

Elaboración de geles orgánicos en medio ácido y alcalino como electrolitos semisólidos para celdas de combustible

C.K. Zagal-Padilla^{1,2*}, P. Vargas-Guzman³, D. Rubio-Saavedra¹, A. Álvarez Gallegos², S. Irazoque-Castañeda².

¹ Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México. Privado Xochicalco S/N, Centro. Temixco, Morelos. México C.P. 62580.

² Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa Cuernavaca Morelos. C.P. 62209

³ Universidad Politécnica del estado de Morelos. Boulevard Cuauhnáhuac No. 566 Col. Lomas del Texcal, Jiutepec, Morelos. CP 62550

* Autora correspondiente e-mail: ckzagal@ier.unam.mx

Recibido 23 marzo 2023, Aceptado 23 Junio 2023

Resumen

En este estudio, desarrollamos una metodología para utilizar gelificantes orgánicos, como gelatina, carbómero (carbopol) y agar, como electrolitos semisólidos basados en geles alcalinos o ácidos. Estos geles pueden abordar potencialmente los problemas técnicos que surgen en las baterías y las celdas de combustible cuando se utilizan electrolitos líquidos para operar los dispositivos. Investigamos el desempeño de electrolitos sólidos en medios alcalinos y ácidos y los caracterizamos física, eléctrica y electroquímicamente para determinar sus propiedades funcionales. También estudiamos su resistencia al transporte de iones en diversas condiciones, incluida la presencia y ausencia de etanol.

Palabras clave: Impedancia; celda electroquímica; geles; etanol; electrólito.

Abstract

In this study, we developed a methodology for using organic gelling agents, such as gelatin, carbomer (carbopol), and agar, as semi-solid electrolytes based on alkaline or acidic gels. These gels can potentially address technical issues that arise in batteries and fuel cells when liquid electrolytes are used to operate the devices. We investigated the performance of solid electrolytes in alkaline and acidic media and characterized them physically, electrically, and electrochemically to determine their functional properties. We also studied their resistance to ion transport under various conditions, including the presence and absence of ethanol.

Keywords: Impedance; electrochemical cell; gels; ethanol; electrolyte.

1. Introducción

Las baterías suelen ser unos de los medios más fáciles para transportar y almacenar energía, pueden encontrarse en muchos de los aparatos electrónicos que se utilizan actualmente, como son en automóviles, juguetes y muchas cosas más (Para, M. L. et., al. 2022). En esencia, una batería es un contenedor en el que se almacenan sustancias químicas capaces de liberar iones con los que se producen reacciones químicas. Por lo que generalmente las baterías o celdas electroquímicas utilizan estructuras rígidas como cascos para poder contener los medios líquidos o electrolitos (Hubble, D., et. al., 2022). Los medios líquidos utilizados como electrolitos en las celdas electroquímicas son susceptibles a distintas problemáticas como la maniobrabilidad y el transporte debido a su estado de agregación (Sajid, A., et. al., 2022) (Kondori, A. et., al. 2023). A pesar de ser una herramienta con un gran número de ventajas, su inestabilidad, ha generado la necesidad de utilizar contenedores herméticos y rígidos de tal forma que se eviten derrames y por ello su manipulación se ve mermada (Liu, Y. K., et. al., 2023). Otra problemática que presentan las baterías es la fácil

expedición de químicos que son altamente tóxicos, los cuales pueden llegar a los suelos de los rellenos sanitarios al momento de ser desechadas, en caso de presentarse en estos sitios, dañando de esa forma el suelo de estos terrenos y de alrededores. Los desechos de las baterías pueden llegar a alcanzar fuentes hídricas causando no sólo daños ambientales sino también efectos adversos a la salud de las personas al tener contacto directo con dicha fuente de agua (Raag Harshavardhan, P., et. al., 2022). La susceptibilidad que presentan las baterías, así como las novedosas celdas de combustible, son los derrames del electrolito que la integran. Mismos que representa un problema ambiental debido a la infiltración de los residuos líquidos en el subsuelo. Por ello se propone el uso de un electrolito gelificado (semisólido) mediante el uso de geles orgánicos como la gelatina, el carbopol y agar, los cuales puedan ser empleados en una celda electroquímica alcalina o ácida. Esto con el fin de facilitar el transporte de una celda electroquímica, así como de reducir los residuos que general y, de ser posible, ampliar sus usos referentes a productos comerciales ya que se reducirían los riesgos al utilizar las celdas.



2. Metodología

La Figura 1. Muestra de forma gráfica la metodología desarrollada en este trabajo. Para la elaboración y caracterización de los geles orgánicos de grenetina, agar y carbopol.

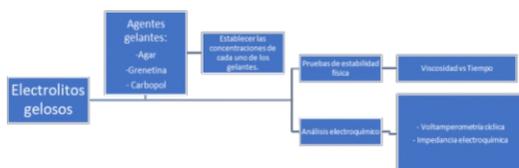


Figura 1. Diagrama de la metodología empleada para el desarrollo y caracterización de los geles de orgánicos.

Las pruebas para identificar la concentración de los gelantes. Se realizaron con agua desionizada. Una vez identificada la concentración, consistencia de los gelantes. Se procedió al análisis óptimo de cada gelante con electrolitos ácidos y alcalinos. El electrolito ácido se elaboró con ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0.5M. Y la solución alcalina con hidróxido de potasio (KOH) a 1M.

Para la elaboración del gel ácido usando como gelante grenetina. Se diluyeron 8g de grenetina. en 15 mL de 0.5 M de H_2SO_4 . La mezcla, se calentó a $70^\circ C$ hasta disolver la grenetina. Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente. El gel obtenido, se conservó en refrigeración por 24 h a $5^\circ C$. La obtención del gel ácido-grenetina, se identificará como M1.

La elaboración del gel ácido- carbopol (M2), se obtuvo al disolver 3g de carbopol por goteo de 2mL de la solución ácida (0.5 M de H_2SO_4), hasta completar un total de 22 mL. La solución se calentó a $70^\circ C$ hasta lograr una mezcla homogénea. El gel, se conservó en refrigeración por 24 h a $5^\circ C$

El gel alcalino-agar (M3). Se preparó con 0.4 g de agar, diluidos en 40 mL de 1M de KOH a $90^\circ C$ con agitación de 350 rpm. La solución se dejó enfriar a temperatura ambiente. Para posteriormente mantenerse en refrigeración a $5^\circ C$. El gel alcalino-carbopol (M4) se obtuvo al diluir 1.7 g de carbopol en 40 mL de 1M de KOH a temperatura ambiente. El gel obtenido se refrigeró a $5^\circ C$.

Las mediciones de conductividad de los geles (electrolitos semi-sólidos) M1, M2, M3 y M4, se midieron mediante el apoyo de un multímetro. Empleando 2 contactos de alambre de cobre. A una distancia de 1.5 cm entre cada contacto.

Las pruebas electroquímicas de voltamperometría cíclica (VC) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS). De los electrolitos semi-sólidos, se llevaron a cabo en un Potenciostato marca Gamry modelo interface1000 a temperatura ambiente ($25^\circ C$). La caracterización de

VC a dos electrodos de los electrolitos semi-sólidos ácidos. Se desarrollaron empleando malla de níquel como contra-electrodo y un electrodo de acero como electrodo de trabajo. La caracterización de los electrolitos a dos electrodos semi-sólidos alcalinos, se desarrollaron con una placa de cobre como contraelectrodo y una placa de plata como electrodo de trabajo. Los electrolitos semi-sólidos fueron contenidos en una celda de PVC (C1) con diámetro de 1.5 cm y altura de 5 cm. Usando 3.53 cm^3 de cada electrolito semi-sólido (Figura 2).



Figura 2. Celda de PVC para la caracterización de VC de los electrolitos semisólidos.

La caracterización electroquímica de impedancia (EIS) se desarrolló mediante el uso de dos celdas. Siendo la celda cilíndrica de PVC (C1) (Figura 1) y la celda cuadrada de caucho (C2) con área de contenedor de 1 cm^2 . Con separación de 0.5 cm entre los electrodos (Figura 3). Para esta celda se ocuparon 0.5 cm^3 de los electrolitos semisólidos. Las condiciones de medición fueron: frecuencia de 100,000 Hz y 0.2 Hz. Voltaje de 0.01V.



Figura 3. Celda cuadrada de caucho (C2) empleadas para la caracterización de EIS de los electrolitos semisólidos.

3. Resultados

La caracterización física de los electrolitos semisólidos. Se basó en el análisis cualitativo de cambio de fase de semisólido a líquido. Mediante el calentamiento de cada uno de los electrolitos. Para ello se monitoreo la temperatura durante el cambio de fase. La Figura 4. Muestra el cambio de estado de los electrolitos semisólidos a líquido. La Figura 4(a), corresponde al electrolito semi-sólido M1. Donde el cambio de fase de semi-sólido a líquido ocurrió a 18°C. Tornando a un color amarillo oscuro. La Figura 4(b), corresponde al electrolito M2. Fue posible observar que el cambio de fase no fue completamente a líquido. Para el cambio de fase, se empleó una temperatura de 87°C. Esto debido a las propiedades poliméricas del carbopol en contacto con una solución ácida, provoca que esto sea difícil de desintegrarse. La Figura 4(c), corresponde a la muestra M3 base agar. Su cambio de fase semi-sólida a líquida. Se logró a 72°C. Esto debe al punto de fusión del agar se encuentra por encima de los 85°C. Esto se debe a que algunos de sus componentes como el contenido de azúcares favorecen a la resistencia a altas temperaturas y la exposición de pH altos. Es posible observar que el agar, presenta una resistencia a altas temperas, similar al carbopol. Lo que lo hace un buen candidato para ser empleado como gelante que operé a altas temperatura (menores a 72°C) y a temperatura ambiente. La Figura 4(d) corresponde a la muestra M4. Presentando un cambio de fase a 87°C. Sin embargo, el cambio fue más lento, debido al comportamiento del carbopol en medio alcalino. Siendo que el carbopol no se liga directamente al pH del medio alcalino.

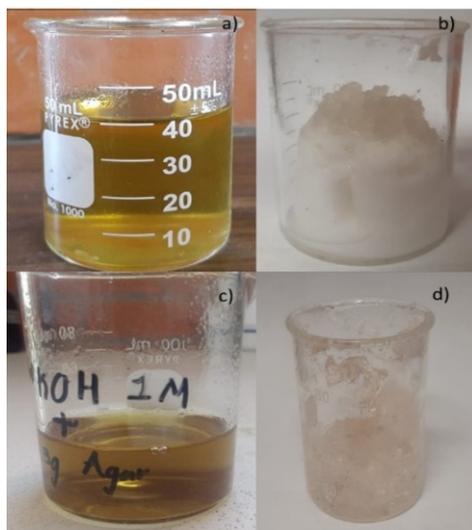


Figura 4. Cambios físicos del cambio de estado de los electrolitos semisólidos a líquidos. (a) M1, (b)M2, (c)M3 y (d)M4.

La medición de la resistencia de cada uno de los electrolitos semi-sólidos. Se llevaron a cabo mediante el uso de un multímetro digital a temperatura ambiente. La medición se realizó a través de dos electrodos de contacto a una distancia de 1.5 cm. La Tabla 1. Concentra los valores de las resistencias de las

soluciones electrolíticas de 0.5M H₂SO₄ y 1M KOH. De acuerdo con la Tabla 1. Es posible observar que la resistencia que presentó el electrolito /medio ácido de H₂SO₄ 0.5M fue de 449 Ω. Mientras que para un electrolito alcalino de KOH 1M, presentó una resistencia de 1038 Ω. Casi un al triple de la resistencia para medios ácidos.

Tabla 1. Resistencia de los electrolitos en estado líquido

Electrolito	Resistencia (Ω)
H ₂ SO ₄ 0.5M	449
KOH 1M	1038

La Tabla 2. Concentra las resistencias de los electrolitos semi-sólidos M1, M2, M3 y M4. Es posible observar que las muestras M1 y M2 presentan una baja resistencia en comparación a las resistencias presentadas por M3 y M4. Sin embargo, la resistencia es mayor a la resistencia del electrolito ácido y alcalino (Tabla 1). Por tanto, el incremento de las resistencias de los electrolitos semisólidos se atribuye a la baja movilidad de los iones. Debidos a la base sólida, que impide el transporte de los iones. La muestra M1 presenta una resistencia de 465 Ω, arriba de la resistencia obtenida solo del electrolito de 449 Ω. La muestra M2 con resistencia de 550 Ω, es mayor a la resistencia M1. A pesar de ser ambos electrolitos semisólidos ácidos, la resistencia del M2 se ve modificada. Debido al tipo de base orgánica empleada para la elaboración del gel. Por lo que se podría inferir que la base grenetina del M1 favorece a una baja resistencia, mientras que la base carbopol del M2 incrementa la resistencia del electrolito semisólido ácido. Fue posible observar que la muestra M3 presentó una resistencia de 1000 Ω menor a las de la muestra M4 de 12000 Ω. Cabe hacer mención que la resistencia elevada de esta muestra está relacionada al tipo de electrolito empleado, tal como se explicó para la Tabla 1. Sin embargo, la diferencia que existen entre estas muestras alcalinas se relaciona principalmente al tipo de base empleada para elaborar el gel. Del cual el carbopol, ha presentado una mayor resistencia, tanto para el caso alcalino como ácido.

Tabla 2. Resistencia de los electrolitos semisólidos.

Muestra	Medio	Resistencia (Ω)
M1	Ácido (H ₂ SO ₄ 0.5M)	465
M2	Ácido (H ₂ SO ₄ 0.5M)	550
M3	Alcalino (KOH 1M)	1000
M4	Alcalino (KOH 1M)	12000

La Figura 5. Muestra el voltamperograma de la muestra M1. La caracterización electroquímica de esta muestra. Se realizó empleando una ventana electroquímica de -1.5 a 1.5 V, con una velocidad de barrido de 2 mV/s. Fue posible observar que el material presenta una estabilidad, debido a que no se observan picos de reacción a lo largo del ciclo. Del mismo modo, se observa que de acuerdo a la estrechez que presenta el voltamperograma no se genera una resistividad en el proceso de ciclado.

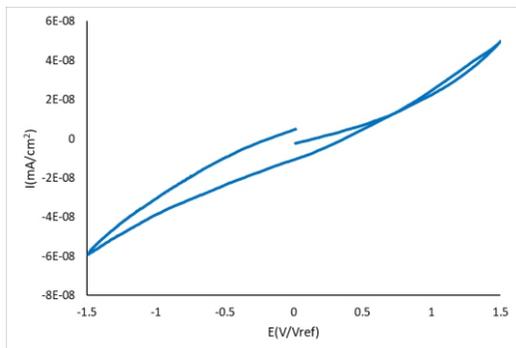


Figura 5. Voltamperograma de la muestra M1.

La Figura 6. Muestra el voltamperograma de la muestra M1 en presencia de etanol. Para ello se agregaron 0.1 mL de etanol grado reactivo. En el cual se observan pequeños picos los cuales podrían indicar la posible oxidación de etanol. El ensanchamiento mostrado en el voltamperograma podría ser indicio de la absorción de especies formadas en la oxidación de etanol.

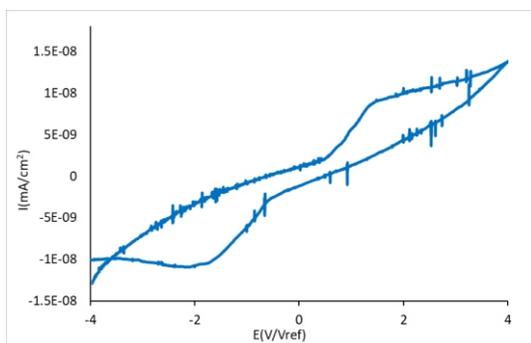


Figura 6. Voltamperometría cíclica del M1 con 0.1 mL de etanol.

La Figura 7. Muestra el comportamiento del M2. La caracterización del M2, se realizó empleando una ventana electroquímica de -2.0V a 1.9 V, a una velocidad de barrido 2 mV/s. Se puede observar una ligera resistividad. Debido al ensanchamiento del ciclo del voltamperograma. El cual es consistente en lo observado en las pruebas anteriores de resistividad. Esto como el reflejo de la resistividad por la base polimérica de carbopol. Del mismo modo es posible observar que no existen reacciones adversas del mismo.

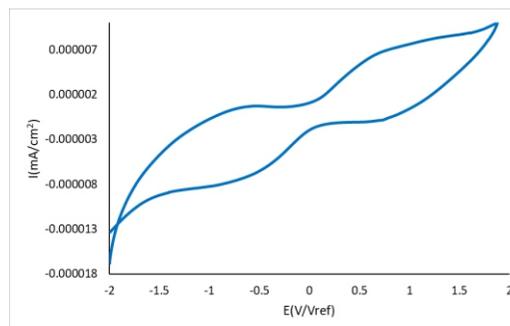


Figura 7. Voltamperometría cíclica de la muestra M2

La Figura 8. Muestra el voltamperograma del M2 en presencia de etanol. La ventana electroquímica empleada de -1.5 a 1.5 V y una velocidad de barrido 2 mV/s. En el cual se puede observar que no existe reacción de oxidación de etanol, pero si se aprecia un voltamperograma angosto del ciclo. Lo que podría indicarnos que la presencia de etanol en la base del semi-sólido reduce la resistividad generada por la base polimérica del carbopol.

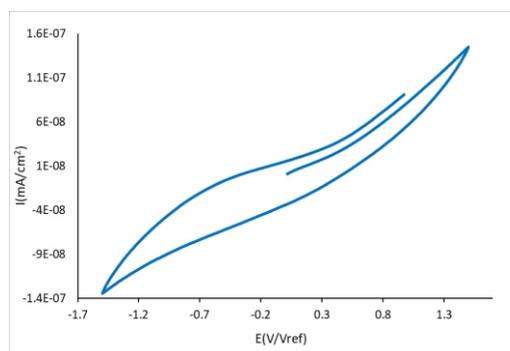


Figura 8. Voltamperometría cíclica M2 con 0.1 mL de Etanol

En la Figura 9. Se puede observar el voltamperograma del M3. El cual se realizó con una ventana electroquímica de -1.0V a 2.0V, a una velocidad de barrido 2 mV/s. Donde es claramente se observa que no existe ninguna reacción del M3.

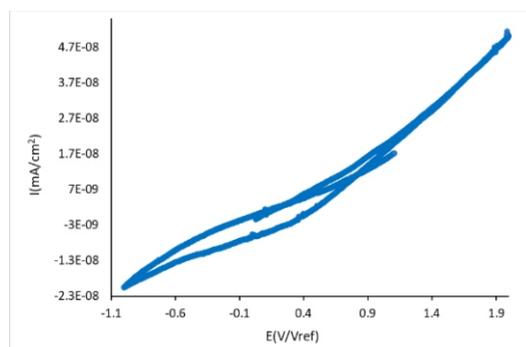


Figura 9. Voltamperometría cíclica del M3.

La Figura 10, muestra el voltamperograma obtenido para el M4. El cual se realizó empleando una ventana

electroquímica de -1.5 a 1.5 V, a una velocidad de barrido 2 mV/s. En el cual fue posible observar que no hay reacciones del M4. Y la resistencia que pudiera presentar el M4, es baja, ya que no existe un ensanchamiento en el ciclo de la prueba por voltamperometría cíclica.

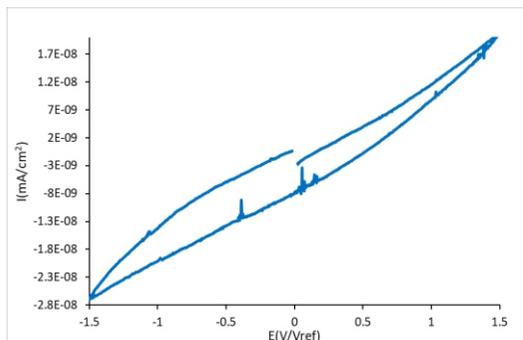


Figura 10. Voltamperometría cíclica del M4.

La Figura 11, muestra el voltamperograma del M4 en presencia de 0.1 mL de etanol. Es posible observar que no hay ninguna reacción de oxidación de etanol. Sin embargo, se observa un pequeño ensanchamiento del voltamperograma. El cual podría relacionarse a la incompleta oxidación de etanol en un medio alcalino. Quedando adsorbido en el M4. Incrementando con ello su resistencia.

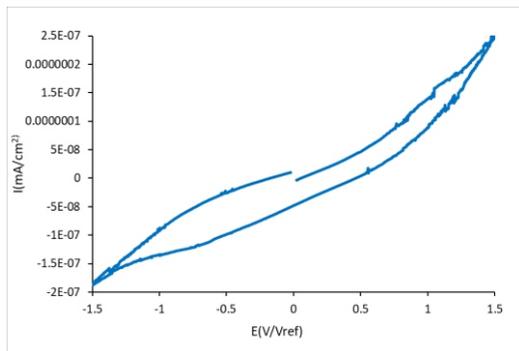


Figura 11. Voltamperometría cíclica del M4 con 0.1 mL de etanol.

Fue posible observar por VC, que los electrolitos semisólidos para medios ácidos como alcalinos son estables. De acuerdo con las ventanas electroquímicas empleadas para cada muestra, no se notaron reacciones adversas de oxidación o reducción del medio. no se apreciaron reacciones de degradación de los electrolitos semisólidos. Si fue posible la absorción de especies de OH⁻; que fue lo que provocó el ensanchamiento de las voltamperometrías cíclicas en ausencia de etanol.

Mientras que las VC en presencia de alcohol. No mostraron los picos de oxidación, pero si un incremento en sus puntos máximos de corriente. Por lo que posiblemente, la cantidad de etanol oxidada es mínima. Quedando las especies y parte del etanol absorbida en los electrolitos semi-sólidos. Otro factor que influye en la

baja apreciación de las reacciones de oxidación de etanol. Es la movilidad de los iones con el combustible. Provocando con ello un efecto de resistencia el interior del sistema.

De acuerdo con las respuestas obtenidas de la VC de los electrolitos semi-sólidos. Se estudio su respuesta resistiva mediante espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) con la finalidad de identificar los fenómenos resistivos en el sistema de caracterización de los electrolitos semi-sólidos.

Las Figuras 12 y 13 corresponden a los diagramas de la EIS del M1 en ausencia y presencia de 0.1 mL de etanol. Se aprecia la formación de un semicírculo lo cual se relaciona con la resistencia a los procesos de intercambio iónico seguido de la impedancia de Warburg, la cual se presenta al momento iniciar los procesos difusivos en el medio. Esto significa, que la resistencia presentada en el interior del sistema se ve condicionada por la base gelosa del electrolito. Ya que el medio por si solo no presenta está resistencia.

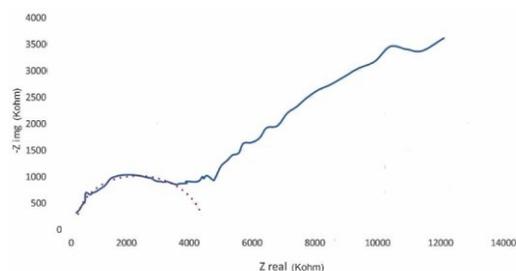


Figura 12. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M1.

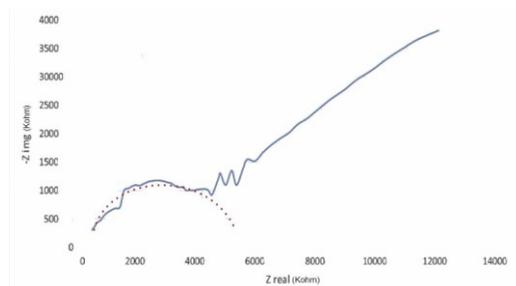


Figura 13. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M1 con 0.1 mL de etanol.

De acuerdo con los diagramas de Nyquist (Figura 12 y 13), fue posible diseñar el circuito equivalente para dichos sistemas. En el que se observa el comportamiento resistivo del electrolito semi-sólido. Así como la formación de un pseudocapacitor con valores muy cercanos a 1 seguido de la impedancia de Warburg como se observa en la Figura 14.

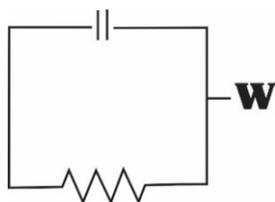


Figura 14. Circuito equivalente propuesto para Figura 12 y 13.

La Figura 15 y 16. La medición de EIS del M1, se realizó en la celda C2. Estas mostraron la formación de un semicírculo deprimido casi completo en el área de las altas frecuencias lo cual nos indica que se está llevando un proceso resistivo en cuanto al intercambio iónico entre el electrodo y el electrolito, sin embargo, al momento de aumentar la frecuencia esa resistencia se ve sustituida por una impedancia de Warburg, abriendo paso completamente a los procesos difusivos en el medio, lo que se podría entender por un intercambio libre que se realiza de manera sencilla. (Mendoza *et. al.*, 2018). En ambos casos se presentan los mismos fenómenos, sin embargo, en al momento de añadir el etanol el movimiento de los iones se vuelve más notorio y se lleva a cabo sin la necesidad de un gran aumento en la frecuencia para conseguir el mismo resultado.

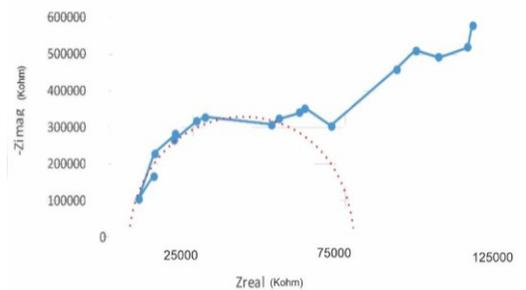


Figura 1. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica M1 con la celda C2

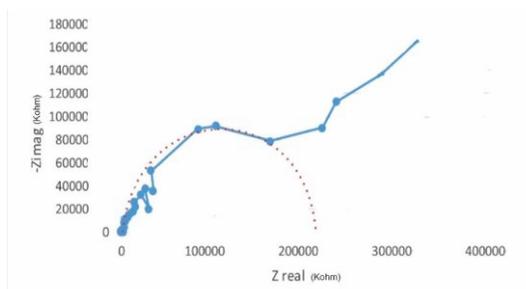


Figura 16. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M1 y añadiendo 0.1 mL de Etanol utilizando la celda C2.

La Figura 17. Muestra el diseño del circuito equivalente para dichos sistemas. Teniendo como resultado el circuito que presenta una resistencia acompañada de un pseudocapacitor. Los cuales al aumentar la frecuencia dan como resultado la impedancia de Warburg.

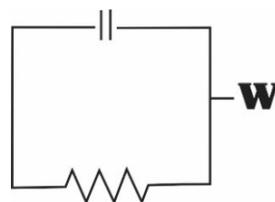


Figura 17. Circuito equivalente propuesto para la Figura 15 y

16.

La caracterización de EIS de la muestra M2 en la celda C1 y C2. La Figura 18 en ausencia de etanol y la Figura 19 en presencia de etanol grado reactivo. Muestra los resultados de resistencias. En el cual el proceso de la doble capa llega a ser despreciable debido al protagonismo que adquiere la resistividad ya sea de los electrodos o del mismo electrolito. Esto puede deberse a las grandes distancias que tendría que recorrer un ion para poder transportarse de un electrodo a otro. Ya que al momento de realizar el cambio de celda los resultados tienden a presentar una mayor similitud con la resistencia por transferencia de carga, representada con la formación de un semicírculo.

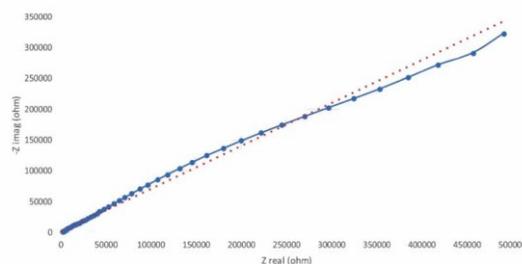


Figura 18. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M2 utilizando la celda C1.

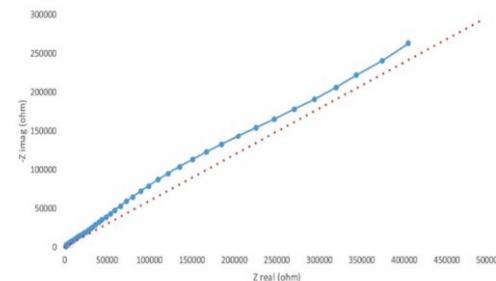


Figura 19. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica de M2 y añadiendo 0.1 mL de etanol utilizando la celda C2.

La Figura 20. Muestra el diseño del circuito equivalente de los sistemas 18 y 19. Del cual se obtiene un capacitor despreciable debido a la gran cantidad de energía que se requiere introducir al electrodo de acero inoxidable para

producir alguna reacción, por ello la presencia de un capacitor es despreciado.



Figura 20. Circuito equivalente propuesto para la Figura 18 y 19.

La Figura 21. Se puede observar la formación de un semicírculo, el cual parece ser un semicírculo que no termina de formarse. Debido al rango de la frecuencia del equipo. Lo mismo sucede con la Figura 22. Muestra el inicio de la formación de un semicírculo relacionado con las reacciones farádicas. Los comportamientos son similares. Es notoria la reducción de resistencia de la solución al momento de agregar el etanol. Ya que la resistencia a la transferencia electrónica se ve disminuida en medios líquidos. Considerando el diámetro los semicírculos, estos representan la resistencia de la celda a la transferencia de carga (MENCHACA, 2019), lo que daría a entender que en la Figura 22 presenta la formación de una barrera entre el electrolito y el electrodo.

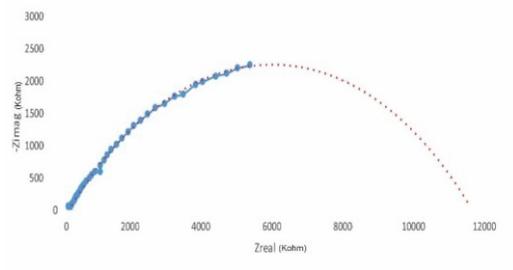


Figura 21. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M2 utilizando la celda C2.

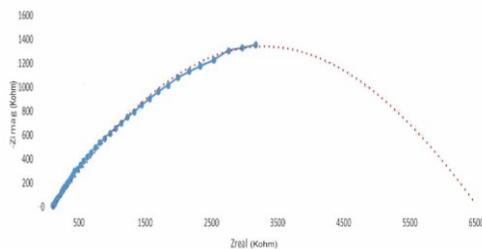


Figura 22. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M2 en presencia 0.1 mL de etanol utilizando la celda C2.

La Figura 23. Muestra el diseño del circuito equivalente para los sistemas de la Figura 21 y 22. En este caso

tenemos presenta a un pseudocapacitor debido a que se crea una frontera de potencial dando lugar a que el capacitor no se forme de manera completa.

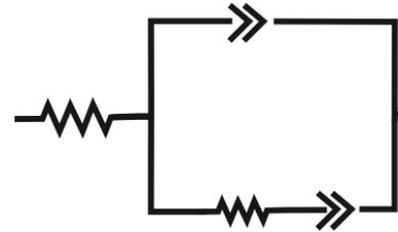


Figura 23. Circuito equivalente propuesto para la Figura 21 y 22.

La Figura 24 y 25. Muestra los diagramas de Nyquist, obtenidos para las muestras M3. En presencia y ausencia de etanol. Mostraron una línea recta e inclinación de 45°. Lo que indica que los procesos de intercambio iónico no se llevan a cabo con facilidad en el medio semisólido. Esto puede deberse a la separación que existe entre los electrodos y la dificultad para transporte de iones.

La Figura 25. Corresponde al diagrama obtenido para el M3 en presencia de 0.1 mL de etanol, donde la transferencia de carga de iones en el etanol se aprecia con la formación de un semicírculo.

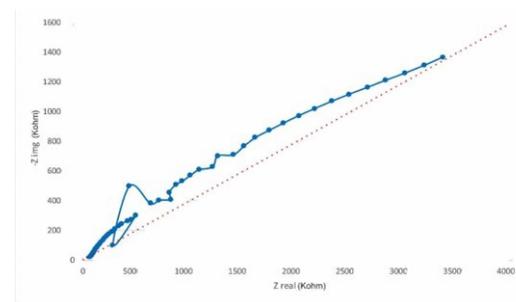


Figura 24. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M3 usando la celda C2.

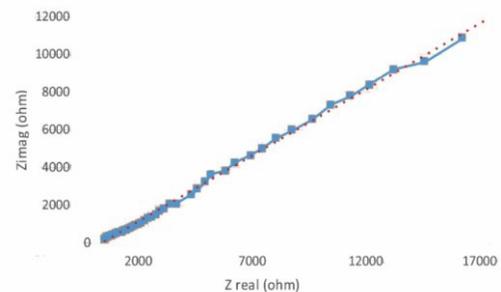


Figura 25. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M3 en presencia 0.1 mL de etanol usando la celda C2.

electroquímica del del M3 usando la celda C2 con 0.1 ml de etanol.

La Figura 26. Presenta el diseño del circuito de los sistemas de la Figura 24 y 25. Se presenta un capacitor que puede ser despreciable debido a la gran cantidad de energía que se requiere introducir al electrodos o en el mismo gel debido a su consistencia para producir alguna reacción.

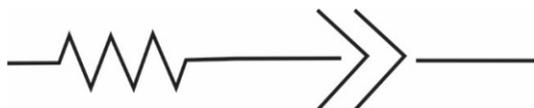


Figura 26. Circuito equivalente propuesto para la Figura 24 y 25.

En la Figura 27. Corresponde a la caracterización del M4 el cual se realizó en la celda C1. Se observó la formación de medio semicírculo. La forma de este se debe al rango de frecuencia utilizado, lo que da a entender que se requeriría un rango más amplio para poder llegar a obtener la formación del círculo de manera completa. La Figura 28. Forma el semicírculo y la difusión de Warburg, indicando que existe una diferencia de concentración por lo que se genera un movimiento de iones desde el electrolito hacia los electrodos.

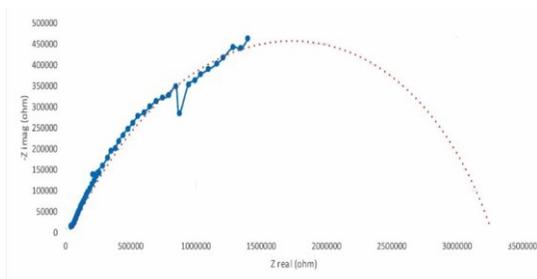


Figura 27. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M4 utilizando la celda C1.

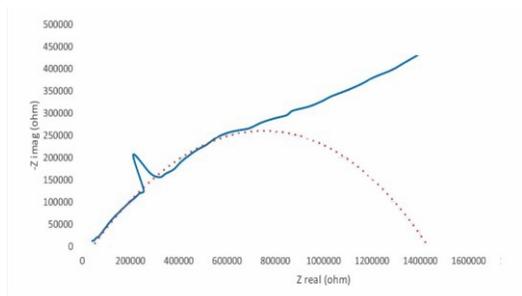


Figura 28. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M4 con 0.1 mL de Etanol utilizando la celda C1.

Las Figuras 29 y 30, corresponden a la caracterización electroquímica del M4 empleando las mismas condiciones, pero en diferente celda (C2). Se pudo observar la formación de medio semicírculo, que indica un proceso resistivo en cuanto al intercambio iónico entre el electrodo y el electrolito. Sin embargo, al aumentar la frecuencia la resistencia se ve sustituida por una impedancia de Warburg. Y al añadir etanol, se utiliza una menor frecuencia para poder llegar al proceso de impedancia.

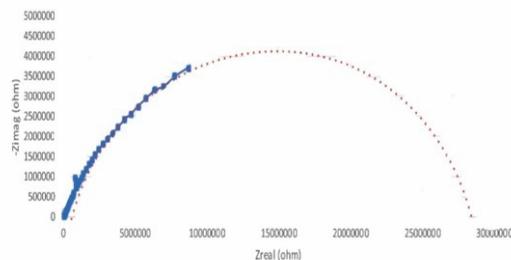


Figura 29. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M4 en C2.

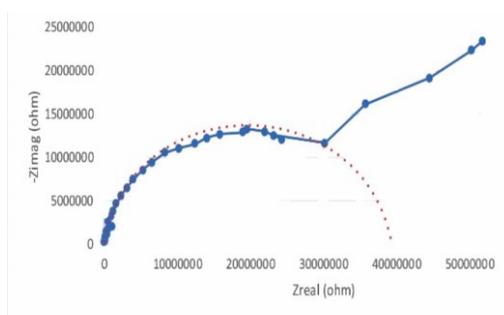


Figura 30. Diagrama de Nyquist de la caracterización electroquímica del M4 con 0.1 mL de etanol.

La Figura 30. Presenta el diseño del circuito equivalente para el sistema de la Figura 29. En el que se presenta una resistencia, así como un pseudocapacitor los cuales reflejan el comportamiento interno del gel ya que no se presenta una resistencia externa.

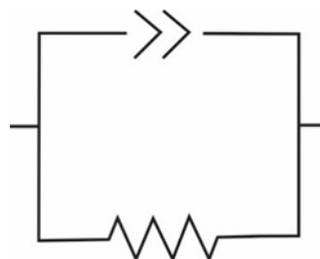


Figura 31. Circuito equivalente propuesto para la Figura 29.

La Figura 32. Se presenta el diseño del circuito de la Figura 30. Se cuenta con un pseudocapacitor que se

representa como un capacitor debido a la cercanía de valores, el cual está acompañado de un proceso resistivo el cual da lugar a impedancia de Warburg en la cual inicia un proceso meramente difusivo

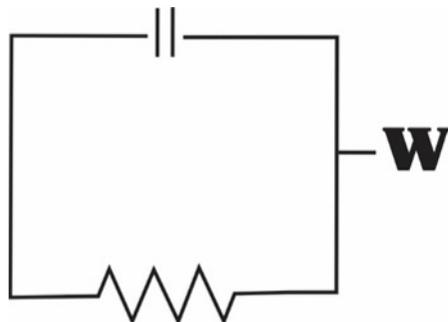


Figura 32. Circuito equivalente propuesto para la Figura 30.

4. Conclusiones

Fue posible determinar la cantidad de bases orgánicas (grenetina, carbopol y agar) para la elaboración de electrolitos semisólidos ácidos y alcalinos. Se identificó que las bases orgánicas de grenetina y agar requieren de bajas temperaturas para mantener una consistencia semisólida ya sea para medio ácido o alcalino. Mientras que el carbopol, puede mantener su consistencia semisólida hasta temperaturas inferiores de 72 °C. Fue posible identificar que el electrolito semisólido que mejor comportamiento electroquímico presentó fue el electrolito semisólido de carbopol, en medio ácido como alcalino. Así mismo fue posible observar que la presencia de etanol en los electrolitos semisólidos a base de carbopol reduce su resistencia electroquímica. Permitiendo una mejor transferencia de iones, para medio ácido o alcalino.

Contribución de los autores

C.K. Zagal-Padilla. Análisis de resultados, redacción y revisión del manuscrito.

P. Vargas-Guzmán. Experimental, análisis de resultados y redacción del manuscrito.

D. Rubio-Saavedra. Experimentación, redacción y análisis de los resultados del manuscrito.

A. Álvarez Gallegos. Redacción y análisis de los resultados del manuscrito.

S. Irazoque-Castañeda. Experimental y análisis de resultados

Fuente de financiamiento

CONAHACYT

Conflicto de intereses

No existe conflicto de interés declarado por los autores.

5. Agradecimientos

Se agradece al programa de CONHACYT, Estancias Posdoctorales por México 2022. Por el apoyo económico brindado a la Dra. Claudia Karina Zagal Padilla, con No. De CVU 464307 y a la Dra. Shirley Irazoque Castañeda con No. De CVU 425524.

6. Referencias

Para, M. L., Calderón, C. A., Drvarič Talian, S., Fischer, F., Luque, G. L., Barraco, D. E., ... & Dominko, R. (2022). Extending the conversion rate of sulfur infiltrated into microporous carbon in carbonate electrolytes. *Batteries & Supercaps*, 5(5), e202100374.

Sajid, A., Pervaiz, E., Ali, H., Noor, T., & Baig, M. M. (2022). A perspective on development of fuel cell materials: electrodes and electrolyte. *International Journal of Energy Research*, 46(6), 6953-6988.

Kondori, A., Esmacilrad, M., Harzandi, A. M., Amine, R., Saray, M. T., Yu, L., ... & Asadi, M. (2023). A room temperature rechargeable Li₂O-based lithium-air battery enabled by a solid electrolyte. *Science*, 379(6631), 499-505.

Hubble, D., Brown, D. E., Zhao, Y., Fang, C., Lau, J., McCloskey, B. D., & Liu, G. (2022). Liquid electrolyte development for low-temperature lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, 15(2), 550-578.

Liu, Y. K., Zhao, C. Z., Du, J., Zhang, X. Q., Chen, A. B., & Zhang, Q. (2023). Research Progresses of Liquid Electrolytes in Lithium-Ion Batteries. *Small*, 19(8), 2205315.

Raag Harshavardhan, P., Subbaiyan, A., Vasavi, U., Thirumoorthy, P., Periyasamy, M., Josteena Johny, J., ... & Balamoorthy, D. (2022). Enhanced biodegradation of battery-contaminated soil using *Bacillus sp.*(mz959824) and its phytotoxicity study. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022

Cheriyedath S. 2019. Análisis electroquímico . 10/11/2019, de NEWS MEDICAL LIFE SCIENCES Sitio web: [https://www.news-medical.net/life-sciences/Electrochemical-Analysis-\(Spanish\).aspx](https://www.news-medical.net/life-sciences/Electrochemical-Analysis-(Spanish).aspx)