



## EL PROTOTIPO DE PILA DE ALUMINIO-AIRE COMO UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LA ELECTROQUÍMICA

**Luisa José Tapia**

*Instituto Politécnico Nacional*

*luisa\_jt@yahoo.com.mx*

**Guadalupe Escartín González**

*Instituto Politécnico Nacional*

*escartinn@ipn.mx*

**Jose Luis Morales Gaspar**

*Instituto Politécnico Nacional*

### Abstract

*This project addresses the design and fabrication of an aluminum battery as a didactic and functional alternative for learning electrochemical principles at the upper secondary level. The research stems from the need to strengthen the practical teaching of subjects such as chemistry and physics, due to the limited implementation of experiments related to electrochemical phenomena and the generation of electrical energy. The proposed prototype is based on the operation of an electrochemical cell, in which aluminum acts as the active material in the oxidation-reduction process and graphite as the conducting electrode. Through these chemical reactions, a potential difference is generated capable of producing electrical energy usable in basic applications and emergency situations.*

*Keywords: Aluminum-air cell, electrochemical prototype, redox reactions, pedagogical strategy, energy storage*

El uso de prototipos electroquímicos en los entornos de enseñanza superior representa una de las estrategias más efectivas para mitigar la abstracción

inherente a las reacciones de transferencia electrónica.



Conceptos fundamentales como el potencial de reducción, el comportamiento de los electrodos porosos y las leyes termodinámicas que rigen las celdas galvánicas suelen abordarse desde un enfoque puramente algorítmico sobre el aula, desligado de la práctica empírica. Este artículo examina los fundamentos termodinámicos de la celda de aluminio-aire, detalla las especificaciones de ingeniería para la construcción de un prototipo analítico y discute las ventajas pedagógicas de su implementación en los laboratorios de química.

El objetivo principal del proyecto consiste en fabricar una batería funcional, segura, accesible y de bajo costo, que además de servir como apoyo didáctico permita demostrar de manera práctica conceptos como reacciones redox y celdas galvánicas. Asimismo, se busca evaluar la eficiencia, tiempo de funcionamiento y factibilidad técnica del prototipo mediante estudios experimentales y análisis básicos de viabilidad. Los resultados esperados pretenden fomentar el interés científico y tecnológico de los estudiantes, proporcionando una herramienta educativa que combine conocimientos teóricos y prácticos relacionados con la electroquímica y la generación de energía. De igual manera, el proyecto busca evidenciar la importancia de las baterías alternativas como recurso de apoyo en aplicaciones académicas y de emergencia.

Las baterías de aluminio representan una alternativa innovadora en el almacenamiento de energía debido a su bajo costo y abundancia del material.

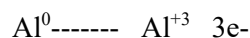
## Desarrollo

La pila de aluminio, también denominada celda aluminio-aire, es un dispositivo electroquímico que genera energía eléctrica a

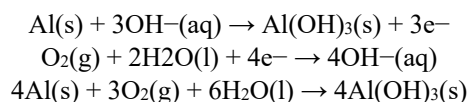
partir de la reacción de oxidación del aluminio (Al) con el oxígeno presente en el aire. Este tipo de pila pertenece a la categoría de las celdas metal-aire, las cuales se caracterizan por utilizar el oxígeno atmosférico como reactivo catódico en lugar de almacenarlo internamente, lo que les confiere una densidad de energía teórica excepcionalmente alta (Esteves, 2023).

Para el desarrollo de este proyecto se procede a fabricar una pila funcional y amigable al medio ambiente analizando los principios técnicos, la composición física y química y las características eléctricas de la pila de aluminio-aire con el fin de comprender su funcionamiento, proceso de construcción, operación y potencial de aplicación como fuente de energía portátil de alta densidad energética.

La representación esquemática del potencial de oxidación es la siguiente:



El funcionamiento electroquímico de la pila de aluminio se basa en reacciones de oxidación-reducción (redox) que ocurren espontáneamente entre el aluminio y el oxígeno del aire en presencia de un electrolito alcalino de hidróxido de potasio (KOH). (Tamez, 2007).



El aluminio se oxida liberando tres electrones por átomo. Estos electrones fluyen a través del circuito externo hacia el cátodo, generando la corriente eléctrica útil para alimentar el dispositivo conectado.



El oxígeno del aire se reduce al aceptar los electrones provenientes del ánodo, en presencia del agua del electrolito alcalino, produciendo iones hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) que migran hacia el ánodo.

El producto final es hidróxido de aluminio  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , un compuesto sólido insoluble que precipita en el electrolito. Esta reacción es irreversible en la pila primaria convencional. Sin embargo, la pila puede reactivarse mecánicamente sustituyendo la lámina de aluminio agotada por una nueva.

## Metodología

Se aplicó una metodología basada en la investigación documental y de campo, un estudio técnico que a continuación se presenta.

Se inicia estableciendo un diagrama general del proceso para la fabricación del prototipo Pila de aluminio donde se detallan las etapas del proceso y se presenta el resultado en cada una de ellas.



*Figura 1. Prototipo final Pila de aluminio-aire.*

Desde el punto de vista técnico, se comprobó que el aluminio es un material adecuado para su uso como ánodo debido a su alta capacidad de oxidación, disponibilidad en la naturaleza, bajo costo y posibilidad de reciclaje. Además, la combinación con materiales conductores como el grafito permitió generar corriente eléctrica funcional capaz de alimentar pequeños dispositivos o demostrar el principio energético del sistema.



Figura 2. Desarrollo del proceso para la fabricación de la pila de aluminio.

### Diseño y fabricación de la pila de aluminio.

La fabricación y el estudio analítico de un prototipo de pila de aluminio-aire constituyen un recurso pedagógico de primer orden para

los laboratorios de ciencias químicas y electroquímica fundamental. A través de una arquitectura simple, segura y de bajo costo operativo, el dispositivo logra desmitificar los procesos electroquímicos complejos y conectarlos de forma directa con magnitudes físicas medibles en tiempo real. Asimismo, este sistema abre las puertas a discusiones académicas de alto nivel sobre las limitaciones de los sistemas comerciales actuales y el futuro del almacenamiento energético sustentable, demostrando que la experimentación clásica de laboratorio continúa siendo el pilar fundamental en la formación de competencias científicas críticas e innovadoras.

El diseño de una pila de aluminio-aire (Al-aire) a escala de laboratorio proporciona una plataforma idónea para ilustrar la conversión de energía química en energía eléctrica utilizando materiales de baja toxicidad y alta disponibilidad.

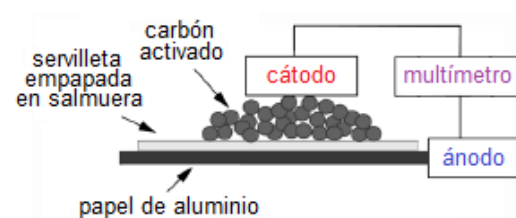


Figura 3. Una pila eléctrica de aluminio y aire. Tomado de <https://quimins.wordpress.com>

El diseño del prototipo en 2D es la representación gráfica y técnica de un producto mediante planos bidimensionales, mostrando largo y ancho. Es una fase vital que permite visualizar la forma, validar proporciones y crear plantillas precisas para la fabricación antes de realizar modelos costosos.

El diseño en 2D es una gran herramienta que utiliza la tecnología para producir modelos más precisos y complejos. Se utilizan herramientas digitales de diseño asistido por





computadora (CAD). Esta manera de diseñar utiliza programas como SolidWorks o AutoCAD para representar las vistas e isométrico.

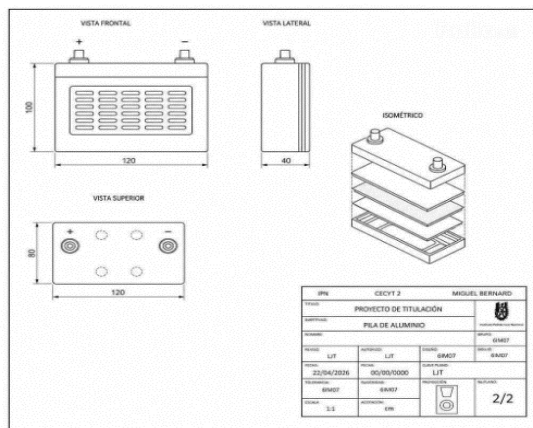


Figura 4. Vistas y plano de Diseño del prototipo.

Guía de Operación del prototipo electroquímico. La elaboración de una guía de operación resulta indispensable para asegurar el uso correcto, seguro y eficiente del prototipo desarrollado. Debido a que la batería utiliza un electrolito alcalino y materiales reactivos, es necesario establecer instrucciones claras para su manipulación, almacenamiento y disposición final. Esta guía permite reducir riesgos, prolongar la vida útil del sistema y garantizar resultados consistentes durante su funcionamiento.

Uso Correcto. Operar dentro del rango de temperatura indicado: 10 C a 50 C. No exponer la pila a lluvia directa ni sumergirla en agua. Monitorear la tensión de salida; cuando descienda por debajo de 0.8 V por celda, reemplazar el ánodo de aluminio. El electrolito puede reutilizarse hasta que se sature visiblemente de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (deposito blanco espeso).

Almacenamiento. Almacenar las láminas de aluminio en lugar seco, lejos de ácidos o bases que puedan deteriorarlas. Si la pila no se usa, vaciar el electrolito y enjuagar los componentes con agua destilada. El cátodo de aire debe sellarse herméticamente durante el almacenamiento para evitar la carbonatación por el  $\text{CO}_2$  del ambiente.

Seguridad. El electrolito de KOH es caustico: usar guantes de nitrilo y lentes de protección en todo momento durante el manejo. En caso de contacto con la piel u ojos, lavar abundantemente con agua por mínimo 15 minutos y buscar atención médica. No cortocircuitar la pila; puede generar calor excesivo y derrame del electrolito. Operar en áreas ventiladas; la reacción puede generar pequeñas cantidades de hidrogeno gaseoso.

Disposición final y normatividad. El aluminio agotado puede reciclarse al 100% en fundidoras convencionales; depositarlo en puntos de acopio de metal. El electrolito de KOH usado debe neutralizarse con ácido acético diluido antes de su disposición, conforme a la NOM-052-SEMARNAT en México. El  $\text{Al}(\text{OH})_3$  precipitado puede secarse y reutilizarse como materia prima industrial.

La implementación de este prototipo dentro del manual de prácticas de química permite estructurar experiencias de aprendizaje bajo el modelo de indagación guiada. A través de la monitorización en tiempo real empleando multímetros digitales de precisión, los estudiantes adquieren capacidades críticas en la adquisición y el análisis de magnitudes eléctricas.

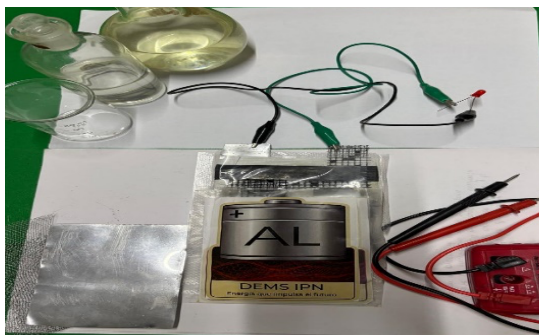


Figura 4. Implementación de Celda electroquímica en el laboratorio.

Observando el esquema de la pila se puede concluir que su potencial total dependerá del potencial de cada electrodo. Sin embargo, el potencial de cada electrodo no se puede obtener de manera aislada, pues en cada celda, participan por lo menos dos electrodos (Bravo, 2024).

## ANÁLISIS DE ENCUESTA APLICADA

A continuación, se muestran los resultados de importancia obtenidos de la encuesta aplicada a los estudiantes:

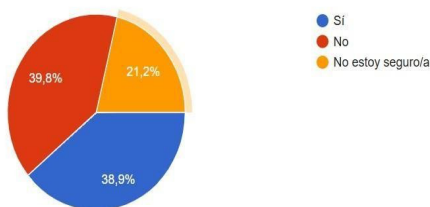


Figura 5. ¿Consideras que es importante la fabricación de un prototipo de pila de aluminio para el laboratorio?

El 39 % de los encuestados contestaron afirmativamente ya que consideran importante su fabricación, el 39 % no consideraron esto y finalmente un 22% no estaban seguros.

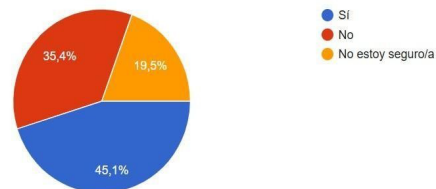


Figura 6. ¿Considera que la batería de aluminio podría ser una buena alternativa a las baterías tradicionales?

El 45% de los participantes indican que si están seguros que las baterías de aluminio podría ser buenas alternativas, mientras que un 35% opina que no. Y eventualmente un 20% no estuvo seguro.

De manera similar, al evaluar si la batería de aluminio podría ser una buena alternativa. Esto refleja que existe una aceptación moderada, pero aún con dudas importantes.

## Conclusión

A partir del desarrollo y análisis del presente proyecto, se concluye que la batería o pila de aluminio representa una alternativa tecnológica con gran potencial tanto en el ámbito educativo como en el desarrollo de soluciones energéticas sostenibles. Su funcionamiento, basado en principios electroquímicos de oxidación-reducción, demuestra que es posible transformar energía química en energía eléctrica mediante el uso de materiales accesibles, económicos y con menor impacto ambiental. La construcción del prototipo permitió observar de manera



práctica cómo estos principios se relacionan directamente con el funcionamiento de una batería real, fortaleciendo significativamente el aprendizaje experimental. Finalmente, puede afirmarse que el desarrollo de una pila de aluminio no solo constituye una herramienta didáctica efectiva para el aprendizaje de principios científicos, sino también una propuesta prometedora dentro del campo de las energías alternativas. Su potencial de mejora y adaptación futura la convierte en una opción interesante para continuar investigando y desarrollando soluciones energéticas más sustentables, accesibles e innovadoras.

## Agradecimientos

El proyecto se llevó a cabo gracias al financiamiento del programa de grupos colaborativos mediante la ejecución de proyectos multidisciplinarios y transdisciplinarios de investigación científica y desarrollo tecnológico de la Secretaría de Investigación y Posgrado, a través de la Dirección de Investigación del IPN. Este trabajo contó con el apoyo del proyecto de investigación SIP 20250729.

## Referencias

- Atkins, P., & de Paula, J. (2008). *Química-Física*. Editorial Médica Panamericana. (Detalla los principios de las celdas galvánicas y el transporte de iones en electrolitos).
- Bravo Trejo, J. M. (2010). *Química III: Transformaciones químicas y aplicaciones* (2ª ed.). Grupo Editorial Éxodo.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2017). *Química*. McGraw-Hill Education. (Capítulo de Electroquímica: Fundamental para explicar las reacciones de óxido-reducción y el potencial de celda).
- Egan, D. R., et al. (2013). "Developments in electrode materials and electrolytes for aluminium-air batteries". *Journal of Power Sources*. (Un análisis profundo sobre los desafíos de la corrosión y el ánodo de aluminio).
- Esteves Flores, J., Colorado Arellano, O., Gil Mejía, R., y Rivera Procuna, M. A. (2023). *Apoyando a la física clásica 3: Electrostática y electrodinámica - Laboratorio*. Grupo Editorial Éxodo.
- Li, Q., & Bjerrum, N. J. (2002). "Aluminum as anode for energy storage and conversion: a review". *Journal of Power Sources*. (Revisión histórica del uso del aluminio).
- Phinergy Ltd. (2024). *Aluminum-Air Technology for Zero-Emission Mobility*. Recuperado de su sitio oficial: [phinergy.com](http://phinergy.com). (Información sobre prototipos actuales de autos eléctricos con 1,600 km de autonomía).
- P. Goel. (2020). Baterías de aluminio-aire: una revisión de viabilidad <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X1931391>
- M. Mokhtar y otros. (2015). Últimos avances en materiales para baterías de aluminio-aire: una revisión. *Ind. Eng. Chem*.
- S. Yang y otros. (2002). Diseño y análisis de un sistema de baterías de aluminio/aire para vehículos eléctricos.
- Tamez M. & Julie H. Yu. (2007). Exploratorium Teacher Institute, 3601 Lyon St., San Francisco, CA 94123; [exploratorium.edu](http://exploratorium.edu)
- YJ Cho y otros. (2015). Ánodo de aluminio para batería de aluminio-aire - Parte I: influencia de la pureza del aluminio. *J. Fuentes de energía*