

Aldo Eleazar Pérez Ramos, Edwin Martínez Aragón y Salvador Villarreal Reyes

# Baterías que dan vida a un nanosatélite

Una de las razones del éxito de los nanosatélites es que están contruidos con componentes electrónicos comerciales similares a los que se usan en los teléfonos celulares. Sin embargo, hay componentes que deben seleccionarse minuciosamente, como las baterías recargables, las cuales pueden expandirse, incendiarse e incluso explotar, lo cual pone en riesgo el lanzamiento o la misión espacial. ¿Cuáles son las baterías más adecuadas?

## ¿Qué es un nanosatélite tipo CubeSat?

El término *nanosatélite* o *nanosat* se asocia con un satélite artificial que tiene un peso de entre 1 y 10 kg. Estos nanosatélites son compactos y ligeros, pero han demostrado por más de una década poseer un gran potencial en misiones educativas y de investigación. Se pronostica que en los próximos seis años se lanzarán más de 2 500 nanosatélites con misiones muy diversas: desde la medición de temperatura en el interior del sistema hasta la evaluación de la actividad genética de una colonia de bacterias, entre muchas otras más.

La publicación de guías estandarizadas para el diseño de nanosatélites y las modificaciones en las legislaciones de algunos países para permitir los lanzamientos de tipo comercial relajaron considerablemente los costos de desarrollo y puesta en órbita de estos pequeños artefactos. Dichas acciones permitieron que un gran número de instituciones educativas en el mundo, y algunas empresas de países emergentes, incursionaran en la nueva carrera espacial. Las principales guías de diseño estandarizadas para nanosatélites están vinculadas con los programas CubeSat, TubeSat y ThinSat; si nos preguntamos cuál de los tres programas es el más exitoso, podemos revisar una base de datos<sup>1</sup> que tiene registrados 1 307 nanosatélites lanzados al espacio, de los cuales 1 200 son CubeSat, por lo que esta cifra podría ayudarnos a responder la pregunta.

Los CubeSat se miden por unidades: 1 unidad (1U) es la base, con un tamaño de 10 cm de largo × 10 cm de ancho × 10 cm de alto y un peso menor de 1.33 kg. Esta medida base se fundamenta en la posibilidad de rastreo del nanosatélite una

<sup>1</sup> Véase <[www.nanosats.eu](http://www.nanosats.eu)>.





vez que se encuentre orbitando la Tierra. Además, es importante mencionar que, dependiendo de la complejidad de la misión, el número de unidades del CubeSat se va incrementando.

Los nanosatélites se componen a su vez de varios módulos internos conocidos como subsistemas, los cuales trabajan en conjunto para lograr el éxito de la misión. El CubeSat de 1U está formado por:

1. El subsistema de estructura brinda la solidez estructural a todo el nanosatélite y absorbe las vibraciones mecánicas producidas por el cohete durante su traslado al espacio.
2. El subsistema de potencia –formado por celdas solares, bancos de baterías recargables y un circuito electrónico– se encarga de recargar dichos bancos y distribuir la corriente eléctrica hacia otros subsistemas.
3. La computadora de vuelo actúa como el cerebro del CubeSat. En su memoria están grabadas las tareas que deberán ejecutar los diferentes subsistemas para cumplir con la misión del nanosatélite.
4. El subsistema de telemetría, rastreo y control es responsable de establecer las comunicaciones entre el CubeSat y la estación terrena.
5. El subsistema de antenas tiene una antena transmisora, y en algunos casos también puede poseer una antena receptora para establecer comunicaciones bidireccionales (Figura 1).

Por último, los satélites CubeSat de más de 1U llevan consigo un subsistema conocido como carga

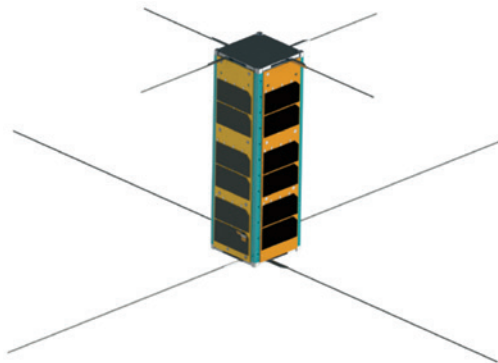
útil, el cual está diseñado particularmente para llevar a cabo el experimento que se desea desarrollar y estudiar en el espacio.

### ■ Pruebas de calidad

Incluso con la existencia de estándares para el diseño y la construcción de los CubeSat, éstos tienen que cumplir con normas y pruebas muy rigurosas. Existen dos grupos de pruebas mínimas que se deben realizar a un CubeSat antes de lanzarlo al espacio:

1. De vibración mecánica: para corroborar la integridad mecánica del nanosatélite y asegurar que los componentes que lo integran sigan fijos en sus posiciones durante su viaje al espacio. Por tal motivo, es importante considerar el tipo de componentes y su distribución dentro del CubeSat, con la intención de darle solidez a todo el conjunto.
2. De vacío térmico: para verificar el correcto funcionamiento del CubeSat en el espacio ante condiciones extremas de temperatura. Se realiza dentro de una cámara de vacío en donde se varía la temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta  $80^{\circ}\text{C}$ , con incrementos de temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$  por minuto. En esta prueba la integridad del CubeSat se encuentra comprometida, por tal motivo es importante seleccionar los componentes electrónicos comerciales con baja o nula probabilidad de incendio o detonación debido al elevado incremento de temperatura.

Uno de los aspectos fundamentales que hace viable el diseño y la construcción de un CubeSat es el uso de componentes comerciales, también conocidos como componentes sacados del estante (COTS, por las siglas en inglés de *commercial off-the-shelf*). Éstos se utilizan en los aparatos electrónicos de consumo que utilizamos a diario, como teléfonos celulares, relojes inteligentes, computadoras portátiles, tabletas electrónicas, reproductores de música, drones, etcétera. Sin embargo, cuando hablamos de los CubeSat, debemos tener cuidado al seleccionar algunos de estos componentes; tal es el caso de las baterías, por los motivos que explicaremos en los párrafos siguientes.

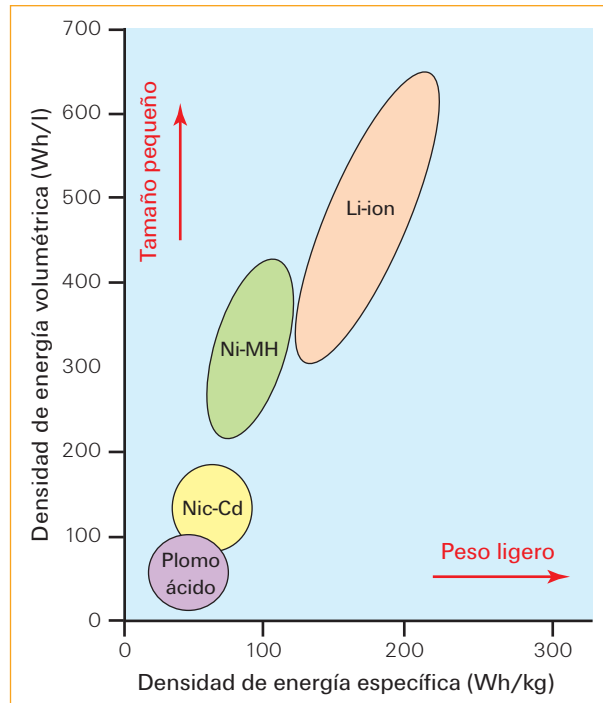


**Figura 1.** CubeSat de tres unidades (3U) con antena de transmisión y recepción desplegadas.

## ¿Por qué debemos seleccionar cuidadosamente las baterías de un CubeSat?

Por lo general, una batería recargable se compone de varias celdas interconectadas y cada celda está formada por dos electrodos (ánodo y cátodo) de un metal o material compuesto y un medio conductor, conocido como electrolito. El principio fundamental de una batería consiste en las reacciones de oxidación-reducción de ciertas sustancias químicas, una de las cuales pierde electrones (se oxida) mientras que la otra gana electrones (se reduce); se puede retornar a la configuración inicial dadas las condiciones necesarias: la inyección de electricidad (carga) o el cierre del circuito (descarga). Actualmente existe una gran variedad de baterías recargables, de diferentes tamaños y con distintos materiales en su interior. Las baterías recargables más utilizadas en los dispositivos electrónicos que usamos en tierra combinan materiales como plomo-ácido ( $\text{PbO}_2$ ), níquel-cadmio (Ni-Cd), níquel-hidruro metálico (NiMH), iones de litio (Li-Ion) y polímero de iones de litio (LiPo).

En el caso de las baterías recargables que se pueden emplear para las misiones CubeSat, predominan aquellas basadas en iones de litio. De hecho, este tipo de baterías se ha convertido en la fuente de energía predilecta para los aparatos electrónicos de consumo que utilizamos en nuestra vida diaria. Las baterías de iones de litio se eligen por su alta densidad de energía (relación energía-tamaño), ya que pueden concentrar grandes cantidades de energía en un pequeño y delgado encapsulado, lo cual es ideal para los dispositivos portátiles. Asimismo, tienen un bajo nivel de descarga por inactividad; a diferencia de las baterías basadas en níquel-cadmio, las baterías de iones de litio pueden mantener la energía por periodos más prolongados de inactividad. También destaca su alta capacidad para entregar corriente, ya que es posible obtener de ellas varios amperios hora (Ah) con una celda pequeña. Por ejemplo, la celda Molicel INR18650-P26A puede proporcionar  $2.477 \text{ Ah} \times 3.6 \text{ V} = 8.9 \text{ Watts hora (Wh)}$ , con un tamaño de  $64.8 \text{ mm}$  de largo  $\times$   $18.4 \text{ mm}$  de diámetro y un peso de  $46 \text{ gramos}$ . Esto se traduce en una **densidad de energía específica** de  $193.5 \text{ Wh/kg}$  y una **densidad de energía volumétrica** de  $516.25 \text{ Watts hora/}$



**Figura 2.** Comparación entre las densidades de energía volumétrica y específica de diferentes tipos de baterías recargables.

litro (Wh/l), capacidad superior a las celdas convencionales de níquel (véase la Figura 2).

No obstante, a pesar de sus interesantes capacidades, también es importante mencionar que existe el riesgo latente de incendio e incluso explosiones debido, principalmente, a cortocircuitos en el interior de las celdas. Esto sucede cuando un plástico interno que separa al cátodo del ánodo falla y permite que se toquen; cuando esto ocurre, la batería empieza a sobrecalentarse y pueden generarse incendios, como los reportados en 2013 en la cabina principal de un Boeing 787-8 durante un vuelo comercial de Tokio a Boston de la aerolínea Japan Airlines, así como los ocasionados en 2016 por los teléfonos inteligentes Galaxy Note 7.

Hay diferentes razones por las cuales el separador suele fallar: algunas se deben a un mal diseño o a defectos de fábrica, pero también hay factores externos, como sobrecalentamiento, golpes recurrentes, perforaciones o problemas con el cargador, el cual puede provocar un cortocircuito o incrementar la temperatura de la celda hasta que el separador interno de la batería se rompa. Por lo antes men-

**Densidad de energía específica**

Es la energía por unidad de masa.

**Densidad de energía volumétrica**

Es la energía por unidad de volumen.



cionado, es importante seleccionar minuciosamente el tipo de forma de la celda de iones de litio que se emplea en los bancos de baterías de los subsistemas de potencia de los CubeSat, cuidando no poner en riesgo la integridad del vehículo espacial y la de los subsistemas y unidades que incluye.

**¿Qué tipo de baterías debemos utilizar en un CubeSat?**

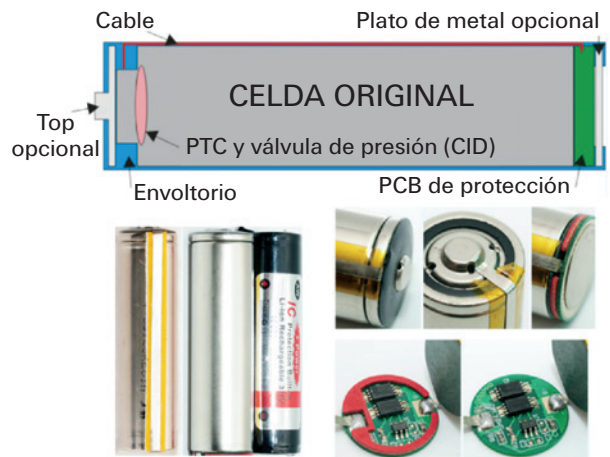
Las celdas de iones de litio principalmente se encuentran en tres formas físicas: prismáticas, de bolsa y cilíndricas.

Las celdas prismáticas son placas planas que satisfacen la demanda de aparatos que tienen una forma delgada, como la mayoría de los teléfonos celulares, tabletas electrónicas y computadoras portátiles ultradelgadas. Estas baterías hacen un uso óptimo del espacio mediante el método de capas; así, pueden estar envueltas en paquetes parecidos a una caja de chicles o a una pequeña barra de chocolate, aunque no existe una forma estandarizada, por lo que cada fabricante las diseña de acuerdo a sus necesidades. Si bien el diseño prismático mejora la utilización del espacio y permite un diseño flexible, las baterías requieren de una cubierta firme para lograr la compresión. Por lo anterior, el método de fabricación es costoso en comparación con las otras baterías, son menos eficientes en la gestión térmica y tienen una vida útil más corta que el diseño de forma cilíndrica. Además, las baterías con forma prismática no poseen elementos de protección internos que permitan soportar las pruebas requeridas de vibración y de vacío térmico antes mencionadas. Por lo tanto, no se recomienda emplearlas en los bancos de baterías del subsistema de potencia de los nanosatélites tipo CubeSat, a menos que se añadan sistemas de seguridad externos, ya sean mecánicos o eléctricos.

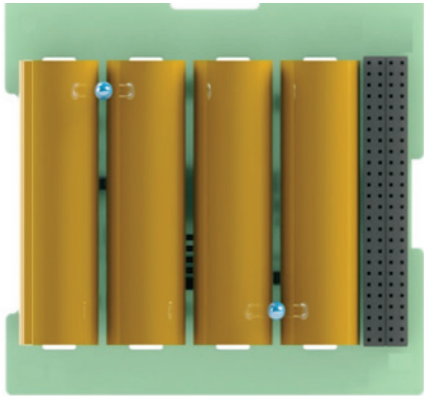
Las celdas tipo bolsa ofrecen una solución simple, flexible y liviana para el diseño de una batería. La eliminación de la carcasa metálica reduce el peso, pero la batería necesita soporte y espacio para expandirse. No existen celdas de tipo bolsa con medidas estandarizadas, por lo que cada fabricante diseña sus propios modelos de acuerdo a sus necesidades. Aunque este

tipo de forma es fácilmente apilable, la expansión que sufren las celdas es un aspecto a considerar para el diseño de las estructuras de los aparatos electrónicos que alimentará la batería. Por ejemplo, se debe evitar colocarlas cerca de bordes afilados, los cuales pueden ejercer presión sobre la batería y romperla a medida que se expande. No tomar en cuenta estas precauciones podría dañar otros componentes cercanos o provocar un incendio por la liberación de gases inflamables. Dicho fenómeno de ensanchamiento (expansión) extremo es un factor importante para no utilizarlas en los bancos de baterías de los subsistemas de potencia de nanosatélites tipo CubeSat.

Por otro lado, la forma cilíndrica es uno de los estilos de empaque más utilizados para las baterías. Las principales ventajas son la facilidad de fabricación y la buena estabilidad mecánica. El cilindro tubular puede soportar altas presiones internas sin deformarse. Además, es importante mencionar que la mayoría de las celdas de iones de litio cilíndricas comerciales del tipo 18650 (18 mm de diámetro y 650 mm de largo) están equipadas con sistemas de protección, como un interruptor limitador de corriente de coeficiente térmico positivo (PTC, proveniente del inglés *positive thermal coefficient*) para brindar protección contra cortocircuitos externos a la celda; un dispositivo interruptor de corriente (CID, *current interrupt device*) o válvula de presión para deshabilitar la celda de manera perma-



**Figura 3.** Estructura interna de una celda de iones de litio (Li-Ion) con forma cilíndrica 18 650 y mecanismos de protección. Imagen modificada de: <<https://lygte-info.dk/info/battery%20protection%20UK.html>>.



**Figura 4.** Banco de baterías de un nanosatélite CubeSat formado por celdas de iones de litio con factor de forma cilíndrico 18 650.

nente si la presión es muy alta (esto puede presentarse debido a una sobrecarga); así como tarjetas de circuito impreso para proteger contra sobrecargas y cortocircuitos. En la Figura 3 se muestran los sistemas de protección más utilizados en este tipo de celdas.

Con la información proporcionada hasta el momento, podemos darnos cuenta de que las baterías recargables comerciales de iones de litio de forma cilíndrica cumplen con los requisitos de seguridad y almacenamiento de energía necesarios para desarrollar exitosamente las misiones educativas y de investigación de la mayoría de los nanosatélites. Por tal motivo, no es extraño que se utilicen subsistemas de almacenamiento de energía (bancos de baterías)

con celdas cilíndricas en varios de los CubeSat enviados al espacio (véase la Figura 4). En particular, se han usado celdas con factor de forma 18 650, de las cuales existe una amplia documentación de pruebas realizadas por las agencias espaciales reconocidas en el mundo, como la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos de América (NASA). La confianza que existe hacia este tipo de celdas también se ve reflejada por parte de las principales compañías internacionales que desarrollan y venden subsistemas de potencia y bancos de baterías para nanosatélites tipo CubeSat.

#### **Aldo Eleazar Pérez Ramos**

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.  
aramos@cicese.mx

#### **Edwin Martínez Aragón**

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.  
emartine@cicese.mx

#### **Salvador Villarreal Reyes**

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.  
svillar@cicese.mx

#### **Referencias específicas**

- Castro Avellaneda, J., A. Grajales Henríquez y J. Salamanca Céspedes (2016), "Módulo de potencia para un picosatélite experimental tipo Cubesat", *Redes de Ingeniería*, 7(1):67-77.
- Cerda, J. de la (2019), "Painani-I: primer nanosatélite mexicano puesto en el espacio", *TODoS @ CICESE Comunicamos Ciencia*. Disponible en: <<http://bit.ly/2I67Ows>>, consultado el 4 de mayo de 2020.
- CubeSat (s. f.), *CubeSat Design Specification (CDS) REV 13*, San Luis Obispo, California Polytechnic State University. Disponible en: <[https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds\\_rev13\\_final2.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds_rev13_final2.pdf)>, consultado el 4 de mayo de 2020.
- Nieto-Peroy, C. y M. R. Emami (2019), "CubeSat Mission: From Design to Operation", *Applied Sciences*, 9(15):3110. Disponible en: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/9/15/3110/htm>>, consultado el 4 de mayo de 2020.
- Padilla Medina, D. (2018), *Diseño y manufactura de la estructura de un CubeSat 2U* (tesis de pregrado), Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/14946>>, consultado el 4 de mayo de 2020.
- Serrano Arellano, A. (2015), *Requerimientos para desarrollar y poner en órbita satélites CubeSat dentro de un entorno universitario* (tesis de pregrado), Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/5971>>, consultado el 4 de mayo de 2020.