

CONSTRUCCIÓN DE CELDAS: UNA EXPERIENCIA DIDÁCTICA EN CONDUCTIMETRÍA

Armando Carrasquero

Angélica Hidalgo

Vladimir Zupan

Universidad Pedagógica Experimental Libertador

Núcleo Maracay

Resumen

En este trabajo, que formó parte de los trabajos de investigación desarrollados en la Cátedra de Proyecto en Química Aplicada, que se dicta en el Departamento de Química del Instituto Pedagógico de Maracay y donde participan alumnos cursantes de la especialidad de química, se diseñaron y construyeron dos tipos de celdas conductimétricas: (a) De inmersión y (b) En forma de botella, para ser utilizadas en las valoraciones de ácidos y bases. Se emplearon electrodos de platino que fueron sometidos a electrólisis en una solución de ácido cloroplátinico a fin de producir un recubrimiento metálico que incrementara la eficiencia de la medición. Las constantes de las celdas determinadas experimentalmente fueron $0,95 \text{ cm}^{-1}$ para la celda de inmersión; mientras que para la otra celda se obtuvo un valor de $0,75 \text{ cm}^{-1}$. Las celdas fueron probadas a través de las valoraciones conductimétricas de HCl contra NaOH y HCl contra NH_4OH . Se emplearon dos titulantes a fin de disponer de dos sistemas en distintos equilibrios iónicos y establecer la efectividad de las celdas para detectar los cambios de conductancia asociados a las variaciones de las concentraciones electrolíticas. Los resultados demostraron que las celdas son eficientes y adecuadas para su uso en las valoraciones y por lo tanto podrían ser utilizadas en la docencia e inclusive en análisis específicos de muestras verdaderas. El costo de fabricación de cada celda es significativamente inferior al de las celdas comerciales. Se sugiere que estas celdas podrían ser elaboradas por los docentes de química para dotar sus laboratorios. Asimismo, se considera que asignar la tarea de construcción de las celdas a los alumnos podría ser una alternativa para mejorar la enseñanza de la técnica conductimétrica en los cursos de química analítica en los institutos de educación superior.

Palabras clave: Conductimetría, celdas, platino, electrodos, valoraciones.

Abstract

In this work, which was part of the investigations carried out by the students enrolled in the course of Project in Applied Chemistry that is dictated in the Department of Chemistry of the Pedagogical Institute of Maracay, two types of conductimetric cells were designed and built: a) Immersion cell b) bottle form cell. Design specifications involved the use of platinum electrodes, which were subjected to electrolysis in a chloroplatinic acid solution in order to produce a metallic recover that increases cells efficiency. Cell constants were experimentally determined in KCl standard solutions, results showed 0.95 cm^{-1} for the immersion cell, while for the bottle cell a value of 0.75 cm^{-1} was obtained. Both cells were employed in conductimetric titrations of HCl against NaOH and HCl against NH_4OH . Strong and weak bases were

employed in order to have two different ionic systems and to establish the effectiveness of the cells to detect the conductance changes associated to the variations in electrolytic concentrations. Results demonstrated that the cells are efficient and appropriate for their use. The manufacturing cost of each cell is significantly inferior to that of the commercial cells and therefore could be elaborated by chemistry teachers. Also, it is considered that to assign the construction task to the students could be an alternative to improve the teaching of the conductimetric techniques in the courses of analytical chemistry.

Key Words: Conductimetry, Cells, Platinum, Electrodes.

Introducción

En una ciencia experimental como la química, las actividades de laboratorio son de fundamental importancia para el aprendizaje. Someter a la verificación experimental los principios y conceptos que se estudian en las clases teóricas, permite al alumno percibir a la química como algo relacionado con la vida real y al mismo tiempo contribuye a la adquisición de las habilidades en el uso de técnicas y equipos del laboratorio químico.

Muchas instituciones educativas venezolanas carecen de laboratorios adecuadamente dotados, lo que representa un problema de difícil solución para los institutos de educación básica y media diversificada, lo que exige del docente la implementación de estrategias que permitan superar en parte estas limitaciones. El diseño de prácticas que empleen materiales de bajo costo y la construcción de equipos simples, sin perder de vista la calidad de los resultados, son alternativas para que el alumno pueda experimentar, obtener datos, probar hipótesis, concluir, inferir, etc.

Por ello en el Núcleo de Investigación en Didáctica de la Química se adelanta una línea de trabajo orientada hacia la producción de materiales y reactivos por parte del propio estudiante de química del Instituto Pedagógico de Maracay. Esto persigue dos propósitos; en primer lugar, producir tecnologías que puedan ser transferidas hacia las escuelas y liceos, contribuyendo así a resolver el problema de la escasa dotación de los laboratorios. En segundo lugar, cuando el propio alumno, es quien, con orientación de los docentes, construye el equipo o produce el reactivo, adquiere la experiencia a partir de la cual durante su vida profesional puede dar respuestas a muchos de los problemas de su entorno de trabajo, al menos en cuanto a experimentación química se refiere.

En el presente trabajo se exponen los pasos necesarios para la construcción de dos tipos de celdas conductimétricas, desde el diseño hasta la validación experimental a través de valoraciones ácido-base.

Fundamentos Teóricos

Un electrolito se define como aquella sustancia química que al disolverse en agua se ioniza total o parcialmente y la solución resultante es capaz de conducir la corriente eléctrica, lo que implica la

migración de especies iónicas positivamente cargadas hacia el cátodo y el ánodo de una celda electroquímica (Skoog y West, 1989). Todos los iones disueltos contribuyen al proceso de conducción, sin embargo, la fracción de corriente transportada por una especie en particular, es dependiente de su concentración y movilidad intrínseca en el medio. Por lo tanto, la conductividad total de una solución de electrolitos viene dada por la siguiente ecuación:

$$L = \frac{s}{l} \sum \frac{C_i}{1000} \lambda_{\pm} \quad (1)$$

donde, s es la superficie de las placas del electrodo (cm^2), l es la distancia que separa ambas placas, C_i representa la concentración del ión (mol/L), λ_{\pm} es la conductividad eléctrica equivalente del ión o lo que también se denomina “movilidad iónica”. Finalmente, L representa la conductividad eléctrica que en algunos casos se define como la inversa de la resistencia que opone el medio al paso de la corriente.

Los instrumentos utilizados en la conductimetría son básicamente dos: El conductímetro, cuyo diseño más simple involucra un puente de Wheatstone (Ewing, 1969) y la celda de conductividad. En términos generales, estas celdas consisten en dos electrodos hechos de platino recubiertos de una capa del mismo material, los cuales se sitúan a una determinada distancia y se colocan en un dispositivo de vidrio pyrex u otro resistente al calor. La constante de la celda se determina experimentalmente midiendo la conductancia de una solución de concentración determinada, por lo general, se emplea KCl (Willard y col. 1972)

La conductancia medida con una celda viene dada por la siguiente ecuación:

$$L = K \frac{A}{l} \quad (2)$$

La conductancia específica K se relaciona con la medida L por medio del cociente entre el área de los electrodos y la distancia que los separa. Por ello, la constante teórica de una celda cuyos electrodos estén separados por 1 cm y tengan un área de 1 cm^2 , debe ser igual a la unidad. No obstante, durante la construcción de la celda es posible que no se obtengan esas distancia exactas, por lo cual la constante se determina más convenientemente de forma experimental.

Materiales y métodos

La fase experimental del trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Proyectos en Química Aplicada, adscrito al Departamento de Química del Instituto Pedagógico de Maracay y consistió en dos etapas:

Primera Etapa: Diseño y construcción de celdas de platino.

La celda diseñada de acuerdo al esquema mostrado en la figura 1, esta celda es utilizada para la medición directa de la conductividad de soluciones electrolíticas y muestras de agua, tanto en el laboratorio como en el campo, aun cuando también puede emplearse en las titulaciones conductimétricas. Para su construcción se emplearon alambres de platino y dos placas del mismo material con superficies de 1 cm^2 cada una. Se emplearon alambres de cobre soldados con estaño a los electrodos de platino y con conexiones de tipo banana. La recubierta de vidrio fue elaborada con material tipo pyrex.

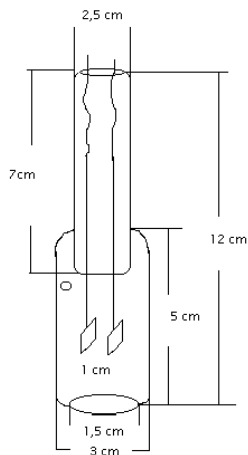


Figura 1: Celda de conductividad tipo inmersión

La celda tipo botella (figura 2) es la más empleada en las valoraciones conductimétricas y consta de dos electrodos de platino que terminan en placas cuadradas de 1 cm^2 de superficie, separadas por una distancia de 1 cm. La solución a titular se coloca dentro de la celda junto con un agitador eléctrico o magnético. Las conexiones fueron hechas con alambres de cobre tal como se describió en la celda anterior.

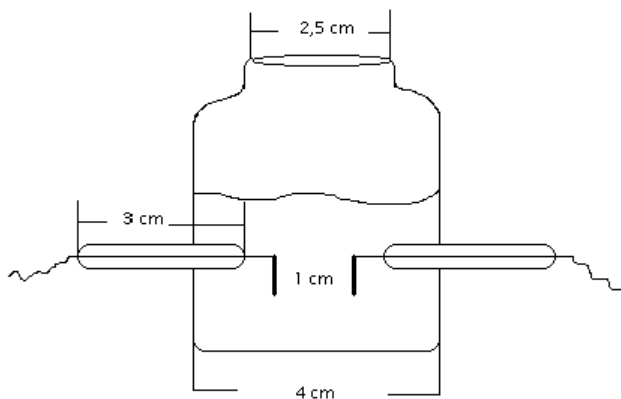


Figura 2: Celda tipo botella

Segunda etapa: Validación de las celdas a través de valoraciones conductimétricas.

A fin de comprobar la capacidad de respuesta de las celdas ante los cambios de las concentraciones de los electrolitos en el transcurso de una valoración conductimétrica, se realizaron dos tipos de valoraciones tal como se señala en el cuadro 1. En ambos casos la sustancia titulada fue el ácido clorhídrico (0.01M), que es un electrolito fuerte. Se emplearon dos titulantes, el hidróxido de sodio 0,1 M, que se comporta como una base fuerte y el hidróxido de amonio (0.1 M) que es un álcali parcialmente ionizado en solución acuosa. De esta forma se buscaba producir dos sistemas diferentes en equilibrio iónico, uno de los cuales involucraba la formación de una solución reguladora base débil – ácido fuerte conjugado. El instrumento para medir los cambios de la conductividad eléctrica de las soluciones fue un conductímetro marca Methrom, asimismo, se empleó el material volumétrico normal del laboratorio de análisis químico. Las curvas de valoración fueron construidas por medio de la representación gráfica de la conductividad contra el volumen del titulante y recibió el nombre de curva no corregida. En la misma gráfica se representó la curva corregida que consistió en multiplicar cada valor de L por el cociente $(V+v/V)$, donde V es el volumen inicial de HCl y v el volumen de titulante añadido, con esto se quería corregir la conductividad por el efecto de la dilución.

Cuadro 1.

Esquema de las valoraciones conductimétricas

Titulación	Celda	Titulante	Sustancia a titular	Vol. Sustancia a titular
1	Inmersión	NaOH (0.1 M)	HCl (0.01 M)	70 ml
2	frasco	NH ₄ OH (0.1 M)	HCl (0.01M)	25 ml

Determinación de las constantes de celda

A fin de determinar el valor de la constante de la celda, se preparó una solución de KCl disolviendo 7,4191 g.Kg⁻¹, que de acuerdo a Ewing (1969), tiene una conductancia específica a 25° C de 0.012856, de tal forma que la constante de la celda se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\theta = K.R \quad (3)$$

Donde θ es la constante de la celda, R es la conductancia medida y K es la conductancia específica de la solución de KCl. Para el funcionamiento eficiente de las celdas fue necesario recubrir con platino las caras externas de las placas cuadradas para lo cual se preparó la solución platinizante de la siguiente forma, aproximadamente 1 g de platino fue disuelto en 20 ml de una mezcla de ácidos nítrico y clorhídrico en la proporción 1:3. Esta solución luego fue transferida a un vaso de precipitados de 250 ml, donde fueron colocadas las placas que se quería recubrir con platino, las cuales fueron conectadas al ánodo y al cátodo de una fuente de fuerza electromotriz de 12 voltios. Se dejó que pasara la corriente hasta que las placas estuvieran totalmente recubiertas del metal. Con esto se asegura un eficiente contacto eléctrico entre la celda y la solución cuya conductividad se quiere medir.

Resultados y Discusión

Primera Etapa: Diseño y construcción de celdas de platino.

De acuerdo al diseño propuesto, se construyeron las celdas en un tiempo no mayor de 2 semanas desde la compra de los electrodos de platino hasta el montaje de la celda en el taller de vidriería. El material de vidrio empleado (pyrex) le da a la celda una gran resistencia mecánica a cualquier golpe accidental, además, el tamaño y la forma permiten una cómoda manipulación. Las constantes de las celdas fueron (a) Para la celda de inmersión $0,95 \text{ cm}^{-1}$, (b) Para la de forma de botella $0,75 \text{ cm}^{-1}$.

Uno de los aspectos importantes del trabajo era obtener las celdas a un costo lo suficientemente bajo como para que su elaboración sea viable en cualquier institución educativa. De acuerdo con el costo de los materiales y mano de obra, cada celda representa una inversión de aproximadamente 68 mil bolívares, lo cual es mucho más barato que el precio de una celda comercial que podría estar alrededor de los Bs. 200.000,00.

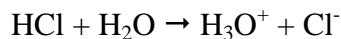
Segunda Etapa: Curvas de valoración potenciométrica

Primer caso: Valoración de ácido clorhídrico 0.01 M con hidróxido de sodio 0.1 M

La variación de la conductividad eléctrica de la solución de HCl al agregar las alícuotas de la base se muestran en la figura 3, donde se aprecia una disminución inicial lineal de la conductividad hasta que se alcanza un valor mínimo a partir del cual se produce un incremento en la conductancia electrolítica.

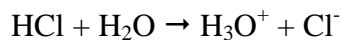
La valoración conductimétrica puede estudiarse como un proceso de 4 fases: 1) Inicio, 2) Antes del punto de equivalencia, 3) En el punto de equivalencia y 4) Más allá del punto de equivalencia.

En el inicio, se tiene en el vaso de precipitados la solución de ácido clorhídrico, el cual es un electrolito fuerte ya que su disociación en iones cloruro e hidrónio es prácticamente completa y puede ser descrita por medio de la siguiente ecuación química:

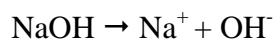


La conductividad eléctrica de esta solución viene dada por la movilidad iónica del H_3O^+ y del Cl^- . Siendo el ión hidrónio de alta movilidad, es de esperar el valor más alto de L al inicio de la valoración. Cuando se agrega el titulante se pasa a la segunda fase en la cual las ecuaciones químicas que describen el comportamiento de los electrolitos en la solución acuosa son las siguientes:

Disociación total del ácido fuerte en agua:



Disociación total de la base fuerte agregada durante la valoración:



Neutralización de los iones H^+ :



En este caso, hay una neutralización parcial de los iones hidrónio que junto con el OH^- forman moléculas de agua que no conducen la corriente. Por cada mol de H^+ neutralizado, se introduce al medio un mol de iones sodio, de menor movilidad iónica y por ello se aprecia una disminución continua de la conductividad electrolítica.

En la tercera fase se han neutralizado todos los moles iniciales de HCl , por lo que la conductividad viene dada por una solución de NaCl en agua. Como todas las sales, el cloruro de sodio está totalmente disociado en sus iones y por ello la conductividad en este punto es la más baja de todas.

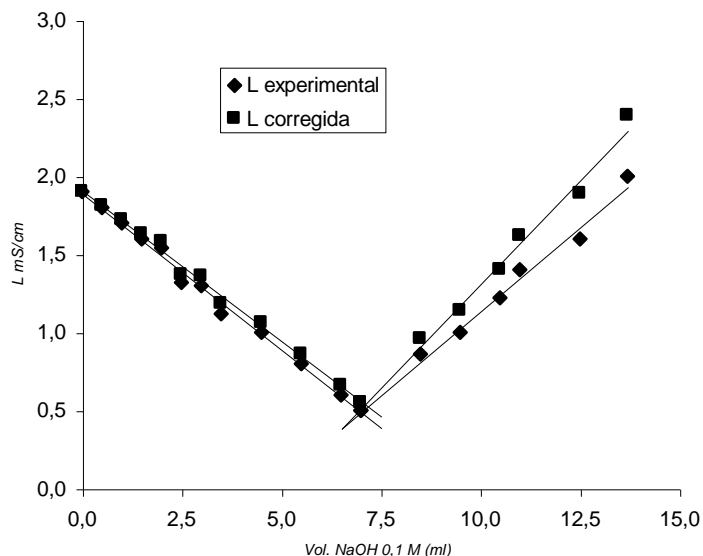


Figura 3: Curva de titulación conductimétrica de HCl 0,01 M con NaOH 0,1 M

Al agregar un exceso de hidróxido de sodio, se supera el punto de equivalencia, obteniendo un incremento de la conductividad ya que el exceso de base deja libres en la solución iones OH^- , de alta movilidad y por ello la recta muestra una pendiente positiva. Es este cambio de pendiente el que identifica el punto final de la titulación, que en este caso resultó igual a 7,1 ml que está cercano al valor teórico de 7 ml.

De acuerdo a estos resultados, la celda de inmersión empleada en la titulación permite al conductímetro registrar los cambios de la conductividad eléctrica, asociados a las variaciones que se producen en las concentraciones de los iones disueltos en agua. La interpretación teórica de la curva coincide exactamente con los resultados obtenidos experimentalmente.

Segundo caso: Valoración de ácido clorhídrico 0.01 M con hidróxido de amonio 0.1 M

Esta valoración implica dos variantes con respecto al caso anterior; se utilizó la celda en forma de botella. El titulante fue una base débil, por lo que su disociación en agua es parcial, estableciéndose una condición de equilibrio iónico. Al igual que en el caso anterior, la valoración puede estudiarse en cuatro fases. Al inicio, se produce la ionización total de ácido clorhídrico cuyas ecuaciones han sido expuestas previamente y la conductancia medida muestra el valor más alto (figura 4). Antes del punto de equivalencia se produce la neutralización parcial del ácido clorhídrico de acuerdo a las siguientes reacciones:

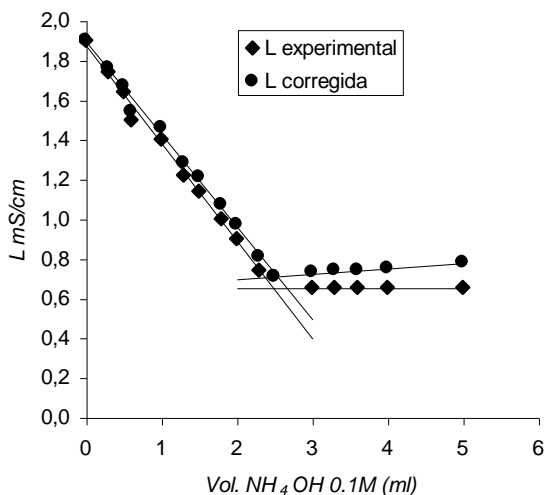
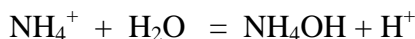


Figura 4: Curva de titulación conductimétrica de HCl 0,01 M con NH₄OH 0.1 M

Como resultado se obtiene un excedente de iones amonio y la disminución de la concentración de hidrogeniones, lo cual justifica la disminución de la conductividad de la solución a medida que se agrega el álcali. En el punto de equivalencia se consumen totalmente los protones generados por el HCl y la conductividad viene dada por una solución salina de cloruro de amonio. Esta sal se ioniza totalmente y el ión amonio, que actúa como un ácido conjugado fuerte sufre la siguiente reacción de hidrólisis:



La constante de este equilibrio viene dada por la expresión:

$$K_h = \frac{K_w}{K_b} = \frac{[\text{H}^+][\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]} = 5,6 \cdot 10^{-10}$$

La tendencia hacia la horizontalidad de la recta no corregida y un aumento muy suave de la recta corregida, está asociada al exceso de hidróxido de amonio, por lo que la conductividad dependerá de los iones NH₄⁺, Cl⁻ y de los oxhidrilos que produce la base débil. Era de esperarse una recta con una pendiente semejante al del caso en el que se empleó NaOH como titulante, sin embargo, hay una

diferencia debida a la formación de la mezcla reguladora entre el cloruro de amonio producido en las dos primeras fases de la valoración y el exceso del álcali, la cual no se produce cuando en el medio está presente una base fuerte. Es por ello que si bien hay OH^- en el medio con una movilidad elevada, el efecto sobre la conductividad es muy bajo porque el sistema tiende a mantener constante esa concentración

Conclusión

El estudio de la conductimetría, así como de cualquier otra técnica del análisis químico instrumental, puede ser más atractivo para el alumno si es él mismo quien construye sus aparatos. En este trabajo se relata una experiencia que indica que ello es posible con una pequeña inversión de dinero. El proceso que llevó a la construcción de la celda permitió a los participantes de la experiencia, investigar sobre los tipos de celdas, su funcionamiento, partes componentes, instalación en el conductímetro, calibración y puesta a punto en titulaciones verdaderas. Es decir, el simple hecho de construir estos componentes permite cubrir la totalidad de los objetivos planteados en la unidad. Se considera que cuando el alumno construya por sí mismo los equipos, reactivos y demás elementos del laboratorio, el aprendizaje puede ser más significativo y duradero.

Las celdas elaboradas en este trabajo resultaron adecuadas para ser empleadas en titulaciones conductimétricas de ácidos y bases fuertes y débiles. La interpretación de los resultados de las valoraciones implica el conocimiento de los equilibrios iónicos en solución acuosa, lo que junto con el conocimiento de los principios de la conductimetría y del uso de los equipos, hace que el conocimiento adquirido por los alumnos sea más integrador.

Finalmente, el bajo costo de las celdas permite que un docente pueda, con una pequeña inversión, incorporar esta técnica analítica al conjunto de prácticas a realizar en un periodo académico.

Referencias

- Ewing, G. W. (1969). *Instrumental methods of chemical análisis (3ra. Ed.)*. Tokyo: Mc.Graw-Hill.
- Skoog, D, y West, D. (1973) *Fundamentos de química analítica. Tomo II*. Méjico: Editorial Reverté.
- Willard, H. L. Merrit y J. Dean. (1972) *Métodos instrumentales de análisis (5ta impresión)*. México: CECSA.

Los Autores

Armando Carrasquero

Angélica Hidalgo

Vladimir Zupan

Universidad Pedagógica Experimental Libertador

Instituto Pedagógico de Maracay

Departamento de Química

e-mail: acarrasquero@ayantepui.com

Datos de la Edición Original Impresa

Carrasquero, Armando; Hidalgo, Angélica; Zupan, Vladimir. (2001, junio). *Construcción de celdas: una experiencia didáctica en conductimetría*. Paradigma, Vol. XXII, N° 1, Junio de 2001 / 73-87