

DISEÑO Y ARMADO DE UN CONDUCTÍMETRO DE BAJA FRECUENCIA CON ELECTRODOS DE CARBÓN AMORFO

Jesús A. Cjuno H.

Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de san Marcos

RESUMEN

Se ha diseñado y armado un conductímetro que opera con corriente alterna de 700 mA, 7.85 V y frecuencia entre 50 - 60 Hz. Para las medidas de voltaje y amperaje, se ha hecho uso de un multímetro digital CIE-123 con resistencia de 2000 m Ω . Se utilizaron dos electrodos, uno de platino platinizado normalizado y otro, construido con dos varillas de carbón amorfo. Para fines comparativos, ha sido útil el conductímetro normalizado de la marca Hanna HI98129. Los valores de conductividad obtenidos según los protocolos oficiales, son compatibles con los referenciales y el aparato de comparación.

Palabras clave: Conductímetro, electrodos, carbón amorfo, reciclado.

ABSTRACT

It has been designed and built a conductimeter that operates with alternating current of 700 mA, 7.85 V and frequency among 50 - 60 Hz. For the voltage measures and amperage, a digital multimeter CIE-123 with 2000 m Ω . Two electrodes were used, one built with two bars of amorphous coal and another of platinum normalized. For comparative ends, a normalized conductimeter Hanna HI98129 has been used. The values of conductivity obtained according to the official protocols, they are compatible with the references them and the comparison apparatus.

Keywords: Conductimeter, electrodes, amorphous, recycled coal.

INTRODUCCIÓN

Para los conductores electrónicos como los metales o semiconductores la resistencia se determina mediante la ecuación:

$$R = \rho \frac{l}{A} \text{ y de ésta, } \rho = \frac{R \times A}{l} \quad (1)$$

donde R, es la resistencia en Ohms (Ω); ρ , la resistencia específica ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$); l, la longitud (m) y A el área (mm^2) de la sección transversal del conductor electrónico.

Para soluciones iónicas diluidas o conductores iónicos, (cationes y aniones) es mejor

determinar la conductividad específica K, definida como:

$$K = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Físicamente, K expresa la capacidad que posee la solución para conducir la corriente eléctrica en virtud a la cantidad y naturaleza de los iones presentes, bajo condiciones especificadas. Tal capacidad se debe a las contribuciones independientes de los cationes y aniones, justificada por la ley de Kohlrausch.

Según la ley de general de Ohm se tiene:

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

en la que V , es la diferencia de potencial eléctrico (voltios) e I , la intensidad de corriente (amperios).

Introduciendo la ecuación (3) en (1) y relacionando con (2), se tiene:

$$K = \frac{I}{A} \times \frac{I}{V}, \text{ equivalente a}$$

$$K = \frac{I}{A} \times \frac{1}{R} \quad (4)$$

Las unidades de K son Ω^{-1} o Mhos que en el Sistema Internacional de Unidades a sido adoptado con la denominación de siemens (S) y a partir de ésta los submúltiplos. Si l (cm) y A (cm^2) se fijan, los submúltiplos se expresan como mili siemens por centímetro (mS/cm), o micro siemens por centímetro ($\mu\text{S/cm} = \mu\text{mhos/cm}$).

Considerando las condiciones prefijadas, la relación $\frac{l}{A} = \theta$. Como se ve, θ es un valor constante conocido como constante de celda, con lo que la ecuación (4) se transforma a:

$$K = \theta \times \frac{1}{R}, \text{ o también,}$$

$$K = \theta \times \frac{I}{V} \quad (5)$$

De la ecuación (4) se desprende que la **medida de la conductividad requiere** o medir la resistencia específica o la intensidad y voltaje que circula por la solución. Precisamente, éstas posibilidades son aprovechadas en la instrumentación.

Si la corriente y voltaje fueran continuas, ésta provocaría polarización en los electrodos y como consecuencia gradientes de concentración, de potenciales químicos o finalmen-

te electrólisis. Para evitar todas éstas complicaciones, se usa la corriente alterna ya que ello garantizará que no surjan gradientes de potencial químico^{1,2,3,4}.

En soluciones la conductividad es fuertemente dependiente de la temperatura por lo que en la construcción de un aparato (conductímetro) o para la medición de K , debe considerarse tal dependencia.

Según los protocolos normalizados⁵, la calibración de un conductímetro se ha de realizar para una o varias temperaturas determinadas.

EL CONDUCTÍMETRO

En la figura 1, se muestra el circuito de un conductímetro con sus componentes básicos. E , es un transformador de corriente alterna con voltaje y amperaje de salida bajos en el secundario y con la misma frecuencia del primario; R_1 y R_2 son resistencias de precisión (tolerancia de 1% o menor) con valores fijos; R_v , es una resistencia variable, cuyo valor se conoce en cualquier posición; R_s , es la resistencia desconocida de la solución problema contenida en la celda de conductividad.

Una vez que se deja pasar la corriente alterna, se debe determinar R_s según las ecuaciones (4) ó (5); C_v es un condensador variable, utilizado para el ajuste de la sensibilidad^{6,7} y G un galvanómetro (indicador de valor nulo).

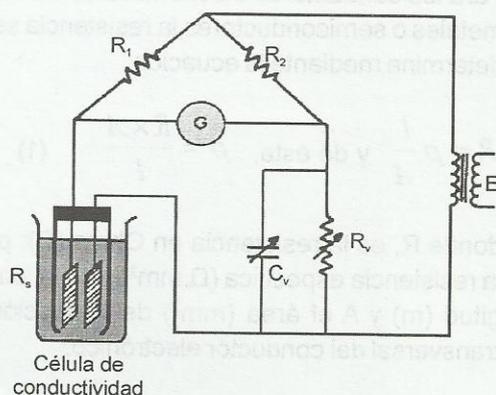


Figura 1. Esquema de un conductímetro en la que se muestran todos los componentes y el circuito básico tipo puente de Wheatstone constituido por R_1 , R_2 , R_v y R_s .

Es evidente que la condición de medida de K corresponde al equilibrio entre R_1 - R_2 y R_v - R_s , de modo que se debe cumplir la relación siguiente:

$$R_s = R_v \frac{R}{R_2} \quad (6)$$

Una vez que se calcula R_s con la ecuación (6), se obtiene la conductividad con la ecuación (5) para lo que se debe considerar el área y la distancia de separación de los electrodos que son fijos.

Cuando en los electrodos, el área activa es de 1,00 cm² y la distancia de separación entre ellos es de 1 cm, el valor de theta (θ) es igual a la unidad, consideradas como condiciones de referencia internacional⁶. No siempre es posible el cumplimiento de esta condición, de modo que se acude a soluciones de conductividad conocida, tal como los patrones o estándares de conductividad y entre ellos las soluciones de cloruro de potasio (KCl).

Midiendo R_s para una solución patrón de conductividad y a una temperatura definida, se puede obtener el valor de theta, que ahora recibe la denominación de **constante de celda**.

Con el valor de la constante de celda (θ_c) reemplazada en la ecuación (5), será posible la determinación de la conductividad de cualquier muestra que presente valores cercanos a las del patrón.

De acuerdo con los aspectos precedentes, la medición de la conductividad se reduce a la determinación de la intensidad (Amperios) y voltaje (Voltios, que corresponde a la salida del transformador) y con éstos valores, la resistencia (R) y la respectiva conductividad.

Según los métodos normalizados⁵, para tener lecturas lineales y error no mayor de 1% ó 1µmho/cm, se requiere de un «...instrumental de conductividad autocontenida...» con

fuente de corriente alterna, un circuito de resistencias tipo puente de Wheastone^{6,7,8}, un indicador de valor nulo y una célula de conductividad u otro instrumento que mida el índice de corriente alterna y su voltaje a través de la célula. La célula de conductividad, debe contener electrodos de platino platinizado^{9,10} u otros homologados; así mismo, para las medidas de temperatura se requiere de un termómetro que cubra por lo menos el intervalo de 23.0 a 27.0 ± 0.1°C.

Los conductímetros comerciales modernos presentan una buena confiabilidad, siempre que se utilicen dentro de las exigencias del fabricante; sin embargo, tales exigencias pueden dar lugar a limitaciones como la imposibilidad de refrendar un resultado en base a las características del tipo de corriente eléctrica que circuló por la solución o la pérdida de la importancia de la ley de Ohm en las soluciones iónicas.

En éste trabajo, se propone una alternativa para la medición de conductividades con un manejo pleno de los parámetros eléctricos, un rango amplio y utilizando aparatos y dispositivos accesibles a cualquier laboratorio. El aparato puede ser de utilidad para realizar mediciones de conductividad de pequeños volúmenes (1 mL) con rangos amplios de conductividad con buena exactitud y precisión, contrastar aparatos calibrados, para realizar mediciones, calibración y mejor si fuera para fines de enseñanza.

ARMADO DEL CONDUCTÍMETRO DE BAJA FRECUENCIA

Para el armado del conductímetro se ha seguido el esquema de la figura 2, propuesto en éste trabajo. Se han utilizado electrodos de carbón amorfo montado en un soporte plástico (acrílico), un transformador de 220 a 7.85 ± 0.05 V (700 mA, 60 hertzios) y un multímetro digital CIE-123 con resistencia de 2000 MΩ y opción para las medidas de las características de corriente alterna.

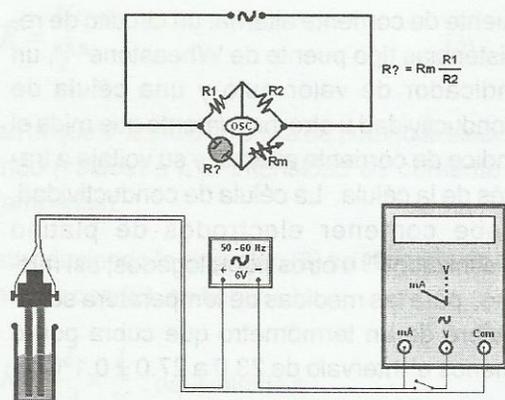


Figura 2. Esquema para el armado de un conductímetro. Consta de: a) celda de conductividad y electrodos; b) fuente de poder de corriente alterna y c) múltímetro (resistencia de 20 MΩ o más), con opciones de medida para la corriente alterna. En la parte superior se tiene el circuito resistivo equivalente tipo puente de Wheastone.

Los electrodos alternativos se han construido con varillas de carbón amorfo obtenidos de pilas comerciales de 1.5 V, tipo AA y descargadas. Las dimensiones de las varillas fueron: diámetro de 4.10 ± 0.01 mm y longitud de 47.22 mm. Una vez obtenidos de la pila, se han lavado con detergente, secado y quemado (bajo campana), con mechero bunsen, hasta coloración rojiza. Luego de ser quemadas, se han sumergido dentro de 100 mL de agua destilada. Esta última operación se ha repetido por tres veces, para luego secarla completamente a 120°C durante 2 horas.

En la tabla 1, se muestran las características de las varillas utilizadas como electrodos alternativos.

Para su utilización como electrodos, las varillas se han recubierto con esmalte acrílico comercial (soluble en acetona), dejando descubierta la cara circular inferior y pequeñas áreas para los contactos eléctricos. En la figura 3, se muestran dos varillas soportadas, las que se encuentran a 3 mm de separación y con áreas de 13.2 mm² (0.132 cm²); a ello

se ha denominado «electrodo alternativo para conductimetría».

El conjunto del equipo armado, según el esquema de la figura 2, se muestra en la figura 4. Este se ha denominado «equipo alternativo de conductimetría».

Tabla 1. Características de varillas de carbón utilizadas como electrodos para conductimetría.

Denominación	Color	Densidad ^a A 20°C (g/cm ³)	Agua ^b Absorbida (%)
Varilla de Carbón	Negro	1.8873 ± 0.0008	7.47 ± 0.05
Carbón Amorfo*	Negro	1.8 - 2.1	-

* Valores referenciales, tomados de John A. Dean. Lange, Manual de química. TII, McGraw Hill, México (1990).

^a Determinada en balanza analítica, por el método de Arquímedes⁽¹¹⁾.

^b Determinación gravimétrica del agua absorbida durante 24 horas.

CALIBRACIÓN Y MEDICIONES

Para seguir el método de laboratorio 2510 B de los Métodos Normalizados^{5,12}, se ha utilizado agua desionizada con 1.0 μS/cm de conductividad. Una solución estándar de KCl 0.0100 molar, preparada pesando 745.6 mg de KCl anhidro y diluyendo hasta 1000 mL a 25°C; esta solución estándar¹ posee una conductividad conocida. $K = 1413 \mu\text{S/cm}$. Las conductividades para diferentes concentraciones y a 25°C, están dadas en la tabla 2.

Utilizando la solución estándar, se determinó la constante de celda ($\theta = K \times R$) para las temperaturas de 10, 15, 20, 25 y 30 °C. La temperatura fue controlada en un baño termostático con una variación de $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

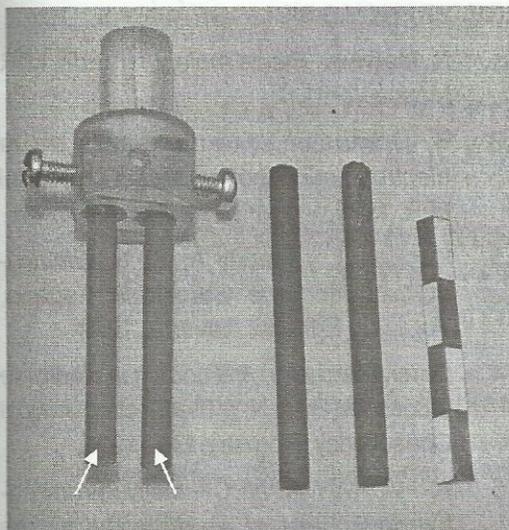


Figura 3. Electrodo alternativo de conductimetría (izquierda), con el área circular del extremo inferior no recubierto (flechas) y varillas de carbón amorfo (derecha).

La variación de la constante de celda respecto de la temperatura es lineal y ha sido mostrada en la figura 5.

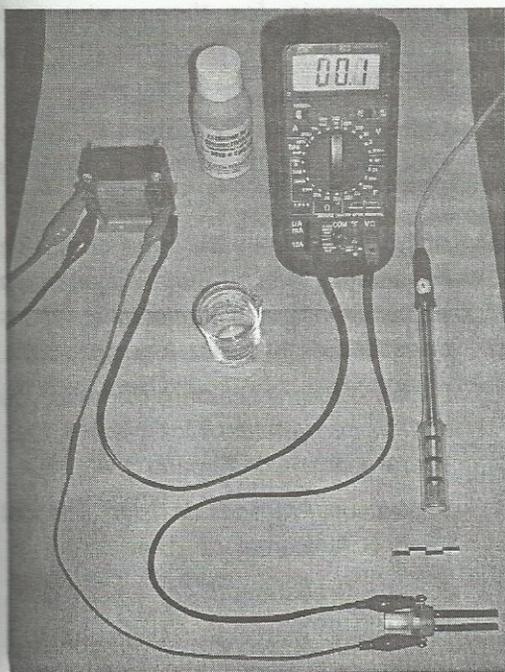


Figura 4. Fotografía del equipo alternativo de conductimetría de baja frecuencia, que consta de un transformador de 220 a 7.85 ± 0.05 V, 700 mA, 60 Hz; electrodo alternativo; multímetro CIE-123 (2000 MΩ) y electrodo de platino platinizado normalizado.

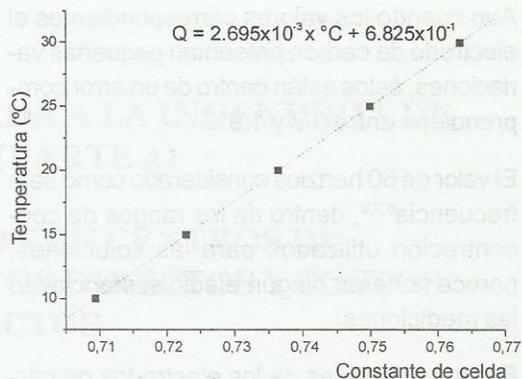


Figura 5. Variación de la constante de celda (θ) respecto de la temperatura. Los valores están comprendidos entre 0.7095 para 10°C hasta 0.7634 para 30°C.

Para los ensayos comparativos, se ha utilizado un medidor portátil para análisis de aguas multiparámetro Hanna HI98129, con un rango de conductividad eléctrica de 0 a 3999 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (certificado de calibración dada por Hanna el 04-04-2005) y recalibrada para los fines de este trabajo.

En la tabla 2, se dan los valores obtenidos con el conductímetro de referencia y el alternativo con electrodo de carbón y platino.

Tabla 2. Valores comparativos de conductividad a $25^\circ\text{C} \pm 0.1$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Soln.* KCl (M)	Ref.*	Hanna HI98129	Alternat. Platino	Alternat. Carbón
0	0	0	0	0
0.0001	14.94	15	14.90	14.35
0.0005	73.90	74	73.90	74.10
0.001	147.0	147	147.50	145.95
0.005	717.8	717	717.02	715.53
0.01	1413	1413	1413.0	1408.1
0.02	2767	2765	2766.0	2760.0

* Concentración de soluciones y valores referenciales tomado de los métodos normalizados^{5,12}.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los valores comparativos de conductividad dados en la tabla 2, se puede ver que los resultados obtenidos con el equipo alternativo tanto con el electrodo de platino y el de carbón amorfo, presentan valores muy concordantes con los utilizados como referencia.

Aun cuando los valores correspondientes al electrodo de carbón presentan pequeñas variaciones, éstos están dentro de un error comprendidos entre 0.3 y 1.9%.

El valor de 60 hertzios considerado como baja frecuencia^{6,7,9}, dentro de los rangos de concentración utilizados para las soluciones, parece no tener ningún efecto sustancial en las mediciones.

Entre las ventajas de los electrodos de carbón, se tiene su estabilidad química, su bajo costo, más aún si es considerado como material de reciclado, la sencillez de su preparación y conservación y el pequeño volumen de muestra (1 mL) para cualquier determinación.

Las desventajas se relacionan con su capacidad para absorber agua; que si se aproxima la absorción con la porosidad, el 7.47% puede dar lugar a efectos acumulativos tras múltiples determinaciones, si no se toman las precauciones de enjuagarlos rigurosamente antes y después de su utilización.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado y armado un conductímetro que opera con corriente alterna de 700 mA, 7.85 V y frecuencia entre 50-60 Hz. Para las medidas de voltaje y amperaje, se ha utilizado un multímetro digital CIE-123 de alta impedancia con opciones para medida de intensidad y voltaje de corriente alterna. Se utilizaron dos electrodos, uno construido con dos varillas de carbón amorfo y otro de platino platinizado normalizado. Los valores de conductividades obtenidos según los protocolos oficiales, son compatibles con los del aparato de referencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. N. Matvéev. *Física molecular*. Edit. MIR Moscú, 1981.
2. B. Damaskin. *Fundamentos de la electroquímica teórica*. Moscú, Editorial MIR, 1981.
3. Bockris J. y Reddy A. K. N. *Electroquímica moderna*. Barcelona, España, Vol. 1 y 2, Editorial Reverté, 1979.
4. Derek Pletcher. *A first course in electrode processes*. USA. N.Y. The Electrochemical Consultancy (Romsey) Ltd., 1991.
5. APHA, AWWA, WPCF. *Métodos normalizados. Para el análisis de aguas potables y residuales*. Edic. Diaz de Santos S. A., Madrid (España), 1992.
6. Howard V. Malmstadt, Christie G. Enke, Stanley R. Crouch. *Microcomputers and electronic instrumentación*. American Chemical Society. Washington, D.C., 1994.
7. Howard V. Malmstadt, Christie G. Enke. *Electronic for Scientists - Principles and experiments for those who use instruments*. W. A. Benjamin, Inc. New York, 1963.
8. Clifton E. Meloan y Robert M. Kiser. *Problemas y experimentos en análisis instrumental*. Edit. Reverté, 1973.
9. Arthur I. Vogel. *Química analítica cuantitativa. Vol. II Química analítica aplicada, análisis instrumental y análisis de gases*. Edit. Kapelus, Argentina, 1969.
10. Skoog - Holler - Nieman. *Principios de análisis instrumental*. Mc Graw Hill, Edit. Interamericana de España S. A., 2001.
11. W. Watson. *Prácticas de física*. Editorial Labor S. A., Barcelona, 1950.
12. Jones & Bradshaw, *J. Am. Chem. Soc.*, 55, 1780, 1933.