los electrodos y atacar todo tipo de ensuciamiento al interior del dispositivo de lengua electrónica.

- Monitoreo y análisis electroquímico continuo en tiempo real facilitado también porque la invención posee un mecanismo de acople a tuberías, un mecanismo de contención de derrames (tanque de residuos) y un mecanismo de purga que permite que se pueda conectar a plantas industriales o campos que trabajen en continuo para lograr un análisis in situ donde sea necesario.
5
- La invención cuenta con una plataforma de software desarrollado para administración, gestión, y control de diferentes dispositivos narices y/o lenguas electrónicas de manera remota; y a través del software de aplicación, también tiene la posibilidad de registrar información del estado de los aparatos o dispositivos conectados al sistema; realizar plantillas personalizadas para adquisición de datos en paralelo, seleccionando alguno de los métodos de voltamperometría; realizar calibraciones, monitoreando cambios en las respuestas de los dispositivos; así como el monitoreo de la adquisición de los datos incluso en paralelo, tomando muestras de varios dispositivos.
10
15
- El sistema o aparato de la invención, a través de la interacción de la aplicación de software y el hardware, es capaz de generar múltiples alarmas que ayudan al usuario a mantener en óptimas condiciones todos los componentes. Dichas alertas o alarmas pueden ser: cuando el nivel de líquidos está bajo en los recipientes, cuando hay mal funcionamiento de sensores y otros elementos electrónicos, cuando hay problemas eléctricos, de comunicación entre dispositivos electrónicos y la aplicación de software. Todos estos eventos se pueden monitorear desde la misma aplicación de software, y facilita la optimización del uso del sistema, y su mantenimiento preventivo y correctivo.
20
25
- La plataforma de software de aplicación es capaz de generar pantallas de visualización del estado actual del experimento, con los datos que se está ejecutando y con las gráficas de datos que provienen de los dispositivos. Se pueden ver gráficos de corriente vs voltaje de referencia, voltaje de referencia vs tiempo y corriente vs tiempo. El software crea una gráfica para cada ciclo por lo que se puede visualizar la repetibilidad fácilmente. En la misma interfaz, se puede ver la
30

posición de los electrodos, así como el funcionamiento de cada uno de los actuadores.

- Monitoreo en tiempo real del estado de los tanques, a través de la interfaz del software de aplicación perteneciente a los inventores.
- Se logró implementar una conexión directa con los electrodos, en vez de usar cables; de esta manera, se disminuye el ruido o interferencia de la respuesta de salida.

Muchas modificaciones y otros modos de realización de la invención pueden ser llevados a cabo por una persona normalmente versada en la técnica del sector tecnológico correspondiente, según el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos relacionados. Por lo tanto, se entiende que la invención no se limita a los modos de realización específicos divulgados, y que las modificaciones y modos de realización están destinados a incluirse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Aunque las modalidades de la presente invención se han descrito anteriormente con referencia a los dibujos anexos, un experto en la materia debe entender que la presente invención puede ser modificada en varias formas detalladas sin apartarse del concepto técnico y aspectos esenciales de la presente invención. Por ejemplo, aquellos expertos en la materia pueden cambiar un material, un tamaño y similares de cada componente de acuerdo con un campo de aplicación, o pueden combinar o desplazar modalidades en formas no claramente descritas en las modalidades de la presente invención. Sin embargo, dichas alteraciones no se desviarán del alcance de la presente invención. Por

lo tanto, se debe entender que las modalidades descritas anteriormente son ilustrativas en todos los aspectos y no son limitantes y se deben incluir las modalidades modificadas en el concepto técnico definido por las reivindicaciones de la presente invención.

* * * * *

5

10

15

