(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 778 903**

(51) Int. CI.:

H01M 10/653 (2014.01)
H01M 10/6557 (2014.01)
H01M 10/6567 (2014.01)
H01M 10/613 (2014.01)
H01M 10/659 (2014.01)
H01M 2/10 (2006.01)
H01M 10/625 (2014.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2015 PCT/US2015/016175**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2015 WO15123676**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2015 E 15708636 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019 EP 3105813**

(54) Título: **Sistemas de gestión térmica para células de almacenamiento de energía que tienen altas corrientes de carga/descarga y procedimientos de fabricación y uso de los mismos**

(30) Prioridad:

14.02.2014 US 201461940105 P
04.03.2014 US 201461947695 P
24.03.2014 US 201461969401 P
14.04.2014 US 201461979293 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.08.2020

(73) Titular/es:

INTRAMICRON, INC. (100.0%)
368 Industry Drive
Auburn, AL 36832, US

(72) Inventor/es:

YANG, HONGYUN;
TATARCHUK, BRUCE J.;
BARRON, TROY J. y
DIMICK, PAUL S.

(74) Agente/Representante:

PADIAL MARTÍNEZ, Ana Belén

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistemas de gestión térmica para células de almacenamiento de energía que tienen altas corrientes de carga/descarga y procedimientos de fabricación y uso de los mismos

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención pertenece al campo de los sistemas de gestión térmica para células de almacenamiento de energía que tienen altas corrientes de carga/descarga, tales como baterías y otros dispositivos electrónicos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Las baterías recargables, especialmente las baterías de iones de litio de alta densidad de energía ("Li-ion"), se han usado en una variedad de aplicaciones, tales como trenes de potencia de vehículos eléctricos (EV) y vehículos eléctricos híbridos (HEV), electrónica de consumo, tales como electrodomésticos y aplicaciones aeroespaciales y militares debido a su alta densidad de energía, alta densidad de potencia de salida, capacidad de carga rápida, capacidad de descarga rápida y alta tensión de circuito abierto. Se requiere que estos dispositivos de almacenamiento de energía (ESD) funcionen a altas tasas de carga y descarga para soportar cargas para diferentes aplicaciones. Incluso las baterías de potencia de forma pequeña pueden proporcionar corrientes muy grandes. Por ejemplo, las baterías de potencia 26650 de A123 (ANR26650M1A) pueden proporcionar una tasa de descarga continua máxima de 70 A y una tasa de carga máxima de 10 A para una sola célula.

Sin embargo, la mayoría de las baterías recargables Li-ion son sensibles a la temperatura. Las baterías Li-ion tienen típicamente un intervalo de temperatura de funcionamiento de -20-60 °C, con un intervalo de temperatura de funcionamiento óptimo de 25-40 °C y diferencias de temperatura de módulo a módulo de menos de 5 °C. El almacenamiento o uso de baterías a temperaturas superiores a 50 °C reduce significativamente su eficacia de descarga y su longevidad. Por ejemplo, se ha demostrado que la capacidad de las baterías Li-ion disminuye un 99 +% después del almacenamiento a 60 °C. La capacidad de potencia de las células que experimentan 800 ciclos-células de carga-descarga sin una reducción significativa de la capacidad en condiciones típicas se redujo a menos del 40 % después de 600 ciclos a 50 °C y a menos del 30 % a 55 °C.

La generación de calor es más severa para las baterías cilíndricas en comparación con las baterías prismáticas porque los cilindros tienen una baja proporción de superficie-área-volumen. La investigación demostró que, durante la descarga, el 54 % del calor generado proviene de la resistencia óhmica, el 30 % proviene de reacciones electroquímicas y el 16 % proviene de la polarización de activación. Se ha observado que la generación de calor puede elevar fácilmente la temperatura del revestimiento de la batería en 15 °C a una tasa de descarga relativamente baja de 1,7 C (5 A). Cuando se produce dicho aumento de temperatura, la batería puede tener que funcionar a una temperatura cercana a su límite superior, dando como resultado una degradación significativa del rendimiento. Por ejemplo, las baterías ANR26650M1A de A123, si se descargan a la corriente más alta de 70 A (28 C), generan una cantidad significativa de calor (~30 W/célula). Esta cantidad de calor puede no ser problemática si la batería se expone directamente a una temperatura ambiente de 25 °C. Sin embargo, puede ser un problema significativo si múltiples baterías están compactas en un paquete de baterías y experimentan ciclos rápidos entre carga y descarga. En este caso, las baterías tienen que reducirse a una descarga de 30 A (12C) para el paquete de baterías en lugar de 70 A (28 C) para la única célula para evitar una disminución de la capacidad, un acortamiento de la vida útil de la batería, problemas de seguridad o incluso accidentes catastróficos

Para lograr una alta capacidad de potencia a tensiones razonables, cientos de los tipos de baterías descritos anteriormente típicamente se empaquetan estrechamente en un espacio finito. Mantener una temperatura apropiada durante el funcionamiento es especialmente difícil con la química de la batería actual y los diseños arquitectónicos cuando funcionan a tasas rápidas de carga y descarga. Los procedimientos de gestión térmica de la batería se pueden clasificar de acuerdo con su procedimiento y los medios de refrigeración con tipos comunes de refrigeración térmica, refrigeración líquida, tubo de calor, almacenamiento térmico basado en material de cambio de fase (PCM), termoeléctrico y placa fría, como se muestra en la Tabla 1 y en las Figuras 1a-c.

Tabla 1. Sumario de estrategias de gestión térmica

Estrategias de gestión térmica	Aire forzado	Líquido	Tubo de calor	PCM	Termoeléctrica	Placa fría
Facilidad de uso	Fácil	Difícil	Moderado	Fácil	Moderado	Moderado
Integración	Fácil	Difícil	Moderado	Fácil	Moderado	Moderado
Eficacia	Bajo	Alto	Alto	Alto	Bajo	Medio
Reducción de la temperatura	Pequeña	Grande	Grande	Grande	Medio	Medio
Distribución de la temperatura	Irregular	Regular	Moderado	Regular	Moderado	Moderado
Mantenimiento	Fácil	Difícil	Moderado	Fácil	Difícil	Moderado

Estrategias de gestión térmica	Aire forzado	Líquido	Tubo de calor	PCM	Termoeléctrica	Placa fría
Vida	> 20 años	3-5 años	> 20 años	> 20 años	1-3 años	> 20 años
Coste inicial	Bajo	Alto	Alto	Tasa de modo	Alto	Alto
Coste anual	Bajo	Alto	Moderado	Bajo	Alto	Moderado

Los sistemas de refrigeración termoeléctrica y de placa fría son los menos preferentes debido a un bajo coeficiente de rendimiento y a un mal contacto en la interfaz de transferencia de calor, respectivamente. Los enfoques de refrigeración por aire forzado y líquido son enfoques de refrigeración activa, que utilizan energía externa para lograr una rápida transferencia de calor. Los sistemas típicos de refrigeración de aire se han empleado ampliamente en automóviles debido a su simplicidad y disponibilidad; sin embargo, han disminuido normalmente una densidad de energía debido al espacio requerido para los canales de la ruta de aire. La refrigeración por aire también requiere paquetes sueltos con densidad de energía disminuida para permitir flujo de aire suficiente.

Los sistemas refrigerados por líquido permiten reducciones mayores de temperatura y distribuciones uniformes de temperatura en relación con los sistemas refrigerados por aire, lo que puede permitir un diseño de refrigeración de batería muy compacto. Estos sistemas de refrigeración tienen varias configuraciones comunes que incluyen tubos discretos alrededor de cada módulo, una camisa de refrigeración alrededor de los módulos, contacto directo con (es decir, inmersión) un fluido dieléctrico y colocación de los módulos en una placa refrigerada por líquido (por ejemplo, un disipador térmico). Sin embargo, se requiere que los enfoques de contacto directo e indirecto estén libres de fugas y de cortocircuito. Los enfoques de contacto directo pueden lograr un rendimiento de refrigeración aceptable; sin embargo, se requieren fluidos dieléctricos para evitar cortocircuitos. Como resultado, los sistemas refrigerados por líquido se caracterizan por su corta vida y alto coste. Los enfoques de contacto indirecto son típicamente más confiables que los enfoques de contacto directo, pero su rendimiento se ve obstaculizado debido al mal contacto entre las baterías y los tubos/placas de refrigeración. Las estrategias que utilizan placas frías y camisas de agua también son diseños de contacto indirecto y presentan las mismas limitaciones.

Se han explorado estructuras de refrigeración basadas en materiales de cambio de fase (PCM) para refrigerar baterías y conjuntos de baterías. Los PCM utilizan la capacidad térmica latente de los cambios de fase (es decir, cambios de fase sólido-líquido o sólido-sólido) para capturar y almacenar calor. Estas estructuras almacenan calor durante la carga y descarga rápida de la batería y reducen las temperaturas máximas y liberan el calor lentamente al medio ambiente durante el funcionamiento fuera de las horas pico (por ejemplo, carga). Los enfoques convencionales de gestión térmica de PCM no necesitan necesariamente un intercambio rápido de calor con el medio ambiente siempre que el intercambio de calor sea suficiente para liberar suficiente calor para evitar el sobrecalentamiento durante las operaciones fuera de las horas pico. Como enfoque de refrigeración pasiva, los sistemas convencionales de PCM pueden ser simples, confiables, de bajo peso y compactos. Sin embargo, debido a la tasa lenta a la que liberan calor al ambiente circundante, los sistemas convencionales de PCM se consideran sistemas de almacenamiento térmico (entalpía) en lugar de sistemas externos eficaces de refrigeración de estado estable. Por este motivo, los PCM no son adecuados para conjuntos de baterías con ciclos de carga y descarga rápidos y frecuentes, o para conjuntos de baterías usados en entornos donde la temperatura ambiente está cerca o por encima del punto de fusión de los PCM.

Los PCM también presentan una baja conductividad térmica cuando están en la fase sólida. Los PCM típicos tienen conductividades térmicas que varían de 0,2 a 0,5 W/mK. Las conductividades térmicas más altas de los PCM son de 2,1 W/mK para líquidos y de 0,53 W/mK para sólidos. Estas conductividades térmicas bajas pueden ser suficientes para las células tipo 18650 porque los espacios entre células son pequeños; sin embargo, no son suficientes en general para grandes conjuntos de células donde los espacios son mucho más grandes. En este caso, el PCM cercano a las baterías se puede derretir y el PCM alejado de las baterías puede no utilizarse. Esto puede dar como resultado un sobrecalentamiento grave de la batería y una mala utilización del PCM. El documento CN 102664292 A describe un dispositivo de radiación y refrigeración para una batería de potencia, que comprende una carcasa hueca de aluminio de placa fría en forma de aleta radiante; el interior de la carcasa es hueco; se forman una pluralidad de espacios de ranura en la carcasa de aluminio; las baterías de potencia se pueden incrustar en las ranuras; la placa inferior hueca de aluminio de placa fría; un tubo de cobre en forma de serpiente está dispuesto en el fondo de una cavidad de carcasa de aluminio y se pone en contacto con el material de cambio de fase; se introduce un medio de trabajo de refrigeración líquida en el tubo de cobre en forma de serpiente; el tubo de cobre en forma de serpiente, una bomba y un intercambiador de calor externo están conectados en serie, de modo que se forma un sistema de refrigeración líquida activa; un sensor de temperatura está dispuesto en la superficie de la batería de potencia; y un interruptor de temperatura está conectado en serie con una fuente de alimentación de cuerpo de bomba. El flujo del medio de trabajo de refrigeración se puede ajustar de acuerdo con diferentes requisitos para un control mejor de temperatura; la cantidad de uso de un metal se reduce al añadir el material de cambio de fase con la premisa de garantizar el efecto de radiación de la batería, de modo que el coste de un dispositivo de radiación de la batería se reduzca eficazmente; y se cumplen los requisitos de diferentes baterías de potencia. El material de cambio de fase compuesto comprende grafito, fibra de carbono o nanotubos de carbono de diferentes fracciones de masa que también se pueden dopar.

Existe la necesidad de sistemas de gestión térmica mejorados que retiren o dispersen eficazmente el calor de las baterías de alta densidad de energía, tales como las baterías recargables de iones de litio.

SUMARIO DE LA INVENCIÓN

La presente invención proporciona un paquete o conjunto de almacenamiento de energía que comprende una pluralidad de células de almacenamiento de energía y un sistema de gestión térmica, en el que el sistema de gestión térmica comprende uno o más medios microfibrosos termoconductores y una o más estructuras de refrigeración activa, en el que los medios microfibrosos son redes porosas que comprenden fibras sinterizadas de tamaño micrónico, en el que uno o más materiales de cambio de fase se dispersan dentro de los medios microfibrosos, y en el que los medios microfibrosos se mecanizan y/o deforman para que coincidan una o más superficies de las células y la una o más estructuras de refrigeración activa, preferentemente en el que las células de almacenamiento de energía son cilíndricas.

El sistema incluye uno o más medios microfibrosos termoconductores que comprenden uno o más materiales de cambio de fase dispersos dentro de los medios microfibrosos y una o más estructuras de refrigeración activa. En un modo de realización, el sistema incluye (1) medios microfibrosos conductores térmicamente (MFM) para una mejor transferencia de calor entre las baterías y una o más estructuras de refrigeración activa (por ejemplo, tubos o canales de agua de refrigeración y/o placas frías); (2) uno o más materiales de cambio de fase (PCM) incrustados o dispersos en el MFM (MFM-PCM) para la regulación de la temperatura máxima de la célula (por ejemplo, refrigeración pasiva); y (3) una o más películas conductoras térmicamente como materiales aislantes eléctricamente para mejorar la transferencia de calor. El sistema es una combinación de estrategias de refrigeración activa y pasiva. Las películas de MFM y conductoras térmicamente proporcionan una rápida transferencia de calor para una refrigeración activa. Las películas de MFM y conductoras térmicamente también proporcionan una rápida transferencia de calor a los materiales PCM en el interior y mejoran la eficacia del sistema. La capacidad de calor latente del PCM también proporciona seguridad adicional durante el funcionamiento de la célula.

Los sistemas se pueden usar para la retirada eficiente del calor de los paquetes de ESD para protegerlos del sobrecalentamiento. Como resultado, la vida útil y la seguridad operativa de dichos dispositivos se pueden extender para aplicaciones que requieran tasas de carga y descarga rápidas, tales como aplicaciones automotrices, aeroespaciales y/o militares.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un esquema de diferentes diseños de gestión térmica para conjuntos de baterías que incluyen (a) un sistema refrigerado por líquido para el conjunto de baterías; (b) una placa fría refrigerada por líquido; y (c) un almacenamiento térmico basado en el PCM.

La Figura 2 es un esquema de una estructura de refrigeración para la gestión térmica de batería.

La Figura 3A es un bloque de aluminio para refrigerar la batería. La Figura 3B es un MFM/MFM-PCM con una carcasa de chapa metálica para refrigerar la batería.

La Figura 4 es un gráfico que muestra el rendimiento de Al-4p4s (temperatura (°C) y tensión (V) en función del tiempo de funcionamiento de la batería) descargados y cargados a una corriente constante de 40 A.

La Figura 5 es un gráfico que muestra el rendimiento de MFM-PCM-4p4s (temperatura (°C) y tensión (V) en función del tiempo de funcionamiento de la batería) descargados y cargados a una corriente constante de 40 A.

La Figura 6 es un gráfico que muestra el rendimiento de una batería Al-4s (temperatura (° C) y tensión (V) en función del tiempo de funcionamiento de la batería) a una tasa de descarga de 50 A.

La Figura 7 es un gráfico que muestra el rendimiento de una batería MFM-PCM-4s (temperatura (° C) y tensión (V) en función del tiempo de funcionamiento de la batería) a una tasa de descarga de 50 A.

La Figura 8 es un gráfico que muestra la temperatura máxima de la superficie de la batería de un paquete de baterías MFM-PCM-4s a una tasa de descarga de 30 A en función de la temperatura.

La Figura 9 es un gráfico que muestra el gradiente de temperatura sobre la envoltura de plástico original (75 micras) en baterías A123 descargadas a 30 A.

La Figura 10 es un gráfico que muestra el gradiente de temperatura sobre la película recubierta de Al_2O_3 (225 micras) en baterías A123 descargadas a 30 A.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

I. Definiciones

"Medios microfibrosos", como se usa en el presente documento, significa redes porosas que contienen fibras sinterizadas de tamaño micrónico.

"Materiales de cambio de fase", como se usa en el presente documento, se refiere a materiales que utilizan la capacidad de calor latente de los cambios de fase (es decir, cambios de fase sólido-líquido o sólido-sólido) para capturar y almacenar calor.

"Estructuras de refrigeración activa", como se usa en el presente documento, se refiere a estructuras o elementos que usan energía/potencia externa para proporcionar una rápida transferencia de calor desde un cuerpo caliente. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, ventilador de refrigeración, radiador con agua de refrigeración circulada, etc.

"Estructuras de refrigeración pasiva", como se usa en el presente documento, significa estructuras de refrigeración que no usan energía/potencia externa para transferir calor desde un cuerpo caliente. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, disipadores de calor, aletas de refrigeración usando convección natural, etc.

"Agente formador de estructura", como se usa en el presente documento, se refiere a materiales fibrosos tales como celulosa y fibras poliméricas (especialmente aquellas fibras largas y blandas con ramificaciones) que pueden enredar otras fibras para formar estructuras de malla tridimensional durante la etapa de formación de láminas húmedas. También deberían retirarse fácilmente de la estructura de malla.

"Modificador de viscosidad", como se usa en el presente documento, se refiere a un producto químico o productos químicos que pueden incrementar significativamente la viscosidad de la suspensión líquida incluso a bajas concentraciones.

"Agente espumante", como se usa en el presente documento, se refiere a tensioactivos que pueden generar espumas o burbujas en la suspensión líquida.

"Tasa C", como se usa en el presente documento, se refiere a la tasa a la que se descarga una batería en relación con su capacidad máxima. Se define como la corriente de descarga dividida por el consumo teórico de corriente bajo el cual la batería entregaría su capacidad nominal en una hora. Por ejemplo, una batería con una tasa de 10 C significa que la corriente de descarga descargará toda la batería en 0,1 horas. Para una batería con una capacidad de 2,5 amperios-hora, esto equivale a una corriente de descarga de 25 amperios.

II. Sistema de gestión térmica

Los sistemas de gestión térmica que son eficaces para retirar o dispersar el calor de las células de alta densidad de energía, tales como las baterías recargables de iones de litio, y los procedimientos de fabricación y uso de los mismos se describen en el presente documento. El sistema incluye tres componentes: (1) medios de microfibra (MFM) para mejorar la transferencia de calor entre las baterías y la estructura de refrigeración activa (por ejemplo, tubos o canales de agua de refrigeración y/o placas frías); (2) uno o más materiales de cambio de fase (PCM) incrustados o dispersos en el MFM (MFM-PCM) para la regulación de la temperatura máxima de la batería (por ejemplo, refrigeración pasiva); y (3) una o más películas conductoras térmicamente como materiales aislantes eléctricamente para mejorar la transferencia de calor. El sistema es una combinación de estrategias de refrigeración activa y pasiva. Las películas de MFM y conductoras térmicamente proporcionan una rápida transferencia de calor para una refrigeración activa. El MFM también proporciona una rápida transferencia de calor a los materiales de PCM en el interior y mejora la eficacia del sistema. Se espera que este enfoque proporcione una transferencia de calor y regulación mejores de la temperatura de la superficie celular. Además, el calor latente del PCM también proporciona seguridad adicional durante el funcionamiento de la célula.

A. Medios microfibrosos (MFM)

Los medios microfibrosos son estructuras de soporte no tejidas sinterizadas y altamente porosas que pueden atrapar una variedad de materiales en una configuración de lecho fluidizado fijo. Los medios microfibrosos pueden estar hechos de polímero, cerámica, vidrio, metal y/o fibras de aleación (por ejemplo, microfibras). El material seleccionado para la matriz microfibrosa depende de la aplicación deseada. Las fibras poliméricas se usan típicamente para aplicaciones de bajo coste, mientras que las fibras cerámicas/de vidrio son las mejores para ambientes altamente corrosivos. Se prefieren las microfibras de metal y aleación para los casos donde se desee una mayor conductividad eléctrica y/o térmica. En algunos modos de realización, las fibras son fibras metálicas, tales como cobre, níquel, aluminio, acero, acero inoxidable, plata u oro, o aleaciones de los mismos, o combinaciones de los mismos.

Las fibras pueden ser una mezcla de fibras que tengan diferentes diámetros, longitudes y/o composición. Las fibras pueden tener cualquier diámetro adecuado, aunque el diámetro sea típicamente inferior a 1000 micras. En algunos modos de realización, el diámetro es de 0.5-200 µm, preferentemente de 4-100 µm. La longitud de las fibras es típicamente de aproximadamente 0,1 a 10 mm, preferentemente de 1 a 10 mm, preferentemente de 3 a 8 mm, preferentemente de 4 a 8 mm, lo más preferentemente de 5 a 6 mm. En algunos modos de realización, la longitud de las fibras es de aproximadamente 1 mm.

En las estructuras de medios microfibrosos, la carga volumétrica de las fibras metálicas y los materiales atrapados en ellas son en su mayoría independientes entre sí. Esto permite que las cantidades relativas de cada componente se ajusten en una amplia gama de parámetros. En algunos modos de realización, la concentración de las fibras en el sistema es de aproximadamente 1 a aproximadamente 40 % en vol., preferentemente de aproximadamente 10 a aproximadamente 30 % en vol.

Los medios se pueden preparar usando técnicas conocidas en la técnica, tales como procesos de colocación en húmedo y sinterización como se divulga en las patentes de los Estados Unidos n.° 5.080.963, 5.080.963, 5.304.330, 6.231.792, 7.501.012 y 8.420.023, que se incorporan en el presente documento como referencia en su totalidad.

Los medios preparados pueden contener 0,5-15 % en volumen de fibras, típicamente 0,5-10 % en vol. Los tamaños de poro de abertura de los medios están en el intervalo de malla 10-120, típicamente de malla 50-100, y de malla 60-90 preferente, dependiendo del diámetro de la fibra y de la longitud de la fibra y de las condiciones de preparación. El espacio vacío es al menos aproximadamente el 60 %, preferentemente de aproximadamente 85 a aproximadamente el 99,5 %. La longitud de la fibra puede variar, pero típicamente es de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 10 mm. Los medios como se preparan se pueden procesar para alcanzar las fracciones volumétricas de fibra preferentes mencionadas anteriormente.

Los medios pueden contener múltiples capas que contengan fibras de diferentes diámetros y/o diferentes materiales dependiendo de los materiales que se vayan a atrapar y de la aplicación prevista. Las fibras en las capas múltiples se pueden fusionar juntas durante la etapa de sinterización.

En algunos modos de realización, el MFM contiene además fibras de carbono, fibras de grafito y/o nanotubos de carbono, tales como nanotubos de pared simple y/o pared múltiple. Las fibras de carbono/grafito pueden estar en forma de láminas húmedas, hilos o hilos unidos y/o láminas tejidas. El diámetro de las fibras puede variar. Sin embargo, en algunos modos de realización, el diámetro de las fibras es de aproximadamente 1 nm a aproximadamente 250 micras, preferentemente de 1 micra o mayor, tal como de aproximadamente 1 micra a aproximadamente 250 micras o de aproximadamente 1 micra a aproximadamente 100 micras.

El MFM es un buen material interfacial para mejorar la transferencia de calor en baterías, en particular baterías cilíndricas. Los MFM son flexibles y deformables, de modo que el MFM se puede deformar para que coincida con diversas superficies, es decir, las superficies de las baterías y las estructuras de refrigeración. El MFM hecho de fibras metálicas de tamaño micrónico puede formar múltiples puntos de contacto en las superficies.

B. Materiales de cambio de fase

Incrustado o disperso dentro de los medios de microfibra hay uno o más materiales de cambio de fase. Los "materiales de cambio de fase" o "PCM" son materiales que utilizan la capacidad de calor latente debido a cambios de fase (por ejemplo, cambios de fase sólido-líquido o sólido-sólido) para capturar y almacenar calor. En algunos modos de realización, la concentración de PCM en el compuesto PCM-MFM es de aproximadamente 65 a aproximadamente 95 % en vol., preferentemente de aproximadamente 70 a aproximadamente 80% en vol.

En algunos modos de realización, el uno o más materiales de cambio de fase son químicamente inertes a las fibras metálicas. En algunos modos de realización, el uno o más materiales de cambio de fase son aislantes eléctricamente. En algunos modos de realización, el uno o más materiales de cambio de fase tienen calores de fusión mayores que 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140, 150, 160, 170 , 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240 o 250 J/g. En algunos modos de realización, el uno o más materiales de cambio de fase tienen calores de fusión que varían de 100 J/g a 250 J/g.

En algunos modos de realización, el uno o más materiales de cambio de fase tienen un intervalo de temperatura de fusión de menos de 5 °C, más preferentemente menos de 2 °C. En algún modo de realización, el uno o más materiales de cambio de fase tienen un intervalo de temperatura de solidificación de menos de 5 °C, más preferentemente menos de 2 °C. En algunos modos de realización, el uno o más materiales de cambio de fase tienen un intervalo de temperatura de fusión y un intervalo de temperatura de solidificación que se superponen con una diferencia máxima de 2 °C, más preferentemente 0 ° C. En algunos modos de realización, el PCM se solidifica a una temperatura superior a la temperatura del agua de refrigeración que circula a través de estructuras de refrigeración activa. En algunos modos de realización, los PCM se solidifican a una temperatura por debajo de las temperaturas umbral de la célula de almacenamiento de energía.

El PCM puede ser cualquier material conocido en la técnica. En algunos modos de realización, el uno o más materiales de cambio de fase se seleccionan de ceras de parafina, polietilenglicoles, ácidos grasos, sales de metales con agua cristalina, eutécticos de baja fusión que incluyen aleaciones de metales y productos químicos mixtos, y combinaciones de los mismos. Los materiales de PCM preferentes son ceras de parafina, sales metálicas hidratadas, eutécticos y los materiales descritos en la Tabla 2.

Los materiales de cambio de fase ejemplares y sus propiedades físicas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: PCM ejemplares/preferentes y sus propiedades

Compuesto	Punto de fusión (°C)	Calor de fusión latente (kJ/kg)	Conductividad térmica (W/mK)
RT25-RT30	26,6	232,0	0,18 (líquido), 0,19 (sólido)
n-octadecano	27,7	243,5	0,148 (líquido), 0,19 (sólido)
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	29,9	187	0,53 (líquido), 1,09 (sólido)
$Na_2SO_4 \cdot 10\ H_2O$	32,39	180	0,15 (líquido), 0,3 (sólido)
Cera parafina	32-32,1	251	0,514 (sólido), 0,224 (líquido)
Ácido cáprico	32	152,7	0,153 (líquido)
Láurico-palmítico	35,2	166,3	-
Ácido láurico	41-43	211,6	1,6
Ácido esteárico	41-43	211,6	1,60 (sólido)
Parafina medicinal	40-44	146	2,1 (líquido), 0,5 (sólido)
Cera parafina	40-53	-	-
P116-Cera	46,7-50	209	0,277 (líquido), 0,140 (sólido)
Indrawax 5860-FE	57-59	-	-
Indrawax 6062-FE	60-62	-	-

En modos de realización en particular preferentes, los PCM tienen un intervalo de temperatura de fusión y un intervalo de temperatura de solidificación que se superponen con una diferencia máxima de 2 °C, preferentemente sin diferencia en estos intervalos. Preferentemente, el PCM es un material que no causa contaminación cruzada cuando se usa en sistemas de gestión térmica, en particular cuando se pone en contacto con paquetes o conjuntos de baterías. Adicionalmente, el PCM preferentemente se ajusta uniformemente a la estructura del MFM. PCM preferentes ejemplares son ceras.

Los compuestos de MFM-PCM tienen típicamente conductividades térmicas en el intervalo de 10-25 W/mK, dependiendo de la composición de MFM. En comparación con los sistemas que solo contienen el PCM, un sistema que contiene un compuesto del mismo PCM junto con un MFM tiene una conductividad térmica que es al menos 10 veces mayor que la conductividad térmica del PCM solo, típicamente el incremento en los intervalos de conductividad térmica varía desde aproximadamente 20-125 veces al comparar un compuesto de un PCM y un MFM con el mismo PCM solo.

C. Estructuras de refrigeración activa

Los sistemas descritos en el presente documento típicamente contienen también una o más estructuras de refrigeración activa que disipan el calor generado desde la célula. En algunos modos de realización, las estructuras de refrigeración son tubos o canales a través de los que fluye agua de refrigeración para disipar el calor generado desde la célula. En otros modos de realización, las estructuras son placas de refrigeración que disipan el calor generado desde la célula. En algunos modos de realización, los sistemas contienen una combinación de tubos o canales y placas.

Los tubos, canales y/o placas pueden estar hechos de cualquier material que transfiera o disipe eficazmente el calor. En algunos modos de realización, los tubos, canales y/o placas pueden estar hechos de metal, cerámica y/o vidrio. Los metales adecuados incluyen, pero no se limitan a, cobre, níquel, aluminio, acero, acero inoxidable, plata, oro, aleaciones de los mismos y combinaciones de los mismos. Las cerámicas adecuadas incluyen, pero no se limitan a, alúmina, nitruro de aluminio, nitruro de boro, carburo de silicio, esmalte, cuarzo y combinaciones de los mismos.

D. Aislamiento eléctrico, películas conductoras térmicamente

El sistema puede contener además una o más películas conductoras térmicamente para mejorar la transferencia de calor. Las películas, en combinación con los medios microfibrosos, participan en la refrigeración pasiva al proporcionar una rápida transferencia de calor al PCM.

Estas películas pueden servir como reemplazo de envolturas plásticas que se encuentran típicamente en baterías disponibles comercialmente. La película debe ser aislante eléctricamente y conductora térmicamente.

Las películas se pueden formar a partir de cualquier material o materiales conocidos en la técnica que sean conductores térmicamente. Los ejemplos incluyen materiales poliméricos, cerámica, vidrios, esmaltes y combinaciones de los mismos. Los polímeros adecuados incluyen, pero no se limitan a, polipropileno conductor de calor, poliamida, elastómeros de copoliéster, sulfuro de polifenileno, polímeros cristalinos líquidos, elastómeros termoplásticos y combinaciones de los mismos. Las cerámicas adecuadas incluyen, pero no se limitan a, alúmina, nitruro de boro, nitruro de aluminio y combinaciones de los mismos.

El grosor de la película puede variar. La película es preferentemente lo suficientemente gruesa de modo que la película tolera abrasiones y tiene un dieléctrico suficientemente fuerte para la tensión aplicada. En algunos modos de realización, el grosor de la película varía desde aproximadamente 50 micras a aproximadamente 1000 micras.

III. Procedimientos de fabricación

El MFM se puede preparar como se describe anteriormente. El(los) material(es) de cambio de fase se puede(n) incorporar al MFM fundiendo el PCM y remojando el MFM en el PCM líquido, de forma análoga a sumergir una esponja en agua. Después de que el PCM se enfría y solidifica, se forma el PCM en MFM (compuesto MFM-PCM). El MFM-PCM se puede preparar en diferentes formas, patrones y estructuras para su inserción en dispositivos de almacenamiento de energía (por ejemplo, baterías y supercondensadores).

Para mejorar la transferencia de calor, la envoltura de plástico o el papel que se usa típicamente como materiales aislantes eléctricos en las baterías se puede reemplazar con películas conductoras térmicamente y aislantes eléctricamente.

Las películas conductoras térmicamente y aislantes eléctricamente se pueden preparar usando una variedad de técnicas dependiendo de los materiales. Si se usa una cerámica, la cerámica se puede recubrir sobre la batería/tubos de metal celular mediante recubrimiento de plasma, recubrimiento por inmersión, depósito químico de vapor y pulverización térmica. Si se usa un polímero, el polímero se puede formar en un tubo de plástico delgado y la batería/célula se puede deslizar dentro del tubo polimérico.

IV. Procedimientos de uso

Los sistemas de gestión térmica descritos en el presente documento se pueden usar para retirar, dispersar o disipar el calor de las células de alta densidad de energía, incluidas, pero sin limitarse a, baterías, condensadores, supercondensadores y combinaciones de los mismos. En un modo de realización, la célula es una batería, tal como una batería recargable de iones de litio. En algún modo de realización, el sistema se usa con múltiples células (por ejemplo, baterías), tales como un paquete de baterías o un conjunto de baterías. En estos modos de realización, el sistema está diseñado para incluir tubos, ranuras u otras estructuras en las que se puede insertar una célula (por ejemplo, una batería). La célula se puede encapsular en una o más películas conductoras térmicamente y aislantes eléctricamente. Un ejemplo del sistema de gestión térmica se muestra en la Figura 3B. Los cilindros de mayor diámetro están donde se insertan las células (por ejemplo, baterías), mientras que los cilindros de menor diámetro son la estructura de refrigeración activa. En algunos modos de realización, el agua de refrigeración circula a través de estos cilindros de menor diámetro.

Para lograr una alta capacidad de potencia a tensiones razonables, cientos de baterías se pueden empaquetar en un espacio finito. Mantener una temperatura apropiada durante el funcionamiento es especialmente difícil con la química de la batería actual y los diseños arquitectónicos cuando funcionan a tasas rápidas de carga y descarga. Las baterías pueden tener cualquier forma, tal como cilíndrica (por ejemplo, pequeña, grande, etc.), bolsa y/o prismática. En algunos modos de realización, las baterías tienen forma cilíndrica. En la literatura se conocen diferentes tipos de baterías y procedimientos de fabricación de las mismas.

Las baterías de iones de litio (a veces baterías Li-ion o LIB) son miembros de una familia de tipos de baterías recargables en las que los iones de litio se mueven del electrodo negativo al electrodo positivo durante la descarga y de vuelta a la carga. Las baterías Li-ion usan un compuesto de litio intercalado como material de electrodo, en comparación con el litio metálico usado en la batería de litio no recargable.

Las baterías de iones de litio son comunes en la electrónica de consumo. Son uno de los tipos más populares de batería recargable para dispositivos electrónicos portátiles, con una de las mejores densidades de energía, poco o ningún efecto de memoria y solo una lenta pérdida de carga cuando no se use. Más allá de la electrónica de consumo, los LIB también están creciendo en popularidad para aplicaciones militares, de vehículos eléctricos y aeroespaciales. Por ejemplo, las baterías de iones de litio se están convirtiendo en un reemplazo común para las baterías de plomo y ácido que se han usado históricamente para carros de golf y vehículos utilitarios. En lugar de placas pesadas de plomo y un electrolito ácido, la tendencia es usar electrodos livianos negativos de litio/carbono y electrodos positivos de fosfato de hierro y litio. Las baterías de iones de litio pueden proporcionar la misma tensión que las baterías de plomo-ácido, por lo que no es necesario modificar el sistema de conducción del vehículo.

Las características de química, rendimiento, coste y seguridad varían según los tipos de LIB. La electrónica portátil usa principalmente LIB basados en óxido de litio y cobalto ($LiCoO_2$), que ofrece una alta densidad de energía, pero presenta riesgos de seguridad, especialmente cuando está dañado. El fosfato de litio y hierro (LFP), el óxido de litio y manganeso (LMO) y el óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto (NMC) ofrecen una menor densidad de energía, pero una vida útil más larga y seguridad inherente. Dichas baterías se usan ampliamente para herramientas eléctricas, equipos médicos y otras funciones. El NMC en particular es un competidor líder para aplicaciones automotrices. El óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio (NCA) y el titanato de litio (LTO) son diseños especializados destinados a nichos de mercado particulares.

Las baterías de iones de litio pueden ser peligrosas en algunas condiciones y pueden representar un peligro para la seguridad ya que contienen, a diferencia de otras baterías recargables, un electrolito inflamable y también se mantienen presurizadas. Debido a esto, los estándares de prueba para estas baterías son más rigurosos que los de las baterías de electrolitos ácidos, lo que requiere una gama más amplia de condiciones de prueba y pruebas adicionales específicas de la batería. Esto es en respuesta a accidentes y fallos reportados, y ha habido retiradas relacionadas con la batería por parte de algunas empresas. Por ejemplo, si se sobrecalientan o sobrecargan, las baterías Li-ion pueden sufrir fugas térmicas y ruptura de célula. En casos extremos, esto puede dar lugar a la combustión. Los sistemas de gestión térmica descritos en el presente documento disipan más eficazmente el calor y, por lo tanto, pueden reducir los incidentes debidos al sobrecalentamiento o a la sobrecarga.

El sistema de gestión térmica descrito en el presente documento se puede usar para retirar el calor de las células de potencia, tales como las baterías, y permite la carga y descarga rápidas de las células. La tasa de carga y descarga de las células se puede medir por la tasa C. La tasa de descarga para células de potencia pequeñas (es decir, células 26650 o menores) está en el intervalo de 4-28 °C, mientras que la tasa de células de forma media (diámetro mayor de 2 pulgadas) está en el intervalo de 2-15 C. Por comparación, las células ácidas de plomo se descargan en un intervalo de aproximadamente 0,05-0,2C. Preferentemente, los sistemas de gestión térmica se usan con una serie de células de potencia, donde las células de potencia tienen tasas de descarga de 1C o más, preferentemente al menos 4C, opcionalmente incluso más, como hasta 28C, o incluso más.

Ejemplos

Ejemplo 1. Conjunto de baterías que contiene el sistema de gestión térmica

Se ensamblaron múltiples paquetes de baterías para contener 16 baterías conectadas eléctricamente en un patrón 4p4s (4 series en paralelo con 4 baterías en serie). Se introdujeron canales de agua de refrigeración dentro de las estructuras de refrigeración como se muestra en la Figura 1. Los conjuntos se distinguieron en base al material usado para formar las estructuras de refrigeración: Bloque de Al (bloque de refrigeración de aluminio) y MFM-PCM (medios microfibrosos de cobre con materiales de cambio de fase). El bloque de Al es un diseño de refrigeración activa limpia; MFM-PCM es una combinación de enfoques de refrigeración activa y pasiva (véanse las Figuras 3a y 3b). La Tabla 3 compara el bloque de Al y el MFM-PCM con otras estructuras de refrigeración de batería típicas para 16 baterías (baterías 26650 de potencia) en un conjunto de 4p4s. La Tabla 3 muestra que MFM-PCM con un 70 % en volumen de PCM tiene una capacidad de calor comparable en comparación con los dispositivos de solo PCM, que es aproximadamente el doble de la capacidad de calor de los dispositivos que no son de PCM. Como resultado, las baterías 26650 se pueden descargar a alta corriente durante 9,1 minutos, también el doble de tiempo que el conjunto de bloques de aluminio. El MFM también tiene el coeficiente global de transferencia de calor más alto debido al uso de MFM de cobre.

Tabla 3. Comparación de diferentes paquetes de baterías actualizados para la generación de calor a 6,3W/célula.

Medios de refrigeración	Peso (g)	ΔH (40-60 °C)			ΔH/V (KJ/L)	ΔH/Q (min)	h_{global} (W/m^2-K) (2)	ΔT (°C) (3)
		Latente (KJ)	CpΔT (KJ)	Total (KJ)				
Caso 1: Agua (4)	1472		36	36	49	6,0	200	6,1
Caso1: Bloque de Al (4)	1784		30	30	40	4,9	220	5,6
Caso 2: PCM solo (5)	1472	44	29	64	86	10,6	48	25,5
Caso 3: MFM (30 % en vol. Cu)	1780		24	24	33	4,0	390	3,1
Caso 4: MFM-PCM (30 % vol. Cu + 70 % vol. PCM)	1896	30	30	61	74	9,1	**420**	**2,9**

(1): La batería tiene un volumen de 736 ml con 16 células 26650 de A123 (2,6 cm de diámetro × 6,5 cm, 7 mΩ). Las baterías se descargan a 12 C (30 A) por célula y generan calor (Q) a 25,2 W.
(2): Los coeficientes generales de transferencia de calor se basan en el área de superficie de la batería externa.
(3): ΔT es el gradiente de temperatura entre el agua de refrigeración y el revestimiento plástico de batería.
(4): Cuando el agua es el medio de refrigeración dentro del paquete de baterías, se supone que hay una película aislante muy fina (resistencia térmica = 0) que separa el agua y las baterías. Cuando el aluminio es el medio de refrigeración, se supone que las baterías se insertan dentro de un bloque de aluminio.
(5): Se supone que el PCM (es decir, cera de parafina) tiene una densidad de 0,9 g/ml, un calor latente de 210 kJ/kg y una conductividad térmica promedio de 1,3 W/mK. El PCM se derretirá en este caso.

Si los paquetes de baterías se cargan y descargan a una corriente constante, es decir, la corriente de carga máxima permitida, el comportamiento del paquete de baterías estará cerca de una resistencia. Las Figuras 4 y 5 muestran los perfiles de temperatura de los paquetes de baterías de bloque de Al y de MFM-PCM que se cargan y descargan a 40 A. Los perfiles de temperatura son casi rectos siempre que la temperatura del agua de entrada permanezca

constante, lo que sugiere que la suposición de resistencia es válida. Además, todas las temperaturas están por debajo de 42 °C, lo que significa que el PCM estaba en su forma sólida y su contribución a la transferencia de calor es insignificante.

La Figura 5 también muestra que el gradiente de temperatura entre la superficie de la batería y la carcasa (medio) en MFM-PCM fue insignificante en comparación con el del bloque de Al. Este resultado sugiere que la transferencia de calor a través de la interfaz entre el MFM-PCM y la superficie de la batería es mucho más rápida que a través de la interfaz entre el bloque de Al y la superficie de la batería. Una estimación detallada mostró que el bloque de Al tenía una tasa de transferencia de calor de 170 W/m2-K a través de la interfaz de transferencia de calor y el MFM-PCM proporcionaba una tasa de transferencia de calor de 1300-2100 W/m^2-K, que es 8-12 veces más rápido que el bloque de Al. Estos resultados muestran que el MFM puede mitigar drásticamente la resistencia a la transferencia de calor a través de diversas interfaces. La transferencia rápida de calor del MFM es importante para las baterías con corrientes extremadamente altas de carga y descarga.

Cuando se inserta el PCM en la matriz de MFM, puede regular la temperatura de la batería debido a su significativo calor latente de fusión. En los experimentos comparativos, el bloque de Al y el MFM-PCM se compararon a una tasa de descarga de 50 A y una temperatura ambiente de 60 °C. En el MFM-PCM, el PCM tiene una temperatura de fusión nominal de 42-46 °C. Como se muestra en las Figuras 6 y 7, el paquete de baterías de bloque de Al alcanzó una temperatura máxima de 50 °C, y el paquete de baterías MFM-PCM alcanzó una temperatura de 47 °C, que está muy cerca de la temperatura de fusión de PCM. Se realizó otra serie de pruebas a una tasa de descarga de 30 A y a diversas temperaturas, 42, 50 y 60 °. Los resultados se muestran en la Figura 8.

El bloque de Al mostró una tendencia casi lineal en la temperatura de superficie de la batería frente a la curva de temperatura ambiente. La misma curva de MFM-PCM se estabilizó después de que la temperatura de la superficie de la batería alcanzó 46,4 °C. El PCM dentro del MFM reguló la temperatura de la superficie de la batería cerca de su intervalo de punto de fusión.

Además, el calor latente de PCM también proporciona protección de seguridad adicional a las células del paquete de baterías. Como se muestra en la Tabla 1, el calor latente del PCM es el mismo que el calor sensible del paquete de baterías. Por lo tanto, PCM-MFM permite que la batería funcione el doble de tiempo que una batería sin PCM. Sin embargo, el PCM no puede proporcionar dichos beneficios sin el MFM. Como se menciona en la literatura, los PCM tienen conductividades térmicas muy bajas. Solo el PCM alrededor de las baterías se fusionará durante la descarga, mientras que el PCM retirado de las baterías permanecerá sólido y utilizado. Por lo tanto, el PCM necesita estructuras conductoras térmicamente implantadas dentro del PCM para mejorar la tasa de transferencia de calor y la utilización del PCM.

Otro elemento de resistencia a la transferencia de calor que comúnmente se ignora son los materiales aislantes eléctricamente en las baterías. Estos materiales están hechos típicamente de polímeros y/o papel, los cuales son aislantes térmica y eléctricamente. En las pruebas para las baterías 26650 de potencia, el gradiente de temperatura medido a través de los materiales aislantes fue de 1,2 °C a través de la envoltura de plástico de 75 micras de grosor con una corriente de descarga de 30 A (Figura 9). Se estimó que, para baterías más grandes con tasas de descarga mucho más altas (por ejemplo, 500A), el gradiente de temperatura puede ser tan alto como 40 °C para una capa aislante de 150 micras de grosor, lo que hace que el paquete de baterías no sea seguro para funcionar. Cuando los materiales aislantes plásticos se reemplazaron con cerámica termoconductora, se midió que el gradiente de temperatura a través de los materiales aislantes era de 0,3 °C a través del recubrimiento cerámico con un grosor de 225 micras (Figura 10), que es solo 1/4 de la capa aislante de plástico. Incluso sin ninguna mejora adicional en la conductividad térmica de la capa aislante de cerámica, el gradiente de temperatura máxima a través de la capa aislante de una batería grande será de 5 °C a través del recubrimiento cerámico con un grosor de 225 micras. Este gradiente de baja temperatura da suficiente espacio para hacer funcionar baterías más grandes de manera segura.

REIVINDICACIONES

1. Un paquete o conjunto de almacenamiento de energía que comprende una pluralidad de células de almacenamiento de energía y un sistema de gestión térmica,

en el que el sistema de gestión térmica comprende uno o más medios microfibrosos conductores térmicos y una o más estructuras de refrigeración activa, en el que los medios microfibrosos son redes porosas que comprenden fibras sinterizadas de tamaño micrónico, en el que uno o más materiales de cambio de fase están dispersos dentro de los medios microfibrosos,

y

en el que los medios microfibrosos se mecanizan y/o deforman para que coincidan una o más superficies de las células y la una o más estructuras de refrigeración activa, preferentemente en el que las células de almacenamiento de energía son cilíndricas.

2. El paquete o conjunto de la reivindicación 1, en el que el sistema de gestión térmica comprende además cilindros en los que se insertan las células, preferentemente en el que el sistema de gestión térmica comprende además cilindros en los que se localizan una o más estructuras de refrigeración activa.

3. El paquete o conjunto de la reivindicación 1, en el que las fibras sinterizadas son fibras metálicas sinterizadas seleccionadas del grupo que consiste en cobre, níquel, aluminio, acero, acero inoxidable, plata, oro y aleaciones, y combinaciones de los mismos.

4. El paquete o conjunto de la reivindicación 1, en el que los medios microfibrosos comprenden además fibras de carbono, fibras de grafito, nanotubos de carbono de pared simple o de pared múltiple, o una combinación de los mismos, preferentemente en el que los medios microfibrosos comprenden además fibras de carbono, y en el que el diámetro de las fibras de carbono son de 1 nanómetro a 250 micras.

5. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la carga volumétrica de fibras en los medios microfibrosos varía desde 1 a 40 % en vol.

6. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el uno o más materiales de cambio de fase se seleccionan del grupo que consiste en ceras de parafina, polietilenglicoles, ácidos grasos, sales metálicas y combinaciones de los mismos, preferentemente en el que el material de cambio de fase está inmovilizado dentro de los medios microfibrosos o encapsulado dentro de un material de punto de fusión más alto que está inmovilizado dentro de los medios microfibrosos.

7. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 3 o 4, en el que el uno o más materiales de cambio de fase y/o materiales de encapsulación de material de cambio de fase son químicamente inertes a las fibras metálicas.

8. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el uno o más materiales de cambio de fase y/o materiales de encapsulación de material de cambio de fase son aislantes eléctricamente; y/o en el que el uno o más materiales de cambio de fase tienen calores de fusión mayores que 100 J/g, preferentemente mayores que 150 J/g, más preferentemente mayores que 200 J/g; y/o en el que uno o más materiales de cambio de fase tienen un intervalo de temperatura de fusión de menos de 5 °C, más preferentemente menos de 2 °C; y/o en el que uno o más materiales de cambio de fase tienen un intervalo de temperatura de solidificación de menos de 5 °C, más preferentemente menos de 2 °C; y/o en el que el uno o más materiales de cambio de fase tienen un intervalo de temperatura de fusión y un intervalo de temperatura de solidificación que se superponen con una diferencia máxima de 2 °C, más preferentemente 0 °C.

9. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que la una o más estructuras de refrigeración activa comprenden tubos o canales que pasan a través de los medios microfibrosos, preferentemente en el que los tubos o canales están formados de un material seleccionado del grupo que consiste en metal, cerámica y vidrio, y combinaciones de los mismos.

10. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que las células comprenden baterías, preferentemente en el que las baterías comprenden baterías de iones de litio.

11. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que las células se caracterizan con una tasa C mayor que 1C.

12. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en el que la una o más células comprenden una o más películas aislantes eléctricamente, conductoras térmicamente que encapsulan las células, preferentemente en el que la película comprende vidrio o esmalte.

13. El paquete o conjunto de la reivindicación 12, en el que las películas aislantes eléctricamente comprenden uno o más polímeros conductores térmicamente.

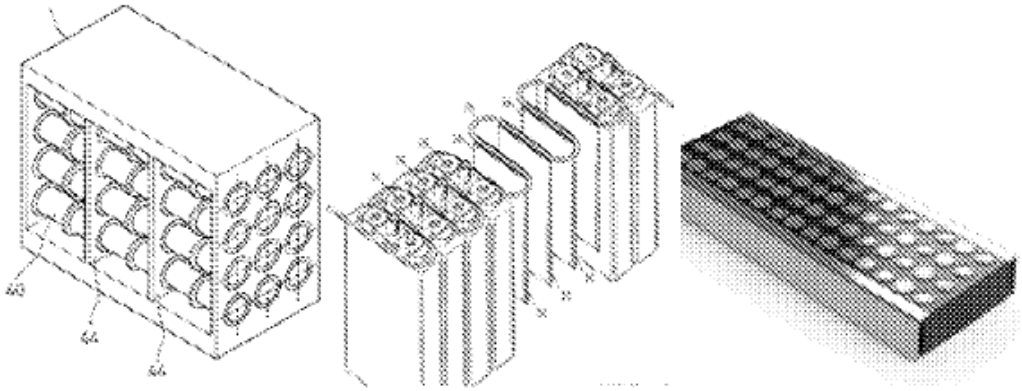
14. El paquete o conjunto de la reivindicación 12, en el que las películas aislantes eléctricas comprenden una o más cerámicas conductoras térmicamente, preferentemente en el que la cerámica conductora térmicamente se selecciona del grupo que consiste en alúmina, nitruro de boro, nitruro de aluminio y combinaciones de los mismos.

15. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 12-14, en el que el grosor de la película es de 50 micras a 1000 micras; y/o en el que uno o más materiales de cambio de fase se funden físicamente a un intervalo de temperatura que está por debajo del umbral de temperatura de la célula de almacenamiento de energía.

16. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1-15, en el que el agua de refrigeración pasa a través de las estructuras de refrigeración activa.

17. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1-16, en el que los medios microfibrosos tienen una entrada donde el agua de refrigeración entra en los medios microfibrosos, y en el que la temperatura del agua de refrigeración en la entrada a los medios microfibrosos es menor que la temperatura umbral de la célula de almacenamiento de energía, preferentemente 10 °C menos, más preferentemente 20 °C menos, incluso más preferentemente 30 °C menos.

18. El paquete o conjunto de una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 12-17 en forma de batería recargable, condensador, supercondensador u otro dispositivo electrónico.



Figuras 1a-c

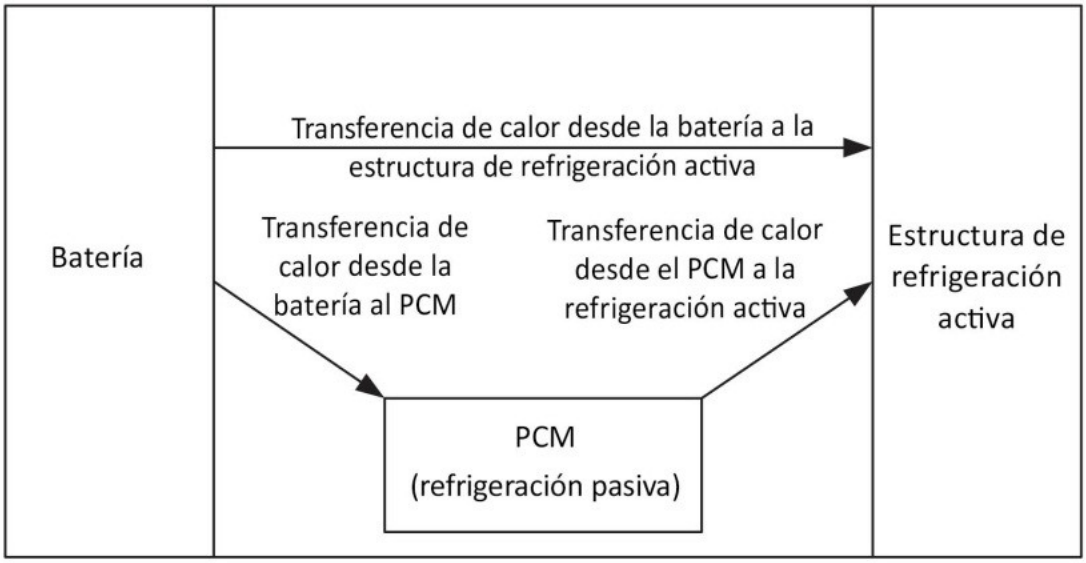
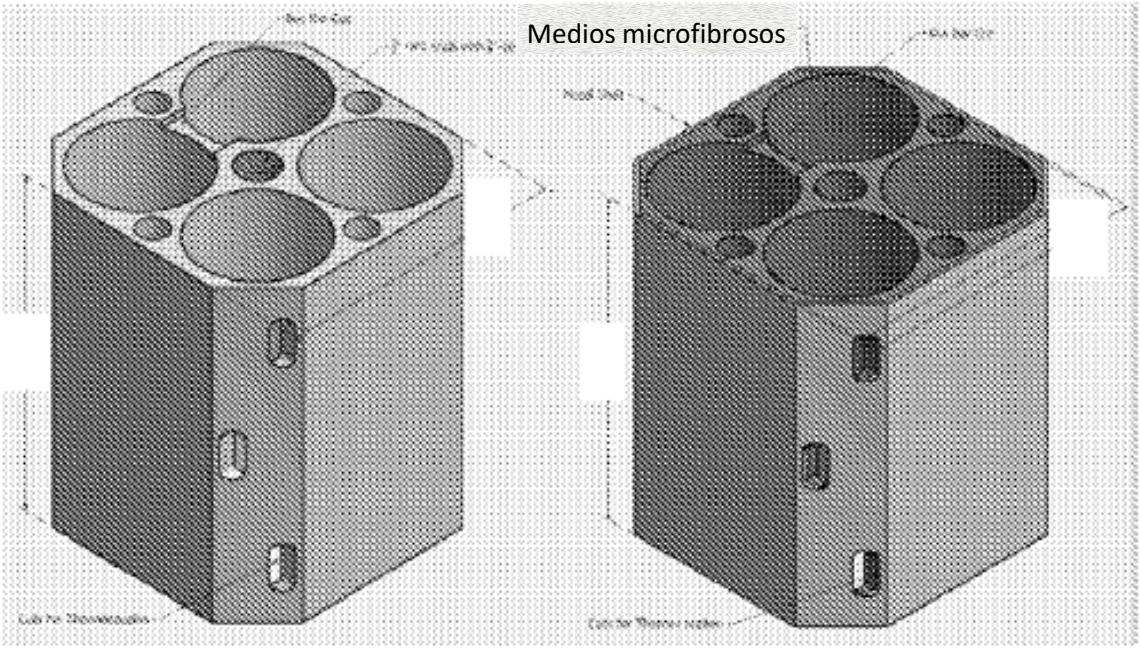


Figura 2



Figuras 3a-3b

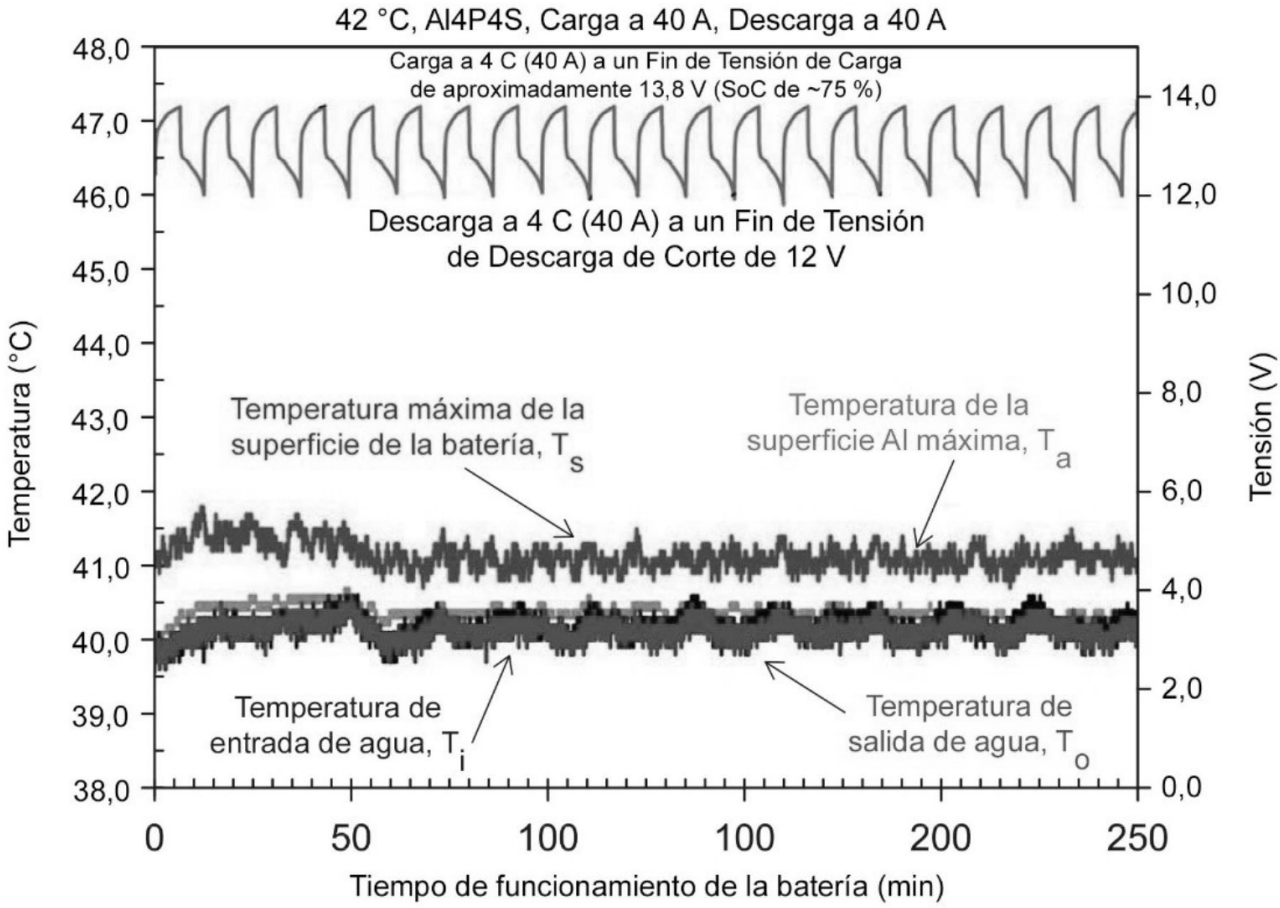


Figura 4

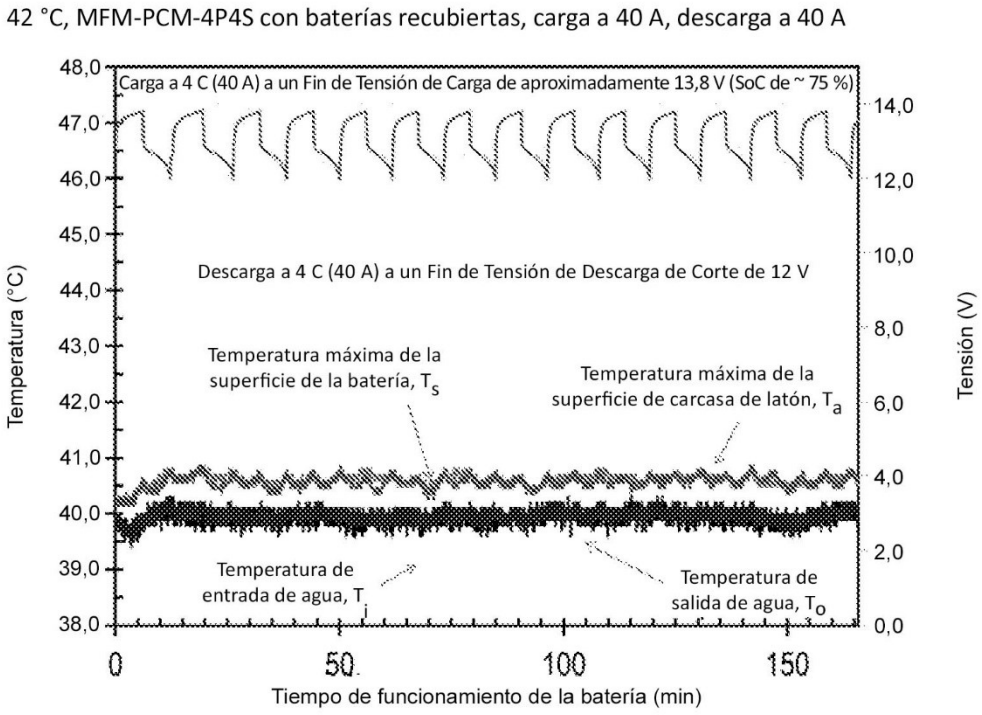


Figura 5

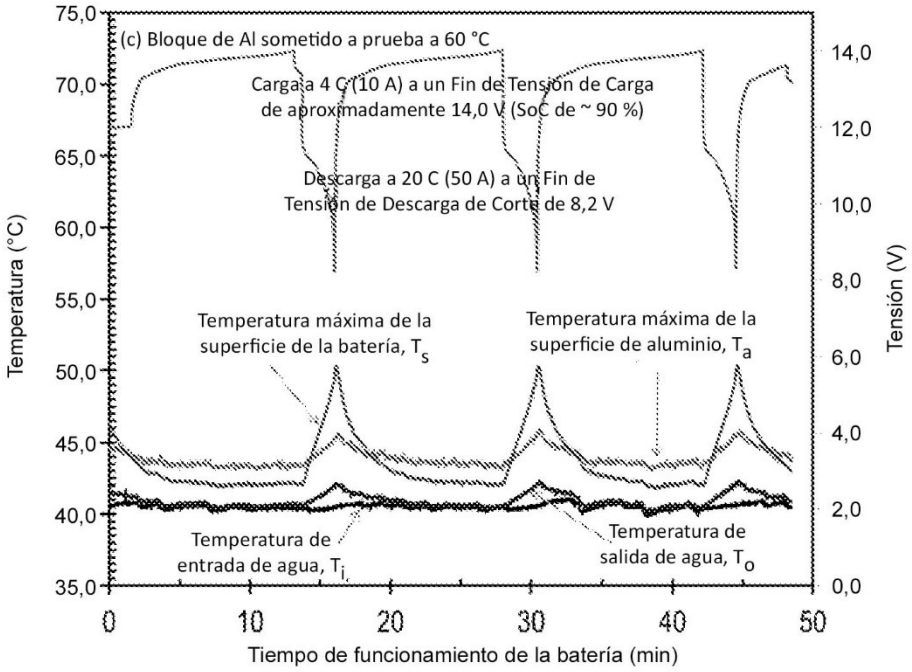


Figura 6

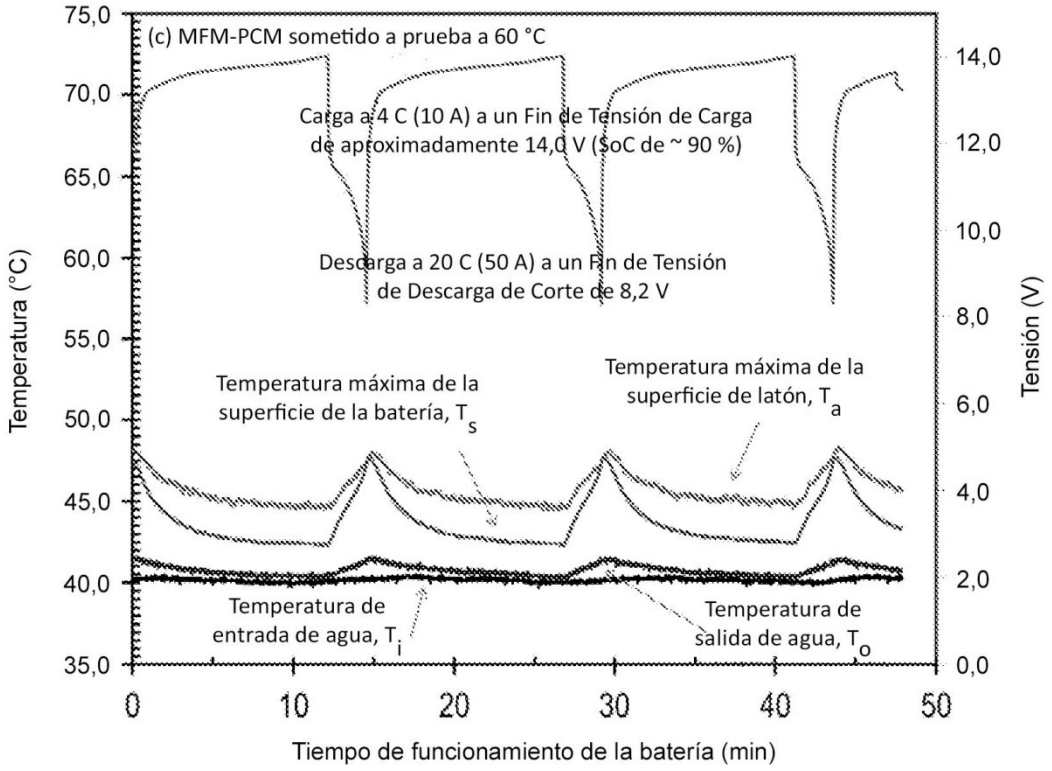

(c) MFM-PCM sometido a prueba a 60 °C
Carga a 4 C (10 A) a un Fin de Tensión de Carga de aproximadamente 14,0 V (SoC de ~ 90 %)
Descarga a 20 C (50 A) a un Fin de Tensión de Descarga de Corte de 8,2 V
Temperatura máxima de la superficie de la batería, Ts
Temperatura máxima de la superficie de latón, Ta
Temperatura de entrada de agua, Ti
Temperatura de salida de agua, To
Temperatura (°C)
Tensión (V)
Tiempo de funcionamiento de la batería (min)
75,0
70,0
65,0
60,0
55,0
50,0
45,0
40,0
35,0
14,0
12,0
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
0
10
20
30
40
50

Figura 7

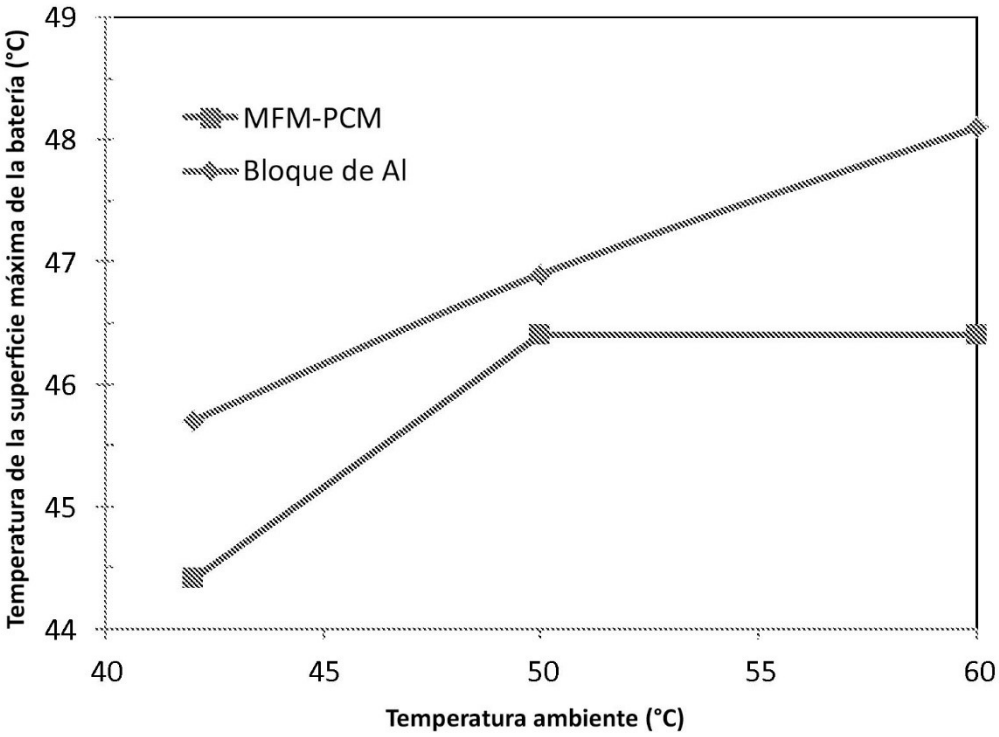


Figura 8

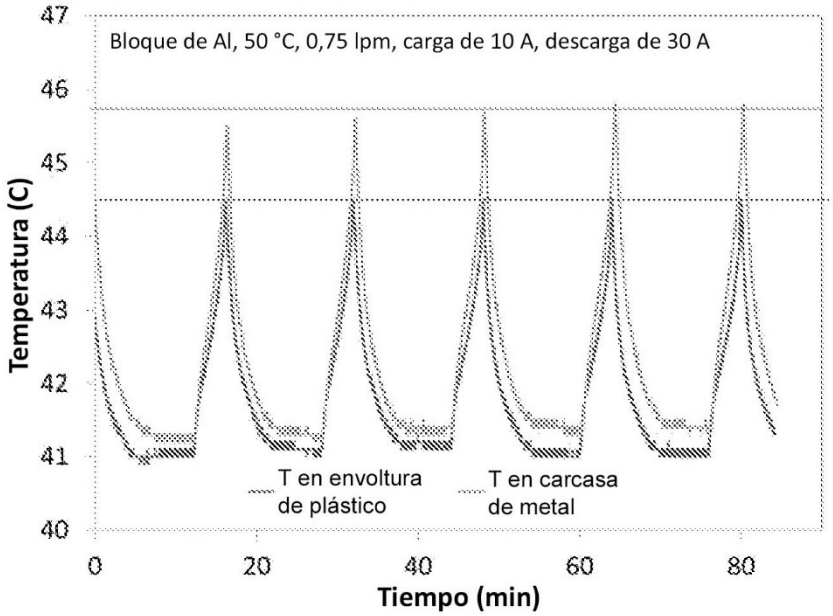


Figura 9

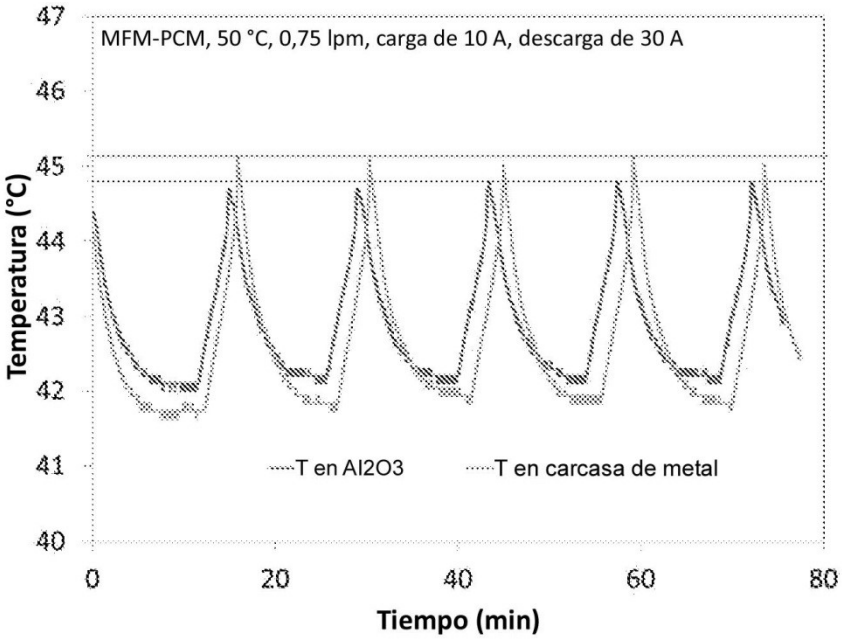

MFM-PCM, 50 °C, 0,75 lpm, carga de 10 A, descarga de 30 A
Temperatura (°C)
47
46
45
44
43
42
41
40
0
20
40
60
80
Tiempo (min)
T en Al2O3
T en carcasa de metal

Figura 10