

Uso de rayos X y tomografías computadas para la investigación de baterías

Hernán
Sanchez
Miguel A. González
Sergio Mendoza
Lucienne Buamie
hsanchez@exponent.com



Mas allá de su forma, tamaño, capacidad o componentes químicos, una pila o batería es un dispositivo en el cual energía química puede ser convertida en energía eléctrica [1]. La existencia de una gran variedad de pilas y baterías con diversas densidades de energía y potencia ha permitido a su vez una gran variedad de aplicaciones, desde pequeños auriculares hasta enormes autobuses. Si bien hay muchas formas de clasificar las baterías, una de las distinciones más comunes es si son recargables o no.

Las pilas o baterías no recargables (llamadas celdas primarias) son de un solo uso, comenzando con su máximo nivel energético y reduciendo su potencial durante su uso debido a reacciones químicas irreversibles que se producen dentro de la pila. Una industria de más de US\$16,000,000,000 en el 2024 [2], las baterías primarias – incluyendo las pilas alcalinas – son comunes en dispositivos médicos, detectores de incendio y juguetes de niños (Figura 1).

Además de proveer electricidad durante el proceso de descarga, las baterías recargables (llamadas celdas secundarias) pueden ser restituidas a un estado de alto nivel energético a través del uso de un circuito externo con polaridad reversa al de descarga de la batería. Con un mercado de más de US\$94.000.000.000 en el 2021, la industria de baterías secundarias se encuentra en un estado de rápido crecimiento, con una proyección de mercado de más de US\$300.000.000.000 para el 2030 [3] (CAGR: 13,8%) y con múltiples "giga-factories" planeadas en Europa y Norteamérica en los próximos 3 a 5 años [4]. Si bien durante la mayoría del siglo XX las baterías secundarias fueron predominantemente baterías de ácido-plomo, el siglo XXI ha visto un gran incremento del uso de baterías de litio, sobre todo de iones de litio (Lithium-ion) [5] por su favorable densidad de energía y potencia.

Hoy en día, las baterías de iones de litio proveen una fuente de poder portátil a nuestras herramientas de productividad (teléfonos y laptops), a nuestros



Figura 1: Foto, renderizado 3D y sección transversal virtual de un control remoto de juguete. Además de proporcionar información sobre los componentes electrónicos, la imagen de rayos X y la tomografía computarizada se pueden utilizar para identificar entre baterías primarias y secundarias.

dispositivos de esparcimiento (parlantes y auriculares), a nuestros electrodomésticos (taladros y cortadoras de césped) e incluso a nuestros vehículos (autos, autobuses, bicicletas y barcos). Esta gran cantidad de usos, combinado con la facilidad de adquirir baterías a través del internet y con legislación que apoya el uso directo de baterías por parte del consumidor final [6], sugiere que el uso de baterías de litio solo continuara creciendo.

Pero este incremento también puede conllevar un riesgo, que es el de un fallo en la batería. Aunque son eventos poco frecuentes y avances científicos los hacen todavía mas escasos, las baterías de litio pueden fallar de múltiples maneras, desde no cumplir con la duración/número de ciclos de carga y descarga esperados, a exponer a un consumidor a compuestos tóxicos, a eventos de desbordamiento térmico que pueden a su vez resultar en incendios y la pérdida de propiedad y vida. Como ejemplo, en el 2023 más de 250 incendios en Nueva York, EEUU fueron asociados con bicicletas eléctricas y sus baterías de litio [7]. Incluso fallas “leves” (en las cuales la batería falla sin causar daño a sus alrededores) pueden ser catastróficas en ciertos casos, como la falla de un dispositivo medico en momentos críticos.

La capacidad de evaluar pilas y baterías de manera no destructiva a través de rayos X y de tomografías computadas (CTs) hacen a estas técnicas una gran herramienta para el análisis de averías.

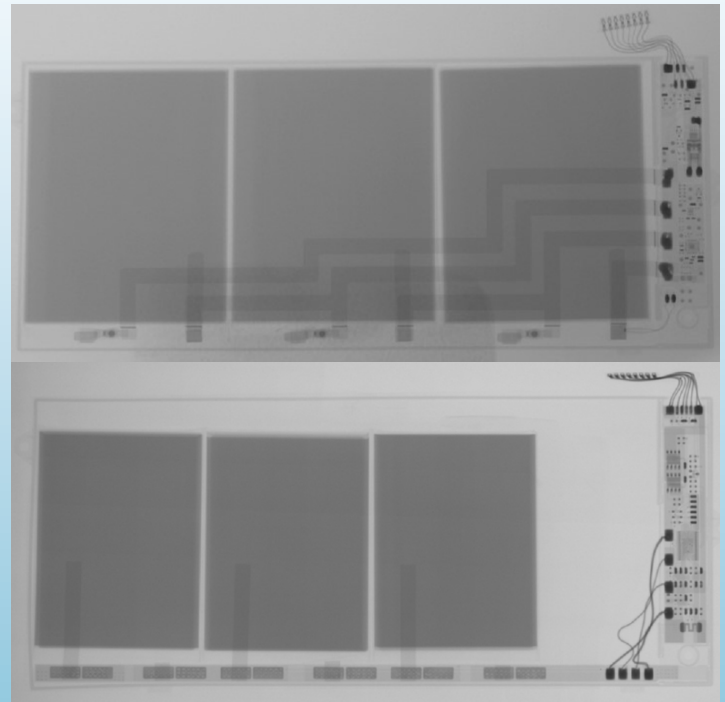


Figura 2: Imagen de rayos X de dos paquetes de baterías de iones de litio. Se pueden observar diferencias entre el paquete de baterías del fabricante original del dispositivo (arriba) y un paquete de un tercero (abajo), incluyendo el tamaño de las celdas, las conexiones eléctricas y los componentes electrónicos.

En casos en los cuales una batería ha sido parte de un incendio, el uso de rayos X puede ayudar a encontrar dicha batería entre los escombros, o diferenciar entre una batería dañada y una batería original/conforme con las especificaciones del fabricante (Figura 2).

Siendo una aplicación avanzada del uso de rayos X, las tomografías computadas pueden proveer todavía más



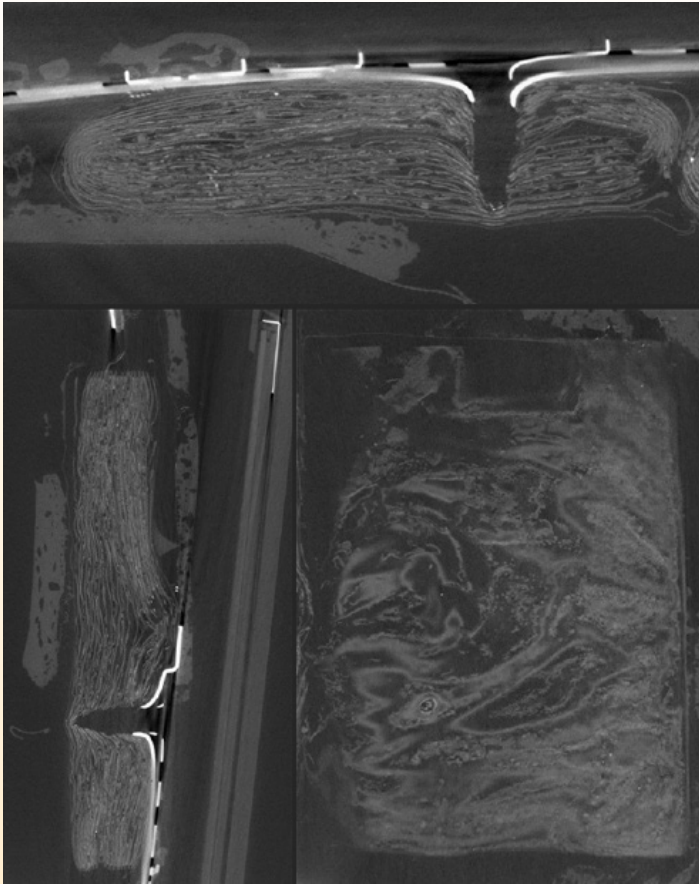


Figura 3: Secciones transversales virtuales de una batería con daño térmico en el dispositivo. La dirección de la deformación del enrollado de la celda es consistente con la introducción de un objeto extraño en la celda, causando un cortocircuito de la celda y un posterior desbordamiento térmico.

información de una batería con daño térmico, incluyendo (a veces) la habilidad de determinar si dicha batería inició el evento térmico. Por ejemplo, el uso de tomografía computada puede demostrar la presencia de objetos extraños (como un tornillo suelto), indicaciones de daño mecánico (Figura 3) o indicaciones del daño por un impacto al exterior del dispositivo que fue propagado hasta los componentes de la batería. Las tomografías también permiten entender cambios en los componentes que normalmente rodean a una batería, ayudando así a entender si la falla en la batería fue una causa o una consecuencia.

El uso de rayos X y tomografías computadas en baterías también puede extenderse a la evaluación de baterías no dañadas. Un uso común de estas técnicas es asegurar que el proceso de pro

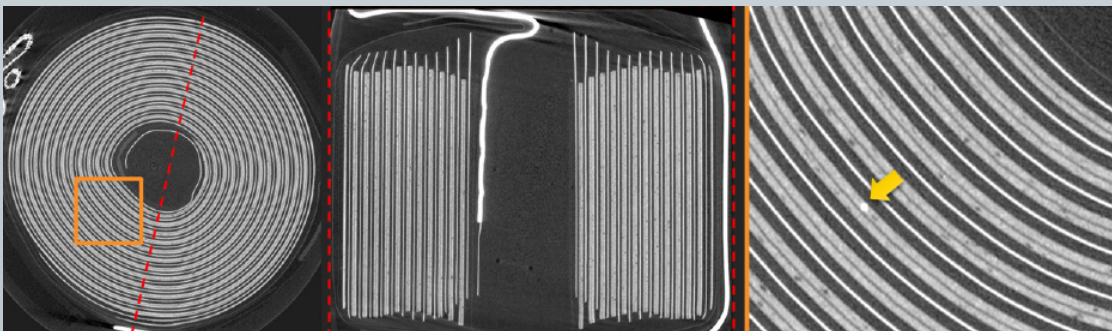


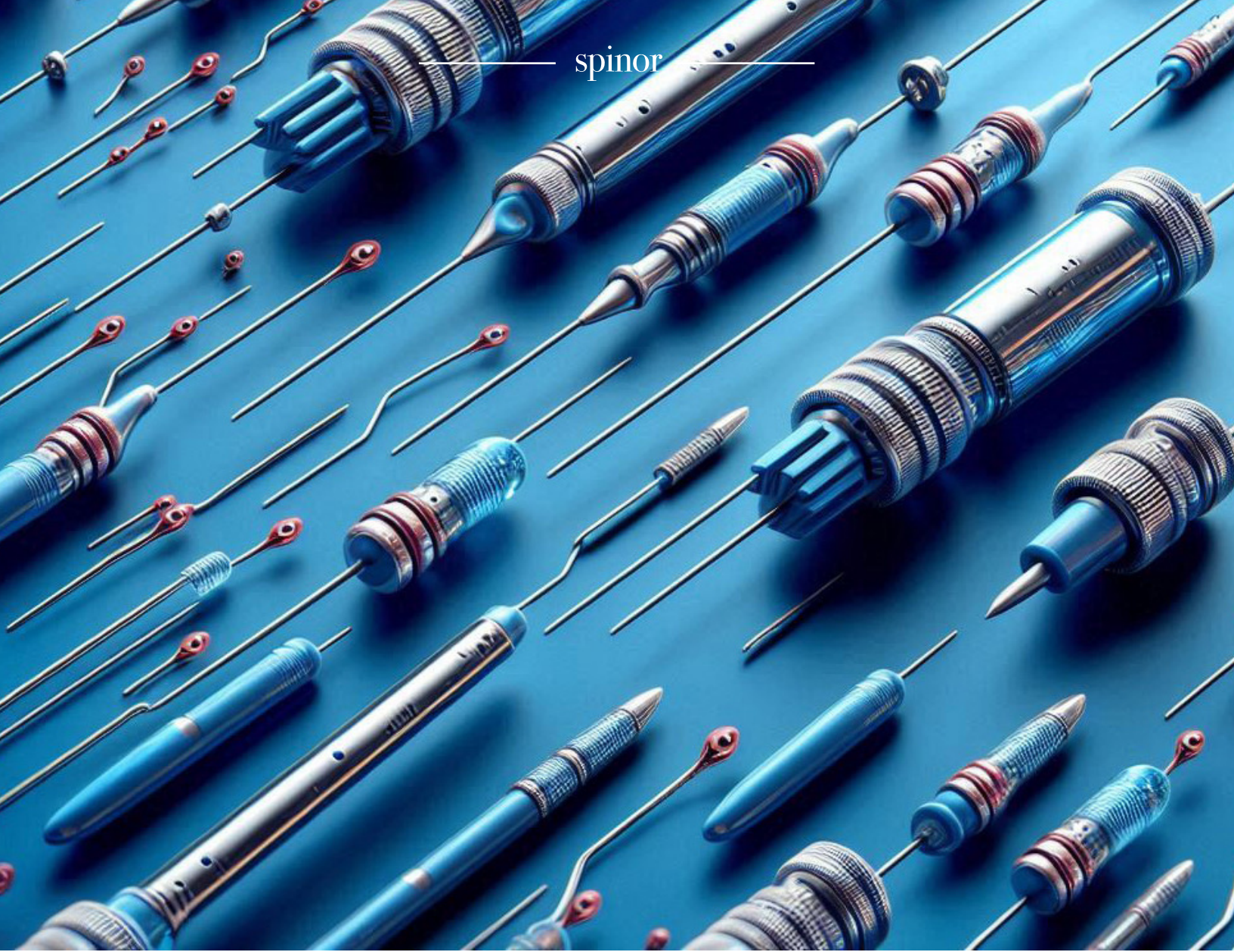
ducción industrial sigue los controles de ensamblaje apropiados, como indicar cuando los electrodos no están alineados, lo que podría resultar en una degradación acelerada de su capacidad o un evento térmico, o como indicar la presencia de un contaminante en el material electroquímico que podría llevar a un cortocircuito (Figura 4). Otro uso frecuente de tomografía computada en baterías no dañadas es observar a una batería a través de numerosos ciclos de carga y descarga para entender cambios en la configuración física o química de la batería [8].

Las ventajas proporcionadas por los rayos X y tomografías computadas no se limitan solo a las baterías de litio. Utilizando la misma metodología empleada con baterías de iones de litio, se puede investigar la causa de una falla o la calidad de todo tipo de pilas y baterías, incluyendo baterías de litio metálico o baterías de sodio.

Para resumir, tanto los rayos X como las tomografías computadas son tecnologías extremadamente útiles para inspeccionar todo tipo de pilas y baterías, ya sea su calidad o la razón por la cual una pila o batería pudo haber fallado, y su uso es crucial tanto para continuar el avance científico y tecnológico de las baterías como para disminuir los riesgos que conllevan estos avances.

Figura 4: Secciones transversales virtuales de una batería de auriculares. La tomografía computada permite la visualización de la superposición irregular de electrodos y contaminantes celulares (flecha amarilla), ambos atribuibles a prácticas de fabricación incorrectas.





Referencias

1. Oxford English Dictionary accessed December 13, 2018, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/battery>.
2. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-primary-battery-market-industry>.
lobal Secondary Battery Market Size is Projected to Reach USD 300.41 billion by 2030, Growing at a CAGR of 13.80%: Straits Research.
3. <https://cicenergigune.com/en/blog/north-america-accelerates-commitment-development-gigafactory-industry>
4. Lithium-ion battery demand forecast for 2030 | McKinsey.
5. <https://www.exponent.com/article/eu-user-replaceable-battery-mandate-leads-global-effort> .
6. <https://www.fastcompany.com/91042982/e-bike-batteries-started-267-fires-in-new-york-city-last-year-these-swapping-stations-are-designed-to-help>.
7. Zhuhua Cai et al 2020 J. Electrochem. Soc. 167 160515.