

**Nombre del semillero de investigación**

SEMILLERO DE INVESTIGACION EN ENERGIAS ALTERNATIVAS (SINERGIA)

**Nombre del proyecto**

GENERACION Y ALMACENAMIENTO DE ENERGIA TERMOQUIMICA III

**Año**

2022

**Marco del Proceso de ASC: Fortalecimiento o solución de asuntos de interés social.**

Este semillero de investigación forma parte de la estrategia de Investigación Formativa de la Universidad EAFIT que ratifica su compromiso con el desarrollo de la Ciencia, la Tecnología, la Innovación y la Creación y lo establece como uno de sus ejes misionales. Con el desarrollo de iniciativas como estas, aportamos a los procesos científico-tecnológicos y creativos que se desarrollan en el seno de su comunidad universitaria y cómo estos permean las experiencias de aprendizaje de los estudiantes.

En el propósito de cultivar talentos y vocaciones científicas y creativas el rol del profesor es vital, ya que es quien desde su pasión, experiencia y conocimiento acerca a los estudiantes a las técnicas propias del saber científico y diseña experiencias de aprendizaje que aporten a la construcción de procesos investigativos.

En consonancia con los [Lineamientos de Investigación Formativa de la Universidad](#), se describe a continuación los principios que rigieron la ejecución del componente con sus resultados, en términos del fortalecimiento de asuntos de interés social, del presente proyecto:

**Objetivos del semillero en clave de fortalecimiento de la práctica educativa**

En este proyecto se retomaron los objetivos del proyecto ejecutado en 2020 y 2021: “Generación y almacenamiento de energía termoquímica I y II”. Estos son: Implementación de concentradores solares; Implementación de sistemas de almacenamiento termoquímico; Actividades de socialización del conocimiento con la participación en eventos académicos y científicos; Trabajo colaborativo con los estudiantes.

**Medellín**NIT 890901389  
Carrera 49 # 7 sur-50  
(57) 604 261 95 00**Pereira**Carrera 19 # 12-70  
Megacentro Pinares  
(57) 606 321 41 15**Bogotá**Carrera 15 # 88-64  
oficina 401  
(57) 601 611 46 18**Llanogrande**Km 3.5 vía Don Diego –  
Rionegro  
(57) 322 529 4323

## Metodología

Para lograr los objetivos, este proyecto se dividió en cinco fases de la siguiente manera: La primera fase estuvo dedicada al estudio del estado del arte, evaluación de métodos recientes y familiarización con la literatura sobre el problema. En esta fase, se propuso revisar artículos científicos relacionados con los electrodos de grafito, su aplicación en el ámbito científico e ingenieril y antecedentes del problema. La segunda fase se dedicó a definir los parámetros fisicoquímicos que incluyen la especificación de propiedades del material objetivo a estudiar, evaluar y caracterizar, y otros supuestos relacionados con el estudio de caso. La obtención de electrodos de carbono para una subsecuente implementación de pruebas instrumentales de caracterización y junto con sus correspondientes métodos de análisis son el objetivo de la tercera fase. En la cuarta fase se propuso el análisis de resultados junto con la interpretación de estos. Finalmente, la divulgación de los resultados del proyecto y las conclusiones al respecto.

## Resultados obtenidos

Los desafíos hacia las baterías de litio se centran en reducir el material constituyente y los costos de fabricación y mejorar su rendimiento. Entre muchas químicas de ánodo utilizadas en baterías de iones de litio, los materiales a base de grafito son la mayoría debido a su alta resistencia mecánica, conductividad eléctrica y térmica, y bajo costo. Para obtener las relaciones óptimas de composición, se desarrolló un experimento estadístico de respuesta superficial con cuatro variables como respuesta: capacidad de descarga, eficiencia coulombica, desviación estándar de masa de la película y retención de capacidad. Se plantea cuatro etapas para la realización del proyecto: preparación de la suspensión, preparación del ánodo, caracterización fisicoquímica de muestras y análisis electroquímico. Describimos el proceso de optimización de lodos del ánodo mediante el uso de un experimento estadístico de respuesta superficial con cuatro variables de respuesta, como la capacidad de descarga específica, la eficiencia coulombica, la desviación de masa de los ánodos y la retención de capacidad. Estudiamos dos grafitos comerciales Sigma-Aldrich® y TMAX-918-III caracterizando los materiales vía Raman y SEM. Corroboramos la estructura del grafito para ambos materiales pero con diferencias morfológicas como la forma y el tamaño de partícula. La composición del aglutinante parece interferir con las capacidades de grafito TMAX mientras genera un mejor rendimiento para el material Sigma-Aldrich. Aunque se confirmó que la estructura química de ambos materiales era la misma a través de experimentos

Raman, las imágenes SEM muestran diferencias morfológicas críticas que interfieren con la suspensión final, lo que afecta el rendimiento de los ánodos. Todo este proceso de fabricación de batería tipo moneda y bolsillo se realizó como trabajo colaborativo con el grupo de investigación CIDEMAT de la Universidad de Antioquia. Se tienen avances en la construcción de la base del primer prototipo de concentrador solar, sin embargo, no se ha encontrado la mezcla adecuada de materiales que soporte la geometría escogida en su diseño. Para la integración de los sistemas térmicos y electroquímicos, se inició con el acople entre energías térmicas y electroquímica a través del desarrollo de electrolizadores, que nos permitirían utilizar este sistema de generación y ser el puente con los sistemas de almacenamiento. En ese sentido se ha desarrollado la evaluación electroquímica de un electrolizador de agua salada usando materiales de bajo costo. En esta etapa del proceso se obtuvieron los siguientes resultados: los materiales y equipos que empleamos fueron: fuentes de poder, electrolizador (celda), potenciostato, electrodos  $Ag^+/AgCl$ , grafito, Pt. Soluciones buffer  $NH_3/NH_4NO_3$  y  $KH_2PO_4/K_2HPO_4$ . Los métodos de caracterización empleados: Voltametría cíclica, espectroscopía de impedancia electroquímica, cronoamperometría, método de Mohr para cuantificación de cloruros, diseño de experimentos factorial fraccionado para evaluar producción de hidrógeno a partir de agua de mar simulada (para minas 2B y para minas HB) y los resultados obtenidos fueron áreas activas de las minas de grafito 2B y HB, se determinó la mejor solución buffer  $KH_2PO_4/K_2HPO_4$ . Se encontró que para maximizar la producción de hidrógeno se debe disminuir la concentración de la solución buffer. Se terminó este trabajo con la entrega de la tesis de pregrado titulada “Evaluación de un prototipo de electrolizador de bajo costo para la producción de hidrógeno” a cargo de las estudiantes Elizabeth Miranda, Ana Londoño Soto en el mes de mayo de 2022. Se realizó un taller en el marco del encuentro REDCOLSI de octubre 2022, donde se probaron unas baterías de ion litio tipo bolsillo y tipo moneda productos del proyecto.

### **Descripción del fortalecimiento, la solución o el mejoramiento de la práctica educativa**

Con la vinculación de estudiantes avanzados en la temática del proyecto, los integrantes del semillero se enriquecieron en gran medida por la interacción y desarrollo de tareas puntuales. En este sentido, el acompañamiento de los estudiantes avanzados a cada una de las actividades de los integrantes del semillero rindió frutos en lo que respecta a un mejor entendimiento de los fenómenos físicos subyacentes a esta aplicación de aprovechamiento de fuentes

**Medellín**

NIT 890901389  
Carrera 49 # 7 sur-50  
(57) 604 261 95 00

**Pereira**

Carrera 19 # 12-70  
Megacentro Pinares  
(57) 606 321 41 15

**Bogotá**

Carrera 15 # 88-64  
oficina 401  
(57) 601 611 46 18

**Llanogrande**

Km 3.5 vía Don Diego –  
Rionegro  
(57) 322 529 4323

no convencionales de energía. Por otro lado, se obtuvieron productos académicos interesantes como: Proyecto de Grado (Ingeniería de Procesos): Evaluación de un prototipo de electrolizador de bajo costo para la producción de hidrógeno (Mayo 2022) Elizabeth Miranda, Ana Londoño Soto. Proyecto de Grado (Ingeniería de Procesos): Desarrollo de materiales activos para electrodos de baterías de ion (Anteproyecto aprobado, octubre 2022) Kevin Andrés Sepúlveda Hidalgo, Alejandra López Pérez.

A partir de estas consideraciones, a continuación, se encuentra la sistematización del proceso.

---

**Medellín**

NIT 890901389  
Carrera 49 # 7 sur-50  
(57) 604 261 95 00

**Pereira**

Carrera 19 # 12-70  
Megacentro Pinares  
(57) 606 321 41 15

**Bogotá**

Carrera 15 # 88-64  
oficina 401  
(57) 601 611 46 18

**Llanogrande**

Km 3.5 vía Don Diego –  
Rionegro  
(57) 322 529 4323

## **Informe de Avance Generación y almacenamiento de energía termoquímica III**

### **Objetivos cumplidos y/o su porcentaje de cumplimiento estimado.**

#### **Objetivo general 70%**

Producir energía eléctrica a partir de colectores solares y desarrollar baterías de flujo redox para almacenamiento energético utilizando materiales reciclados o de bajo costo.

#### **Objetivos específicos**

- Implementar un concentrador solar a partir de los resultados de los proyectos 2020 y 2021 evaluando su eficiencia y que sea de bajo presupuesto. 50%
- Implementar un prototipo de base plegable que cumpla la función de soporte de concentrador y mejore la eficiencia del mismo. 20%
- Desarrollar un prototipo funcional de batería de flujo redox, haciendo un análisis de eficiencia coulombica y ciclado para el almacenamiento de energía. 100%
- Llevar a cabo pruebas con los prototipos construidos instalándolos en el campus de Llanogrande de la Universidad EAFIT para evaluar su desempeño. 0%
- Interactuar con el grupo de investigación CIDEMAT de la Universidad de Antioquia para hacer uso de espacios que puedan ser de ayuda en la construcción y evaluación de los prototipos de baterías. 100%
- Socializar los resultados parciales y finales en encuentros como la feria de semilleros de investigación anual de la Universidad EAFIT y encuentros departamentales y nacionales de semilleros, entre otros. 100%

#### **Resultados obtenidos 70%**

Se han realizado avances en el estudio de electrodos para aplicaciones en las baterías de ion de litio. Los desafíos hacia las baterías de litio se centran en reducir el material constituyente y los costos de fabricación y mejorar su rendimiento. Entre muchas químicas de ánodo utilizadas en baterías de iones de litio, los materiales a base de grafito son la mayoría debido a su alta resistencia mecánica, conductividad eléctrica y térmica, y bajo costo [1].

La suspensión de batería anódica es un sistema típico de partículas que consiste en grafito o negro de humo como partícula, difluoruro de polivinilideno (PVDF) o carboximetilcelulosa (CMC) y caucho de estireno butadieno (SBR) como aglutinante, y medio orgánico o acuoso como disolvente. Se puede formar una variedad de microestructuras en un sistema de partículas debido a la interacción entre la partícula y el polímero, como el puente, la atracción por agotamiento o la repulsión electrostática. Estos cambios estructurales influyen en la adhesión y solidificación de la película, el tiempo de secado y afectan el rendimiento de la batería [1,2].

Para obtener las relaciones óptimas de composición, se desarrolló un experimento estadístico de respuesta superficial con cuatro variables como respuesta: capacidad de descarga, eficiencia coulombica, desviación estándar de masa de la película y retención de capacidad.

Se plantea cuatro etapas para la realización del proyecto: preparación de la suspensión, preparación del ánodo, caracterización fisicoquímica de muestras y análisis electroquímico.

Describimos el proceso de optimización de lodos del ánodo mediante el uso de un experimento estadístico de respuesta superficial con cuatro variables de respuesta, como la capacidad de descarga específica, la eficiencia coulombica, la desviación de masa de los ánodos y la retención de capacidad. Estudiamos dos grafitos comerciales Sigma-Aldrich® y TMAX-918-III caracterizando los materiales vía Raman y SEM. Corroboramos la estructura del grafito para ambos materiales pero con diferencias morfológicas como la forma y el tamaño de partícula. La composición del aglutinante parece interferir con las capacidades de grafito TMAX mientras genera un mejor rendimiento para el material Sigma-Aldrich. Aunque se confirmó que la estructura química de ambos materiales era la misma a través de experimentos Raman, las imágenes SEM muestran diferencias morfológicas críticas que interfieren con la suspensión final, lo que afecta el rendimiento de los ánodos. Se requieren estudios adicionales para comprender ecSA y su posible efecto sobre las capacidades de carga / descarga de los ánodos.

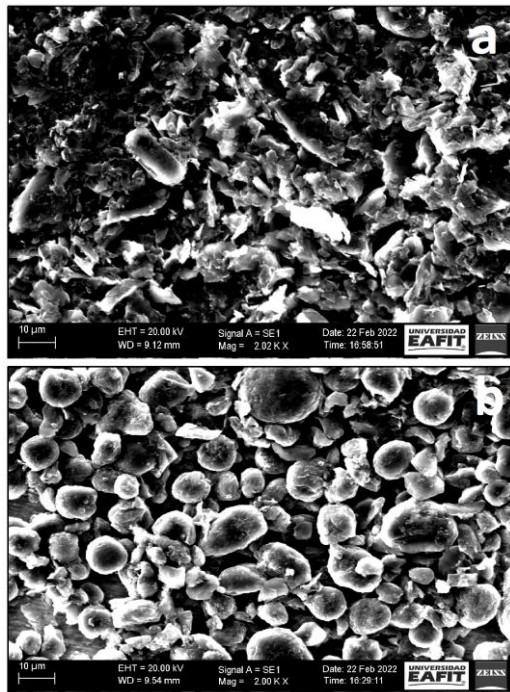


Figure 2 SEM Ánodos. a) Carbón S b) Carbón T

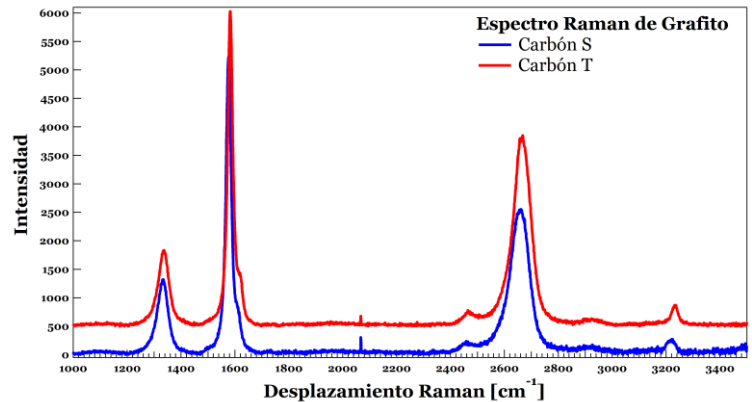


Figure 1. Espectro Raman para los materiales

Todo este proceso de fabricación de batería tipo moneda y bolsillo se realizó como trabajo colaborativo con el grupo de investigación CIDEMAT de la Universidad de Antioquia.

Se tienen avances en la construcción de la base del primer prototipo de concentrador solar, sin embargo, no se ha encontrado la mezcla adecuada de materiales que soporte la geometría escogida en su diseño. Actualmente seguimos en fase de exploración de materiales, aunque ya se logró refinar mucho más la mezcla final, pero por temas presupuestales, no se logró obtener la muestra final que nos sirviera para arrancar el proceso de lavado y adherido de los materiales reflectores.

Se propuso realizar un prototipo de seguidor solar al no haber logrado la mezcla final. No se pudo construir el primer prototipo, incluso utilizando los recursos propuestos de la visita al campus de Llanogrande para su evaluación, por lo tanto, no se pudo subir a probarlo. Los resultados parciales del proyecto fueron presentados en la red de semilleros regional, obteniendo la calificación necesaria para presentar el mismo en el encuentro nacional.

Para la integración de los sistemas térmicos y electroquímicos, se inició con el acople entre energías térmicas y electroquímica a través del desarrollo de electrolizadores, que nos permitirían utilizar este sistema de generación y ser el puente con los sistemas de almacenamiento. En ese sentido se ha desarrollado la evaluación electroquímica de un electrolizador de agua salada usando materiales de bajo costo. Esta etapa del proceso fue en la que más avanzamos, encontrando los siguientes resultados: los materiales y equipos que empleamos fueron: fuentes de poder, electrolizador (celda), potenciostato, electrodos  $\text{Ag}^+/\text{AgCl}$ , grafito, Pt. Soluciones buffer  $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{NO}_3$  y  $\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{K}_2\text{HPO}_4$ .

Los métodos de caracterización empleados: Voltametría cíclica, espectroscopía de impedancia electroquímica, cronoamperometría, método de Mohr para cuantificación de cloruros, diseño de experimentos factorial fraccionado para evaluar producción de hidrógeno a partir de agua de mar simulada (para minas 2B y para minas HB) y los resultados obtenidos fueron áreas activa de las minas de grafito 2B y HB, se determinó la mejor solución buffer  $\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{K}_2\text{HPO}_4$ . Esta permite una mayor producción de hidrógeno. Se encontró que para maximizar la producción de hidrógeno se debe disminuir la concentración de la solución buffer. Se terminó este trabajo con la entrega de la tesis de pregrado titulada “Evaluación de un prototipo de electrolizador de bajo costo para la producción de hidrógeno” a cargo de las estudiantes Elizabeth Miranda, Ana Londoño Soto en el mes de mayo de 2022.

Se realizó un taller en el marco del encuentro REDCOLSI de octubre 2022, donde se probaron unas baterías de ion litio ensamblados por nosotros tipo bolsillo y tipo moneda.



Figure 3 Batería tipo moneda.



Figure 4 Batería tipo bolsillo.

## **Bibliografía**

- [1] S. Lim, S. Kim, K.H. Ahn, S.J. Lee, The effect of binders on the rheological properties and the microstructure formation of lithium-ion battery anode slurries, *Journal of Power Sources*. 299 (2015) 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.09.009>.
- [2] J. Garofalo, J. Lawler, D. Walczyk, N. Koratkar, Analysis of Deposition Methods for Lithium-Ion Battery Anodes Using Reduced Graphene Oxide Slurries on Copper Foil, *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. 140 (2018). <https://doi.org/10.1115/1.4040265>.

## **Relación de publicaciones, ponencias, patentes o registros realizados o en proceso**

### *Participación en Eventos:*

- *Optimización del proceso de preparación y caracterización de ánodos para baterías de iones de litio. José M. Machado L., Laura Carmona Saldarriaga. Docente Asesor: Diana Constanza Orozco Gallo. XXI Encuentro de Semilleros de investigación RedColsi, nodo Antioquia 2022. Tipo: Poster.*
- *Optimización del proceso de preparación y caracterización de ánodos para baterías de iones de litio. José M. Machado L., Laura Carmona Saldarriaga. Docente Asesor: Diana Constanza Orozco Gallo. Feria de Semilleros Universidad EAFIT 2022. Tipo: Poster.*

### *Talleres formativos*

- *Energías renovables: creación de baterías. Encuentro REDCOLSI, Octubre 13, 2022. Medellín, Colombia. Realizado entre Universidad EAFIT y grupo CIDEMAT de la Universidad de Antioquia. Talleristas: Diana Constanza Orozco Gallo, Maycol Francisco Mena Palacios. Tipo: Taller.*

## **Relación de la participación de estudiantes en el proyecto, ya sea directamente como asistentes de investigación o indirectamente a través de otras actividades como: proyectos de curso, proyectos de grado, semilleros etc.**

- **Coordinador Semillero:** José Manuel Machado Loaiza.
- **Semillero de Investigación:** José Manuel Machado Loaiza, Laura Carmona Saldarriaga. **Proyecto de Grado (Ingeniería de Procesos):** Evaluación de un prototipo de electrolizador de bajo costo para la producción de hidrógeno (Mayo 2022) *Elizabeth Miranda, Ana Londoño Soto.*
- **Proyecto de Grado (Ingeniería de Procesos):** Desarrollo de materiales activos para electrodos de baterías de ion (Anteproyecto aprobado, octubre 2022) *Kevin Andrés Sepúlveda Hidalgo, Alejandra López Pérez.*

### **Relación de vínculos internacionales desarrollados en torno al proyecto**

- Se inició contacto con el profesor Manuel Rodrigo, de la Universidad de Castilla La Mancha, Campus Ciudad Real, quien trabaja tanto en temas de baterías como de electrolizadores.