

Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	8
Vigencia	19/09/2024



Departamento: Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

**Programa de acreditación:
CyTMA2**

Programa de Investigación¹:

Código del Proyecto: C2-ING-128

Título del proyecto

**Recuperación de litio y cobalto de baterías de ion – litio
de aparatos electrónicos por método de hidrometalurgia**

PI Dependencia Compartida:
Elija un elemento.

PI Interdepartamental:
Elija un elemento.

Informe Final

Director: Alejandra María de los Ríos

Director externo:

Codirector: Marisa Alejandra Morais

¹ Los Programas de Investigación de la UNLaM están acreditados con resolución rectoral, según lo indica la Resolución HCS N° 014/15. Acerca de los **Lineamientos generales para el establecimiento, desarrollo y gestión de Programas de Investigación UNLaM**, sugerimos consultar en el Departamento Académico correspondiente a la inscripción del proyecto.

Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	8
Vigencia	19/09/2024



A. Resumen del proyecto²

● Problema de investigación:

En los debates sobre la transición energética y la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, el litio ha adquirido un nuevo rol. Las baterías de ion-litio (LIBs) utilizadas tanto en los automóviles como en algunos dispositivos electrónicos se han masificado. Debido a este incremento especialmente en los sectores de automoción y almacenamiento de energía, y teniendo en cuenta que la vida útil de las mismas es de tres años, el crecimiento de su uso lleva a un elevado número de residuos. Se estima que para el 2030 la producción anual de LIBs en todo el mundo alcance los 2 millones de toneladas (Jacoby M, 2021). Además, según Heelan, J. et al., 2016 menos del 5% de las LIB usadas se reciclan hoy en día y la mayoría de esas baterías terminan en vertederos, lo cual constituye un peligro potencial para el ecosistema y la salud humana (Macedo, 2022). Es importante resolver esta cuestión por dos motivos: 1) la disposición de los materiales de las baterías en rellenos sanitarios resulta perjudicial para el ambiente y para la salud debido a la presencia de elementos o compuestos inflamables y tóxicos, y 2) la obtención de las materias primas para su fabricación implica el consumo de recursos naturales no renovables y de alto costo económico. Por lo tanto, se busca desarrollar una metodología segura y viable económicamente para recuperar cobalto proveniente de baterías de ion- litio.

● Metodología:

1.- La primera etapa del proyecto requirió del acopio y clasificación de baterías de ion – litio. Con el propósito de recuperar las LIBs nos pusimos en contacto con el municipio y centros de acopio, pero decidimos realizar una campaña en los ISFD de La Matanza; el ISFDy T N° 56 y N° 46. Pudimos recolectar 6 baterías de ion – litio de celulares. Trabajamos con una batería de celular Samsung.

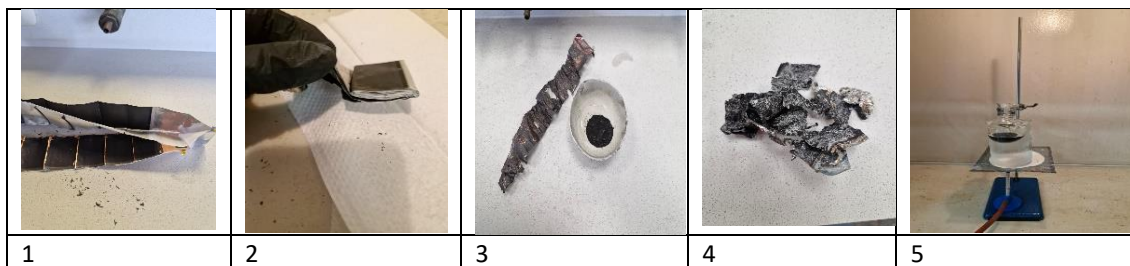
Datos de la batería:

modelo	3270110
corriente	3000mAh
fem	3,7V
serie	20140620A
peso	16,200 g

2.-Tratamiento de la batería: Para generar la descarga de la batería, se la sumergió en una solución de NaCl al 5% durante 36 horas. Se desarmó la batería empleando un cutter. Se pesó el ánodo 6,703g y el cátodo 7,023 g. Recuperamos cobre del ánodo (Fotos 1 y 3) y aluminio del cátodo (fotos 2 y 4). Posteriormente se calcinó el polvo a 750°C durante 2 horas. Y a continuación separamos el aluminio. Dado que, tanto el ánodo como el cátodo, están recubiertos con el polímero llamado fluoruro vinilideno (C₂H₂F₂)_n conocido como PVDF que garantiza una excelente resistencia a la corrosión y a la abrasión, es generalmente inerte a la mayor parte de ácidos y bases inorgánicas y ácidos orgánicos, se hizo necesario retirarlo. Con ese objetivo se empleó NMP (N-metil – 2-pirrolidona) (Wang, 2024). Se trata de un disolvente orgánico polar, de fórmula C₅H₉NO miscible con agua y con los disolventes orgánicos más comunes. Por esta razón permite disolver el PVDF, retirar el solvente que rodea a los electrodos y facilita la disolución de los iones Li⁺ y Co²⁺. Al tener un punto de ebullición alto (baja volatilidad), ser química y térmicamente estable, y no ser corrosivo permite la calcinación del polvo del cátodo sin riesgos de toxicidad ni inflamabilidad. El polvo catódico resultante de la incineración fue tratado con NMP a 100°C durante 1 hora (Foto 5). Después de secar a 60°C durante 24 horas, el tratamiento térmico fue necesario para eliminar el carbono y el PVDF (solvente fluoruro de polivinilideno) en el cátodo. Se dejó enfriar y se filtró. El peso del material catódico antes de la incineración fue 4,097 g. Luego se realizó la calcinación del polvo catódico a 750°C durante 2 horas.

² Actualizar todos los ítems en el **Banco de datos de actividades de CyT del SIGEVA UNLAM** (del Director y de los integrantes del Proyecto), en especial “**Antecedentes y Producciones y Servicios**”. Ver: www.youtube.com/@cytunlam

Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	8
Vigencia	19/09/2024



Fotos: 1- Cátodo 2-Ánodo. 3-Polvo catódico y cobre recuperado. 4- Aluminio recuperado desde el ánodo 5-Extracción del solvente remanente con el solvente NMP

3.- Preparación del material: A continuación, se realizó la molienda y el tamizado con malla de 75 μm (Foto 6). Se recuperaron 3,9 g de material catódico luego de la tamización (Foto 7).

Luego se realizó la lixiviación (Foto 8). Se usó una proporción S/L de 20 g de sólido/litro, empleando 100 ml de H_2O_2 al 10 % y 95 ml de ácido cítrico 1,25 M (Meiling Xu, 2021) para los 3,9 g de material catódico a lixiviar durante 2 horas a 60°C. Estos agentes lixiviantes en esas concentraciones resultan los más eficientes. (Meiling Xu, 2021). Luego de enfriar a temperatura ambiente, se filtró la muestra (foto 9), obteniendo 320 ml de líquido lixiviado (Foto 10) debido a los lavados sucesivos realizados con agua destilada.

4.- Determinación del Co^{2+} recuperado: se empleó espectroscopia UV-Vis ya que se trata de una técnica analítica rápida, económica, flexible y no destructiva que mide la absorbancia o transmitancia de la luz en función de la longitud de onda, generalmente en un rango de 200 a 800 nm, y es apropiada para algunas especies inorgánicas (Archery, 2005). La concentración de iones presentes en la solución se puede calcular a partir del valor de absorbancia en λ_{max} obtenido del espectrómetro UV-Vis usando la ley de Beer-Lambert, según la cual la absorbancia es directamente proporcional a la concentración y la longitud del camino (Picollo, *et al*, 2019) (Figura 1)

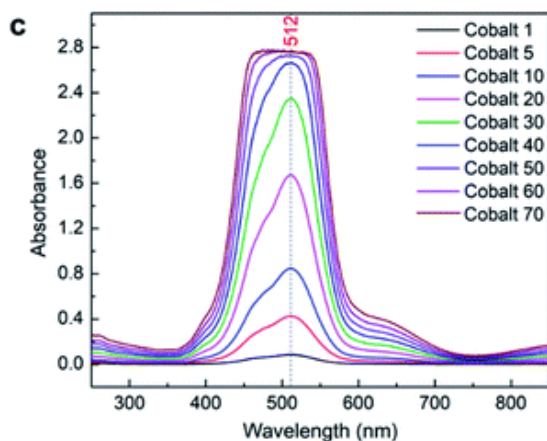


Figura 1. Se puede observar el pico máximo de absorbancia a 512 nm para el $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$

En el caso del cobalto, solo se observó un pico del espectro obtenido con $\lambda_{\text{max, Co}}$ a 512 nm y asignado al cobalto según la literatura. Se usó para el análisis la absorbancia correspondiente a $\lambda_{\text{max, Co}}$. Malik, 2021 observó picos claros para la solución con una concentración de cobalto que oscilaba entre 1 g L^{-1} y 20 g L^{-1} y se puede

Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	8
Vigencia	19/09/2024



observar irregularidad para las muestras con una concentración más alta. La razón de estas irregularidades es la misma que la descrita para las muestras de níquel puro. La absorbancia obtenida correspondiente a $\lambda_{\max, \text{Co}}$ se utilizó para encontrar la relación matemática entre la absorbancia y la concentración como se muestra en la ecuación 1 y en el gráfico, donde el alto valor de R^2 (0.9932) confirma una relación lineal, válida hasta 20 g L^{-1} .

Preparación de la Muestra y Estándares: Se disolvió 129,83 g de CoCl_2 , en agua destilada para preparar una solución madre. Se agregaron 12 ml de ácido sulfúrico a la solución y se aforó a 1 L con agua destilada. Se prepararon soluciones estándar de cobalto (II) a diferentes concentraciones a partir de la solución madre. Para la medición espectrofotométrica se seleccionó la longitud de onda $\lambda=512$ que es el máximo de absorción para el ion $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$. Se mide la absorbancia de cada una de las soluciones estándar (Foto 11) y de la muestra problema. Para ello se usó Microprocessor Spectrophotometer SP-2100 Series (Foto 12) y se construye la Curva de Calibración (Figura 2).

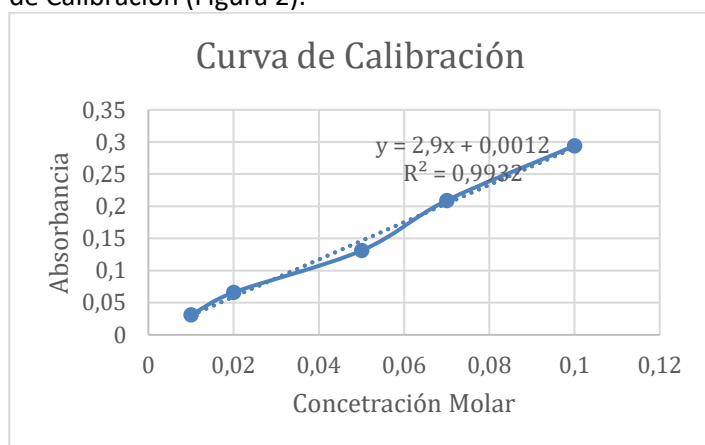


Figura 2. Curva de Calibración

Dado que el valor máximo de concentración es $5,9 \text{ g/L}$, la técnica se pudo realizar. Se obtiene una curva de calibración, la cual debe mostrar una relación lineal entre la absorbancia y la concentración dentro de un rango determinado. Se calcula la ecuación de la recta de calibración, que puede ser expresada como:

$$Y = 2,9 \cdot X + 0,0012 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Se utilizó la absorbancia de la muestra problema y la ecuación de la curva de calibración para determinar la concentración de cobalto (II) en la muestra.

La concentración de la muestra se calcula despejando la concentración de la ecuación 1, conociendo la absorbancia. El volumen de la muestra se diluyó a la mitad y el valor de absorbancia obtenido fue 0,126.

Obtuvimos 0,10 g de Co^{2+} en 20ml, en los 320 ml originales hay 1,6 g de Co^{2+} de la muestra de 3,9 g.

Obtuvimos el 41% de la masa del cátodo. La bibliografía menciona una composición de Co de alrededor del 50% (Li, 2021) en el cátodo; por lo tanto, la eficiencia del método fue del 82%.

- **Resultados:**

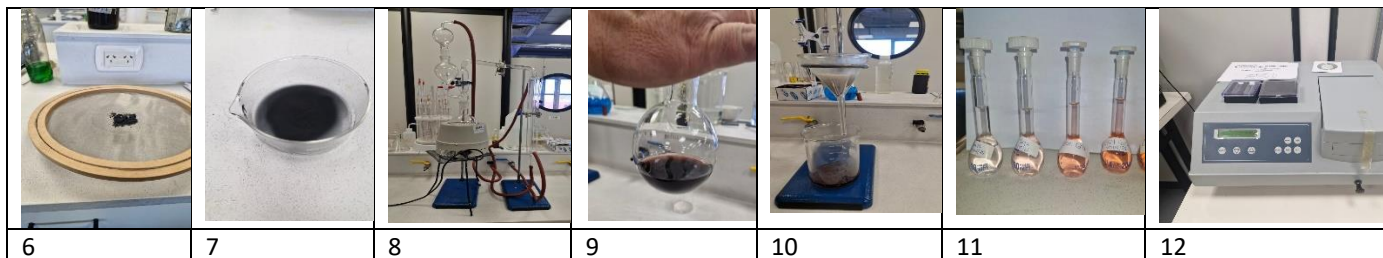
Se llevó a cabo la descarga de las baterías de litio (LIBs) exitosamente. Nuestra investigación nos permitió elegir a NMP (N-metil – 2 - pirrolidona) para extraer el solvente PVDF (foto 5) y, de esta manera, evitar riesgos durante la calcinación posterior. El tratamiento por estos métodos físico – químicos permitió recuperar el cobalto catión (Co^{2+}) a escala de laboratorio. Logramos extraer por lixiviación con ácido cítrico (ácido orgánico) y reducción con H_2O_2 aproximadamente el 97% del cobalto presente en el cátodo. Será necesaria la determinación de las

Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLAM
Versión	8
Vigencia	19/09/2024



concentraciones de metales no recuperados en estas aguas residuales (Ni, Cu, Fe y Mn) por espectrometría de absorción atómica y la reducción del Co^{2+} mediante electrodeposición.

En concordancia con el objetivo general planteado en el proyecto se logró recuperar residuos útiles para evitar la contaminación. Se recuperó el 97% (1,9 g) del Cobalto contenido en el cátodo, como Co^{2+} , 1,491 g de aluminio, 1,723 g de cobre y 2,046 g de carbono grafito. También se pudo recuperar 1,5 g de plástico reutilizables. Sólo se obtuvo como residuo una masa de 0,974 g (material de la carcasa y el solvente).



Fotos: 6-Tamización con malla de 75 µm. 7-Producto de la tamización. 8- Lixiviación. 9- Líquido lixiviado. 10- Filtración. 11- Soluciones estándar de Cloruro de cobalto (II). 12- Espectrofotómetro Microprocessor Spectrophotometer SP-2100 Serie

B. Informar cada producción con filiación UNLAM que derive de la presente investigación (artículo de revista/papers, libro, parte de libro, trabajos en eventos publicados/ponencia, etc.). Anexar los textos de las producciones en SIGEVA UNLAM.³

B.4. Trabajos presentados a congresos y/o seminarios

Autores	<i>de los Ríos Alejandra María, Morais Marisa Alejandra, Leiva Daniel Rodolfo, Amato Alfredo, del Puerto Carla Anabella</i>
Título	Recuperación de litio y cobalto de baterías de ion litio de aparatos electrónicos
Año	2024
Evento	<i>XVII COINI 2024 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial</i>
Lugar de realización	<i>UTN FRLP</i>
Fecha de presentación de la ponencia	<i>31 de octubre y 1 de noviembre 2024</i>
Entidad que organiza	<i>AACINI - UTN FRLP</i>
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)	

³ Los archivos deberán estar en formato PDF, a texto completo. Podrán ser publicados en el Repositorio Digital UNLAM, bajo Licencias Creative Commons. Será evaluada la inclusión en el Repositorio aquellas publicaciones que poseen una licencia diferente o declaración de copyright.

Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLAM
Versión	8
Vigencia	19/09/2024



Autores	<i>Morais Marisa Alejandra, de los Ríos Alejandra María, Leiva Daniel Rodolfo, Amato Alfredo, del Puerto Carla Anabella.</i>
Título	Recuperación de metales estratégicos de baterías de ion – litio: Una propuesta para la sustentabilidad ambiental
Año	2025
Evento	<i>Agenda Ambiental Latinoamericana. PRECOP 30</i>
Lugar de realización	<i>Universidad Nacional de Lomas de Zamora</i>
Fecha de presentación de la ponencia	<i>31 de julio y 1 de agosto 2025</i>
Entidad que organiza	<i>Ministerio de Ambiente Bonaerense y UNLZ</i>
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)	

Autores	<i>de los Ríos Alejandra María, Morais, Marisa , Leiva Daniel Rodolfo, Amato Alfredo, del Puerto Carla Anabella</i>
Título	Innovación educativa para la enseñanza por competencias: recuperación de metales estratégicos de baterías de ion – litio
Año	2025
Evento	<i>1° Congreso Nacional de Innovación Educativa: enseñanza, investigación, gestión y territorio</i>
Lugar de realización	<i>Universidad Nacional de Rosario</i>
Fecha de presentación de la ponencia	<i>28 y 29 de agosto de 2025</i>
Entidad que organiza	<i>Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) y UNR</i>
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)	

Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	8
Vigencia	19/09/2024



Autores		<i>Morais Marisa Alejandra - de los Ríos Alejandra María - Leiva Daniel Rodolfo - Amato Alfredo - del Puerto Carla Anabella</i>
Título		Recuperación de metales estratégicos en baterías de ion- litio: una mirada química y ambiental
Año		2025
Evento		<i>XXI Reunión de Educadores en la Química (REQ)</i>
Lugar de realización		<i>Universidad Nacional de Río Negro-sede Bariloche</i>
Fecha de presentación de la ponencia		<i>3; 4 y 5 de noviembre 2025</i>
Entidad que organiza		<i>Asociación de Educadores en la Química de la República Argentina y UNRN</i>
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)		

C. Vinculación⁴:

Con el objetivo de dar difusión a nuestro trabajo y participar del intercambio científico con otros actores y grupos de investigación, se presentaron avances de nuestro proyecto al COINI 2024, PRECOP30, REQ 2025 y 1° Congreso Nacional en Innovación Educativa.

D. Otra información. Incluir toda otra información que el Director considere pertinente

- **Jornada de Energía, Producción y Desarrollo Sostenible.** Asistentes: Ingenieras de los Ríos Alejandra y Morais Marisa. 30 y 31 de octubre 2025. Organizada por el Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires, en el Hotel NH de Mar del Plata.

-Se adjuntan en anexo los trabajos presentados a los Congresos y Reuniones mencionados y las constancias correspondientes.

E. Cuerpo de anexos:

- Anexo I:
 - FPI-013: Evaluación de alumnos integrantes. (de corresponder)
 - FPI-014: Comprobante de liquidación y rendición de viáticos. (de corresponder)
 - FPI-015: Rendición de gastos del proyecto de investigación.
 - FPI-038: Formulario de reasignación de fondos en Presupuesto. (de corresponder)
- Anexo II: FPI 017 ⁵ Alta patrimonial de los bienes adquiridos con presupuesto del proyecto.
 - Disposición del Decano y nota de elevación del Director del Proyecto justificando “alta y/o” baja de cada integrante del equipo de investigación.

⁴ Entendemos por acciones de “vinculación” aquellas que tienen por objetivo dar respuesta a problemas, generando la creación de productos o servicios innovadores en articulación con el entramado socioproductivo.

⁵ Solo ante la presentación del Informe Final.

Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	8
Vigencia	19/09/2024



Alejos

Ing. Alejandra M. de los Ríos

- Firma y aclaración Director Proyecto
- Fecha: 31/12/2025