DEMOSTRACIONES EXPERIMENTALES DE QUÍMICA

El agua revela sus secretos · Rafael Cabrera Moscoso

Esta experiencia ha sido galardonada con el PRIMER PREMIO en la categoría Demostraciones de Química de los Premios a la Labor Docente en el Fomento de la Experimentación en Física y Química.

La demostración en torno a la electrolisis del agua aquí planteada como una actividad experimental de repaso para los alumnos de 2º Bachillerato que cursan las asignaturas de Física y de Química. Esta experiencia tiene por objetivos:

- Interpretar la formación de hidrógeno y oxígeno a partir de la estequiometría de la reacción, relacionando la proporción de gases con lo observado en los electrodos.
- Reconocer cómo electrólisis permitió demostrar que el agua es un compuesto y una herramienta para relacionar la electricidad con la transformación de la materia.
- Explicar por qué la descomposición del agua no es espontánea en condiciones estándar y requiere energía eléctrica;
- Identificar ánodo y cátodo, y relacionarlos con oxidación, reducción y polaridad de la fuente de alimentación
- Interpretar la formación de hidrógeno, oxígeno y cambios locales de pH a partir de las semirreacciones redox ajustadas.
- Observar cualitativamente cómo un campo magnético puede modificar el transporte de materia asociado a la carga de los iones.
- Relacionar las observaciones con conceptos de química y física estudiados durante el curso.

Fundamento

A finales del siglo XVIII, una de las cuestiones fundamentales de la química era determinar qué sustancias podían considerarse simples y cuáles estaban formadas por otras sustancias más elementales. El agua, pasó a ocupar un lugar importante en este debate. En 1784, Henry Cavendish publicó sus *Experiments on Air*, donde demostró experimentalmente que al hacer reaccionar "aire inflamable" (hidrógeno) con "aire desflogisticado" (oxígeno) se producía agua. Estos resultados proporcionaron una evidencia experimental de que el agua podía formarse a partir de otras sustancias. Lavoisier reinterpretó estos resultados y sostuvo explícitamente que el agua no era una sustancia simple. En su memoria sobre la composición y descomposición del agua y posteriormente en el *Traité élémentaire de chimie* (1789), defendió que el agua podía ser formada y descompuesta, convirtiéndola en una prueba importante de la distinción entre elementos y compuestos.

La posibilidad de recorrer el camino inverso adquirió así una enorme importancia. En 1789, Jan Rudolph Deiman y Adriaan Paets van Troostwijk consiguieron descomponer agua mediante descargas de electricidad estática. El procedimiento era difícil de mantener

de forma continua, pero constituye el principal antecedente de la electrólisis del agua. El cambio decisivo llegó en 1800 con la pila de Volta que proporcionó una fuente de corriente continua. Poco después, William Nicholson y Anthony Carlisle utilizaron el nuevo dispositivo para provocar la descomposición eléctrica del agua. La importancia del hallazgo trascendía al propio agua, la electricidad aparecía como una nueva herramienta capaz de producir transformaciones químicas y ayudar a investigar la composición de las sustancias

Humphry Davy. explotó esta nueva posibilidad que aportaba la corriente eléctrica. En su *Bakerian Lecture* (1808), Davy presentó la descomposición eléctrica de los álcalis (NaOH, KOH) y consiguiendo aislar nuevas sustancias, entre ellas potasio y sodio. Describió el procedimiento como una forma de "análisis electroquímico" capaz de proporcionar información sobre los "verdaderos elementos de los cuerpos". La electricidad dejaba así de ser solamente un fenómeno físico para convertirse en una herramienta de análisis químico. Permitía descomponer muchas sustancias que hasta entonces había resistido a otros procedimientos químicos y también descubrir elementos que hasta entonces eran desconocidos, pero formaban parte de los compuestos. Décadas más tarde, Michael Faraday convirtió la relación entre electricidad y transformación química en una relación cuantitativa. Sus investigaciones sobre la descomposición electroquímica, publicadas en *Philosophical Transactions of the Royal Society*, condujeron a las leyes de la electrólisis y mostraron que la cantidad de materia que se transformaba estaba relacionada con la cantidad de electricidad que atravesaba el sistema. De este modo, la electrólisis pasó de ser una observación experimental a convertirse en una herramienta para investigar cuantitativamente la materia.

Esta progresión histórica muestra bien la forma en la que avanza el conocimiento científico, nuevos experimentos obligan a revisar ideas anteriores, nuevos instrumentos permiten formular preguntas que antes no podían plantearse y una técnica inicialmente novedosa termina contribuyendo a conceptos fundamentales como la distinción entre elementos y compuestos.

Materiales

- Fuente de corriente continua regulable con limitación de corriente.
- Placa Petri transparente.
- Dos electrodos iguales de grafito.
- Disolución de Na_2SO_4(aq) 0,10 M.
- Fenolftaleína;
- Cables con pinzas de cocodrilo aisladas.
- Soportes para mantener los electrodos.
- Imán de neodimio.

Se necesitan gafas de seguridad y material absorbente

Procedimiento experimental

1. Preparar una disolución de Na_2SO_4 0,10 M y verter 60–80 mL en la placa Petri, hasta alcanzar unos milímetros de profundidad.
2. Colocar los electrodos de grafito verticales, paralelos, a igual profundidad y separados aproximadamente 4–5 cm.
3. Conectar la fuente respetando la polaridad y aumentar la tensión progresivamente. Observar el inicio del burbujeo y registrar el voltaje.
4. Identificar el cátodo por la mayor producción esperada de hidrógeno.

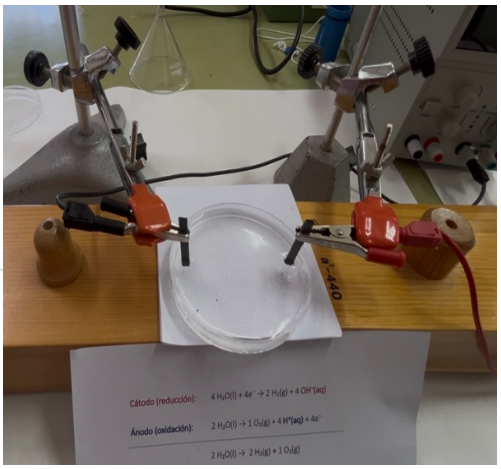


Figura 1. Montaje experimental.

5. Añadir unas gotas de fenolftaleína como indicador en ambos electrodos y observar la aparición de la zona rosa alrededor del cátodo.
6. Colocar el imán centrado bajo la placa, fijando su posición y anotando la orientación de sus polos. Desplazar el imán de posición para ver el desplazamiento de cargas, invertir el imán para ver la inversión de la corriente.

Aplicación didáctica

Estabilidad y espontaneidad (actividad previa a la realización de la práctica)

La ecuación de descomposición del agua es: $H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$

- Determina el valor de la energía libre de reacción a una temperatura de 298 K y presión constante a partir de los siguientes datos.

Sustancia	$\Delta_f H°$ (kJ mol^{-1})	$S°$ (J mol^{-1} K^{-1})
$H_2O(l)$	−285,83	69,91
$H_2(g)$	0	130,68
$O_2(g)$	0	205,15

Tabla 1. Datos termoquímicos a 298 K.

- A la vista del resultado que has obtenido, ¿el proceso será espontáneo o no espontáneo?
- Pude cambiar esta situación con la temperatura, ¿a qué temperatura cambiaría el proceso si esto es posible?

Proceso Redox (actividad a realizar en el laboratorio)

- La electrólisis del agua es un proceso de oxidación-reducción. En él se forma gas hidrógeno y oxígeno.
- Ajusta las dos semirreacciones redox que ocurren en el cátodo y en el ánodo, una transcurre en medio ácido y otra en medio básico. Una vez que las hayas ajustado, ajusta la ecuación molecular.

Cátodo (reducción): $H_2O(l) \rightarrow H_2(g)$
Ánodo (oxidación): $H_2O(l) \rightarrow O_2(g)$

- Calcula el potencial de celda, ¿qué indica el signo del potencial que obtienes?

$$\Delta_r G^\circ = -nF\, E^\circ celda$$

- ¿Qué voltaje mínimo hay que poner en la fuente de alimentación para que el proceso comience? ¿Lo subirás o lo bajarás? ¿Qué ocurre cuanto más nos separamos del valor de inicio?

Proceso ácido-base (actividad a realizar en laboratorio durante la experiencia)

- Tras ajustar las semirreacciones, determina el pH en las inmediaciones del cátodo.
- Tras ajustar las semirreacciones, determina el pH en las inmediaciones del ánodo.
- ¿Qué papel juega la fenolftaleína en este proceso? ¿Por qué los colores no se hacen más intensos, si cada vez se liberan más iones hidróxido y oxidanio?

Interacción con el campo magnético

Cuando una partícula cargada penetra en una región donde hay un campo magnético uniforme, de acuerdo con la ley de Lorentz, sobre la partícula actúa una fuerza perpendicular a su velocidad. La fuerza solo modifica su trayectoria curvándola. El sentido en que gira la partícula depende del signo de la carga y del sentido de los vectores v y B.

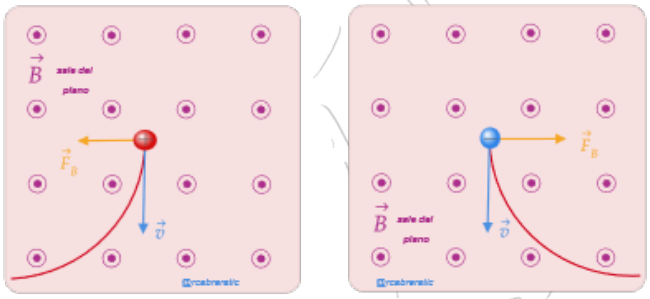


Figura 2. Aplicación de la ley de Lorentz a partículas con carga positiva y negativa.

- Antes de colocar el imán debajo de la placa Petri, describe el movimiento de los colores de la fenolftaleína.
- Coloca el imán debajo de la placa Petri, ¿observas alguna diferencia?
- Invierte la polaridad del imán, ¿ha cambiado algo?
- Desplaza con la mano el imán debajo de la Placa Petri, ¿observas algún cambio?

ISSN: 2990-0271 Real Sociedad Española de Física y Real Sociedad Española de Química

Rafael Cabrera Moscoso
IES Marqués de Comares (Lucena, Córdoba)
Contacto: *rcabreratic@gmail.com*

Bibliografía

- Cavendish, H. (1784). *Experiments on Air*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 74, pp. 119–153.
- Lugares Emblemáticos Internacionales en la Historia de la Química de la ACS. Antoine-Laurent Lavoisier: La Revolución Química: https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/historia-quimica/lavoisier.html
- Nicholson, W. Carlisle, A. (1800–1801). Account of the new Electrical or Galvanic Apparatus of Sig. Alex. Volta, and Experiments performed with the same. *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*, 4, pp. 179–187.
- Davy, H. (1808). *The Bakerian Lecture: On Some New Phenomena of Chemical Changes Produced by Electricity, Particularly the Decomposition of the Fixed Alkalies, and the Exhibition of the New Substances Which Constitute Their Bases; And on the General Nature of Alkaline Bodies*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 98, 1–44.
- Faraday, M. (1834). *On Electro-Chemical Decomposition.* Philosophical Transactions of the Royal Society of London.
- Smolinka, T., Bergmann, H., Garche, J. & Kusnezoff, M. (2022). *The history of water electrolysis from its beginnings to the present*. En Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications: Hydrogen Production by Water Electrolysis (pp. 83–164). Elsevier.