



## ARTÍCULO

### NUEVOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA: BATERÍAS DE METAL LÍQUIDO

María de Lourdes Avalos<sup>1</sup>, Dr. Alberto Beltrán<sup>2</sup> y Dr. José Núñez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Materiales, Unidad Morelia, UNAM

<sup>3</sup>Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, UNAM

Satisfacer la demanda de energía eléctrica de la sociedad actual constituye todo un reto tecnológico debido al crecimiento poblacional desmedido y la fuerte dependencia que tiene el sector eléctrico de los combustibles fósiles, en especial del petróleo. El crecimiento económico y la satisfacción de necesidades básicas como alimentación, salud, vivienda y transporte a nivel mundial se ven comprometidos por las insuficientes reservas de hidrocarburos y sus altas tasas de extracción. Al mismo tiempo, la incertidumbre en el éxito de la

extracción petrolera en aguas profundas y la grave contaminación asociada a los procesos de transformación energética, hacen más complejo el escenario. Ante esa realidad, un modelo energético alternativo anclado en principios de desarrollo sustentable parece ser la solución ideal.

La propuesta más viable parece venir de la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables, opción que además de disminuir los impactos ambientales, reduciría los costos de generación y uso, ya que su fuente son los fenómenos naturales como la radiación

## CONTENIDO

### ARTÍCULO

NUEVOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA: BATERÍAS DE METAL LÍQUIDO ..... 1

### GRAN ANGULAR

BUSCA EL IRYA FORTALECER GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA DE ASTRONOMÍA EXTRAGALÁCTICA ..... 4

### ESTUDIANTES

Uso, MANEJO Y RIESGO EN EL APROVECHAMIENTO DE AGAVES MEZCALEROS: BASES PARA UN MANEJO SUSTENTABLE ..... 5

BREVES DEL CAMPUS ..... 6

PARA CONOCER MÁS ..... 8

### LIBROS

TRIUMPHOS CONTRA VANDOLEROS Y OTROS ROMANCES DE PATRICIO LÓPEZ ..... 8

solar, el viento, el calor interno de la Tierra y la energía cinética y potencial del mar; por ello, la materia prima puede ser considerada gratuita. Una gran desventaja es su intermitencia; por ejemplo, durante la noche no se tiene radiación solar, limitando la obtención de electricidad a través de módulos fotovoltaicos (llamados comúnmente paneles solares) que están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico. En general, al hacer uso de las fuentes renovables, se tienen periodos de excedencia y de insuficiencia energética.

Actualmente, la solución al problema de intermitencia es la utilización de bancos de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica; una opción hasta ahora costosa y poco efectiva, al tener periodos de vida cortos y la necesidad de grandes espacios para su ubicación. Estas razones han motivado la investigación de nuevas tecnologías para el almacenamiento a gran escala. Tal es el caso del gobierno japonés que, en sociedad con la iniciativa privada como Mitsubishi, financian la construcción de los dos sistemas almacenadores de energía fotovoltaica más grandes del mundo cuyo costo asciende a 257 millones de dólares.

El mayor uso de las energías renovables a nivel mundial, sin embargo, se encuentra en Europa. La red eléctrica interconecta varios países, logrando una mejor distribución de la electricidad de las zonas productoras a las regiones donde los recursos renovables no son suficientes. En el continente americano, las empresas Southern California Electric, Texas' OnCor y Tesla (líder en el desarrollo de baterías para automóviles), se están asociando en proyectos de almacenamiento de energía solar, para disminuir, en el corto plazo, sus costos de almacenamiento.

Los desarrollos mencionados anteriormente, se basan en el uso de metales y otros elementos en estado sólido, aunque no constituyen la única opción; precisamente, uno de los adelantos tecnológicos más recientes son las Baterías de Metal Líquido (BML), desarrolladas por Donald R. Sadoway y sus colaboradores del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Su funcionamiento está basado en el almacenamiento químico de energía en capas de fluidos conductores de electricidad.

A diferencia de las baterías convencionales, en las que los electrodos son placas metálicas sólidas inmersas en un líquido ácido conductor que limitan la conductividad y por tanto la cantidad de corriente eléctrica que puede fluir a través del sistema (durante el proceso de carga/descarga), las configura-

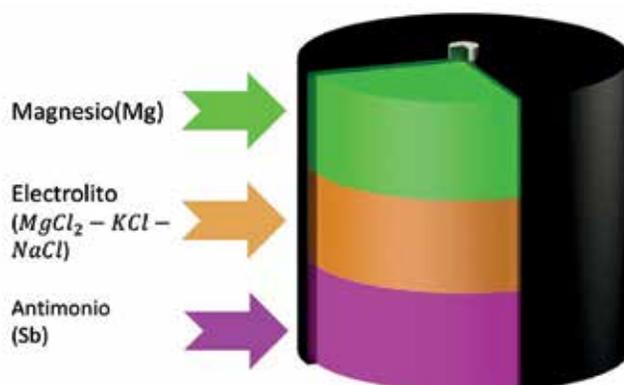


FIGURA 1. CONFIGURACIÓN DE LA BML PROPUESTA POR SADOWAY Y COLABORADORES. IMAGEN: MARÍA DE LOURDES AVALOS HERNÁNDEZ Y ALBERTO BELTRÁN MORALES.

ciones experimentales propuestas para las BML, son parecidas a las de un sándwich. Consisten en un contenedor cilíndrico de un material aislante y en su interior se encuentran tres capas de líquidos conductores. Los dos electrodos son metales fundidos, por ejemplo, magnesio (Mg) y antimonio (Sb) (ánodo y cátodo, respectivamente), y el líquido que conduce la electricidad entre ellos es una sal fundida, como la compuesta por  $MgCl_2-KCl-NaCl$  (ver figura 1). La diferencia de densidades y la inmiscibilidad (incapacidad de los fluidos para mezclarse entre ellos y formar una solución homogénea) de los componentes, permiten una estratificación horizontal de la batería, lo que facilita su fabricación con reducción de costos. Además, han mostrado que sus electrodos pueden soportar corrientes eléctricas mayores a las presentes en baterías convencionales, permitiendo así almacenar mayor cantidad de energía.

La temperatura de operación de las BML es alrededor de  $700^{\circ}C$ , sin embargo, la experimentación con distintos materiales predice la posibilidad de operar a temperaturas no mayores a  $150^{\circ}C$ . El manejo de altas temperaturas en los líquidos ocasiona el movimiento de convección en los fluidos, similar al observado al calentar agua en un recipiente. Adicionalmente, durante el proceso de carga/descarga circula una corriente eléctrica a través de la BML. Dicha corriente al interactuar con su campo magnético genera una fuerza de Lorentz, también responsable de mover al fluido. Un segundo efecto de la corriente es la generación de calor, esto debido

## DIRECTORIO



Universidad Nacional  
Autónoma de México

### UNAM

#### RECTOR

DR. ENRIQUE GRAUJE WIECHERS

#### SECRETARIO GENERAL

DR. LEONARDO LOMELI VANEGAS

#### SECRETARIO ADMINISTRATIVO

ING. LEOPOLDO SILVA GUTIÉRREZ

#### ABOGADA GENERAL

DRA. MÓNICA GONZÁLEZ CONTRÓ

#### COORDINADOR DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

DR. WILLIAM LEE ALARDÍN

### CAMPUS MORELIA

#### CONSEJO DE DIRECCIÓN

DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ

DR. AVTO GOGICHAISHVILI

MTRA. BERENICE ARACELI

GRANADOS VÁZQUEZ

DR. DANIEL JUAN PINEDA

DR. ORACIO NAVARRO CHÁVEZ

DR. ENRIQUE CRISTIAN VÁZQUEZ SEMADENI

DR. ANTONIO VIEYRA MEDRANO

#### COORDINADOR DE SERVICIOS ADMINISTRATIVOS

LIC. RICARDO CORTÉS SERRANO

#### JEFE UNIDAD DE VINCULACIÓN

F. M. RUBÉN LARIOS GONZÁLEZ

#### CONSEJO EDITORIAL

DRA. YESENIA ARREDONDO LEÓN

LIC. GUADALUPE CÁZARES OSEGUERA

DR. PEDRO COLIN ALMAZÁN

DR. VÍCTOR DE LA LUZ RODRÍGUEZ

M. A. V. LENNY GARCIDUEÑAS HUERTA

DR. ULISES ARIET RAMOS GARCÍA

M. EN C. LEONOR SOLÍS ROJAS

#### CONTENIDOS

MÓNICA GARCÍA IBARRA

#### DISEÑO Y FORMACIÓN

ROLANDO PRADO ARANGUA

BUM BOLETÍN DE LA UNAM CAMPUS MORELIA ES UNA PUBLICACIÓN EDITADA POR LA UNIDAD DE VINCULACIÓN DEL CAMPUS DIRECCIÓN U.N.A.M. CAMPUS MORELIA: ANTIGUA CARRETERA A PATZCUARO NO. 8701 COL. EX-HACIENDA DE SAN JOSÉ DE LA HUERTA C.P. 58190 MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

TELÉFONO/FAX UNIDAD DE VINCULACIÓN: (443) 322-38-61

CORREOS ELECTRÓNICOS: vinculation@csam.unam.mx

PÁGINA DE INTERNET: www.csam.unam.mx/vinculation

al efecto Joule que ocurre cuando una corriente eléctrica circula por un conductor, como en el caso del filamento de un foco incandescente.

El flujo generado dentro de las BML constituye el campo de estudio de la mecánica de fluidos, la transferencia de calor y la magneto-hidrodinámica. El claro entendimiento de los flujos (fenómenos de transporte) resulta imprescindible para explicar y predecir el comportamiento de las BML bajo

distintas condiciones de operación y las condiciones de operación óptimas o incluso de fallo. Para lograrlo, es necesario la solución numérica de las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía, acopladas con las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo.

Las BML se proyectan como una opción económicamente viable, ya que sus tamaños son relativamente pequeños, tienen periodos de vida largos y su transporte resulta fácil, además de no contar con partes mecánicas (ver figura 2). El modelo base comercializado por la compañía Ambri, consiste en un modelo de cuatro pulgadas de sección transversal cuadrada y dos pulgadas de altura.

Hasta ahora, la capacidad de almacenaje en las BML alcanza las 12 horas con una descarga lenta. Condición ideal para satisfacer la demanda eléctrica durante la noche (ver figura 3).

Aun cuando su desarrollo industrial a cargo de la compañía estadounidense Ambri ha tenido alcances importantes, resulta necesario realizar mayores investigaciones en relación al comportamiento interno de los fluidos. Actualmente, en el Campus Morelia de la UNAM se trabaja en el modelado y simulación de los fenómenos de transporte presentes en las BML haciendo uso de software libre y desarrollo de códigos numéricos propios, todo con miras al desarrollo de un prototipo propio de BML; en particular, dicho tema constituye la línea de investigación principal del Dr. Beltrán, Doctor en Ingeniería en Energía por la UNAM. Recientemente el Dr. Núñez, también Doctor en Ingeniería en Energía por la misma institución, se ha sumado al grupo de BML y sus líneas de investigación incluyen el modelado y simulación de la convección natural en fluidos. Finalmente, María de Lourdes Avalos-Hernández, Ingeniera en Energía por la Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, dedicó su trabajo de tesis de licenciatura

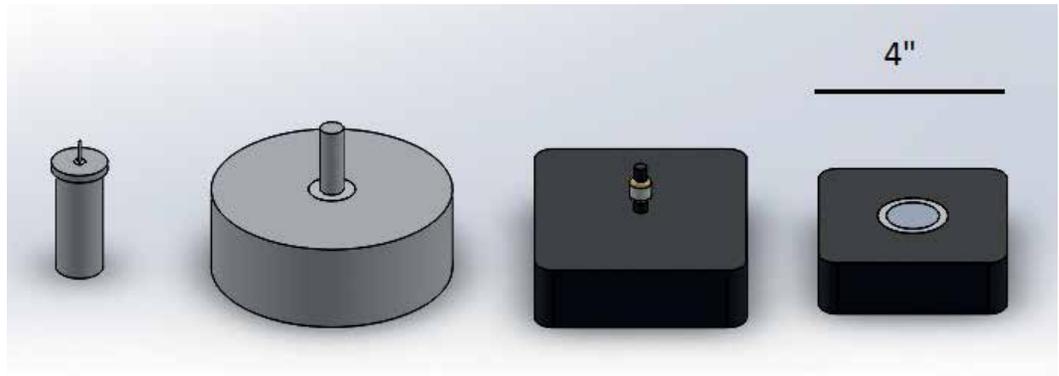


FIGURA 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA BML PROPUESTA POR DONALD R. SADOWAY Y COLABORADORES. DE DERECHA A IZQUIERDA SE MUESTRA LA EVOLUCIÓN DEL PROTOTIPO, CUYA VERSIÓN FINAL TIENE UNA SECCIÓN CUADRADA DE 4 PULGADAS. IMAGEN: JOSÉ NÚÑEZ GONZÁLEZ, ALBERTO BELTRÁN MORALES.

al estudio numérico de la convección natural en configuraciones experimentales similares a las reportadas en las BML.

María de Lourdes Avalos y Alberto Beltrán Morales agradecen al proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT IA102315 la beca para tesis de licenciatura y el financiamiento para la investigación en BML.

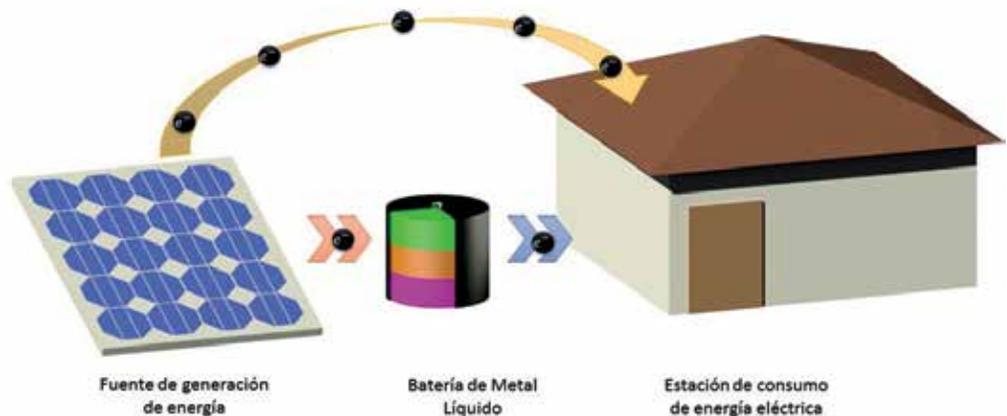


FIGURA 3. ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL PROCESO DE GENERACIÓN, ALMACENAMIENTO (BML) Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. IMAGEN: MARÍA DE LOURDES AVALOS Y ALBERTO BELTRÁN MORALES.

#### PARA CONOCER UN POCO MÁS:

- [1] Iwata, M. (2015). The Wall Street Journal: <http://blogs.wsj.com/japanrealtime/2015/06/24/japan-building-giant-battery-systems-to-store-solar-power/?mod=e2fb>
- [2] Dzieza, J. (2015). The verge: <http://www.theverge.com/2015/5/6/8561461/when-will-teslas-home-battery-make-financial-sense>
- [3] TED Ideas worth spreading. [https://www.ted.com/speakers/donald\\_sadoway](https://www.ted.com/speakers/donald_sadoway)
- [4] <http://culturacientifica.com/2014/09/24/una-bateria-de-metal-liquido-y-el-futuro-de-las-energias-renovables/>
- [5] AMBRI Inc. (2015). <http://www.ambri.com/technology/>