

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 993 259**

51 Int. Cl.:

G01R 31/382 (2009.01)

H01M 10/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2021** **E 21183301 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2024** **EP 4113140**

54 Título: **Determinación de falla de batería**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.12.2024

73 Titular/es:

DUKOSI LIMITED (100.00%)
3rd Floor Exchange Crescent No. 11-7
Conference Square
Edinburgh EH3 8RA, GB

72 Inventor/es:

CRYMBLE, TIMOTHY;
JONES, ADRIAN;
LEWORTHY, JOSH ROBERT y
SYLVESTER, JOEL

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 993 259 T3

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

Determinación de falla de batería

Campo técnico

5 La presente divulgación se relaciona con el campo de tecnología de baterías y celdas de energía. En particular, realizaciones divulgadas se relacionan con métodos, sistemas, y dispositivos para monitorizar un estado de un sistema de batería, sus celdas de batería, o ambos y detectar fallas que surgen en el sistema de batería, celdas de batería, o ambos.

Antecedentes

10 Los sistemas de baterías que incluyen una pluralidad de celdas de batería se usan en un amplio rango de aplicaciones de potencia eléctrica modernas. Por ejemplo, los sistemas de baterías se usan en aplicaciones industriales (tales como transporte, por ejemplo, para alimentar vehículos eléctricos y redes de potencia) y aplicaciones comerciales (por ejemplo, alimentar dispositivos electrónicos, incluyendo ordenadores portátiles, dispositivos móviles, dispositivos médicos, etc.). Dadas las demandas de potencia relativamente altas de tales aplicaciones, un sistema de batería a menudo incluye una pluralidad de celdas de batería acopladas juntas en serie, en paralelo, o mezcla de ambos, para lograr una salida de potencia requerida. Las celdas de batería pueden estar acopladas juntas para formar un paquete de baterías, donde el sistema de batería puede incluir uno o más paquetes de baterías.

20 Algunas celdas de batería contienen un electrolito inflamable, y de este modo pueden ser peligrosas bajo ciertas condiciones. Por ejemplo, las celdas de batería pueden dañarse si se sobrecargan por encima de un cierto voltaje o si exceden una cierta temperatura. Si se sobrecargan además, tales celdas de batería pueden entrar en una fuga térmica. Las celdas de batería también pueden dañarse si se descargan por debajo de un cierto voltaje.

También, la vida útil de las celdas de batería puede reducirse si se descargan en una corriente demasiado alta o si se cargan demasiado rápido.

25 El uso seguro de un sistema de batería por lo tanto requiere operar el sistema de batería dentro de su Área operativa Segura (SOA). El SOA se define a menudo como las condiciones de voltaje, corriente, y temperatura dentro de las cuales se espera que las celdas del sistema de batería operen sin sufrir daños ni crear un peligro para el operador del sistema de batería.

30 Para facilitar el uso efectivo de un sistema de batería, también se puede definir y ejecutar una restricción menor que el SOA, es decir, un Área operativa Normal (NOA), en el sistema de batería, por ejemplo, usando condiciones de voltaje, corriente, y temperatura correspondientes definidas para las celdas de batería. Se espera que la infracción del NOA reduzca la capacidad de las celdas en el sistema de batería, vida útil de celdas en el sistema de batería, o ambas, con el tiempo.

35 En configuraciones de múltiples celdas, el desnivel de carga y descarga que puede surgir entre las celdas y paquetes de baterías del sistema de batería puede presentar un desafío adicional para el uso seguro y efectivo del sistema de batería.

40 Es habitual conectar un sistema de batería a un sistema de gestión de batería (BMS) para monitorizar y gestionar el rendimiento del sistema de batería para garantizar su operación segura y efectiva. El BMS mide propiedades de celdas de batería en el sistema de batería (por ejemplo, voltaje, corriente, y temperatura) y evalúa las mediciones para determinar el estado del sistema de batería e identificar la operación defectuosa del sistema de batería antes de que se produzca una falla catastrófica. Por ejemplo, el BMS puede evaluar las mediciones para confirmar que las celdas de batería operan dentro del SOA usando un modelo analítico del sistema de batería definido con base en la especificación de fabricación de las celdas de batería.

45 BMS también puede calcular diversos datos secundarios, controlar el entorno del sistema de batería, y equilibrar el sistema de batería.

50 La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de batería conocido 100 que comprende una pluralidad de paquetes de baterías 110₁, 110₂, 110₃. Cada paquete incluye una pluralidad de celdas de batería 115. Dentro de cada paquete de baterías 110₁, 110₂, 110₃, las celdas 115 están conectadas en serie. Cada paquete de baterías 110₁, 110₂, 110₃ incluye terminales 116 que permiten que se extraiga potencia eléctrica desde los paquetes de baterías 110₁, 110₂, 110₃.

Cada paquete de baterías 110₁, 110₂, 110₃ tiene respectivamente un dispositivo de medición (MD) 120₁, 120₂, 120₃. Cada MD 120₁, 120₂, 120₃ incluye un arreglo de sensores configurados para medir propiedades (también pueden denominarse como características de rendimiento) del respectivo paquete de baterías 110₁, 110₂, 110₃, por ejemplo, voltaje, corriente, y temperatura de las celdas de batería 115. En el ejemplo de la Figura 1, el

paquete de baterías 110₁, 110₂, 110₃ está dispuesto para alimentar MDs 120₁, 120₂, 120₃ a través de terminales respectivos 116.

El sistema de batería 100 también incluye BMS 130 conectado a los paquetes de baterías 110₁, 110₂, 110₃. En el sistema de batería 100, el BMS 130 es un dispositivo maestro, mientras que MDs 120₁, 120₂, 120₃ son dispositivos esclavos. Los MDs 120₁, 120₂, 120₃ están acoplados en serie (conectados en serie) formando un canal de comunicación 125 que termina en el BMS 130.

Como se muestra en la Figura 2A, el BMS 130 puede tener dos modos de operación: modo ENCENDIDO 212 y modo APAGADO 214. Por ejemplo, encender el sistema de batería 100 en un vehículo eléctrico encendería el BMS 130, activando de esa manera el modo ENCENDIDO 212. Apagar el sistema de batería 100 apagaría el BMS 130, desactivando el modo ENCENDIDO 212 y colocando de esa manera el BMS 130 en modo APAGADO 214.

Con referencia a la Figura 2B, mientras está en modo ENCENDIDO 212, el BMS 130 controla MDs 120 para medir propiedades de celdas respectivas 115, por ejemplo, voltaje y temperatura. El BMS 130 evalúa las mediciones proporcionadas por MDs 120 para determinar el estado del paquete de baterías respectivo 110, incluyendo fallas, si hay, y reporta el estado de los paquetes de baterías 110, incluyendo fallas detectadas, al sistema externo 240 para posibles acciones correctivas.

Mientras está en modo APAGADO 214, BMS 130 y MDs 120 están inactivos. BMS 130 no se comunica con MDs 120, no recibe, o evalúa ninguna medición, o reporta al sistema externo 240.

Como se muestra en la Figura 3A, además de los modos ENCENDIDO y APAGADO 212 y 214, el BMS 130 también puede tener el modo APAGADO CRONOMETRADO 316. El BMS 130 hace transición periódicamente desde el modo APAGADO 214 al modo APAGADO CRONOMETRADO 316. Mientras está en el modo APAGADO CRONOMETRADO 316, el BMS 130 mide y evalúa las propiedades de celdas de batería 115 usando MDs 120. El BMS 130 puede hacer transición al modo APAGADO CRONOMETRADO 316 mientras, por ejemplo, un vehículo eléctrico respectivo está apagado. Esto permite que el BMS 130 monitoree el estado del sistema de batería 100, mientras que evita el drenaje de potencia que se produciría si el BMS 130 permaneciera en el modo ENCENDIDO 212 mientras el vehículo eléctrico está apagado.

Con referencia a la Figura 3B, el BMS 130 se activa periódicamente para hacer transición desde el modo APAGADO 214 al modo APAGADO CRONOMETRADO 316 para monitorizar el estado del sistema de batería. Una vez en el modo APAGADO CRONOMETRADO 316, el BMS 130 señala a cada MD 120 (por ejemplo, enviando un comando) para activar y medir las propiedades de celdas respectivas 115, por ejemplo, voltaje y temperatura. El BMS 130 evalúa las mediciones de propiedades proporcionadas por MDs 120 para determinar el estado de los paquetes de baterías respectivos 110 y si los paquetes de baterías 110 experimentaron cualquier falla, y reporta el estado de los paquetes de baterías 110, incluyendo cualquier falla, al sistema externo 240 para posibles acciones correctivas. El BMS 130 luego señala a MDs 120 para hacer transición al estado de suspensión (por ejemplo, enviando un comando) y hace transición al modo APAGADO 214. El BMS 130 puede hacer transición desde el modo APAGADO 214 al modo APAGADO CRONOMETRADO 316 a intervalos regulares, por ejemplo, cada 15 minutos.

Mientras está en el modo APAGADO 214, el BMS 130 está inactivo, y de este modo no solicita, recibe, ni evalúa ninguna medición de MDs 120. Por lo tanto, si una o más celdas 115 desarrollan una falla o experimentan condiciones que pueden dar como resultado una falla, por ejemplo, una falla retrasada, el BMS 130 puede no enterarse de tal falla o condición mientras el BMS 130 está en modo APAGADO 214. Además, como MDs 120 no obtienen ninguna medición mientras el BMS 130 está en modo APAGADO 214, el BMS 130 puede no enterarse de fallas, o condiciones que podrían llevar a una falla, que se desarrollaron durante el modo APAGADO 214, incluso después de que el BMS 130 hace transición al modo ENCENDIDO 212. Consecuentemente, algunas fallas y condiciones que llevan a fallas pueden permanecer sin detectar durante períodos prolongados de tiempo o no detectarse en absoluto. EL documento WO2016/139927 A1 muestra un método conocido para detectar anomalías en una batería mediante un sistema de gestión de batería, en donde los eventos se detectan con un sensor de cortocircuito que luego son evaluados por el sistema de gestión de batería.

Resumen

La invención se define mediante las características de las reivindicaciones independientes 1, 17 y 18. Aspectos adicionales se definen en las reivindicaciones dependientes.

El método puede comprender: que el BMS reciba un comando para conectar la batería a una fuente de potencia y que el BMS verifique un estado de la batería antes de conectar la batería a la fuente de potencia. La verificación del estado de la batería comprende las etapas de recibir y procesar el indicador de falla y los datos de falla. El método puede incluir además rechazar el comando para conectar la batería a la fuente de potencia en respuesta a un resultado de procesamiento del indicador de falla y datos de falla recibidos.

El método también puede incluir emitir una alerta de que la batería está experimentando una condición de falla en respuesta a un resultado del procesamiento del indicador de falla y datos de falla recibidos.

5 Los datos de falla también pueden comprender al menos una medición usada por el primer CMD para determinar la falla. La al menos una medición puede comprender una o más de: una medición obtenida en el primer grupo de celdas, o una medición derivada con base en una o más mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas, o una combinación de las mismas.

El indicador de falla puede indicar uno o más de: la falla o un nivel de gravedad de la falla, siendo el nivel de gravedad uno de un peligro inmediato, un peligro retrasado, o un peligro de degradación.

10 El procesamiento del indicador de falla y datos de falla recibidos puede comprender almacenar, en el BMS, el indicador de falla y los datos de falla relacionados recibidos desde el primer CMD.

El método puede comprender: recibir, desde un sistema externo, una solicitud para una actualización de estado de la batería; y transmitir la actualización de estado de la batería al sistema externo, comprendiendo la actualización de estado el indicador de falla y los datos de falla relacionados almacenados en el BMS.

15 El procesamiento del indicador de falla y datos de falla recibidos puede comprender: usar uno o más modelos de celdas con los datos de falla recibidos para confirmar que el primer grupo de celdas experimentó la falla, el uno o más modelos almacenados en el BMS y que corresponden a celdas del primer grupo de celdas.

20 El procesamiento del indicador de falla y datos de falla recibidos puede comprender: recibir una actualización de estado en otro grupo de celdas (referenciado como un "segundo grupo de celdas") en la pluralidad de grupos de celdas, desde un CMD del segundo grupo de celdas (referenciado como un "segundo CMD"), comprendiendo la actualización de estado al menos uno de: una o más mediciones de una o más propiedades de celda de una o más celdas en el segundo grupo de celdas obtenidas por al menos un sensor del segundo CMD, o datos de falla relacionados con una o más fallas determinadas por el segundo CMD en el segundo grupo de celdas, comprendiendo los datos de falla una o más marcas de tiempo que indican cuándo el segundo CMD determinó respectivamente la una o más fallas; y comparar los datos de falla recibidos desde el primer CMD con los datos incluidos en la actualización de estado recibida desde el segundo CMD para confirmar que el primer grupo de celdas experimentó la falla.

El método puede comprender transmitir, tras recibir el indicador de falla y datos de falla desde el primer CMD, una solicitud de estado al segundo CMD. La actualización de estado en el segundo grupo de celdas puede ser recibida por el BMS en respuesta a la solicitud de estado.

30 El segundo grupo de celdas puede comprender una o más celdas adyacentes al primer grupo de celdas.

El método puede comprender repetir las etapas de recepción y comparación para cada grupo de celdas de la pluralidad de grupos de celdas.

35 El BMS puede recibir el indicador de falla que indica que el primer CMD determinó que el primer grupo de celdas experimentó la falla y los datos de falla relacionados desde el primer CMD del primer grupo de celdas como una parte de una actualización de estado proporcionada por el primer CMD al BMS. La actualización de estado puede ser recibida por el BMS periódicamente, en un tiempo preprogramado, o en respuesta a una solicitud de actualización de estado enviada por el BMS al primer CMD.

40 La actualización de estado por el primer CMD puede comprender uno o más indicadores de falla y datos de falla relacionados con respecto a uno o más de: todas las fallas determinadas por el primer CMD en el primer grupo de celdas desde una actualización de estado previa recibida por el BMS desde el primer CMD, todas las fallas determinadas por el primer CMD en el primer grupo de celdas durante un período de tiempo predefinido, todas las fallas determinadas por el primer CMD en el primer grupo de celdas, o una o más fallas determinadas por el primer CMD en el primer grupo de celdas mientras el BMS estaba apagado, inactivo, o fuera de comunicación con el primer CMD.

45 El BMS podría estar en un modo de suspensión antes de recibir el indicador de falla y los datos de falla relacionados del primer CMD. El método puede comprender: recibir, mediante el BMS en el modo de suspensión, una señal de alerta desde el primer CMD que indique que el primer CMD detectó la falla; y en respuesta a la señal de alerta, hacer transición el BMS desde el modo de suspensión a un modo activo para procesar el indicador de falla y datos de falla relacionados. La falla determinada por el primer CMD puede ser clasificada por el primer CMD como un peligro inmediato.

50 El método puede comprender, en respuesta a la señal de alerta, transmitir una solicitud de actualización de estado desde el BMS al primer CMD, en donde el indicador de falla y datos de falla relacionados pueden recibirse desde el primer CMD en respuesta a la solicitud de actualización de estado.

- Las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas y recibidas por el BMS como los datos de falla pueden comprender uno o más de: un voltaje detectado en el primer grupo de celdas, una temperatura detectada externamente al grupo de celdas, una temperatura en el primer grupo de celdas, una temperatura en una celda o dentro de la celda del primer grupo de celdas, una presión de gas dentro de una celda del primer grupo de celdas, una fuerza ejercida por una celda del primer grupo de celdas sobre una superficie externa de la celda, una desviación de un recinto de celda de una celda en el primer grupo de celdas causada por un cambio de presión interna, un nivel de humedad en el primer grupo de celdas o en una celda en el primer grupo de celdas, un producto químico predeterminado indicativo de daño de celda, o una corriente que fluye a través del primer grupo de celdas o a través de una celda en el primer grupo de celdas.
- La falla determinada en el primer grupo de celdas puede ser una falla operativa o una falla de comportamiento.
- La falla operativa puede determinarse cuando se determina que el rendimiento del primer grupo de celdas cae fuera de un área operativa segura definida por límites operativos seguros predeterminados o fuera de un área operativa normal definida por límites operativos normales predeterminados. Los límites operativos seguros y normales corresponden a las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas y pueden definirse mediante un modelo de celda que corresponde al primer grupo de celdas.
- La falla de comportamiento puede determinarse cuando el rendimiento del primer grupo de celdas se desvía del rendimiento esperado del primer grupo de celdas en una desviación mayor que un umbral predefinido, estando el rendimiento esperado del primer grupo de celdas definido por al menos uno de: un modelo de celda que corresponde al primer grupo de celdas o el rendimiento de uno o más grupos de celdas vecinas en la pluralidad de grupos de celdas determinados con base en mediciones obtenidas por sensores locales en el uno o más grupos de celdas vecinas.
- La falla operativa puede determinarse cuando las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas cumplen una o más de las condiciones: una corriente que fluye a través del primer grupo de celdas excede una corriente de carga máxima predefinida para la una o más celdas de batería en el primer grupo de celdas, una corriente que fluye a través del primer grupo de celdas excede una corriente de descarga máxima predefinida para la una o más celdas de batería en el primer grupo de celdas, una temperatura tomada en el grupo de celdas está por debajo de una temperatura operativa mínima predefinida para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas, la temperatura tomada en el grupo de celdas excede una temperatura operativa máxima predefinida para la una o más celdas de batería en el primer grupo de celdas, un voltaje terminal de celda de la una o más celdas de batería en el grupo de celdas excede un voltaje operativo máximo predefinido para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas, el voltaje terminal de celda de la una o más celdas de batería en el grupo de celdas está por debajo de un voltaje operativo mínimo predefinido para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas, una presión de celda de la una o más celdas de batería en el grupo de celdas excede una presión operativa máxima predefinida para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas, o una presión de celda de la una o más celdas de batería en el grupo de celdas está por debajo de una presión operativa mínima predefinida para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas.
- La falla de comportamiento puede determinarse cuando las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas cumplen al menos una de las siguientes condiciones: una tasa de cambio de temperatura en el primer grupo de celdas es mayor o menor que un modelo termoelectrónico del primer grupo de celdas para un estímulo conocido y un estado actual del primer grupo de celdas, o una tasa de cambio de presión en el primer grupo de celdas es mayor o menor que un modelo termoelectrónico del primer grupo de celdas para un estímulo conocido y un estado actual del primer grupo de celdas, o una tasa de cambio de voltaje en el primer grupo de celdas es mayor o menor que un modelo termoelectrónico del primer grupo de celdas para un estímulo conocido y un estado actual del primer grupo de celdas.
- El método puede comprender: que el BMS reciba mediciones obtenidas en uno o más grupos de celdas vecinas al primer grupo mediante uno o más CMDs vecinas correspondientes, donde las mediciones obtenidas en el uno o más grupos de celdas vecinas corresponden a las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas y se reciben desde el uno o más CMDs vecinas.
- La falla de comportamiento puede determinarse cuando un cambio, o una tasa de cambio, determinado en una o más mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas durante un período de tiempo se desvía de un cambio, o una tasa de cambio, respectivamente determinado en una o más mediciones correspondientes obtenidas en el uno o más grupos de celdas vecinas durante el mismo período de tiempo en una desviación mayor que un umbral correspondiente, mientras que el primer grupo de celdas y el uno o más grupos de celdas vecinas están expuestos al mismo estímulo.
- De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación, se proporciona una circuitería configurada para ejecutar funciones para hacer que un BMS realice cualquiera de los métodos mencionados anteriormente.

De acuerdo con aún un aspecto adicional de la divulgación, se proporciona un medio de almacenamiento (por ejemplo, un medio de almacenamiento no transitorio) que almacena instrucciones ejecutables por ordenador,

que cuando se ejecutan en un procesador configuran el procesador para llevar a cabo cualquiera de los métodos mencionados anteriormente.

- De acuerdo con aún un aspecto adicional de la divulgación, se proporciona un producto de programa de ordenador que comprende instrucciones ejecutables por ordenador que, cuando se ejecutan en un procesador, configuran el procesador para llevar a cabo cualquiera de los métodos mencionados anteriormente.

Breve descripción de dibujos

Los dibujos acompañantes, que se incorporan en y constituyen una parte de esta divulgación, ilustran realizaciones divulgadas y, junto con la descripción, sirven para explicar las realizaciones divulgadas. En los dibujos:

- 10 La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de batería conocido.

Las Figuras 2A y 2B representan un ejemplo de flujos de proceso para un sistema de gestión de batería conocido con modos de ENCENDIDO y APAGADO.

Las Figuras 3A y 3B representan un ejemplo de flujos de proceso para un sistema de gestión de batería conocido con modos de ENCENDIDO, APAGADO, y APAGADO cronometrado.
- 15 La Figura 4 es una ilustración esquemática de una disposición de ejemplo de un dispositivo de monitorización de celdas, de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.

Las Figuras 5A a 5G ilustran ejemplos de fallas operativas en celdas de iones de litio, de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.
- 20 Las Figuras 5H a 5N ilustran ejemplos de fallas de comportamiento en celdas de iones de litio, de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.

La Figura 6 es una ilustración esquemática de una disposición de ejemplo de un dispositivo de monitorización de celdas, de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.

La Figura 7 es una ilustración esquemática de una disposición de ejemplo de un sistema para monitorizar el estado de un sistema de batería, de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.
- 25 La Figura 8 es una ilustración esquemática de una disposición de ejemplo de un sistema para monitorizar el estado de uno o más sistemas de batería, de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.

La Figura 9 representa un diagrama que muestra modos de operación de un sistema de gestión de batería de ejemplo, de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.
- 30 La Figura 10 representa flujos de proceso de ejemplo entre un dispositivo de monitorización de celdas, un sistema de gestión de batería, un sistema externo, y nube de IOT mientras el sistema de gestión de batería está operando en modo ENCENDIDO, de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.

La Figura 11 representa flujos de proceso de ejemplo entre un dispositivo de monitorización de celdas, un sistema de gestión de batería, un sistema externo, y nube de IOT mientras el sistema de gestión de batería está operando en modo ENCENDIDO de modo de Suspensión Segura y modo de Suspensión Segura (sondeado), de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.
- 35 La Figura 12 representa un gráfico que muestra modos de operación de ejemplo de un sistema de gestión de batería, de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.

Las Figuras 13 y 14 representan flujos de proceso de ejemplo entre un dispositivo de monitorización de celdas, un sistema de gestión de batería, un sistema externo, y nube de IOT mientras el sistema de gestión de batería está operando en modo de Suspensión Segura y modo de Suspensión Segura (alerta), de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.
- 40 La Figura 15 representa un diagrama de flujo de un método de ejemplo para monitorizar el estado de un grupo de celdas mediante un dispositivo de monitorización de celdas de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.
- 45 La Figura 16 representa un diagrama de flujo de un método de ejemplo para monitorizar un estado de un sistema de batería mediante un sistema de gestión de batería de acuerdo con algunas realizaciones divulgadas.

Descripción detallada de realizaciones

En la siguiente descripción, se harán evidentes ciertos aspectos y realizaciones de la presente divulgación. Debe entenderse que la divulgación, en su sentido más amplio, podría practicarse sin tener una o más

características de estos aspectos y realizaciones. También debe entenderse que estos aspectos y realizaciones son simplemente de ejemplo.

La siguiente descripción detallada se refiere a los dibujos acompañantes. Siempre que sea posible, se usan los mismos números de referencia o similares en los dibujos y en la siguiente descripción para referirse a las mismas o similares partes o componentes. Aunque en este documento se describen varias realizaciones y aspectos ilustrativos, son posibles modificaciones, adaptaciones y otras implementaciones. Por ejemplo, se pueden hacer sustituciones, adiciones, o modificaciones a las partes y componentes ilustrados en los dibujos, y los métodos ilustrativos descritos en este documento se pueden modificar sustituyendo, reordenando, retirando, o añadiendo etapas a los métodos divulgados. Por consiguiente, la siguiente descripción detallada no se limita a las realizaciones, aspectos, y ejemplos divulgados. En cambio, el alcance adecuado se define mediante las reivindicaciones anexas.

En los sistemas de baterías conocidos, tales como los sistemas de baterías discutidos con referencia a las Figuras 1, 2A-2B, y 3A-3B, un BMS es capaz de obtener solo información limitada sobre el estado de salud (SoH) de un sistema de batería y sus celdas de batería a lo largo del tiempo. El BMS puede obtener mediciones de propiedades de un paquete de baterías particular solo durante esos períodos de tiempo cuando el BMS está conectado al paquete de baterías y está en comunicación con el paquete de baterías mientras está en el modo ENCENDIDO o modo APAGADO CRONOMETRADO. El BMS no es capaz de obtener tales mediciones durante los períodos de tiempo cuando el BMS está en el modo APAGADO, se comunica con otro paquete de baterías, o no está conectado al sistema de batería. Esto dificulta la capacidad de BMS de identificar con precisión las tendencias que se exhiben por las celdas en los paquetes de baterías, lo cual a su vez puede evitar que el BMS reconozca fallas o condiciones que puedan causar fallas en el sistema de batería, o hacer que el BMS detecte tales fallas y condiciones con un retraso.

Por ejemplo, un aumento repentino en temperatura en celdas en un paquete de baterías, aunque potencialmente perjudicial para la salud del paquete de baterías respectivo y del sistema de batería en conjunto y que indica una falla, puede no detectarse si el pico se produce mientras el BMS está en modo APAGADO 214. Una celda o paquete de baterías puede alcanzar las temperaturas fuera de su SOA mientras el BMS está en modo APAGADO 214, y subsecuentemente enfriarse antes de que el BMS se ENCIENDA de nuevo. Tal falla puede provocar potencialmente una reacción en cadena catastrófica.

La identificación temprana de tales fallas permitiría la emisión de una advertencia temprana al operador de batería (por ejemplo, un conductor de vehículo), facilitar la implementación de acciones correctivas rápidas que podrían evitar que las fallas aumenten a un nivel catastrófico, o ambos. Usando el ejemplo anterior, cuando se detecta una temperatura pico repentina en una celda o paquete de baterías particular mientras ocurre o poco después, evitar la carga del sistema de batería y evitar el arranque del vehículo reduciría o evitaría la propagación de la falla a través del sistema de batería, incluyendo el aumento a un nivel catastrófico (por ejemplo, peligro de incendio). Reemplazar la celda o paquete de baterías respectivo, en lugar de todo el sistema de batería que de otro modo es funcional y que opera normalmente, puede ser entonces suficiente para corregir la falla detectada.

Al menos algunas realizaciones de la presente divulgación abordan una o más deficiencias de los sistemas de la técnica anterior discutidos anteriormente con referencia a las Figuras 1 a 3B, proporcionando soluciones para monitorizar el estado de un sistema de batería que comprende una pluralidad de celdas de batería y detectar fallas en tales celdas de batería.

La presente divulgación describe métodos, sistemas, y dispositivos para monitorizar el estado de celdas que forman un sistema de batería y del propio sistema de batería y detectar fallas que surgen en tales celdas de batería. La presente divulgación proporciona un sistema que incluye una batería que comprende grupos de celdas, cada grupo de celdas comprende una o más celdas. El sistema también comprende dispositivos de monitorización de celdas (CMDs) asociados respectivamente con los grupos de celdas correspondientes, al menos un CMD por grupo de celdas. Cada CMD es operable para medir propiedades de celdas en el respectivo grupo de celdas, usando el sistema de sensores del CMD, y procesa y evalúa tales mediciones para detectar potenciales fallas en las celdas monitorizadas, independiente de BMS o cualquier dispositivo externo y a pesar de si el CMD está conectado a un BMS o está en comunicación con BMS. Los CMDs pueden usar uno o más modelos de celdas calibrados para celdas correspondientes para permitir que los CMDs detecten fallas con base en las mediciones de propiedades obtenidas en los respectivos grupos de celdas.

Un CMD es operable para almacenar datos relacionados con las mediciones obtenidas, incluyendo cualquier falla detectada localmente en el CMD para recuperación subsecuente, tal como en respuesta a una solicitud de actualización de estado de BMS o un dispositivo externo. Por ejemplo, cuando el CMD detecta una falla, el CMD almacena un indicador de falla que indica que el grupo de celdas asociado con (monitorizado por) el CMD experimentó una falla. El CMD también almacena datos de falla relacionados con la falla detectada. Los datos de falla incluyen como mínimo una marca de tiempo que indica cuándo el CMD detectó la falla. Los datos de falla también pueden incluir cualquier dato que fuera relevante o que llevara al CMD a determinar la falla. Los datos de falla de este modo pueden incluir, por ejemplo, mediciones obtenidas en el grupo de celdas, derivadas

de tales mediciones, o una combinación de mediciones directas y derivadas que llevaron al CMD a determinar la falla.

Un indicador de que un CMD detectó una falla se almacena en el CMD con información de temporización relevante y está disponible para recuperación subsecuente, tal como en respuesta a un BMS que realiza una verificación en las celdas monitorizadas antes de cerrar un relé de sistema de batería para conectar el sistema de batería monitorizado a una fuente de potencia, tal como un cargador, o una carga tal como un tren de potencia. Por lo tanto el BMS se da cuenta de que una celda o celdas particulares experimentaron una falla, mientras el BMS estaba incomunicado (fuera de comunicación con el CMD), antes de cerrar el relé de sistema de batería, y de este modo permite la implementación de medidas correctivas antes de que la falla active una reacción en cadena catastrófica, tal como un fuga térmica.

Al habilitar y emplear CMDs para monitorizar los estados de celdas de celdas asociadas, independiente del BMS o cualquier otro sistema externo, tal como cuando un BMS está inactivo o apagado, y para almacenar datos relevantes, incluyendo con respecto a cualquier falla relacionada, y al hacer que tales datos estén disponibles para recuperación subsecuente, los métodos y sistemas de esta divulgación permiten la identificación temprana de fallas y comunicación oportuna de tales fallas a un BMS respectivo o un sistema externo. Esto a su vez permite la emisión de una advertencia temprana al operador de batería (por ejemplo, un conductor de vehículo), facilita la implementación de acciones correctivas rápidas que podrían evitar que las fallas aumenten a un nivel catastrófico, o ambos. Por ejemplo, cuando se detecta una temperatura pico repentina en una celda o paquete de baterías particular mientras ocurre o poco después, evitar la carga del sistema de batería y evitar el arranque del vehículo reduciría o evitaría la propagación de la falla a través del sistema de batería, incluyendo aumentar a un nivel catastrófico (por ejemplo, peligro de incendio).

La Figura 4 es una ilustración esquemática de una disposición de ejemplo del dispositivo de monitorización de celdas (CMD) 400 de acuerdo con algunas realizaciones. El CMD 400 incluye un sistema de sensores 410, sistema de detección de fallas (FDS) 420, sistema de procesador 422 (también puede denominarse como un sistema de procesamiento), sistema de comunicación 424, almacén de fallas 426, y temporizador o reloj 428.

El CMD 400 está asociado con o conectado a una o más celdas de batería de un sistema de batería para monitorizar el estado de tales celdas, a pesar de si el sistema de batería está conectado al sistema de gestión de batería (BMS) 430 o se usa para operar un dispositivo o sistema particular, tal como un vehículo eléctrico. Por ejemplo, el CMD 400 se puede usar para monitorizar el estado de una o más celdas de batería mientras el BMS 430 está apagado o no está disponible de otro modo, tal como mientras un sistema de batería respectivo está en almacenamiento o siendo enviado, antes de que el sistema de batería se conecte a un dispositivo o sistema cuya operación está diseñada para soportar el sistema de batería, o después de que el sistema de batería se desconecte del dispositivo o sistema cuya operación está diseñada para soportar el sistema de batería.

El CMD 400 se puede incorporar con una celda de batería o unir, de manera permanente o removible, a la celda de batería o a sus componentes. Por ejemplo, el CMD se puede configurar para unión a una bolsa flexible de una celda de bolsa o a un alojamiento de la celda de bolsa. Adicional o alternativamente, el CMD 400 se puede acoplar eléctricamente a uno o más terminales de una celda de batería, por ejemplo para extraer potencia para soportar la funcionalidad de CMD 400.

Se emplean múltiples CMDs 400 para monitorizar el estado de las celdas de batería que forman un sistema de batería. Las celdas de batería se dividen en grupos, donde cada grupo tiene su propio CMD 400. Un grupo de celdas incluye una o más celdas. Por ejemplo, un grupo de celdas puede incluir una única celda, o una pluralidad de celdas conectadas en paralelo.

En algunas realizaciones, el CMD 400 se implementa como un circuito integrado de aplicación específica (ASIC). El CMD 400 en la forma de un ASIC se puede configurar para que se adhiera a una celda de batería o grupo de celdas, tal como a un alojamiento o a uno o más componentes de una celda de batería o un grupo de celdas, o se incorpore o integre con una celda de batería o un grupo de celdas.

El sistema de sensores 410 mide propiedades relacionadas con el estado de las celdas de batería que se monitorizan por el CMD 400, tales como características físicas de las celdas de batería monitorizadas, características eléctricas de las celdas de batería monitorizadas, características químicas de las celdas de batería monitorizadas, características ambientales que influyen en el estado de las celdas, o cualquier combinación de las mismas. El sistema de sensores 410 incluye o está conectado a un grupo de sensores 411 relacionados con las celdas monitorizadas y configurados para obtener medición de diferentes propiedades de tales celdas usando los sensores 411. El sistema de sensores 410 también puede incluir sensores configurados para medir diferentes propiedades del entorno del grupo de celdas.

El grupo de sensores 411 incluye uno o más sensores de voltaje 414₁ configurados para medir el voltaje en una o más celdas monitorizadas y uno o más sensores de temperatura 414₂ configurados para medir la temperatura en una o más celdas monitorizadas (por ejemplo, temperatura de la una o más celdas monitorizadas,

temperatura de superficie de celda de la una o más celdas, o temperatura del entorno inmediato de la una o más celdas). El grupo de sensores 411 también puede incluir uno o más sensores de corriente 414₃ configurados para medir la corriente que fluye dentro o fuera de una o más celdas monitorizadas o un grupo de celdas. El grupo de sensores 411 puede incluir uno o más sensores 414₄ configurados para medir otras propiedades de una o más celdas monitorizadas, por ejemplo, uno o más sensores de presión, uno o más sensores de humedad, o una combinación de los mismos.

Un sensor particular 414 puede posicionarse: dentro de una celda (por ejemplo, dentro del recinto de celda, tal como dentro de una bolsa flexible de una celda de bolsa), sobre una celda, su componente, o su alojamiento, en una celda, por ejemplo, adyacente, o de otro modo próximo a una celda o al CMD respectivo de la celda, o de manera remota a una celda, dependiendo de qué propiedades físicas, eléctricas, químicas, o ambientales de una o más celdas ese sensor 414 está configurado para medir.

Por ejemplo, un sensor de presión en la forma de un sensor de presión de gas puede estar integrado dentro del recinto de celda, para medir la presión de gas dentro del recinto de celda. Un sensor de presión en la forma de un calibrador de tensión puede estar posicionado en una celda para monitorizar la deflexión del recinto de celda causada por un cambio en la presión interna de la celda. Un sensor de corriente puede estar posicionado en una celda monitorizada para medir la corriente que fluye adentro, afuera, o a través de la celda (por ejemplo, acoplado eléctricamente a los terminales de celda para medir su salida). Un sensor de voltaje puede estar posicionado en una celda monitorizada o un grupo de celdas monitorizadas para medir el voltaje a través de terminales de la celda monitorizada o grupo de celdas. Un sensor de temperatura puede estar integrado con CMD 400 para medir la temperatura de un entorno inmediato de las celdas monitorizadas por CMD 400. Algunos sensores 414 pueden ser externos tanto a CMD 400 como a celdas monitorizadas por CMD 400. Por ejemplo, CMD 400 puede emplear un sensor de temperatura para medir la temperatura de un entorno circundante.

Cada sensor 414 puede implementarse como una combinación de uno o más elementos de detección para medir las propiedades físicas, eléctricas, o químicas correspondientes de celda y de circuitería de acondicionamiento de señal que convierte la salida del uno o más elementos de detección en una señal analógica adecuada para la conversión por el convertidor de analógico a digital (ADC) 418. La circuitería de acondicionamiento de señal puede colocarse con el uno o más elementos de detección o ubicado en otro lugar en CMD 400, incluyendo externamente a la celda respectiva. Por ejemplo, solo los elementos de detección pueden posicionarse dentro de una celda, sobre una celda, o en una celda, dependiendo de qué propiedades físicas, eléctricas, químicas, o ambientales tales elementos de detección están configurados para medir, mientras que la circuitería de acondicionamiento de señal respectiva puede posicionarse externamente a la celda respectiva.

En algunas realizaciones, el grupo de sensores 411 incluye uno o más sensores externos que están integrados con un ADC correspondiente. En estas realizaciones, el ADC proporciona mediciones respectivas en una forma digital. Tales mediciones se pueden compartir con FDS 420 y sistema de procesador 422 directamente, evitando ADC 418.

El sistema de sensores 410 también puede incluir sensores de autodiagnóstico 412 para proporcionar mediciones de referencia. Al comparar las mediciones de referencia con las mediciones correspondientes obtenidas por los sensores 414 para un estímulo dado, el CMD 400 es capaz de determinar si las mediciones obtenidas por los sensores 414 son fieles al operación real de sistema o están distorsionadas, por ejemplo, debido a problemas internos con los sensores 414.

El sistema de sensores 410 también incluye ADC 418 para convertir las mediciones obtenidas por los sensores 412 y 414 en una forma digital y un conmutador 416 (por ejemplo, un multiplexor) para dirigir las mediciones desde sensores 414 a ADC 418 para conversión. El ADC 418 emite las mediciones convertidas al FDS 420, al sistema de procesador 422, o a ambos. En algunas realizaciones, el conmutador 416 está integrado en la estructura de uno o más ADC 418. Por ejemplo, el ADC 418 puede tener múltiples entradas para recibir mediciones de sensores.

Como se muestra en la Figura 4, el CMD 400 puede incluir más de un ADC 418. El CMD 400 puede emplear múltiples ADCs 418 para implementar el procesamiento paralelo de las mediciones adquiridas por el sistema de sensores 410. Por ejemplo, diferentes ADCs pueden procesar mediciones de diferentes propiedades. Tal procesamiento paralelo permite la adquisición y procesamiento de mediciones sincronizadas en tiempo de diferentes propiedades, por ejemplo, voltaje y corriente, mejorando de esa manera la precisión con la cual se pueden detectar fallas en celdas. El procesamiento paralelo de las mediciones también se puede usar, o alternativamente, para mejorar la eficiencia con la cual las mediciones se convierten en forma digital para procesamiento por FDS 420.

Adicional o alternativamente, el CMD 400 puede emplear múltiples ADC 418 para introducir redundancia dentro del CMD 400. Esto a su vez mejora la seguridad funcional de CMD 400, tal como en el caso de falla por uno de ADCs 418.

El FDS 420 es operable para evaluar las mediciones recibidas para determinar si una o más celdas monitorizadas por el CMD 400 han experimentado o están experimentando una falla.

En algunas realizaciones, FDS 420 se implementa en lógica digital en un ASIC que forma CMD 400. En tales implementaciones, la funcionalidad de FDS 420 y modelos de celda 421 se identifican en la etapa de diseño de ASIC.

En algunas realizaciones, el FDS 420 se implementa como un procesador separado del sistema de procesador 422 con memoria separada (no se muestra) y procesamiento definido por firmware. En esta implementación, FDS 420 puede tomar la forma de un microprocesador o un procesador embebido. Cuando el FDS 420 se implementa como un procesador separado, el CMD 400 se puede adaptar para trabajar con celdas específicas, o un tipo de celdas posdiseño y posfabricación. No se requiere ningún conocimiento de la química o tipo de la celda durante el diseño o fabricación del CMD 400 para garantizar la funcionalidad completa del FDS 420. Adicionalmente, el FDS se puede reprogramar después de que se ensambla con un grupo de celdas, por ejemplo, para modificar configuraciones en los modelos de celdas, actualizar modelos de celdas, o cargar nuevos modelos de celdas.

En algunas realizaciones, se usa una combinación de hardware y software para implementar FDS 420. En tales implementaciones, los procesos del FDS pueden diseñarse usando la lógica digital de un ASIC que forma CMD 400, mientras que los parámetros que se emplearían por los modelos de celda 421 pueden programarse en tablas almacenadas localmente. Esta programación puede implementarse usando diferentes métodos. Por ejemplo, durante la etapa de producción o antes de que se use CMD 400 con una celda o grupo de celdas particular, se puede introducir una máscara de capa metálica hecha para la química de esa celda o grupo de celdas en CMD 400 para configurar CMD 400 para que funcione con la celda o grupo de celdas. Otro ejemplo es introducir una memoria programable una vez (por ejemplo, polifusibles) en CMD 400 durante la etapa de producción y programar tal memoria con tablas relevantes antes de usar CMD 400 con una celda o grupo de celdas. Aún otro ejemplo es cargar tablas específicas de química mediante el sistema de procesador 422.

Aunque la Figura 4 muestra FDS 420 como un componente separado, en algunas realizaciones, FDS 420 está integrado con el sistema de procesador 422.

El FDS 420 emplea uno o más modelos de celdas 421 para evaluar las mediciones recibidas para la presencia de una falla en una o más celdas monitorizadas. El modelo de celda 421 recibe una o más mediciones relacionadas con una o más celdas monitorizadas como entrada, evalúa tales mediciones para determinar si una o más celdas correspondientes tienen o están experimentando una falla, y emite los resultados de la evaluación.

Una celda que experimentó una o más fallas está en una condición de falla. Como se discute a lo largo de esta divulgación, un BMS, tal como BMS 430, o un sistema externo, puede ser operable para determinar si una celda está en una condición de falla con base en los datos compartidos por el CMD 400, tales como mediciones de propiedades obtenidas en la celda por el CMD 400, y cualquier falla determinada en la celda por el CMD 400.

Diferentes modelos de celda 421 pueden ser operables para evaluar respectivamente diferentes propiedades de celda, diferentes combinaciones de propiedades de celda, o para diferentes fallas. Por ejemplo, un modelo de celda puede ser operable para evaluar si una medición de una propiedad de celda correspondiente de una celda excede un SOA o un NOA para esa celda.

Como se hace referencia a lo largo de esta divulgación, SOA puede definirse como una o más condiciones (por ejemplo, voltaje, corriente, temperatura, presión, o cualquier otra condición descrita en esta divulgación), o cualquier combinación de las mismas, dentro de las cuales se espera que las celdas de un sistema de batería operen sin sufrir daños ni crear un peligro para el operador del sistema de batería. De manera similar, como se hace referencia a lo largo de esta divulgación, NOA, una restricción menor que SOA, puede definirse como una o más condiciones (por ejemplo, voltaje, corriente, temperatura, presión, o cualquier otra condición descrita en esta divulgación), o cualquier combinación de las mismas, dentro de las cuales se espera que las celdas de un sistema de batería operen sin una reducción significativa (por encima de lo esperado) en la capacidad, vida útil, o ambas, con el tiempo.

Adicional o alternativamente, el FDS 420 puede emplear uno o más modelos de celda 421 cada uno operable para evaluar diferentes propiedades de celda y para diferentes tipos de fallas. Por ejemplo, un modelo de celda puede ser operable para evaluar una combinación de diferentes propiedades de una celda para determinar si la celda está operando dentro de su SOA o NOA. El FDS 420 también puede emplear un único modelo de celda configurado para determinar diversos tipos de fallas que el FDS 420 es operable para detectar.

En algunas realizaciones, uno o más modelos de celdas 421 se diseñan o definen con base en la especificación de fabricación de las celdas monitorizadas. Adicional o alternativamente, uno o más modelos de celdas 421 se pueden definir con base en las propiedades medidas de las celdas relevantes al comienzo de su vida útil, tal como durante la prueba inicial de las celdas.

Uno o más modelos de celda 421 pueden incluir uno o más modelos de celda numéricos, uno o más modelos de celda analíticos, uno o más modelos empíricos, o cualquier combinación de los mismos. Uno o más modelos de celda 421 pueden incluir uno o más modelos simples, uno o más modelos complejos, o una combinación de ambos. Un modelo de celda simple puede verificar una o más mediciones ingresadas contra uno o más límites predefinidos (o umbrales) e indicar una falla cuando la una o más mediciones exceden uno o más de los límites predefinidos, por ejemplo, por encima o por debajo del uno de los límites predefinidos, o fuera de los límites predefinidos, o dentro de límites predefinidos. Un modelo de celda más complejo puede procesar primero la una o más mediciones, por ejemplo, determinando una o más mediciones derivadas y comparando tales mediciones derivadas con uno o más umbrales (límites predefinidos), y luego aplicar filtros, algoritmos, o ambos para determinar una falla. Un modelo más complejo también puede, o en su lugar, establecer un umbral variable para una o más propiedades de celda (por ejemplo, voltaje) con base en una medición de una otra o más propiedades de celda (por ejemplo, temperatura).

Los modelos de celda 421 pueden implementarse usando software, firmware, hardware, o combinación de los mismos. Por ejemplo, las verificaciones frente a umbrales o límites pueden implementarse en hardware, usando comparadores analógicos o digitales, mientras que el umbral o límites en sí mismos pueden establecerse y variarse mediante software o firmware. Otro ejemplo es un modelo de celda diseñado para integrar la señal desde un sensor de corriente a lo largo del tiempo para proporcionar un conteo de culombios (Amperios-segundos). La integración de señal puede implementarse en hardware digital, por ejemplo, usando un integrador digital, o en software, por ejemplo, usando la capacidad aritmética del procesador.

En algunas realizaciones, el FDS 420 es operable para clasificar las fallas detectadas por su nivel de gravedad. Un nivel de gravedad indica cuán urgentemente se debe implementar una acción correctiva para abordar la falla detectada.

FDS 420 puede, por ejemplo, usar tres niveles de gravedad para clasificar las fallas. El primer nivel de gravedad (más alto) indica una falla que representa un peligro inmediato. Las fallas de peligro inmediato incluyen aquellas fallas que requieren una acción correctiva inmediata o urgente. Por ejemplo, FDS 420 puede clasificar una falla detectada con base en las mediciones de temperatura tomadas en una o más celdas, una tasa a la cual la temperatura en la una o más celdas ha aumentado, o ambas, como una falla de peligro inmediato si las mediciones de temperatura, la tasa de aumento de temperatura, o ambas indican un evento térmico inminente (es decir, incendio).

El segundo nivel de gravedad (medio) indica una falla que representa un peligro retrasado. Las fallas de peligro retrasado incluyen aquellas fallas que, aunque den como resultado daño a una o más celdas monitorizadas, no presentan un peligro inmediato. Por ejemplo, FDS 420 puede clasificar una falla detectada con base en que el voltaje de una celda esté por debajo de un voltaje predefinido como una falla de peligro retrasado debido a que la celda no es peligrosa hasta que la celda se recarga (por ejemplo, todavía no es espontáneamente inflamable).

El tercer nivel de gravedad (más bajo) indica una falla que representa un peligro de degradación. Las fallas de peligro de degradación incluyen aquellas fallas que no presentan un riesgo inmediato o retrasado de seguridad para la operación de las celdas de batería o de su operador, pero que pueden llevar a unas capacidades operativas reducidas de tales celdas de batería. Por ejemplo, FDS 420 puede clasificar una falla de ADC única como una falla de peligro de degradación debido a que una falla de ADC única no representa ningún riesgo de seguridad, pero reduce la capacidad operativa de las celdas correspondientes.

En algunas realizaciones de ejemplo, el FDS 420 puede actualizar el nivel de gravedad de una falla detectada en un grupo de celdas de un nivel de gravedad a otro nivel de gravedad cuando se detectan múltiples fallas en el grupo de celdas dentro de un cierto período de tiempo. Por ejemplo, FDS 420 puede detectar una falla de peligro retrasado o falla de degradación con base en las mediciones obtenidas en el grupo de celdas, y actualizar el nivel de gravedad de esa falla al nivel de peligro inmediato si la falla se detecta después de la detección de una u otras más fallas en el grupo de celdas dentro de un período de tiempo predefinido.

En algunas realizaciones, el FDS 420 es operable para clasificar las fallas detectadas por su tipo. Un tipo de falla puede indicar un tipo de acción correctiva que se debe implementar para abordar la falla detectada.

La FDS 420 puede clasificar las fallas en tres tipos: fallas operativas, fallas de comportamiento, y fallas de sistema. Las fallas operativas surgen cuando una celda opera fuera de su SOA (como se define por los límites operativos seguros) o fuera de su NOA (como se define por los límites operativos normales).

Cuando una celda de batería opera fuera de su SOA, la seguridad de celda se ve comprometida y puede surgir un peligro inmediato o retrasado, por ejemplo, la celda puede incendiarse. Cuando una celda opera fuera de su NOA pero dentro de su SOA, no es probable que surja ningún peligro. Sin embargo, es probable que la infracción de los límites operativos normales durante la operación de celda reduzca la capacidad de la celda o vida útil de la celda con el tiempo, más allá de la degradación esperada.

Tanto el SOA como NOA de una celda de batería pueden definirse estableciendo límites operativos respectivos con base en la especificación de fabricación de la celda. Por ejemplo, un SOA para una celda de batería puede definirse como las condiciones de voltaje, corriente, y temperatura dentro de las cuales se espera que la celda de batería opere sin que se dañe ni crear un peligro para el operador.

- 5 En algunas realizaciones de ejemplo, los límites operativos seguros, límites operativos normales, o ambos se definen mediante condiciones para las propiedades medidas de una celda, por ejemplo, condiciones de voltaje, condición de temperatura, condiciones de corriente, o cualquier combinación de las mismas. Ejemplos de tales condiciones incluyen pero no se limitan a un voltaje medido en una celda que sea superior o inferior a un voltaje predefinido, o una temperatura de una celda que sea superior o inferior a una temperatura predefinida.
- 10 En algunas realizaciones de ejemplo, los límites operativos seguros, límites operativos normales, o ambos se definen usando funciones de múltiples propiedades medidas, parámetros calculados, o combinación de los mismos. Por ejemplo, los límites operativos seguros se pueden definir como una corriente de descarga máxima variable para una celda que se reduce a medida que el estado de carga para la celda se acerca a cero o a medida que se reduce la temperatura.
- 15 En algunas realizaciones de ejemplo, los límites operativos seguros, límites operativos normales, o ambos se definen usando diversas combinaciones de condiciones y funciones.

- 20 Las fallas de comportamiento surgen cuando una celda no está operando como se espera. Por ejemplo, una falla de comportamiento puede detectarse cuando el comportamiento de una celda particular difiere del comportamiento de celdas vecinas, por ejemplo, su temperatura fluctúa más que la de sus vecinas, aunque todas las fluctuaciones detectadas están dentro de los límites operativos seguros y normales. Una falla de comportamiento también puede detectarse cuando una celda responde a un estímulo dado de manera diferente a lo que se espera de la celda como, por ejemplo, se define por un modelo correspondiente, incluso aunque las propiedades medidas de la celda caigan dentro de los límites operativos seguros y normales.

- 25 Las fallas de sistema incluyen fallas que surgen dentro del CMD 400 o con accesorios a celdas monitorizadas por el CMD 400. Las fallas de sistema pueden, por ejemplo, detectarse con base en mediciones de referencia obtenidas por sensores de autodiagnóstico 412, cuando la medición de ADC de una referencia fija interna es incorrecta, o cuando se detecta un circuito abierto en líneas de detección de voltaje.

- 30 El CMD 400 puede implementar diversos niveles de autopruueba y autodiagnóstico para identificar fallas de sistema. Estos incluyen, pero no se limitan a, verificaciones operativas de ADC, verificaciones operativas de multiplexor analógico (MUX), circuitería de corrección de errores en memoria de acceso aleatorio (RAM) y memoria flash, detección de rebosé de pila, Verificación de Redundancia Cíclica (CRC) en paquetes de mensajes, detección de circuito abierto, perro de guardia para restablecer el sistema en caso de bloqueo u operación desbocada, identificación de falla de comunicaciones entre subelementos de CMD 400, o cualquier combinación de los mismos.

- 35 Se describen ejemplos adicionales no limitantes de fallas y modelos de celdas relacionados con referencia a las Figuras 5A a 5N.

Retornando a la Figura 4, el sistema de procesador 422 controla en general la operación de CMD 400 y su comunicación con terceros, tal como BMS 430, o un dispositivo externo o un sistema externo (no se muestra). El sistema de procesador 422 incluye al menos firmware para ejecutar CPU, RAM, y relojes.

- 40 En algunas realizaciones, el sistema de procesador 422 toma la forma de un microcontrolador. Adicional o alternativamente, el sistema de procesador 422 puede incluir un microprocesador, un procesador de señal digital (DSP), un procesador embebido o similar, o puede estar integrado en un sistema en un chip (SoC). En algunas realizaciones, el sistema de procesador 422 incluye un procesador de la familia de procesadores fabricados por Intel®, AMD®, Qualcomm®, Apple®, NVIDIA®, o similares. El sistema de procesador 422 también
- 45 puede basarse en la arquitectura ARM, un procesador móvil, etc.

En algunas realizaciones, el sistema de procesador 422 puede apagarse cuando no está en uso. El sistema de procesador 422 puede entonces reiniciarse con una señal recibida desde el FDS 420, sistema de comunicación 424, o temporizador o reloj 428.

- 50 El sistema de comunicación 424 permite la comunicación mediante el sistema de procesador 422 con BMS 430 o un dispositivo o sistema externo. En algunas realizaciones, el sistema de comunicación 424 incluye uno o más componentes para permitir la comunicación entre el CMD 400 y dispositivos o sistemas externos, tales como un transceptor, un receptor, un transmisor, o una combinación de los mismos. El sistema de comunicación 424 puede soportar comunicaciones inalámbricas, por ejemplo, usando protocolos Bluetooth® o de Comunicación de Campo Cercano (NFC). Alternativa o adicionalmente, el sistema de comunicación 424 puede
- 55 soportar una conexión cableado con el BMS 430, por ejemplo, USB, bus CAN, bus paralelo, u otro tipo de conexión cableada adecuada para el propósito.

El sistema de procesador 422 usa el sistema de comunicación 424 para compartir el estado de las celdas monitorizadas, incluyendo cualquier falla detectada y datos de falla relacionados, con sistemas externos, tales como BMS 430. El CMD 400 puede compartir resultados de la detección de fallas luego de que FDS 420 completa la evaluación de mediciones recibidas. En algunas realizaciones, el CMD 400 desplaza en tiempo, por ejemplo, retrasa, su comunicación de un estado de las celdas monitorizadas, incluyendo cualquier falla detectada y datos de falla relacionados, a BMS 430. Por ejemplo, en lugar de compartir los resultados, una vez que FDS 420 completa su evaluación de las mediciones recibidas, el CMD 400 retrasa la comunicación de los resultados hasta un tiempo preprogramado o hasta que el CMD 400 recibe una solicitud correspondiente desde BMS 430 o un dispositivo o sistema externo.

Para permitir tal desplazamiento de tiempo, el sistema de procesador 422 almacena datos con respecto al estado de celdas monitorizadas, cualquier falla que detecte FDS 420, y datos de falla relacionados en el almacén de fallas 426 para recuperación subsecuente junto con información de temporización que indica cuándo, si hay, fueron detectadas las respectivas fallas. El sistema de procesador 422 entonces es capaz de recuperar datos relevantes desde el almacén de fallas 426 y compartir los datos recuperados a través del sistema de comunicación 424 con un tercero, tal como BMS 430 que gestiona un sistema de batería que incluye las celdas monitorizadas por el CMD 400 y, alternativa o adicionalmente, un sistema o dispositivo externo, por ejemplo, para análisis subsecuente del historial de SoH de las celdas monitorizadas por el CMD 400.

El almacén de fallas 426 es una memoria que incluye uno o más dispositivos de almacenamiento para almacenar datos con respecto a fallas detectadas en celdas monitorizadas por el CMD 400, tales como resultados de evaluación por el FDS 420. El uno o más dispositivos de almacenamiento pueden incluir, pero no están limitados a, memoria flash (por ejemplo, flash NOR o flash NAND), memoria de acceso aleatorio estática (SRAM), memoria de acceso aleatorio dinámica (DRAM), memoria de acceso aleatorio ferroeléctrica (FRAM), memoria de lectura programable borrable (EPROM), memoria de lectura programable borrable eléctricamente (EEPROM), memoria de acceso aleatorio no volátil (NVRAM), y/o cualquier otro dispositivo de almacenamiento adecuado.

Los datos almacenados en el almacén de fallas 426 para capturar el estado de las celdas monitorizadas por el CMD 400 a lo largo del tiempo (a los que se hace referencia en esta divulgación como datos de estado de celda) incluyen un indicador de falla, que indica que se ha determinado una falla en una o más celdas, y datos relacionados con la falla determinada (a los que se hace referencia en esta divulgación como datos de falla), tal como una marca de tiempo de cuándo el CMD 400 detectó la falla. Los datos de estado de celda también pueden incluir mediciones tomadas en las celdas monitorizadas cuando no fue detectada ninguna falla, derivados de tales mediciones, o ambos, junto con información que indica la temporización de cuando las mediciones fueron recibidas por el FDS 420 o sistema de procesador 422 desde el sistema de sensor 410.

En algunas realizaciones, el indicador de falla toma la forma de un indicador o bit designado (por ejemplo, bit designado "0" o "1") para indicar que CMD 400 determinó una falla.

En algunas realizaciones, el indicador de falla está configurado para indicar un tipo de la falla detectada (por ejemplo, falla operativa, falla de comportamiento, o una falla de sistema), un nivel de gravedad de la falla detectada (por ejemplo, peligro inmediato, peligro retrasado, o peligro de degradación), la naturaleza de la falla detectada (por ejemplo, indica propiedades que han excedido su NOA o SOA), o cualquier combinación de los mismos. Por ejemplo, el indicador de falla puede incluir 8 bits, incluyendo 2 bits para indicar un nivel de gravedad de la falla detectada o que no se produjo ninguna falla, 2 bits para indicar un tipo de la falla detectada, y 4 bits para indicar la naturaleza de la falla detectada.

En algunas realizaciones, la presencia de datos de falla en un mensaje o actualización desde CMD 400 a BMS 430 sirve como el indicador de falla de que CMD 400 detectó una falla, mientras que la ausencia de datos de falla indica que no se ha detectado ninguna falla.

Los datos de falla incluyen información de temporización que indica cuándo el FDS 420 detectó una falla. Por ejemplo, la información de temporización puede tomar la forma de una marca de tiempo generada con base en la salida del temporizador o reloj 428 cuando el FDS 420 detectó la falla. Los datos de falla también pueden incluir mediciones (originales, derivadas, o ambas) que dieron como resultado que el FDS 420 detectara la falla, cálculos relacionados con detectar la falla, otros datos relacionados con la falla que se detecta (por ejemplo, mediciones correspondientes tomadas en la celda antes de que se detecte la falla), o cualquier combinación de los mismos.

Cuando el CMD 400 es operable para transmitir los resultados de evaluación que el FDS 420 realizó sobre las mediciones recibidas sin desplazamiento de tiempo, tales resultados de evaluación incluyen un indicador de falla y datos de falla. Estos pueden tomar la misma forma que el indicador de falla y los datos de falla descritos como almacenados en el almacén de fallas 426.

Aunque se muestra como un componente separado en la Figura 4, en algunas realizaciones, FDS 420 está integrado con el sistema de procesamiento 422.

Las Figuras 5A a 5N ilustran ejemplos de diversas fallas que un CMD de acuerdo con la presente divulgación puede detectar. La descripción de estas figuras hace referencia al CMD 400 para detectar fallas respectivas. Sin embargo, se pueden usar otras variaciones de CMD discutidas a lo largo de esta divulgación para detectar fallas descritas con referencia a las Figuras 5A a 5N.

- 5 Como se explica con referencia a la Figura 4, un CMD, tal como CMD 400, emplea uno o más modelos de celdas para analizar las mediciones de propiedades de celdas para la presencia de fallas. Algunos o todos los límites o umbrales operativos seguros y normales discutidos con referencia a las Figuras 5A a 5N, o diversas combinaciones de los mismos, pueden por lo tanto definirse mediante uno o más modelos de celdas del CMD 400.
- 10 Las Figuras 5A a 5N ilustran ejemplos de fallas operativas y de comportamiento en celdas de iones de litio. Sin embargo, se puede aplicar un análisis similar a diferentes tipos de celdas, por ejemplo, a las químicas de celdas secundarias, tales como Li-aire, Li-S, NiMH, Plomo-Ácido, o NiCd, y a las químicas de celdas primarias tales como alcalinas o de litio.

Ejemplos de fallas operativas

- 15 Las Figuras 5A a 5G ilustran ejemplos de fallas operativas que podrían ser detectadas por un CMD descrito en esta divulgación.

Falla de sobrevoltaje de celda

- 20 Con referencia a la Figura 5A, cuando el voltaje terminal de una celda excede un voltaje máximo seguro especificado por la especificación de fabricación de la celda, la celda puede dañarse y tiene el potencial de incendiarse. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el CMD 400 está configurado para medir repetidamente el voltaje terminal de una celda o grupo de celdas monitorizadas usando un sensor de voltaje respectivo para determinar si las mediciones de voltaje exceden un límite de voltaje operativo máximo seguro.

- 25 El modelo de celda respectivo 421 define el límite de voltaje operativo máximo seguro 506. El sistema de sensores 410 es operable para medir repetidamente el voltaje de las celdas monitorizadas usando el sensor de voltaje. Por ejemplo, el sistema de sensores 410 puede medir el voltaje con una frecuencia de al menos 10 Hz. El FDS 420 es operable para comparar las mediciones obtenidas con el límite de voltaje operativo seguro 506 usando el modelo de celda 421 para determinar si detectar una falla.

- 30 La Figura 5A ilustra los gráficos 507 y 508 del voltaje terminal de celda a lo largo del tiempo para dos grupos de celdas en relación con el voltaje máximo seguro 506 definido para los dos grupos de celdas, por ejemplo, con base en la especificación de fabricación respectiva o durante la prueba inicial de celdas en los dos grupos de celdas. El gráfico 507 representa un escenario donde el voltaje terminal de celda del respectivo grupo de celdas aumentó gradualmente por encima del voltaje operativo máximo seguro 506 y continúa aumentando. El gráfico 508 representa un escenario donde el voltaje terminal de celda del respectivo grupo de celdas experimentó un pico que excedió el voltaje operativo máximo seguro 506 y luego retornó dentro del área operativa segura. Cada gráfico indica que se produjo una falla en el grupo de celdas correspondiente y así sería interpretado por el respectivo modelo de celda 421 que define el voltaje máximo seguro 506.

- 35 Dado que el voltaje en cada grupo de celdas excedió el voltaje operativo máximo seguro 506, las celdas en los grupos de celdas pueden haberse dañado y tener el potencial de incendiarse. Por lo tanto, donde FDS 420 o CMD 400 es operable para determinar los niveles de gravedad de fallas detectadas, FDS 420 o CMD 400 pueden clasificar la falla detectada para ambos grupos de celdas como que tiene el nivel de gravedad de una falla de peligro inmediato. La Tabla 1 proporciona ejemplos ilustrativos de límites de voltaje máximo seguro para tipos particulares de celdas de iones de litio.

Tabla 1

Celda	Voltaje máximo
Celda A: LiFePO ₄ Prismático de 72 Ah	3.65 V
Celda B: LiFePO ₄ de Bolsa de 20 Ah	3.6 V
Celda C: 18650 NMC cilíndrico de 3.3 Ah (óxido de níquel manganeso cobalto)	4.2 V
Celda D: LTO de 23 Ah (óxido de titanato de litio) Prismático	2.7 V

- 45 Aunque los escenarios de ejemplo de la Figura 5A se describen con referencia a un límite de voltaje operativo máximo seguro, el CMD 400 puede usar un modelo de celda similar para garantizar que se detecte una falla cuando el voltaje terminal de celda exceda un límite operativo normal máximo. Si una medición de voltaje

terminal de celda o una secuencia de tales mediciones excede el límite operativo normal máximo pero está dentro del límite operativo máximo seguro, entonces el CMD 400 puede clasificar la falla detectada como que tiene el nivel de gravedad de una falla de peligro de degradación.

Falla de temperatura excesiva de celda

- 5 Con referencia a la Figura 5B, cuando la temperatura de una celda excede una temperatura máxima segura especificada por la especificación de fabricación de la celda, la celda puede dañarse y tiene el potencial de incendiarse. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el CMD 400 está configurado para medir repetidamente la temperatura de un grupo de celdas monitorizadas usando uno o más sensores de temperatura respectivos para determinar si la temperatura excede el límite máximo de temperatura operativa segura.
- 10 El modelo de celda respectivo 421 define el límite de temperatura operativa segura 511. El sistema de sensores 410 es operable para obtener mediciones de temperatura en o de las celdas monitorizadas usando los sensores de temperatura, por ejemplo, con una frecuencia de al menos una vez por segundo. El FDS 420 es operable para comparar las mediciones obtenidas con el límite de temperatura operativa segura 511 usando el modelo de celda 421 para determinar si detectar una falla.
- 15 La Figura 5B ilustra los gráficos 512 y 513 de la temperatura de celda a lo largo del tiempo para dos grupos de celdas en relación con la temperatura máxima de operación segura 511 definida para las celdas en los dos grupos de celdas, por ejemplo, con base en una especificación de fabricación respectiva de las celdas o durante la prueba inicial de las celdas. El gráfico 512 representa que la temperatura del respectivo grupo de celdas aumentó gradualmente por encima de la temperatura máxima de operación segura 511 y continúa aumentando.
- 20 El gráfico 513 representa que la temperatura del respectivo grupo de celdas experimentó un pico que excedió la temperatura máxima de operación segura 511 y luego retorno dentro del SOA. Cada gráfico indica que se produjo una falla en el respectivo grupo de celdas.

Dado que la temperatura de cada grupo de celdas excedió la temperatura máxima de operación segura 511, es probable que las celdas se hayan dañado y tengan el potencial de incendiarse. Por lo tanto, la falla detectada en ambos grupos de celdas puede clasificarse como que tiene el nivel de gravedad de una falla de peligro inmediato.

La Tabla 2 proporciona ejemplos ilustrativos de límites máximos de temperatura segura para tipos particulares de celdas de iones de litio.

Table 2

Celda	Temperatura máxima
Celda A: LiFePO4 Prismático de 72 Ah	50 grados centígrados
Celda B: LiFePO4 de Bolsa de 20 Ah	60 grados centígrados
Celda C: 18650 NMC cilíndrico de 3.3 Ah	60 grados centígrados
Celda D: LTO Prismático de 23 Ah	55 grados centígrados

30

Aunque el ejemplo que se muestra en la Figura 5B se describe con referencia a un límite máximo de temperatura operativa segura, el CMD 400 puede usar un modelo de celda similar para garantizar que se detecte una falla cuando la temperatura operativa de la celda exceda un límite operativo normal máximo. Si una medición de temperatura o una secuencia de tales mediciones excede el límite operativo normal pero está dentro del límite operativo seguro, la falla detectada puede clasificarse como que tiene el nivel de gravedad de una falla de peligro de degradación.

Falla de sobrecorriente de celda

Con referencia a la Figura 5C, cuando la corriente que fluye a través de una celda excede una corriente máxima segura especificada por la especificación de fabricación de la celda, la celda puede dañarse y tiene el potencial de incendiarse. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el CMD 400 está configurado para medir repetidamente la corriente que fluye a través (dentro y fuera) de un grupo de celdas monitorizadas (una o más celdas) usando un sensor de corriente respectivo para determinar si la corriente excede el límite máximo de corriente de operación segura.

El modelo de celda respectivo 421 define límites de corriente de operación segura 514 y 516. El sistema de sensores 410 es operable para obtener mediciones de las celdas monitorizadas usando el sensor de corriente con una frecuencia de cada 10 mS. El FDS 420 es operable para comparar las mediciones obtenidas con los

límites operativos seguros 514 y 516 usando el modelo de celda 421 para determinar si una celda experimentó una falla.

La Figura 5C ilustra los gráficos 517, 518, y 519 de la corriente a lo largo del tiempo para tres grupos de celdas en relación con los gráficos 514₁, 514₂, 516₁, y 516₂ que definen límites de corriente de operación segura para los tres grupos de celdas. Los gráficos 514₁ y 514₂ definen la duración máxima segura de un pulso, es decir, el límite de pulso de tiempo seguro. El gráfico 516₁ define el límite máximo seguro para una corriente continua que fluye a través de la celda, mientras que el gráfico 516₂ define el límite máximo seguro para una corriente de pulso.

El gráfico 517 representa que la corriente que fluye a través de un grupo de celdas respectivo excedió el límite máximo de corriente continua segura 516₁ durante un período de tiempo mayor que el límite de pulso de tiempo seguro 514₁ a 514₂. De este modo, aunque la corriente representada por el gráfico 517 no excedió el límite máximo de pulso de corriente segura 516₂, el gráfico 517 indica que surgió una falla en el grupo de celdas respectivo.

El gráfico 518 representa que la corriente que fluye a través de un grupo de celdas respectivo experimentó un pulso. Aunque la duración del pulso representado por el gráfico 518 estaba dentro de los límites de pulso de tiempo seguro 514₁ a 514₂, el valor de corriente del pulso excedió el límite máximo de pulso de corriente segura 516₂. De este modo, el gráfico 518 también indica que surgió una falla en el grupo de celdas respectivo.

Similar al gráfico 518, el gráfico 519 representa que la corriente que fluye a través de un grupo de celdas respectivo experimentó un pulso. Sin embargo, a diferencia del pulso con picos del gráfico 518 y el pulso excesivamente largo del gráfico 517, el pulso del gráfico 519 no excedió el límite de pulso de tiempo seguro 514₁ a 514₂, límite máximo de corriente continua segura 516₁, o límite máximo de pulso de corriente segura 516₂. De este modo, el gráfico 519 no indica una falla.

Dado que la corriente representada por los gráficos 517 y 518 excedió al menos un límite operativo seguro, es probable que las celdas respectivas se hayan dañado y tengan el potencial de incendiarse sin retraso. Por lo tanto, las fallas detectadas pueden clasificarse como que tienen el nivel de gravedad de una falla de peligro inmediato.

La Tabla 3 proporciona ejemplos ilustrativos de límites de corriente de operación segura para tipos particulares de celdas.

Tabla 3

Celda	Corriente máxima
Celda A: LiFePO ₄ Prismático de 72 Ah	72 A de carga continua 144 A de descarga continua 576 A durante 10 segundos de descarga por pulsos 288 A durante 30 segundos de descarga por pulsos
Celda B: LiFePO ₄ de Bolsa de 20 Ah para Estado de Carga (SoC) de 50 % y 30 grados C.	60 A de carga continua 200 A durante 10 segundos de carga por pulsos 200 A de descarga continua 600 A durante 10 segundos de descarga por pulsos
Celda C: 18650 NMC cilíndrico de 3.3 Ah	2.1 A de carga continua 10 A de descarga continua
Celda D: LTO Prismático de 23 Ah	100 A de carga continua 200 A durante 10 segundos de carga por pulsos 100 A de descarga continua 200 A durante 10 segundos de descarga por pulsos

Aunque el ejemplo que se muestra en la Figura 5C se describe con referencia a límites de corriente de operación segura, el CMD 400 puede usar un modelo de celda similar para garantizar que se determine una falla cuando la corriente que fluye a través de las celdas excede un límite de corriente de operación normal. Si una medición de corriente o una secuencia de tales mediciones de corriente excede al menos uno de los límites operativos normales pero está dentro del límite operativo seguro respectivo, la falla detectada puede clasificarse como que tiene el nivel de gravedad de una falla de peligro de degradación.

El enfoque de límite de tiempo de pulso descrito con referencia a la Figura 5C para mediciones de corriente también se puede usar para evaluar otros tipos de mediciones obtenidas en las celdas monitorizadas, tales como voltaje y temperatura. Diferentes tipos de mediciones pueden tener diferentes límites de tiempo de pulso para determinar si una celda experimentó una falla. Por ejemplo, un límite de tiempo de pulso de una duración sustancialmente más corta (por ejemplo, 1 segundo) que para mediciones de corriente (por ejemplo, 10 segundos) se podría usar para evaluar mediciones de voltaje. El pulso de voltaje puede ser causado por un impulso de energía retornado desde una carga o por un ruido eléctrico externo. Un filtro, como se describe con referencia a otras mediciones, tales como con referencia a las Figuras 5A a 5N, se puede aplicar antes de que se determine una falla.

Falla de subvoltaje de celda

Con referencia a la Figura 5D, cuando el voltaje terminal de una celda está por debajo de un voltaje mínimo seguro especificado por la especificación de fabricación de la celda, la celda puede dañarse, y ese daño puede causar un peligro retrasado. Por ejemplo, una descarga excesiva puede causar un enchapado de litio, lo que lleva al crecimiento de dendritas y a una posible fuga térmica si una celda se carga subsecuentemente en un momento posterior. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el CMD 400 está configurado para medir repetidamente el voltaje terminal de un grupo de celdas monitorizadas usando un sensor de voltaje respectivo para determinar si las mediciones de voltaje caen por debajo del límite mínimo de voltaje operativo seguro.

El modelo de celda respectivo 421 define el límite mínimo de voltaje operativo seguro 521. El sistema de sensores 410 es operable para obtener mediciones de voltaje de celdas monitorizadas usando el sensor de voltaje con una frecuencia de al menos cada 100 mS. El FDS 420 es operable para comparar las mediciones obtenidas con el límite mínimo de voltaje operativo seguro 521 usando el modelo de celda 421 para determinar si una celda experimentó una falla.

La Figura 5D ilustra los gráficos 522, 523, y 534 del voltaje terminal de celda a lo largo del tiempo para tres grupos de celdas en relación con el voltaje mínimo seguro 521 definido para los tres grupos de celdas, por ejemplo, con base en la especificación de fabricación respectiva o durante la prueba inicial de celdas en los dos grupos de celdas. El gráfico 522 representa un escenario donde el voltaje terminal de celda del respectivo grupo de celdas cae gradualmente por debajo del voltaje mínimo operativo seguro 521 y continúa cayendo. El gráfico 523 representa un escenario donde el voltaje terminal de celda del respectivo grupo de celdas experimentó un pico negativo que cayó por debajo del voltaje mínimo operativo seguro 521 y luego retornó dentro del área operativa segura.

Ambos gráficos 522 y 523 indican que un grupo de celdas correspondiente experimentó una falla y así se interpretaría por el modelo de celda respectivo 421. Dado que el voltaje en cada grupo de celdas cayó por debajo del voltaje mínimo operativo seguro 521, es probable que las celdas en los grupos de celdas se hayan dañado, y ese daño puede causar un peligro retrasado. Por lo tanto, el CMD 400 puede clasificar la falla determinada para ambos grupos de celdas como que tiene el nivel de gravedad de una falla de peligro retrasado donde el FDS 420 es operable para determinar los niveles de gravedad de las fallas determinadas.

El gráfico 524 representa un escenario donde el voltaje terminal de celda de la celda respectiva nunca cae por debajo del límite mínimo de voltaje operativo seguro 521, y el modelo de celda 421 no detectará ninguna falla en relación con el gráfico 524.

La Tabla 4 proporciona ejemplos ilustrativos de límites máximos de voltaje seguro para tipos particulares de celdas de iones de litio.

Tabla 4

Celda	Voltaje máximo
Celda A: LiFePO4 Prismático de 72 Ah	2.5 V
Celda B: LiFePO4 de Bolsa de 20 Ah	2.0 V
Celda C: 18650 NMC cilíndrico de 3.3 Ah	2.75 V
Celda D: LTO Prismático de 23 Ah	1.5 V

Aunque los escenarios de ejemplo de la Figura 5D se describen con referencia a un límite de voltaje operativo seguro, CMD 400 puede usar un modelo de celda similar para garantizar que se determine una falla cuando el voltaje terminal de celda cae por debajo de un límite mínimo operativo normal.

5 Falla de temperatura baja de celda

Con referencia a la Figura 5E, cuando la temperatura de una celda cae por debajo de una temperatura mínima segura especificada por la especificación de fabricación de la celda, la celda puede dañarse, y ese daño puede causar un peligro retrasado. Por ejemplo, la carga a baja temperatura puede causar enchapado de litio, y subsecuente crecimiento de dendritas, lo que eventualmente lleva a la perforación del separador de celdas y a un cortocircuito localizado. Como otro ejemplo, el electrolito dentro de una celda puede comenzar a cristalizarse si la celda se almacena por debajo de una cierta temperatura mínima de almacenamiento. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el CMD 400 está configurado para medir repetidamente la temperatura en o de un grupo monitorizado de una o más celdas usando un sensor de temperatura respectivo para determinar si la temperatura cae por debajo del límite mínimo de temperatura operativa segura.

El modelo de celda respectivo 421 define el límite mínimo de temperatura operativa segura 526. El sistema de sensores 410 es operable para obtener mediciones de temperatura en o de las celdas monitorizadas usando los sensores de temperatura, por ejemplo, con una frecuencia de al menos una vez por segundo. El FDS 420 es operable para comparar las mediciones obtenidas con el límite mínimo de temperatura operativa segura 526 usando el modelo de celda 421 para determinar si detectar una falla.

El modelo de celda 421 puede emplear diferentes límites mínimos de temperatura operativa segura dependiendo de si un grupo de celdas se está cargando, descargando, o siendo almacenado cuando se obtienen mediciones de temperatura en o del grupo de celdas.

La Figura 5E ilustra los gráficos 527, 529, y 529 de la temperatura de celda a lo largo del tiempo para tres grupos de celdas en relación con la temperatura mínima operativa segura 526 definida para las celdas en los tres grupos de celdas, por ejemplo, con base en una especificación de fabricación respectiva de las celdas o durante la prueba inicial de las celdas. El gráfico 527 representa que la temperatura del respectivo grupo de celdas ha caído gradualmente por debajo de la temperatura mínima operativa segura 526 y continúa cayendo. El gráfico 528 representa que la temperatura del respectivo grupo de celdas experimentó un pico negativo que cayó por debajo de la temperatura mínima operativa segura 526 y luego retornó dentro del SOA.

Ambos gráficos 527 y 528 indican que se produjo una falla en el grupo de celdas respectivo. Dado que la temperatura de cada grupo de celdas cayó por debajo de la temperatura mínima operativa segura 526, es probable que las celdas se hayan dañado, y que ese daño pueda causar un peligro retrasado. Por lo tanto, la falla detectada para ambos grupos de celdas puede clasificarse como que tiene el nivel de gravedad de una falla de peligro retrasado.

El gráfico 529 representa un escenario donde la temperatura de la celda respectiva nunca cae por debajo del límite mínimo de temperatura operativa segura 526, y el modelo de celda 421 no determinará ninguna falla en relación con el gráfico 529.

La Tabla 5 proporciona ejemplos ilustrativos de límites mínimos de temperatura segura para tipos particulares de celdas de iones de litio.

Tabla 5

Celda	Temperatura máxima
Celda A: LiFePO ₄ Prismático de 72 Ah	0 grados centígrados al cargar -20 grados centígrados al descargar
Celda B: LiFePO ₄ de Bolsa de 20 Ah	-40 grados centígrados cuando se almacena -20 grados centígrados al cargar/descargar
Celda C: 18650 NMC cilíndrico de 3.3 Ah	0 grados centígrados al cargar -20 grados centígrados al descargar
Celda D: LTO Prismático de 23 Ah	-40 grados centígrados cuando se almacena -30 grados centígrados al cargar/descargar

Aunque el ejemplo que se muestra en la Figura 5E se describe con referencia a un límite mínimo de temperatura operativa segura, el CMD 400 puede usar un modelo de celda similar para garantizar que se detecte una falla cuando la temperatura operativa de la celda cae por debajo de un límite de temperatura operativa normal.

5 Falla de sobrepresión de celda

Con referencia a la Figura 5F, cuando la presión interna de una celda excede una presión máxima segura definida por la especificación de fabricación de la celda, es probable que la celda esté dañada y tenga el potencial de incendiarse, ventilarse, o explotar. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el CMD 400 está configurado para medir repetidamente la presión de una o más celdas monitorizadas usando un sensor de presión respectivo (por ejemplo, sensor de presión de gas, calibrador de tensión, etc.) para determinar si la presión interna de cada celda monitorizada excede el límite de presión operativa máxima segura.

El modelo de celda respectivo 421 define el límite de presión operativa máxima segura 531. El sistema de sensores 410 es operable para obtener mediciones de presión de celdas monitorizadas usando un sensor de presión, por ejemplo, con una frecuencia de 1 Hz. El sistema de sensores 410 puede medir la presión interna de una celda directamente, por ejemplo, usando un sensor de presión de gas integrado dentro del recinto de celda, o indirectamente, usando un sensor que mide los efectos de presión. Ejemplos de sensores que permiten medir los efectos de la presión interna de celda incluyen, pero no se limitan a, un sensor de fuerza configurado para medir la fuerza ejercida por la celda sobre una superficie externa causada por un cambio de presión interna, y un calibrador de tensión configurado para monitorizar la deflexión del recinto de celda causada por un cambio de presión interna.

El FDS 420 es operable para comparar las mediciones de presión con el límite de presión operativa máxima segura 531 usando el modelo de celda 421 para determinar si detectar una falla. Si el sistema de sensores 410 mide la presión interna de celda por sus efectos, entonces el límite de presión operativa máxima segura 531 representa un límite operativo máximo seguro para el efecto medido, por ejemplo, la fuerza máxima de operación segura o deflexión máxima de operación segura.

La presión de celda es directamente proporcional a la temperatura. Por lo tanto, el límite de presión operativa máxima segura varía a medida que la temperatura de una celda aumenta o disminuye. En algunas realizaciones, el modelo de celda 421 compensa las mediciones de presión obtenidas o límite de presión operativa máxima segura 531, o ambos, para las condiciones de temperatura presentes cuando el sistema de sensor 410 obtuvo las mediciones de presión respectivas, antes de comparar las mediciones de presión obtenidas con el límite de presión operativa máxima segura 531. Por ejemplo, el modelo de celda 421 puede recibir tanto mediciones de presión como temperatura simultáneamente como entrada desde los sensores respectivos. Al compensar las mediciones de presión o límite de presión operativa máxima segura 531 para la condición de temperatura, el FDS 420 puede evaluar con mayor precisión si las mediciones de presión obtenidas indican una falla, que si no se realiza ninguna compensación de temperatura.

La Figura 5F ilustra los gráficos 532 y 533 de la presión interna de celda a lo largo del tiempo para dos celdas en relación con la presión operativa máxima segura 531 definida para las celdas, por ejemplo, con base en una especificación de fabricación respectiva de las celdas o durante la prueba inicial de las celdas. El gráfico 532 representa que la presión interna de las celdas respectivas aumentó gradualmente por encima de la presión operativa máxima segura 531 y continúa aumentando. El gráfico 533 representa que la presión interna de la celda respectiva experimentó un pico que excedió la presión operativa máxima segura 531 y luego retornó dentro del SOA. Cada gráfico indica que se produjo una falla en el grupo de celdas respectivo.

Dado que la presión interna de cada celda excedió la presión operativa máxima segura 531, es probable que las celdas se hayan dañado y tengan el potencial de incendiarse, ventilarse, o explotar. Por lo tanto, la falla detectada para ambos grupos de celdas puede clasificarse como que tiene el nivel de gravedad de una falla de peligro inmediato.

Como ejemplo, el modelo de celda 421 consideraría que una celda está experimentando una falla si su presión interna excede 100 kPa a 25 grados centígrados. Un límite de presión operativa máxima segura (umbral de sobrepresión) puede variar para celdas diferentes y fabricantes de celdas diferentes.

Aunque el ejemplo que se muestra en la Figura 5F se describe con referencia a un límite de presión operativa máxima segura, el CMD 400 puede usar un modelo de celda similar para detectar una falla cuando la presión operativa de la celda excede un límite operativo normal máximo. Si una medición de presión o una secuencia de tales mediciones de presión excede el límite operativo normal pero está dentro del límite operativo seguro, la falla detectada puede clasificarse como que tiene el nivel de gravedad de una falla de peligro de degradación.

El pico de presión interna de celda durante un breve período de tiempo y subsecuentemente retorno a una presión más baja pueden indicar un peligro retrasado en una celda respectiva (tal como evolución repentina de gas debido a un cortocircuito localizado o crecimiento de dendritas), incluso si la presión interna durante el pico

se mantiene dentro de los límites de SOA o NOA. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el modelo de celda respectivo analiza las mediciones de presión interna de una celda para aumentos y disminuciones rápidos. Este escenario se muestra en la Figura 5G.

La Figura 5G ilustra el gráfico 537 de la fuerza ejercida por una celda sobre una superficie externa debido a cambios en la presión interna a lo largo del tiempo. El gráfico 536 refleja que la presión interna de la celda monitorizada aumentó y disminuyó rápidamente, formando el pico 538. En el ejemplo de la Figura 5G, el pico 538 fue causado por un evento de cortocircuito experimentado por la celda. Aunque el pico 538 en su punto máximo está por debajo del límite operativo máximo seguro 536, refleja un evento que es probable que cause un peligro retrasado en la celda (tal como debilitamiento de la celda en el área del evento de cortocircuito), y de este modo se detecta como una falla usando el modelo de celda respectivo 421.

Ejemplos de fallas de comportamiento

En algunas realizaciones, cuando una celda o grupo de celdas no está comportándose como se esperaba, un CMD, tal como CMD 400, es operable para detectar una falla de comportamiento correspondiente. El modelo de celda respectivo 421 define el comportamiento esperado de la celda o grupo de celdas. Por ejemplo, el modelo de celda 421 puede definir valores esperados o rango de valores para las propiedades medidas de la celda o grupo de celdas en respuesta a un estímulo dado. Cuando el comportamiento de una celda o un grupo de celdas monitorizadas se desvía del comportamiento de celda definido por un modelo de celda respectivo 421, el FDS 420 detecta una falla, incluso si las mediciones obtenidas en la celda o grupo de celdas monitorizadas caen dentro de los límites operativos seguros y límites operativos normales.

Se pueden usar uno o más umbrales para determinar si el comportamiento de la celda o grupo de celdas monitorizadas se desvía del comportamiento modelado. Se pueden usar diferentes umbrales para diferentes propiedades de celdas, diferentes estados de celdas, diferentes condiciones, etc.

Adicional o alternativamente, en algunas realizaciones, el CMD 400 es operable para comparar mediciones obtenidas en diferentes celdas para identificar fallas. Por ejemplo, el CMD 400 puede comparar mediciones que el sistema de sensores 410 obtiene en celdas dentro del mismo grupo de celdas monitorizadas por el CMD 400, usando sensores independientes (por ejemplo, sensores de presión de gas). Las anomalías o desviaciones en las mediciones exhibidas por una celda en el grupo de celdas cuando se comparan con las mediciones obtenidas en las otras celdas en el grupo de celdas pueden indicar una falla de comportamiento, incluso si las mediciones de desviación caen dentro de los respectivos límites operativos seguros o límites operativos normales.

Adicional o alternativamente, el CMD 400 puede comparar mediciones obtenidas en una celda o grupo de celdas monitorizadas con mediciones correspondientes obtenidas en celdas vecinas que no son monitorizadas por el CMD 400. Las anomalías o desviaciones en las mediciones exhibidas por una celda o el grupo de celdas monitorizadas cuando se comparan con las mediciones obtenidas en las celdas vecinas pueden indicar una falla de comportamiento en la celda o grupo de celdas monitorizadas, incluso si las mediciones obtenidas en la celda o grupo de celdas monitorizadas caen dentro de los respectivos límites operativos seguros o límites operativos normales. El CMD 400 puede ser operable para recibir mediciones de celdas vecinas directamente desde los CMDs que monitorizan las celdas vecinas o a través del BMS 430.

Las Figuras 5H a 5N ilustran ejemplos de fallas de comportamiento que podrían ser detectadas por un CMD de acuerdo con la presente divulgación, tal como CMD 400.

Cambio inesperado de temperatura de celda

Las variaciones entre la tasa de cambio de temperatura medida en una celda o grupo de celdas monitorizadas y una tasa de cambio de temperatura predicha por un modelo termoeléctrico de la celda o grupo de celdas para un estímulo conocido (por ejemplo, voltaje, corriente, o ambos) y el estado de la celda o grupo de celdas (por ejemplo, un estado de carga, un SoH, o resistencia interna) pueden ser indicativos de una falla de comportamiento en la celda o grupo de celdas monitorizadas. En algunas realizaciones, el modelo de celda 421 define un modelo termoeléctrico de cambios de temperatura esperados para la celda o grupo de celdas monitorizadas en respuesta a estímulos predefinidos en estados de celda preestablecidos, y un umbral de desviación. Cuando la tasa de cambio de temperatura de la celda o grupo de celdas monitorizadas se desvía de una tasa de cambio predicha por el modelo termoeléctrico en más del umbral de desviación predefinido, el FDS 420 de CMD 400 es operable para detectar una falla. Por ejemplo, si el modelo de celda 421 predice que una corriente 1A debería llevar a un aumento de temperatura desde 25 a 30 grados después de 1 minuto, mientras que las mediciones correspondientes obtenidas en la celda o grupo de celdas monitorizadas reflejan el mismo aumento en 30 segundos, entonces el FDS 420 de CMD 400 detectaría una falla de comportamiento.

La Figura 5H ilustra un escenario similar. En la Figura 5H, el gráfico 542 representa cambios en temperatura medida en una celda o grupo de celdas monitorizadas, mientras que el gráfico 541 representa los cambios modelados en temperatura para el mismo estímulo y estado de la celda o grupo de celdas de acuerdo con un modelo termoeléctrico definido por el modelo de celda 421. Los gráficos 542 y 541 respectivamente indican

que la temperatura medida aumenta sustancialmente más rápido que la temperatura predicha, lo cual a su vez indica una falla de comportamiento en la celda o grupo de celdas monitorizadas.

Cambio de temperatura diferencial

5 Las variaciones en comportamiento entre el mismo tipo de celdas que se exponen al mismo estímulo pueden indicar que surgió una falla en una o más de tales celdas. Por ejemplo, una tasa de cambio de temperatura medida en una celda o grupo de celdas que sea diferente de una tasa de cambio de temperatura medida en otras celdas o grupos de celdas para el mismo estímulo (por ejemplo, voltaje y corriente) y considerando el estado de las respectivas celdas o grupos de celdas (por ejemplo, un estado de carga, un SoH, o resistencia interna) puede indicar una falla de comportamiento en la celda o grupo de celdas cuya tasa de cambio se desvíe de las otras.

En algunas realizaciones, el modelo de celda 421 define uno o más umbrales de desviación para uso al comparar mediciones de diferentes celdas o grupos de celdas. Por ejemplo, se pueden establecer diferentes umbrales de desviación para diferentes estímulos, estados de celdas, o ambos.

15 Cuando el FDS 420 determina que una tasa de cambio de temperatura de una celda o grupo de celdas monitorizadas se desvía de una tasa de cambio de celdas o grupo de celdas vecinas en más de un umbral de desviación correspondiente del modelo 421, el FDS 420 detecta una falla de comportamiento. Por ejemplo, si el FDS 420 determina que todas las celdas en un sistema de batería permanecen a unos 30 C constantes, excepto una celda o grupo de celdas que monitoriza el CMD 400 y la temperatura de esa celda o grupo de celdas aumenta a 40 C, el FDS 420 determina una falla de comportamiento.

20 La Figura 5J ilustra un escenario similar, donde cuatro celdas diferentes se exponen al mismo estímulo. Los gráficos 546, 547, y 548 representan cambios consistentes en temperatura medida en tres de cuatro de tales celdas. El gráfico 549 representa cambios en la temperatura que se desvían significativamente, es decir, en más de un umbral de desviación predefinido, de los cambios en las temperaturas representadas por los gráficos 546, 547, y 548. En particular, el gráfico 549 muestra que la temperatura de la celda correspondiente aumenta sustancialmente más rápido que la temperatura de las otras tres celdas que corresponden a los gráficos 546, 547, y 548. De este modo, el CMD 400 detectará una falla de comportamiento en la celda que corresponde al gráfico 549.

Cambio de voltaje inesperado

30 Las variaciones entre la tasa de cambio de voltaje medida en una celda o grupo de celdas monitorizadas y una tasa de cambio de voltaje predicha por un modelo termoeléctrico de la celda o grupo de celdas para un estímulo conocido (por ejemplo, temperatura, corriente, o ambos) y el estado de la celda o grupo de celdas (por ejemplo, un estado de carga, un SoH, o resistencia interna) pueden ser indicativos de una falla de comportamiento surgida en la celda o grupo de celdas. En algunas realizaciones, el modelo de celda 421 define un modelo termoeléctrico de cambios de voltaje esperados para la celda o grupo de celdas monitorizadas en respuesta a estímulos predefinidos en estados preestablecidos, y un umbral de desviación. Cuando la tasa de cambio de voltaje de la celda o grupo de celdas monitorizadas se desvía de una tasa de cambio predicha por el modelo termoeléctrico en más del umbral de desviación predefinido, el FDS 420 de CMD 400 es operable para detectar una falla. Por ejemplo, si el modelo de celda 421 predice que con corriente cero y temperatura estable, el voltaje no debería caer en más de 50 mV en una hora, mientras que las mediciones correspondientes obtenidas en la celda o grupo de celdas monitorizadas reflejan la misma caída en 10 minutos, entonces el FDS 420 del CMD 400 detectaría una falla de comportamiento.

45 La Figura 5K ilustra un escenario similar. En la Figura 5K, el gráfico 552 representa los cambios en voltaje medido en una celda o grupo de celdas monitorizadas, mientras que el gráfico 551 representa los cambios modelados en voltaje para el mismo estímulo y estado de la celda o grupo de celdas de acuerdo con un modelo termoeléctrico definido por el modelo de celda 421. Los gráficos 552 y 551 indican que el voltaje medido cae sustancialmente más rápido que el voltaje predicho respectivamente, lo cual a su vez indica una falla de comportamiento en la celda o grupo de celdas monitorizadas.

Cambio de voltaje diferencial

50 Las variaciones en el comportamiento entre el mismo tipo de celdas que se exponen al mismo estímulo pueden indicar que surgió una falla en una o más de tales celdas. Por ejemplo, una tasa de cambio de voltaje medida en una celda o grupo de celdas que sea diferente de una tasa de cambio de voltaje medida en otras celdas o grupos de celdas para el mismo estímulo (por ejemplo, corriente, temperatura, o ambos) y considerando el estado de las celdas o grupos de celdas respectivos (por ejemplo, un estado de carga, un SoH, o resistencia interna) puede indicar una falla de comportamiento en la celda o grupo de celdas cuya tasa de cambio se desvíe de las otras.

En algunas realizaciones, el modelo de celda 421 define uno o más umbrales de desviación para uso al comparar mediciones de diferentes celdas o grupos de celdas. Se pueden establecer diferentes umbrales de

desviación para diferentes estímulos, estados de celdas, o ambos. Una diferencia entre las mediciones de celdas comparadas que exceda un umbral de desviación respectivo indica una falla de comportamiento.

Cuando el FDS 420 determina que una tasa de cambio de voltaje de una celda o grupo de celdas monitorizadas se desvía de una tasa de cambio de celdas o grupo de celdas vecinas en más de un umbral de desviación correspondiente del modelo 421, el FDS 420 detecta una falla de comportamiento. Por ejemplo, si el FDS 420 determina que todas las celdas en un sistema de batería permanecen a una constante de $3.7 \text{ V} \pm 50 \text{ mV}$, excepto una celda o grupo de celdas que monitoriza el CMD 400, y el voltaje de esa celda o grupo de celdas cae a 3.5 V , el FDS 420 determina una falla de comportamiento.

La Figura 5L ilustra un escenario similar, donde cuatro celdas diferentes se exponen al mismo estímulo. Los gráficos 556, 557, y 558 representan cambios consistentes en el voltaje medido en tres de cuatro de tales celdas. El gráfico 559 representa cambios en el voltaje que se desvían significativamente, es decir, en más de un umbral de desviación predefinido, de los cambios en el voltaje representados por los gráficos 556, 557, y 558. En particular, el gráfico 559 muestra que el voltaje de la celda correspondiente cayó mientras que el voltaje representado por los gráficos 556, 557, y 558 aumentó lentamente. De este modo, el CMD 400 detecta una falla de comportamiento en la celda que corresponde al gráfico 559.

En algunas realizaciones, la divergencia en los voltajes de celda entre diferentes celdas se evalúa en relación con un período de tiempo durante el cual se ha producido la divergencia. Se espera una divergencia gradual en los voltajes de celda entre diferentes celdas durante largos períodos de tiempo (tales como días a meses), y de este modo no es necesariamente indicativa de una falla. De este modo, el mismo nivel de divergencia puede indicar una falla de comportamiento cuando se detecta durante minutos u horas, pero no indica una falla de comportamiento cuando se detecta durante días o meses. El umbral de desviación por lo tanto puede ajustarse dependiendo del período de tiempo durante el cual se detecta la divergencia. Por ejemplo, el umbral de desviación puede aumentar a medida que aumenta el período de tiempo durante el cual se detecta la divergencia entre las celdas.

Cambio de presión inesperado

Las variaciones entre la tasa de cambio de presión interna de una celda monitorizada y una tasa de cambio de la presión interna predicha por un modelo de la celda para un estímulo conocido (por ejemplo, voltaje, temperatura, corriente, o una combinación de los mismos) y el estado de la celda o grupo de celdas (por ejemplo, un estado de carga, un SoH, o resistencia interna) pueden ser indicativos de una falla de comportamiento en la celda. En algunas realizaciones, el modelo de celda 421 define cambios de presión interna modelados para la celda monitorizada en respuesta a estímulos predefinidos en estados preestablecidos, y un umbral de desviación. Cuando la tasa de cambio de presión interna de la celda monitorizada se desvía de una tasa de cambio predicha por el modelo respectivo 421 en más del umbral de desviación predefinido, el FDS 420 detecta una falla.

En algunas realizaciones, el modelo de celda 421 define uno o más umbrales para estímulos predefinidos y estado preestablecido. Cuando el FDS 420 determina que la tasa de cambio de presión interna de la celda monitorizada excede un umbral correspondiente, el FDS 420 detecta una falla. Por ejemplo, el modelo de celda 421 puede establecer una tasa máxima de cambio de umbral de presión de $\pm 0.1 \text{ kPa/s}$. Si el FDS 420 determina, con base en mediciones respectivas en la celda monitorizada, que la tasa de cambio de presión es mayor que el umbral preestablecido, el FDS 420 detecta una falla de comportamiento.

Se espera que la presión interna de una celda aumente a lo largo de la vida útil de la celda, donde la presión es proporcional al SoH de esa celda. En algunas realizaciones, el modelo de celda 421 establece la relación entre la presión de celda y SoH. Si el FDS 420 determina, con base en las mediciones respectivas en la celda monitorizada, que la presión de celda aumentó más de lo esperado, el FDS 420 detecta una falla de comportamiento. Si el FDS 420 determina, con base en mediciones respectivas en la celda monitorizada, que la presión de celda disminuye cuando se espera que la presión aumente con el tiempo en una celda, el FDS 420 detecta una falla de comportamiento. Tal disminución es indicativa de que la celda tiene una fuga.

La Figura 5M ilustra uno de tal escenario. En la Figura 5M, el gráfico 562 representa cambios en la presión interna de una celda determinados con base en las mediciones respectivas obtenidas en la celda. El gráfico 546 representa los cambios modelados en la presión interna de la misma celda de acuerdo con el modelo de celda 421. Los gráficos 562 y 561 indican que la presión de celda medida aumentó sustancialmente más rápido que la presión de celda modelada, lo cual a su vez indica una falla de comportamiento en la celda monitorizada.

Cambio de presión diferencial

Las variaciones en comportamiento entre el mismo tipo de celdas que se exponen al mismo estímulo pueden indicar una falla en una o más de tales celdas. Por ejemplo, una presión interna de una celda en un paquete de baterías que sea diferente de una presión interna de otras celdas en el mismo paquete para el mismo estímulo (por ejemplo, voltaje, temperatura, corriente, o una combinación de los mismos) y considerando el

estado de las celdas respectivas (por ejemplo, un estado de carga, un SoH, o resistencia interna) puede indicar una falla de comportamiento en la celda cuya presión interna se desvía de las otras.

En algunas realizaciones, el modelo de celda 421 define uno o más umbrales de desviación para uso al comparar mediciones de diferentes celdas o grupos de celdas. Por ejemplo, se pueden establecer diferentes umbrales de desviación para diferentes estímulos, estados de celdas, o ambos.

Cuando FDS 420 determina que una presión interna de una celda monitorizada se desvía de la presión interna de celdas vecinas en más de un umbral de desviación correspondiente del modelo 421, el FDS 420 detecta una falla de comportamiento. Por ejemplo, si FDS 420 determina que todas las celdas en un sistema o paquete de baterías están a una presión de celda de 50 kPa, excepto una celda que monitoriza CMD 400, y la presión de esa celda es superior o inferior a la de las otras celdas en un porcentaje dado, o más de un porcentaje dado (por ejemplo, un umbral de desviación de 5%), FDS 420 determina una falla de comportamiento.

La Figura 5N ilustra un escenario similar, donde cuatro celdas diferentes se exponen al mismo estímulo. Los gráficos 566, 567, y 568 representan cambios consistentes en la presión interna de tres de cuatro de tales celdas. El gráfico 569 representa cambios en la presión interna de una celda respectiva que se desvían significativamente, es decir, en más de un umbral de desviación predefinido, de los cambios en la presión de celda representados por los gráficos 566, 567, y 568. En particular, el gráfico 569 muestra que la presión interna de la celda correspondiente aumenta sustancialmente más rápido que la presión interna de otras tres celdas que corresponden a los gráficos 566, 567, y 568, que aumenta de manera lenta y consistente entre las tres celdas respectivas. De este modo, el CMD 400 detectará una falla de comportamiento en la celda que corresponde al gráfico 569.

En algunas realizaciones, las frecuencias con las cuales el sistema de sensores 410 mide diversas propiedades de celdas discutidas con referencia a las Figuras 5A a 5N son configurables. Por ejemplo, la frecuencia con la cual se mide una propiedad de celda particular se puede ajustar en respuesta a mediciones de la misma u otras propiedades de celda obtenidas en las celdas monitorizadas (por ejemplo, voltaje, corriente, temperatura, presión, etc.), un estado detectado de las celdas monitorizadas, tendencias de medición exhibidas por las celdas monitorizadas, un estado de salud de las celdas monitorizadas, uso previsto de las celdas monitorizadas, etc. Por ejemplo, la frecuencia se puede disminuir cuando uno, algunos, o todos de tales parámetros indican que las celdas respectivas operan de manera segura dentro de su NOA, y aumentar cuando uno, algunos, o todos de tales parámetros indican que las celdas operan en o cerca de los límites establecidos por su NOA o SOA. En el contexto de fallas de comportamiento, la frecuencia con la cual se miden las propiedades de celda se puede aumentar a medida que la diferencia entre mediciones de diferentes celdas o grupos de celdas o con un comportamiento predefinido se acerca a un umbral de desviación respectivo.

En algunas realizaciones, uno o más modelos de celda 421, tales como modelos de celda descritos con referencia a las Figuras 5A a 5N, pueden aplicar un filtro a las mediciones obtenidas para reducir la detección de fallas falsas antes de determinar una falla. Por ejemplo, el filtro puede requerir que un número predefinido de mediciones secuenciales (por ejemplo, 3 o más, 4 o más, 5 o más, etc.) o un número predefinido en una muestra secuencial (por ejemplo, 3 de 4, 4 de 5, 4 de 6, 5 de 6, etc.) exceda, esté por debajo, o caiga fuera de límites o umbrales relevantes definidos por el modelo de celda respectivo o se desvíe del comportamiento esperado como se define por el modelo de celda, se desvíe de las mediciones obtenidas en otras celdas.

Se han descrito múltiples escenarios de ejemplo con referencia a las Figuras 5A a 5N. Donde tales escenarios hacen referencia a un grupo de celdas, el grupo de celdas puede consistir en una única celda o en una pluralidad de celdas, por ejemplo, una pluralidad de celdas conectadas en paralelo.

La Figura 6 es una ilustración esquemática de una disposición del CMD 600, de acuerdo con algunas realizaciones. El CMD 600 incluye componentes similares a los componentes del CMD 400 descritos con referencia a la Figura 4. Por lo tanto, la descripción del sistema de sensores 410, FDS 420, sistema de procesador 422, sistema de comunicación 424, almacén de fallas 426, y temporizador o reloj 428 con referencia a las Figuras 4 a 5N respectivamente se aplica al sistema de sensores 610, FDS 620, sistema de procesador 622, sistema de comunicación 624, almacén de fallas 626, y temporizador o reloj 628, y de este modo no se repite. En cambio, la descripción de la Figura 6 se centra en las diferencias entre el CMD 400 y CMD 600.

Además de las funciones descritas con referencia a la Figura 4, el FDS 620 y sistema de sensores 610 del CMD 600 proporcionan un mecanismo redundante y diverso para determinar fallas relacionadas con mediciones obtenidas en celdas monitorizadas por el CMD 600 (tales como voltaje, corriente, temperatura, presión, etc.). Para este propósito, además de uno o más ADC 618, similares al ADC 418, el sistema de sensores 610 incluye un ADC redundante y diverso 619.

El ADC 619 proporciona mediciones extra al FDS 620, que el FDS 620 evalúa para fallas relacionadas con seguridad funcional. El ADC 618 y ADC 619 usan diferentes técnicas de conversión. En algunas realizaciones, el ADC 618 logra una mayor precisión con una tasa de conversión más rápida que el ADC 619 y es capaz de soportar el voltaje de celda u otras mediciones de muchas veces en un segundo, por ejemplo, 100 Hz en lugar

de 10 Hz o más lentos que se soporta por el ADC 619. Por ejemplo, el ADC 618 puede tener una arquitectura sigma-delta con mínimo de resolución de 16 bits, mientras que el ADC 619 puede tener una arquitectura de aproximación sucesiva con una resolución menor que el ADC 618, por ejemplo, 12-14 bits. De esta manera, el ADC 619 permite que el FDS 620 realice verificaciones de seguridad funcional en el ADC 618. Esto mejora la seguridad y fiabilidad del CMD 600 cuando se compara con el del CMD 400.

Se pueden agregar uno o más ADCs adicionales al CMD 600, con el uno o más ADCs adicionales contribuyendo a la redundancia dentro del CMD 600. Por ejemplo, el uso de ADCs adicionales podría ofrecer mejoras adicionales de la fiabilidad y seguridad usando técnicas tales como votación de 2 de 3 o seguridad mejorada en caso de única falla de ADC.

A diferencia del CMD 400, cuyo sistema de procesador 422 controla la comunicación de datos por el FDS 420, en el CMD 600, el FDS 620 es capaz de compartir sus datos directamente con el sistema de comunicación 624. La comunicación directa entre el FDS 620 y el sistema de comunicación 624 permite que el sistema de comunicación 624 incluya información de estado de celda, tal como indicador de falla y datos de falla recibidos desde el FDS 620, además de e independiente de la información de estado de celda correspondiente recibida desde el sistema de procesador 622. De esta manera, el CMD 600 proporciona una determinación de fallas diversa y redundante. Cuando la información de estado de celda correspondiente proporcionada por el sistema de procesador 622 y el FDS 420 coincide, el BMS 430 se asegura que la información de estado de celda es precisa. Las discrepancias entre la información de estado de celda correspondiente proporcionada por el sistema de procesador 422 y el FDS 420 indicarían al BMS 430 que el CMD 600 está experimentando una falla y que puede ser necesaria acción correctiva.

En CMD 600, el FDS 620 también tiene acceso directo al almacén de fallas 626, y de este modo es capaz de almacenar información de estado de celda directamente en el almacén de fallas 626. En algunas realizaciones, esto reduce la carga de procesamiento en el sistema de procesador 622 al hacer que el FDS 620 sea el único responsable de almacenar sus datos en el almacén de fallas. En algunas otras realizaciones, el sistema de procesador 622 ejecuta una verificación de autodiagnóstico adicional al comparar la información de estado de celda que el sistema de procesador 622 recibe desde el FDS 620 con la información de estado de celda correspondiente que el FDS 620 almacena en el almacén de fallas 626.

Aunque, como se describe, el CMD 600 difiere del CMD 400 en que emplea ADCs adicionales, permite la comunicación directa entre el FDS 620 y el sistema de comunicación 624, y da al FDS 620 acceso directo al almacén de fallas 626, tales diferencias pueden introducirse en el CMD 400 individualmente o en cualquier combinación para mejorar la fiabilidad y seguridad de CMD 400.

La Figura 7 es una ilustración esquemática de una disposición del sistema 700 para monitorizar el estado del sistema de batería 710, de acuerdo con algunas realizaciones. El sistema de batería 710 incluye una pluralidad de grupos de celdas $712_i \dots 712_N$, cada grupo de celdas incluye una o más celdas. En algunas realizaciones, cada grupo 712; que incluye más de una celda tiene todas de tales celdas conectadas en paralelo.

El sistema 700 incluye una pluralidad de CMDs $720_i \dots 720_N$, tal como CMD 400 o CMD 600, para monitorizar respectivamente el estado de celdas de los grupos de celdas (CG) $712_1 \dots 712_N$. El sistema 700 también incluye BMS 730 para monitorizar y gestionar el rendimiento del sistema de batería 710. El sistema 700 incluye un CMD 720 por cada grupo de celdas 712. Cada CMDs 720_i está unido a, incorporado con, o asociado de otro modo con el respectivo grupo de celdas 712_i para ser capaz de monitorizar las celdas en el grupo de celdas 712_i .

Para monitorizar y gestionar el rendimiento del sistema de batería 710, el BMS 730 es operable para comunicarse con cada uno de los CMDs $720_i \dots 720_N$ para recopilar y procesar información de estado de celda proporcionada por los CMDs 720, incluyendo indicadores de fallas y datos de fallas relacionados. El BMS 720 también es operable para controlar el entorno del sistema de batería 710 y equilibrar el sistema de batería 710.

BMS 730 incluye un sistema de comunicación de CMD 731 operable para permitir la comunicación entre BMS 730 y CMDs 720, sistema de procesador 735 configurado para efectuar operaciones de BMS 730 y sus componentes, sistema de evaluación de fallas 737 operable para procesar información de estado de celda recibida desde CMDs 720, incluyendo indicadores de falla y datos de falla relacionados, y sistema de comunicación externo 739 operable para permitir que BMS 730 se comunique con diversos sistemas y dispositivos externos 740.

El BMS 730 también incluye sensores 733 operables para medir propiedades del sistema de batería 710. En algunas realizaciones, los sensores 733 miden propiedades que no necesariamente se miden por los CMDs individuales 720, tales como pero no se limitan a, un sensor de temperatura para medir la temperatura en el sistema de batería 710 o en un paquete de batería incluido en el sistema de batería 710, un sensor de voltaje para medir el voltaje del sistema de batería 710 o en un paquete de batería incluido en el sistema de batería 710, un sensor de corriente para medir la corriente que fluye dentro y fuera del sistema de batería 710 o en un paquete de batería incluido en el sistema de batería 710, donde un paquete de batería incluye múltiples grupos

de celdas. Adicional o alternativamente, los sensores 733 pueden medir propiedades de celdas individuales y grupos de celdas para introducir redundancia adicional en el sistema 700 para mejorar su fiabilidad y seguridad globales.

5 En algunas realizaciones, el sistema de evaluación de fallas 737 es operable para recopilar información de estado de celda desde los CMDs 720 y, si tal información de estado de celda incluye indicadores de falla, informar al sistema externo 740 que han surgido una o más fallas en el sistema de batería 710 y compartir datos de fallas relevantes con el sistema externo 740.

10 El sistema o dispositivo externo 740 es operable para recibir información de estado de celda desde el BMS 730, incluyendo los resultados del procesamiento realizado por el BMS 730, y procesar los datos recibidos para identificar posibles acciones correctivas. El sistema externo 740 puede estar en proximidad general al BMS 730, por ejemplo, una unidad de control de motor de vehículo u otro sistema en un vehículo eléctrico, o estar remoto, por ejemplo, un servidor de IOT.

15 En algunas realizaciones, el sistema de evaluación de fallas 737 analiza la información de estado de celda recibida para confirmar las fallas detectadas por el CMD 720. Por ejemplo, si el CMD 720 comparte información redundante con respecto a las fallas identificadas, como se describe por ejemplo con referencia a la Figura 6, el BMS 730 garantiza que los datos redundantes con respecto a una falla particular coincidan, antes de confirmar la falla. Adicional o alternativamente, el CMD 720 puede realizar un análisis independiente de los datos de falla recibidos usando uno o más modelos de celda correspondientes para confirmar una falla respectiva identificada por uno o más CMDs 720.

20 Adicional o alternativamente, el sistema de evaluación de fallas 737 es operable para comparar la información de estado de celdas recibida desde múltiples CMDs para realizar una o más de: confirmar fallas, clasificar fallas, identificar fuentes de fallas, o evaluar el comportamiento de diferentes grupos de celdas para identificar fallas. El sistema de evaluación de fallas 737 puede usar las mismas técnicas que se describen con referencia a las Figuras 4 a 6 y CMD 400 y 600, y su FDS respectivamente, y es capaz de evaluar mediciones obtenidas en diversos grupos de celdas 712 individualmente o en combinación. En algunas realizaciones, el sistema de evaluación de fallas 737 es operable para realizar un análisis de fallas a nivel de BMS para determinar fallas comparando los resultados para un único grupo de celdas con los resultados para otros grupos de celdas dentro del sistema de batería 710 que experimentan el mismo estímulo.

30 La Figura 8 es una ilustración esquemática de una disposición de sistema 800 para monitorizar el estado de uno o más sistemas de batería, de acuerdo con algunas realizaciones. El sistema 800 incluye una pluralidad de sistemas 700_i a 700_M de la Figura 7. Cada sistema 700_i incluye un BMS correspondiente 730_i y una pluralidad de CMDs 720, y monitoriza el estado de un sistema de batería correspondiente, o un paquete de batería dentro de un sistema de batería.

35 El sistema 800 también incluye servicio en la nube de IOT 850 para procesar fallas con base en la información proporcionada por BMS 730_i a BMS 730_M. Los servicios en la nube de IOT 850 incluyen una base de datos 852 para almacenar datos de fallas así como información relevante para la identificación de fallas, controlador de base de datos 858 para controlar la base de datos 852, tal como recuperación de datos por sistemas externos 840, sistema de evaluación de fallas 856 para evaluar datos de fallas y analizar fallas, incluyendo para identificar acciones correctivas, y sistema de comunicación de IOT 854 para permitir el intercambio de datos entre los sistemas 700_i a 700_M y los servicios en la nube de IOT 850 y los sistemas externos 840 y servicios en la nube de IOT 850. El servicio en la nube de IOT 850 mantiene el conocimiento del comportamiento esperado de muchas aplicaciones, y con ese entendimiento es capaz de sugerir acción correctiva para extender la longevidad de aplicación tal como un cambio en la especificación de NOA. El servicio en la nube de IOT 850 puede emplear técnicas de Inteligencia Artificial (IA), técnicas de aprendizaje automático, o ambas para evolucionar continuamente la base de datos de conocimiento.

45 En algunas realizaciones, el sistema 800 monitoriza el estado de un único sistema de batería donde cada sistema 700_i es responsable de monitorizar el estado de un respectivo paquete de batería en el sistema de batería. Esta disposición permite el procesamiento paralelo de mediciones de propiedades y detección de fallas por los CMDs 720 y BMS 730_i, proporcionando de esa manera información relevante de fallas a y alertando al sistema de evaluación de fallas 856 más rápido de lo que podría un único sistema 700. Esta disposición también permite que el sistema de evaluación de fallas 856 analice y compare datos de fallas en tres niveles diferentes: con base en las mediciones de propiedades obtenidas en el nivel de grupo de celdas, con base en los resultados de evaluación extraídos en el nivel de CMD (por ejemplo, en el nivel de CMD 400 o 600), y con base en resultados de evaluación extraídos en el nivel de BMS (por ejemplo, en el nivel de BMS 730). El sistema 800 puede aplicar el análisis de nivel de BMS, cuando la información recibida desde diferentes sistemas 700 es consistente, y moverse a verificar el análisis de nivel de CMD o el análisis de nivel de grupo de celdas cuando la información compartida por diferentes sistemas 700 difiere. El sistema 800 tiene conocimiento del rendimiento de todas las celdas, CMDs y BMSs, y de este modo es capaz de detectar fallas que no pueden ser identificadas por un único BMS en aislamiento. Esto permite una evaluación más eficiente por el sistema de evaluación de fallas 856 mientras que garantiza la seguridad y precisión cuando sea necesario.

En algunas realizaciones, el sistema 800 monitoriza el estado de múltiples sistemas de batería donde cada sistema 700_i es responsable de monitorizar el estado de un sistema de batería respectivo. Diferentes sistemas de batería pueden estar ubicados en diferentes ubicaciones y/o realizar diferentes tareas. Esta disposición permite que el sistema de evaluación de fallas 856 aplique y comparta conocimiento basado en el análisis de fallas realizado en diferentes sistemas de batería. Por ejemplo, si el sistema 800 monitoriza el estado de múltiples sistemas de batería del mismo tipo, la detección de fallas a través de todos de tales sistemas de batería se puede mejorar con base en la experiencia en uno o más de tales sistemas de batería. El sistema 800 puede emplear técnicas de aprendizaje automático o IA para mejorar la detección de fallas. Este enfoque también facilita la identificación de escenarios donde es apropiado el retiro de un tipo particular de sistema de batería e implementación del retiro.

La Figura 9 representa el diagrama 900 que muestra los modos de operación del BMS 1030 adaptado para trabajar con los CMDs descritos en esta divulgación, de acuerdo con algunas realizaciones. Las descripciones de BMS 430, 630, y 730 con respecto a las Figuras 4 a 8 son aplicables al BMS 1030, mientras que la descripción de CMD 400, 600, y 720 con respecto a las Figuras 4 a 8 es aplicable al CMD 1020. Las Figuras 10 y 11 muestran respectivamente los flujos de proceso 1000 y 1100 en sistemas para monitorizar el estado de sistemas de batería como se describe en esta divulgación e incluyendo un BMS con los modos de operación mostrados en la Figura 9, de acuerdo con algunas realizaciones.

Con referencia a la Figura 9, BMS 1030 es operable en tres modos: modo ENCENDIDO 910 (primer modo), modo de Suspensión Segura 920 (segundo modo), y modo de Suspensión Segura (sondeado) 930 (tercer modo).

Un estímulo externo activa el modo ENCENDIDO 910 en BMS 1030. Por ejemplo, si se usa un sistema de batería monitorizado por BMS 1030 en un vehículo eléctrico, al encender el conmutador de llave o encendido se proporciona un estímulo externo que activa el modo ENCENDIDO 910 en BMS 1030. Otro estímulo externo o retiro del estímulo original hace que BMS 1030 haga transición desde el modo ENCENDIDO 910 al modo de Suspensión Segura 920. En el ejemplo de vehículo eléctrico, al apagar el conmutador de llave o encendido se retira el estímulo original, haciendo de esa manera que BMS 1030 haga transición al modo de Suspensión Segura 920.

Mientras está en el modo de Suspensión Segura 920, el BMS 1030 no se opera y consume solo una potencia mínima. Repetidamente, el BMS 1030 se activa y hace transición desde el modo de Suspensión Segura 920 al modo de Suspensión Segura (sondeado) 930 para evaluar el estado del sistema de batería monitorizado con base en datos proporcionados por CMDs 1020. Tras completar la evaluación del sistema de batería monitorizado y realizar acciones relacionadas (por ejemplo, reportar a un sistema externo), el BMS 1030 hace transición de vuelta al modo de Suspensión Segura 920. El BMS 1030 puede activarse del modo de Suspensión Segura 920 periódicamente, a intervalos de tiempo regulares, por ejemplo, cada 15 minutos, intervalos de tiempo aleatorios, o intervalos de tiempo determinados con base en el estado de sistema de batería monitorizado. En el último escenario, el intervalo de tiempo puede, por ejemplo, disminuir a medida que las mediciones de celdas obtenidas se acercan a los límites de un SOA o NOA respectivo y aumentar a medida que las mediciones de celdas obtenidas se alejan de los límites de SOA o NOA o cuando las mediciones de celdas están bien dentro de los límites de SOA o NOA (por ejemplo, como se define por los umbrales respectivos).

En algunas realizaciones, se usa un estímulo externo para activar el primer modo de Suspensión Segura 920 o modo de Suspensión Segura (sondeado) 930, en lugar de activar el modo ENCENDIDO 910, en BMS 1030.

Modo ENCENDIDO

La Figura 10 ilustra los flujos de proceso entre los CMDs 1020, BMS 1030, sistemas externos 1040, y nube de IOT (Internet de las cosas) 1050, mientras el BMS 1030 está operando en modo ENCENDIDO 910. Cada CMD 1020 es un modo operativo. Esto significa que cada CMD 1020 mide repetidamente las propiedades de celdas (por ejemplo, temperatura y voltaje) de las celdas monitorizadas (etapa 1021), comparte (por ejemplo, transmite) las propiedades de celdas medidas con el BMS 1030 (etapa 1022), y evalúa las propiedades de celdas medidas para determinar fallas, si hay, en las celdas monitorizadas (etapa 1023). Si el CMD 1020 no determina ninguna falla en ninguna de las celdas monitorizadas, el CMD 1020 retorna a la etapa de medición 1021. Si el CMD 1020 determina una falla en una o más celdas monitorizadas, el CMD 1020 almacena localmente datos sobre la falla determinada, tal como un indicador de falla que indica que el CMD 1020 detectó una falla y la fecha de falla relacionada con la falla detectada, incluyendo una marca de tiempo que identifica cuándo el CMD 1020 detectó la falla y mediciones con base en las cuales se ha detectado la falla (etapa 1025). El CMD 1020 informa al BMS 1030 sobre la falla detectada (etapa 1029), por ejemplo transmitiendo un indicador de falla respectivo y datos de falla relacionados. Luego el CMD 1020 retorna a la etapa de medición 1021.

Como se muestra en la Figura 10, el CMD 1020 se comunica con BMS 1030 acerca de una falla detectada después de almacenar la información de falla relevante localmente en el CMD 1020 (tal como en el almacén de fallas 426 descrito con referencia a la Figura 4). El CMD 1020 puede realizar la etapa de información 1029

inmediatamente después de almacenar la etapa 1025 o con algún retraso. Cualquier enfoque desplaza en tiempo la detección de fallas por el BMS 1030 debido a que el BMS 1030 no se entera inmediatamente sobre el CMD 1020 que determina una falla.

5 En algunas realizaciones, el CMD 1020 se comunica con el BMS 1030 acerca de una falla inmediatamente después de determinar tal falla. En estas realizaciones, el CMD 1020 realiza la etapa de información 1029 antes de almacenar la etapa 1025, sin desplazamiento de tiempo.

10 En la etapa 1031, el BMS 1030 procesa las mediciones recibidas desde cada CMD 1020 para fallas independiente del análisis realizado por el CMD respectivo 1020. Adicional o alternativamente, BMS 1030 analiza las mediciones recibidas desde CMDs 1020 colectivamente usando mediciones obtenidas por múltiples CMDs, por ejemplo, comparando las mediciones recibidas desde un CMD 1020 contra las mediciones recibidas desde otros CMDs 1020, para determinar si se ha producido una falla detectada por el CMD 1020.

15 El BMS 1030 comunica las fallas determinadas y datos relacionados a los sistemas externos 1040 y/o a la nube de IOT 1050 (etapas 1033 y 1035 respectivamente). En algunas realizaciones, el BMS 1030 se comunica con los sistemas externos 1040 y/o nube de IOT 1050 con respecto a una falla detectada sin desplazamiento de tiempo, es decir, inmediatamente después de determinar que se ha producido una falla. En algunas otras realizaciones, el BMS 1030 desplaza en tiempo el uso compartido de datos con respecto a las fallas determinadas con los sistemas externos 1040, nube de IOT 1050, o ambos, es decir, hay un retraso entre BMS 20 1030 que determina una falla en el sistema de batería y que comunica información con respecto a tal falla a los sistemas externos 1040, nube de IOT 1050, o ambos. Por ejemplo, BMS 1030 puede compartir información sobre una falla determinada con sistemas externos 1040, nube de IOT 1050, o ambos solo después de que BMS 1030 almacene tal información localmente en BMS 1030. BMS 1030 también puede esperar a recibir una solicitud de una actualización de estado en el sistema de batería de los sistemas externos 1040, nube de IOT 1050, o ambos antes de compartir información sobre fallas detectadas en el sistema de batería.

25 El BMS 1030 también se comunica con los sistemas externos 1040, nube de IOT 1050, o ambos con respecto a las fallas determinadas por CMDs 1020 (etapas 1037 y 1039 respectivamente). En algunas realizaciones, el BMS 1030 se comunica con los sistemas externos 1040 y/o nube de IOT 1050 con respecto a una falla detectada por el CMD 1020 inmediatamente después de que el CMD 1020 transmita un indicador de falla y datos de falla relacionados al BMS 1030, sin desplazamiento de tiempo.

30 En algunas otras realizaciones, el BMS 1030 desplaza en tiempo las comunicaciones con los sistemas externos 1040 y/o nube de IOT 1050 con respecto las fallas detectadas por los CMDs 1020 al tener un retraso de tiempo entre recibir datos respectivos desde CMDs 1020 y transmitir tales datos a los sistemas externos 1040 y/o nube de IOT 1050. Por ejemplo, el BMS 1030 puede almacenar datos recibidos desde los CMDs 120 antes de pasarlos a los sistemas externos 1040 y/o nube de IOT 1050. Adicional o alternativamente, el BMS 1030 también puede comparar tales datos con su propio análisis de mediciones correspondientes recibidas desde 35 CMDs 1020 para verificar las fallas detectadas por CMDs 1020 antes de informar a los sistemas externos 1040 y/o nube de IOT 1050 sobre las fallas detectadas en el sistema de batería monitorizado.

40 Tras recibir datos con respecto a una falla detectada en los sistemas de batería monitorizados, los sistemas externos 1040 y nube de IOT 1050 identifican y efectúan una acción correctiva correspondiente (etapas 1041 y 1051 respectivamente). Retornando al ejemplo de vehículo eléctrico, un sistema externo en la forma de una unidad de gestión de vehículo puede hacer que se muestre una alerta en el tablero del vehículo o que se emita una advertencia audible que instruya al conductor que se dirija a un lugar seguro, y tras lo cual instruir al BMS que desconecte la batería de la fuente de potencia, tal como el tren de potencia. Una nube de IOT puede determinar una falla de peligro de degradación a través del análisis de datos desde múltiples sistemas de 45 batería. Por ejemplo, se puede determinar una falla debido a que el NOA se configura demasiado amplio para un tipo particular de celdas de batería analizando múltiples sistemas con diferentes perfiles de uso. La Nube de IOT puede entonces instruir al sistema externo en la forma de la unidad de gestión de vehículo que modifique el NOA de rendimiento de vehículo, al BMS que cambie su NOA, y a los CMDs de celdas que cambien su NOA.

50 Los CMDs 1020, BMS 1030, sistemas externos 1040, y nube de IOT 1050 pueden usar diferentes datos para determinar o confirmar fallas en celdas monitorizadas. Por ejemplo, BMS 1030 puede usar datos recibidos desde múltiples CMDs para confirmar o determinar fallas en celdas monitorizadas por uno de los CMDs, mientras que el sistema externo 1040 o nube de IOT 1050 pueden usar datos recibidos desde múltiples BMSs que monitorizan diferentes baterías. En algunas circunstancias, mientras que CMD 1020 puede detectar una falla en una o más celdas monitorizadas, BMS 1030, sistema externo 1040, o nube de IOT pueden llegar a una conclusión diferente con base en datos recopilados en relación con otras celdas, tales como celdas vecinas. 55 Por el contrario, mientras que el CMD 1020 puede no detectar ninguna falla en una o más celdas monitorizadas, el BMS 1030, sistema externo 1040, o nube de IOT 1050 pueden llegar a una conclusión diferente con base en los datos recopilados en relación con otras celdas, tales como celdas vecinas. Por ejemplo, el BMS 1030, sistema externo 1040, o nube de IOT 1050 pueden detectar una falla en ciertas celdas tras enterarse de que un comportamiento particular exhibido por las celdas monitorizadas como se evidencia por las mediciones 60 obtenidas en las celdas monitorizadas por el CMD correspondiente ha llevado a una falla en celdas similares

anteriormente, a pesar de que las mediciones de celdas estaban dentro de un SOA o NOA correspondiente. En algunas realizaciones, el BMS 1030, sistema externo 1040, o nube de IOT 1050 transmiten los datos respectivos de vuelta al CMD 1020 para actualizar el historial almacenado localmente de fallas detectadas en las celdas monitorizadas respectivas.

5 Modo de suspensión segura

La Figura 11 ilustra los flujos de procesos entre CMDs 1020, BMS 1030, sistemas externos 1040, y nube de IOT 1050 mientras BMS 1030 está operando en el modo ENCENDIDO de Suspensión Segura 920 y en el Modo de Suspensión Segura (sondeado) 930. Las acciones tomadas mientras BMS 1030 está en el modo de Suspensión Segura 920 se representan arriba del separador 1160 mientras que las acciones tomadas mientras BMS 1030 está en el modo de Suspensión Segura (sondeado) se representan debajo del separador 1160.

El modo de Suspensión Segura 920 es un estado de ahorro de potencia del BMS 1030. Mientras está en modo de Suspensión Segura, el BMS 1030 no se opera y consume solo una potencia mínima. Por lo tanto, el BMS 1030 no se comunica con los CMDs 1020, sistemas externos 1040, o nube de IOT 1050.

Mientras el BMS 1030 está en modo de Suspensión Segura 920, cada CMD 1020 está en un modo de monitorización de suspensión (también denominado como un modo de monitorización). En este modo, el CMD 1020 continúa midiendo repetidamente las propiedades de celdas (por ejemplo, temperatura y voltaje) de las celdas monitorizadas (etapa 1121) y evalúa las propiedades de celdas medidas para determinar fallas, si hay, en las celdas monitorizadas (etapa 1123). Sin embargo, el CMD 1020 realiza tales acciones generalmente con menos frecuencia mientras está en el modo de monitorización de suspensión que mientras está en el modo operativo. El CMD 1020 puede medir diferentes propiedades de celdas monitorizadas con diferentes frecuencias mientras está en el modo operativo y reducir tales frecuencias a diferentes niveles mientras está en el modo de monitorización de suspensión. Esto permite que el CMD 1020 continúe recopilando mediciones suficientes para determinar fallas si cualquiera surge en las celdas monitorizadas, mientras que reduce el consumo de potencia mediante CMD 1020.

Por ejemplo, CMD 1020 puede medir el voltaje de un grupo monitorizado de celdas cada 10 milisegundos (es decir, con una frecuencia de 100 Hz) mientras está en el modo operativo, y cada 500 milisegundos (es decir, con una frecuencia de 2 Hz) mientras está en el modo de monitorización de suspensión. Como otro ejemplo, el CMD 1020 puede medir la temperatura de un grupo de celdas monitorizadas o celdas individuales cada 1 segundo (es decir, con una frecuencia de 1 Hz) mientras está en el modo operativo, y continuar midiendo la temperatura del grupo de celdas monitorizadas o celdas individuales cada 1 segundo (es decir, con una frecuencia de 1 Hz) mientras está en el modo de monitorización de suspensión.

Similar a CMD 400 y 600, la frecuencia con la cual CMD 1020 mide diversas propiedades de celdas monitorizadas puede ser configurable. Por ejemplo, la frecuencia puede ajustarse en respuesta a las mediciones obtenidas en las celdas monitorizadas (por ejemplo, voltaje, corriente, temperatura, presión, etc.), un estado detectado de las celdas monitorizadas, tendencias de medición exhibidas por las celdas monitorizadas, uso previsto de las celdas monitorizadas, un estado de salud de las celdas monitorizadas, etc.

Similar al modo operativo, si el CMD 1020 no determina ninguna falla en ninguna de las celdas monitorizadas, el CMD 1020 retorna a la etapa de medición 1121. Si el CMD 1020 determina una falla en una o más celdas monitorizadas, el CMD 1020 almacena datos con respecto a la falla detectada localmente en el CMD 1020 para posterior transmisión al BMS 1030. Tales datos comprenden un indicador de falla y datos de falla relacionados, incluyendo una marca de tiempo que indica cuándo la falla fue detectada por el CMD 1020. Los datos de falla también pueden incluir mediciones (directas, derivadas, o ambas) con base en las cuales el CMD 1020 detectó la falla. Después de almacenar datos con respecto a la falla detectada, el CMD 1020 retorna a la etapa de medición 1121.

Pueden surgir múltiples fallas en celdas monitorizadas, casi simultáneamente o a lo largo del tiempo, mientras BMS 1030 está en Modo de Suspensión Segura 920. La información con respecto a todas de tales fallas múltiples se guarda mediante CMDs respectivos 1020 en el almacenamiento local, tal como el Almacén de Fallas 426 o 626, para una comunicación posterior a BMS 1030.

Modo de suspensión segura (sondeado)

Repetidamente (por ejemplo, periódicamente), el BMS 1030 se activa y hace transición del modo de Suspensión Segura 920 al modo de Suspensión Segura (sondeado) 930 para evaluar el estado del sistema de batería monitorizado (etapa 1131). En algunas realizaciones, el modo de Suspensión Segura (sondeado) 930 se inicia en el BMS 1030, en lugar del modo ENCENDIDO 910, cuando se enciende el BMS 1030.

Una vez en el modo de Suspensión Segura (sondeado) 930, el BMS 1030 informa a CMDs 1020 en consecuencia, por ejemplo, enviando una señal de activación respectiva a los CMDs 1020 (etapa 1133) para hacer que los CMDs 1020 hagan transición desde el modo de monitorización seguro al modo operativo. Los

CMDs 1020 pueden informar al BMS 1030 que han hecho transición al modo operativo enviando una señal correspondiente (etapa 1126).

En la etapa 1135, el BMS 1030 solicita a cada CMD 1020 que comparta datos relacionados con fallas detectadas por el CMD 1020, mediciones obtenidas por CMDs 1020, o ambos. El BMS 1030 puede solicitar a CMDs 1020 que compartan datos relacionados con fallas detectadas por CMDs 1020 durante el intervalo de modo de Suspensión Segura más reciente, durante un cierto número de intervalos de modo de Suspensión Segura precedentes, o un período de tiempo particular. El BMS 1030 también puede solicitar a los CMDs 1020 que compartan datos relacionados con todas las fallas detectadas por CMDs 1020, es decir, el historial completo de fallas detectadas por los CMDs 1020. Para los mismos períodos de tiempo, el BMS 1030 puede solicitar a los CMDs 1020 que compartan mediciones obtenidas por los CMDs 1020 en las celdas correspondientes, cualquier medición derivada, o ambos.

En respuesta, cada CMD 1020 recupera los datos respectivos de un almacén de fallas local correspondiente (etapa 1127) y transmite tales datos al BMS 1030 (etapa 1129). El CMD 1020 puede procesar los datos recuperados antes de transmitir tales datos al BMS 1030, por ejemplo para comprimir o encriptar los datos antes de la transmisión. El CMD 1020 almacena información de temporización (por ejemplo, en la forma de marcas de tiempo) en asociación con las mediciones y fallas, donde la información de temporización indica cuándo fueron obtenidas las mediciones, y fueron detectadas las fallas. Por lo tanto, el CMD 1020 es capaz de recuperar datos que corresponden a cualquier intervalo de tiempo deseado usando la información de temporización indicada por las marcas de tiempo.

Una vez que los CMDs 1020 transmiten los datos solicitados al BMS 1030, los CMDs 1020 continúan operando en el modo operativo como se describe con referencia a la Figura 10, hasta que el BMS 1030 envía una señal de suspensión (etapa 1130), lo cual hace que los CMDs 1020 hagan transición al modo de monitorización de suspensión. En algunas realizaciones, en lugar de que el BMS 1030 y CMDs 1020 intercambien señales de activación y suspensión, el BMS 1030 y CMDs 1020 hacen transición entre los respectivos modos de acuerdo con un programa predefinido o a intervalos regulares.

En las etapas 1137 y 1139 el BMS 1030 comunica los datos recibidos desde CMDs 1020 con respecto a las fallas detectadas a sistemas externos 1040 y/o a la nube de IOT 1050, respectivamente. En algunas realizaciones, el BMS 1030 lo hace así inmediatamente tras recibir los datos respectivos, sin desplazamiento de tiempo. En algunas otras realizaciones, el BMS 1030 desplaza en tiempo las comunicaciones con los sistemas externos 1040 y/o nube de IOT 1050 con respecto a las fallas detectadas por los CMDs 1020. Por ejemplo, el BMS 1030 puede almacenar datos recibidos desde los CMDs 1020 para recuperación posterior y pasar tales datos a los sistemas externos 1040 y/o nube de IOT 1050.

Adicional o alternativamente, el BMS 1030 puede analizar las mediciones recibidas de cada CMD 1020 para fallas independiente del análisis por el CMD respectivo 1020 y comparar los resultados de tal análisis con información proporcionada por CMDs 1020 para verificar las fallas y condiciones de fallas detectadas por los CMDs 1020 antes de comunicarse con los sistemas externos 1040 y/o nube de IOT 1050 acerca de las fallas detectadas en las celdas monitorizadas. El BMS 1030 también puede analizar las mediciones recibidas desde los CMDs 1020 de manera colectiva, usando mediciones obtenidas por múltiples CMSs, por ejemplo comparando las mediciones recibidas desde un CMD 1020 contra las mediciones recibidas desde otros CMDs 1020.

Al recibir datos con respecto a fallas detectadas en las celdas de batería monitorizadas, los sistemas externos 1040 y nube de IOT 1050 identifican y efectúan acciones correctivas correspondientes (etapas 1141 y 1151 respectivamente).

En los sistemas conocidos, un operador que arranca un vehículo con un sistema de batería monitorizado por un BMS, enciende un BMS, lo cual hace que el BMS realice un número de verificaciones en el sistema de batería monitorizado (por ejemplo, para confirmar que las mediciones de celdas están dentro de un SOA respectivo) antes de cerrar un relé de sistema de batería para conectar el sistema de batería monitorizado a una fuente de potencia, tal como un cargador, o una carga tal como un tren de potencia. Sin embargo, en tales sistemas, el BMS solo tiene conocimiento de las mediciones tomadas cuando están siendo realizadas las verificaciones, y de este modo puede no ser consciente de que una celda o celdas particular experimentaron una falla. Por ejemplo, aunque una celda particular puede tener todas sus mediciones dentro del SOA en el tiempo de la verificación, podría haber tenido mediciones que cayeron fuera del SOA en algún punto en el tiempo antes de que se iniciara el vehículo o el otro sistema (por ejemplo, un pico o caída de temperatura o voltaje), lo cual indica que la celda experimentó una falla. Sin embargo, si el BMS no es consciente de tales mediciones, el BMS procederá con cerrar el relé de sistema de batería, facilitando de esa manera el desarrollo de la falla respectiva.

De acuerdo con la presente divulgación, como se describe por ejemplo con referencia a las Figuras 4 a 11, los CMDs detectan fallas independiente de su BMS, almacenan datos relevantes localmente en los CMDs, y ponen tales datos históricos a disposición de un BMS, tal como cuando el BMS hace transición al modo ENCENDIDO

o al modo de Suspensión Segura (sondeado). Retornando al escenario de vehículo eléctrico anterior, un operador que arranca un vehículo, que tiene una batería eléctrica que comprende grupos de celdas, teniendo cada grupo de celdas un CMD de esta divulgación, enciende un BMS. En esa etapa, el BMS es capaz de acceder a las mediciones de celdas obtenidas en el sistema de batería no solo en el momento en que se enciende el BMS, sino también a las mediciones de celdas obtenidas en momentos anteriores a que se encienda el BMS. Esto incluye cualquier falla detectada por los CMDs antes de que se encienda el BMS. De este modo, a diferencia de los sistemas conocidos y de acuerdo con la presente divulgación, el BMS es capaz de tomar una acción correctiva inmediata en respuesta a celdas que experimentan una falla algún tiempo antes de que se encienda el BMS, tal como no cerrar el relé al tren de potencia y no permitir que el vehículo arranque. De esta manera, se pueden evitar fallas catastróficas.

La Figura 12 representa el diagrama 1200 que muestra los modos de operación del BMS 1330 adaptados para trabajar con CMDs descritos en esta divulgación, de acuerdo con algunas realizaciones. Las descripciones de BMS 430, 730, y 1030 con respecto a las Figuras 4 a 11 son aplicables al BMS 1030, con la excepción de las diferencias discutidas con referencia a las Figuras 12 a 14.

Las Figuras 13 y 14 muestran flujos de proceso 1200 y 1300 en sistemas para monitorizar el estado de paquetes de baterías o sistemas de baterías como se describe en esta divulgación y que incluye un BMS con los modos de operación que se muestran en la Figura 12, de acuerdo con algunas realizaciones. Las Figuras 12, 13, y 14 se describen con referencia al BMS 1330 que monitoriza el estado de un sistema de batería. Esta descripción se aplica de manera similar a un escenario donde se emplean múltiples BMS 1330 para monitorizar el estado de un sistema de batería, monitorizando cada BMS 1330 el estado de un subconjunto de celdas que forman el sistema de batería, tal como un paquete de baterías.

Con referencia a la Figura 12, BMS 1330 es operable en cuatro modos: modo ENCENDIDO 1210 (primer modo), modo de Suspensión Segura 1220 (segundo modo), modo de Suspensión Segura (sondeado) 1230 (tercer modo), y modo de Suspensión Segura (alerta) 1240 (cuarto modo).

Un estímulo externo activa el modo ENCENDIDO 1210 en BMS 1030. Por ejemplo, si BMS 1330 monitoriza un sistema de batería en un vehículo eléctrico, encender el conmutador de llave o encendido proporciona un estímulo externo que activa el modo ENCENDIDO 1210 en BMS 1330. Otro estímulo externo o retiro del estímulo original hace transición el BMS 1330 desde el modo ENCENDIDO 1210 al modo de Suspensión Segura 1220. En el ejemplo de vehículo eléctrico, apagar el conmutador de llave o encendido retira el estímulo original, haciendo de esa manera que BMS 1330 haga transición al modo de Suspensión Segura 1220. Mientras está en el modo de Suspensión Segura 1220, BMS 1330 no se opera y consume solo una potencia mínima.

Repetidamente (por ejemplo, periódicamente) el BMS 1330 se activa y hace transición desde el modo de Suspensión Segura 1220 al modo de Suspensión Segura (sondeado) 1230 para evaluar el estado del sistema de batería monitorizado o del paquete de batería con base en los datos proporcionados por los CMDs 1320. En algunas realizaciones, el modo de Suspensión Segura (sondeado) 1230 se inicia en el BMS 1330, en lugar del modo ENCENDIDO 1210, cuando se enciende el BMS 1330.

Tras completar la evaluación del sistema de batería monitorizado y realizar las acciones relacionadas, el BMS 1330 hace transición al modo de Suspensión Segura 1220. El BMS 1330 puede activarse del modo de Suspensión Segura 1220 a intervalos de tiempo regulares, por ejemplo, cada N minutos (por ejemplo, 15 minutos) o cada M horas (por ejemplo, 3-4 horas), intervalos de tiempo aleatorios, o intervalos de tiempo determinados con base en el estado del sistema de batería monitorizado. Por ejemplo, el intervalo de tiempo puede disminuir a medida que las mediciones de celdas obtenidas se acercan a los límites de un SOA o NOA respectiva y aumentar, hasta un límite de tiempo predefinido, a medida que las mediciones de celdas obtenidas se mueven más lejos de los límites de SOA o NOA o cuando están dentro de los límites del SOA o NOA.

El BMS 1330 hace transición al modo de Suspensión Segura (alerta) 1240 desde el modo de Suspensión Segura 1210 cuando el BMS 1330 recibe una señal de alerta desde el CMD 1320 que indica que el CMD 1320 detectó una falla en una o más celdas monitorizadas. En algunas realizaciones, el CMD 1320 transmite tal alerta al BMS 1330 solo cuando detecta una falla de un tipo predeterminado, por ejemplo, una falla que tiene el nivel de gravedad de peligro inmediato.

Una vez en el modo de Suspensión Segura (alerta) 1240, el BMS 1330 evalúa el estado del sistema de batería monitorizado con base en los datos proporcionados por los CMDs 1320 y realiza acciones relacionadas, tales como comunicarse con los sistemas externos 1340 y/o nube de IOT 1350 en relación con las fallas detectadas. El BMS 1330 puede luego retornar al modo de Suspensión Segura 1020.

Modo ENCENDIDO

Mientras que BMS 1330 está en modo ENCENDIDO 1210, los CMDs 1320, BMS 1330, sistemas externos 1340, y nube de IOT 1350 operan de la misma manera que los CMDs 1020, BMS 1030, sistemas externos 1040, y nube de IOT 1050 respectivamente, mientras que BMS 1030 está en Modo ENCENDIDO 910. La descripción detallada proporcionada con referencia a las Figuras 9, 10, y 11 en relación con el modo

ENCENDIDO 910 se aplica por lo tanto a los CMDs 1320, BMS 1330, sistemas externos 1340, y nube de IOT 1350 y no se repite.

Modo de suspensión segura (sondeado)

5 Mientras que BMS 1330 está en modo de Suspensión Segura (sondeado) 1230, los CMDs 1320, BMS 1330, sistemas externos 1340, y nube de IOT 1350 operan generalmente de la misma manera que los CMDs 1020, BMS 1030, sistemas externos 1040, y nube de IOT 1050 respectivamente, mientras que BMS 1030 está en modo de Suspensión Segura (sondeado) 930. La descripción detallada proporcionada con referencia a las Figuras 9, 10, y 11 en relación con el modo de Suspensión Segura (sondeado) 930 se aplica por lo tanto a los CMDs 1320, BMS 1330, sistemas externos 1340, y nube de IOT 1350 y no se repite.

10 Modo de suspensión segura

Mientras que BMS 1330 está en modo de Suspensión Segura 1220, los CMDs 1320, BMS 1330, sistemas externos 1340, y nube de IOT 1350 generalmente operan de la misma manera que los CMDs 1020, BMS 1030, sistemas externos 1040, y nube de IOT 1050 respectivamente, mientras que BMS 1030 está en modo de Suspensión Segura 920. La descripción detallada proporcionada con referencia a las Figuras 9, 10, y 11 en relación con el modo de Suspensión Segura 920 se aplica por lo tanto a los CMDs 1320, BMS 1330, sistemas externos 1340, y nube de IOT 1350 y no se repite.

20 Mientras que el BMS 1330 está en modo de Suspensión Segura 920, el CMD 1320 está en un modo de monitorización de suspensión como el CMD 1020 descrito con referencia a las Figuras 9 a 11 y es operable para realizar acciones similares. Adicionalmente y a diferencia del CMD 1020, el CMD 1320 también es operable para emitir y transmitir una señal de alerta al BMS 1330 indicando que una o más celdas monitorizadas experimentaron una falla, tras determinar tal falla. En respuesta a recibir la señal de alerta, el BMS 1330 se activa y hace transición desde el modo de Suspensión Segura 1220 a Suspensión Segura (modo de alerta) 1240.

25 Las Figuras 13 y 14 ilustran los flujos de procesos entre los CMDs 1320, BMS 1330, sistemas externos 1340, y nube de IOT 1350 mientras el BMS 1330 está en modo de Suspensión Segura 1220 y en Modo de Suspensión Segura (alerta) 1230. Las acciones tomadas mientras el BMS 1330 está en modo de Suspensión Segura 1220 se representan encima del separador 1360, mientras que las acciones tomadas mientras el BMS 1330 está en modo de Suspensión Segura (alerta) se representan debajo del separador 1360.

30 Como modo de Suspensión Segura 920, modo de Suspensión Segura 1220 es un estado de ahorro de potencia del BMS 1330. Mientras está en el modo de Suspensión Segura 1220, el BMS 1330 no se opera y consume solo una potencia mínima. Por lo tanto, el BMS 1330 no se comunica con los CMDs 1320, sistemas externos 1340, o nube de IOT 1350. Sin embargo, a diferencia del BMS 1030 de las Figuras 10 y 11, el BMS 1330 es operable para recibir señales de alerta desde los CMDs 1320 mientras está en el modo de Suspensión Segura 1220.

35 Similar a los CMDs 1020, cada CMD 1320 está en un modo de monitorización de suspensión mientras que el BMS 1330 está en el modo de Suspensión Segura 1220. En este modo, el CMD 1320 continúa midiendo repetidamente las propiedades de celdas (por ejemplo, temperatura y voltaje) de las celdas monitorizadas (etapa 1321) y evalúa las propiedades de celdas medidas para determinar fallas, si hay, en las celdas monitorizadas (etapa 1323). Si el CMD 1320 no determina ninguna falla en ninguna de las celdas monitorizadas, el CMD 1320 retorna a la etapa de medición 1321. Si el CMD 1320 determina una falla en una o más celdas monitorizadas, el CMD 1320 almacena datos con respecto a la falla detectada localmente en el CMD 1320 (etapa 1325).

45 A diferencia de los CMDs 1020, el CMD 1320 emite y transmite una señal de alerta al BMS 1330 para indicar que el CMD 1320 determinó una falla en una o más celdas monitorizadas (etapas 1324, 1424). La diferencia entre la etapa 1324 mostrada en la Figura 13 y la etapa 1424 mostrada en la Figura 14 es que, en la etapa 1324, el CMD 1320 transmite solo una señal de alerta, mientras que en la etapa 1424, el CMD 1320 también transmite un indicador de falla correspondiente y datos relacionados con la falla determinada, incluyendo una marca de tiempo relevante. Una señal de alerta en las etapas 1324 y 1424 puede tomar la forma de un único bit, o incluir datos adicionales relacionados con la falla determinada, por ejemplo, indicar un nivel de gravedad de la falla detectada. En la etapa 1424, el indicador de falla puede servir como la señal de alerta, sin que se transmita una señal de alerta separada.

50 En algunas realizaciones, el CMD 1320 emite una señal de alerta solo si el nivel de gravedad de una falla determinada es un peligro inmediato, mientras que con fallas de otros niveles de gravedad, el CMD 1320 opera como el CMD 1020.

55 El BMS 1330 es operable para recibir señales de alerta desde los CMDs 1320 y hacer transición desde el modo de Suspensión Segura 1220 al modo de Suspensión Segura (alerta) 1240 tras recibir tal señal. En algunas realizaciones, el BMS hace transición desde el modo de Suspensión Segura 1220 al modo de Suspensión

Segura (alerta) 1240 solo si una señal de alerta recibida indica que el nivel de gravedad de una falla detectada es un peligro inmediato. En estas realizaciones, cuando una señal de alerta recibida no se relaciona con una falla de peligro inmediato, el BMS 1330 retrasa las comunicaciones adicionales con los CMDs 1320 hasta que el BMS 1330 hace transición al modo de Suspensión Segura (sondeado).

5 Modo de suspensión segura (alerta)

Con referencia a la Figura 13, tras hacer transición al modo de Suspensión Segura (alerta) 1240, el BMS 1330 solicita al CMD 1320, desde el cual el BMS 1330 recibió la señal de alerta, que comparta datos con respecto a la falla detectada (etapa 1333). El BMS 1330 también puede solicitar al CMD 1320 que comparta datos relacionados con fallas detectadas por el CMD 1320 durante el intervalo de modo de Suspensión Segura más reciente, durante un cierto número de intervalos de modo de Suspensión Segura precedentes, o cualquier período de tiempo deseado. El BMS 1330 puede solicitar datos relacionados con todas las fallas detectadas por el CMD 1320, es decir, todo el historial de fallas almacenado en el CMD 1320. De manera similar, el BMS 1330 puede solicitar al CMD 1320 que comparta mediciones obtenidas por el CMD 1320 en sus celdas monitorizadas durante cualquier período de tiempo deseado.

A medida que el BMS hace transición al modo de Suspensión Segura (alerta), el CMD 1320 hace transición desde el modo de monitorización de suspensión al modo operativo. El CMD 1320 puede hacer transición al modo operativo de manera independiente, al enviar la señal de alerta al BMS 1330 o tras recibir un comando respectivo desde el BMS 1330, o una solicitud de datos (datos de falla, mediciones que no dieron como resultado la detección de una falla, o ambos) desde el BMS 1330. En algunas realizaciones, el BMS 1330 envía una señal de activación al CMD 1320 tras hacer transición al modo de Suspensión Segura (alerta) 1240 para hacer que el CMD 1320 haga transición al modo operativo.

En respuesta a la solicitud recibida para de datos desde el BMS 1330, el CMD 1320 recupera los datos respectivos desde un almacén de fallas local correspondiente (etapa 1327) y transmite tales datos a BMS 1330 (etapa 1329). Como CMD 1320 almacena información de temporización, tal como marcas de tiempo, que indican cuándo fueron obtenidas las mediciones y fueron detectadas las fallas, el CMD 1320 puede recuperar datos de fallas y mediciones que corresponden a cualquier intervalo de tiempo deseado usando la información de temporización.

El CMD 1320 puede procesar los datos recuperados antes de transmitir tales datos a BMS 1330, por ejemplo, para comprimir o encriptar los datos antes de la transmisión.

Una vez que el CMD 1320 transmite los datos solicitados al BMS 1330, el CMD 1320 continúa operando en el modo operativo como, por ejemplo, se describe con referencia a las Figuras 10 y 11 y al CMD 1020, hasta que el BMS 1030 envía una señal de suspensión, lo cual hace que los CMDs 1320 retornen al modo de monitorización de suspensión.

En las etapas 1337 y 1339, el BMS 1030 comunica los datos recibidos desde el CMD 1320 con respecto a las fallas detectadas y/o las mediciones tomadas en las celdas monitorizadas por el CMD 1320 a los sistemas externos 1340 y/o nube de IOT 1350, respectivamente. En algunas realizaciones, el BMS 1330 lo hace así inmediatamente tras recibir los datos respectivos, sin desplazamiento de tiempo.

En algunas otras realizaciones, el BMS 1330 desplaza en tiempo las comunicaciones con los sistemas externos 1340 y/o nube de IOT 1350 con respecto a la falla detectada por el CMD 1320. Por ejemplo, el BMS 1330 puede almacenar primero los datos recibidos desde el CMD 1320 para recuperación posterior y paso de tales datos a sistemas externos 1340 y/o nube de IOT 1350. En algunas realizaciones, el BMS 1330 transmite datos con respecto a las fallas detectadas en el sistema de batería monitorizado a los sistemas externos 1340 y/o nube de IOT 1350 tras recibir una solicitud respectiva desde los sistemas externos 1340 y/o nube de IOT 1350.

En algunas realizaciones, tras recibir una señal de alerta desde un CMD 1320 y hacer transición al modo de Suspensión Segura (alerta) 1240, el BMS 1330 transmite una señal de activación a los CMDs restantes 1320 para que hagan transición al modo operativo. Esto hace que los CMDs restantes 1320 compartan sus datos con respecto a cualquier falla detectada en las celdas correspondientes. El BMS 1330 puede analizar entonces las mediciones recibidas desde los CMDs 1320 de manera colectiva, por ejemplo comparando las mediciones recibidas desde el CMD 1320 que emitió la señal de alerta contra las mediciones relevantes recibidas desde los CMDs restantes 1320 para verificar la falla detectada por el CMD 1320 que emitió la señal de alerta. Adicional o alternativamente, BMS 1330 puede analizar las mediciones recibidas desde cada CMD 1320 para fallas independiente del análisis por el CMD respectivo 1320 y comparar los resultados de tal análisis con la información proporcionada por los CMDs 1320 con respecto a las fallas detectadas para verificar las fallas y condiciones de fallas detectadas por los CMDs 1320.

Tras recibir datos con respecto a las fallas detectadas en las celdas de batería monitorizadas, los sistemas externos 1340 y nube de IOT 1350 identifican y efectúan las acciones correctivas correspondientes (etapas 1341 y 1351 respectivamente). Como los sistemas externos 1340 y nube de IOT 1350 reciben datos desde múltiples BMSs, y de este modo tienen un mayor número de puntos de datos, son capaces de identificar causas

sistemáticas de fallas y diferenciarlas de fallas aleatorias con mayor precisión que los respectivos BMSs. El BMS 1330 usualmente solo tendría conocimiento del comportamiento de un paquete de baterías que el BMS 1330 monitoriza. Una falla de comportamiento puede afectar a todas las celdas en ese paquete y podría ser activada por un problema sistemático en todas las celdas en un lote fabricado respectivo. Debido a que todas las celdas en el paquete de baterías se comportan de la misma forma, el BMS 1330 no tiene datos que permitirían al BMS 1330 identificar el comportamiento de celda como incorrecto. Sin embargo los sistemas externos 1340 y nube de IOT 1350 son capaces de comparar el comportamiento con otros paquetes similares, y de este modo identificar cualquier comportamiento errante.

Por ejemplo, un lote completo de celdas, debido a un defecto de fabricación, tiene una resistencia interna que aumenta con el tiempo. Eventualmente, la resistencia interna llevará a una falla en un paquete de baterías. Debido a que todas las celdas en el paquete de baterías tienen el mismo problema, la resistencia interna de paquete aumenta lentamente con el tiempo, pero no de una manera que genere preocupación. Sin embargo, cuando se compara con otros paquetes fabricados en un tiempo diferente el aumento en la resistencia interna se verá como inusual, y de este modo indicativo de una falla. Esta comparación se realiza mejor en una ubicación común a múltiples paquetes de baterías, tales como en sistemas externos 1340 o nube de IOT 1350.

Tras identificar un comportamiento inusual de ciertos paquetes de baterías, la Nube de IOT 1350 puede informar al sistema externo 1340. El sistema externo 1340 puede una observación similar y decidir retirar los paquetes de baterías en cuestión de operación, o reducir su ciclo de trabajo para reducir la degradación, o simplemente notificar al operador relevante.

Los flujos de proceso de la Figura 14 difieren de los flujos de proceso de la Figura 13 en que, de acuerdo con la Figura 14, el CMD 1320 transmite datos relacionados con una falla detectada por el CMD 1320 además de una señal de alerta con respecto a la falla detectada (etapa 1424). Dado que el BMS 1330 recibe datos relevantes a la falla determinada junto con la señal de alerta, el BMS 1330 no necesita solicitar tales datos del CMD 1320. Las etapas restantes en la Figura 14 son las mismas que las etapas correspondientes de la Figura 13, y de este modo su descripción no se repite.

La Figura 15 representa un diagrama de flujo de método 1500 para monitorizar el estado de un grupo de celdas, de acuerdo con algunas realizaciones. Aunque se describe con referencia a CMD 400 y BMS 430 cualquiera de las variaciones de CMD y BMS descritas a lo largo de esta solicitud puede estar involucrada en el método 1500, tal como CMD 600, 720, 1020, o 1320 y BMS 630, 730, 1030, o 1330, y se describen con referencia a las Figuras 4 a 14.

El grupo de celdas incluye una o más celdas. En algunas realizaciones, el grupo de celdas incluye una única celda, o una pluralidad de celdas conectadas en paralelo.

El CMD 400 es operable para monitorizar el estado del grupo de celdas, incluyendo para cualquier falla que surja en una o más celdas del grupo de celdas, midiendo una o más propiedades de una o más celdas en el grupo de celdas o del grupo de celdas en conjunto, o ambos. El CMD 400 puede ser operable para medir propiedades eléctricas, físicas, o químicas de una o más celdas o del grupo de celdas, o cualquier combinación de las mismas, usando los sensores correspondientes. El CMD 400 también puede ser operable para medir propiedades del entorno que rodea al grupo de celdas usando uno o más sensores correspondientes y usar tales mediciones al evaluar las mediciones obtenidas en el grupo de celdas para fallas potenciales.

El CMD 400 es local en el grupo de celdas. Por ejemplo, el CMD 400 puede estar unido al grupo de celdas, incorporado con el grupo de celdas (por ejemplo, incorporado con una alojamiento que aloja al grupo de celdas), integrado con o dentro de una celda en el grupo de celdas, o conectado de otro modo al grupo de celdas para monitorizar el estado de celdas en el grupo de celdas.

En la etapa 1505, el CMD 400 recibe una o más mediciones obtenidas en el grupo de celdas por uno o más sensores. Como se discute, por ejemplo, con referencia a las Figuras 4 a 6, el CMD 400 puede emplear un sistema de sensores que incluya diferentes elementos de detección adaptados para medir propiedades físicas, propiedades eléctricas, propiedades químicas, propiedades ambientales, o cualquier combinación de las mismas de las celdas monitorizadas y la circuitería de acondicionamiento correspondiente que convierte la salida del uno o más elementos de detección en una señal analógica adecuada para la conversión por un ADC.

El CMD 400 incluye uno o más modelos de celdas configurados para recibir mediciones de sensores como entrada y para emitir un resultado de determinación de si una o más celdas correspondientes o el grupo de celdas experimentaron una falla con base en las mediciones ingresadas. Se describen modelos de celdas de ejemplo en otras partes en esta divulgación, por ejemplo, con referencia a las Figuras 4 a 6. En la etapa 1510, el CMD 400 procesa las mediciones recibidas usando uno o más modelos de celdas correspondientes para determinar si el grupo de celdas experimentó una falla. Si el CMD 400 no detecta ninguna falla, el método 1500 retorna a la etapa 1505.

Como se discute con referencia a las Figuras 9 - 14, el CMD mide constantemente las propiedades de celdas y evalúa tales mediciones para determinar si cualquiera de las celdas monitorizadas experimentó una falla, a

pesar de si el CMD 400 está en comunicación o conectado al BMS 430 o a un dispositivo externo. La frecuencia con la cual el CMD 400 retorna a la etapa 1505 puede variar, por ejemplo, dependiendo de si el CMD 400 está en un modo operativo o en un modo de monitorización de suspensión, el tipo de propiedad o propiedades que se miden, cuán próximas son las mediciones recientes a los límites de SOA o NOA del grupo de celdas, el estado de salud de las celdas en el grupo de celdas, etc., o cualquier combinación de los mismos.

Tras determinar una falla, el CMD 400 puede determinar un nivel de gravedad de la falla determinada en la etapa 1520. Los detalles de clasificar fallas de acuerdo con los niveles de gravedad y diversos ejemplos de ambos se describen con referencia a las Figuras 5A a 5N.

En la etapa 1525, el CMD 400 almacena localmente, por ejemplo, en la memoria del CMD (tal como almacén de fallas 426 o 626), un indicador de falla que indica que el grupo de celdas experimentó una falla, y datos de falla relacionados. Los datos de falla incluyen al menos una información de temporización, tal como una marca de tiempo, que indica cuándo fue determinada la falla por el CMD 400. Los datos de falla también pueden incluir mediciones de sensor (reales, derivadas, o una combinación de ambas) que llevaron al CMD a determinar la falla.

En la etapa 1530, el CMD 400 recupera, desde su memoria, uno o más indicadores de falla y datos de falla relacionados, incluyendo el indicador de falla y datos de falla relacionados. Como se describe, por ejemplo, con referencia a las Figuras 9 a 14, el CMD 400 puede recuperar uno o más indicadores de falla y datos de falla relacionados en respuesta a una solicitud correspondiente de actualización de estado recibida desde el BMS configurado para gestionar un sistema de batería que comprende el grupo de celdas, o recibida desde un dispositivo externo configurado para recolectar datos sobre el sistema de batería.

En la etapa 1535, el CMD 400 comunica el uno o más indicadores de falla recuperados y los datos de falla relacionados al BMS o al dispositivo externo. El CMD 400 también puede recuperar, desde su memoria, y comunicar mediciones de propiedades de celdas que se han obtenido en las celdas monitorizadas pero que no dieron como resultado que el CMD 400 detectara una falla.

Tras compleción de la etapa 1535, el método retorna a la etapa 1505.

En algunas realizaciones, el CMD 400 puede almacenar y comunicar un indicador de falla y datos de falla relacionados en paralelo, o comunicar el indicador de falla y datos de falla relacionados antes de almacenar los mismos en la memoria de CMD 400.

La Figura 16 muestra un método para monitorizar un estado de un sistema de batería de acuerdo con algunas realizaciones. Aunque se describe con referencia a BMS 430 y CMD 400, cualquiera de las variaciones de CMD y BMS descritas a lo largo de esta solicitud puede estar involucrada en el método 1600, tal como BMS 630, 730, 1030, o 1330, y CMD 600, 720, 1020, o 1320, descritos con referencia a las Figuras 4 a 14. Además, aunque el método 1600 se describe en el contexto de monitorizar el estado de un sistema de batería, el método es aplicable de manera similar para monitorizar un estado de una pluralidad de grupos de celdas, por ejemplo, una pluralidad de grupos de celdas que forman un sistema de batería o un subconjunto de un sistema de batería.

El método 1600 inicia con la etapa 1605 en la cual el BMS 430 solicita una actualización de estado en un grupo de celdas, desde el CMD 400 asociado con el grupo de celdas. Por ejemplo, como se discute con referencia a las Figuras 9 a 14, el BMS 430 puede hacer transición repetidamente desde el modo de suspensión segura 920, 1220 al modo de suspensión segura (sondeado) 930, 1230 para monitorizar el estado de uno o más grupos de celdas. Tras hacer transición al modo de suspensión segura (sondeado) 930, 1230, el BMS 430 solicita, una actualización de estado en los grupos de celdas monitorizadas desde los CMDs 400 correspondientes de los grupos de celdas. BMS 430 puede solicitar a cada CMD 400 que incluya en su respuesta a la actualización de estado: todas las fallas determinadas por el CMD 400 en el grupo de celdas desde la actualización de estado previa recibida por BMS de ese CMD 400, todas las fallas determinadas por CMD 400 en el grupo de celdas durante un período de tiempo particular, todas las fallas determinadas por el CMD 400 en el grupo de celdas durante la vida útil del CMD 400, o todas las fallas determinadas por el CMD 400 en el grupo de celdas mientras BMS 430 estaba apagado, inactivo, o de otro modo incomunicado con CMD 400. BMS 430 también puede solicitar a cada CMD 400 que proporcione mediciones de propiedades de celda obtenidas durante los mismos períodos de tiempo que no dieron como resultado que CMD detectara una falla.

En algunas realizaciones, el CMD alerta al BMS sobre una falla detectada, tras detectar tal falla. El método 1600 puede entonces comenzar con el BMS 430 recibiendo una alerta desde el CMD 400 de que el CMD 400 detectó una falla. Por ejemplo, como se discute con referencia a las Figuras 11 a 14, el BMS 430 puede hacer transición desde el modo de suspensión segura 1220 al modo de suspensión segura (alerta) 1240 tras recibir, desde el CMD 400, una alerta que indica que el CMD 400 determinó una falla en el grupo de celdas correspondiente. En respuesta a la alerta y para recibir datos relacionados con la falla detectada, el BMS 430 procede con la etapa 1605 en la cual el BMS 430 solicita una actualización de estado del CMD 400, por ejemplo, tras hacer transición al modo de suspensión segura (alerta) 1230.

En algunas realizaciones, la alerta puede incluir o estar acompañada por un indicador de falla y datos de falla. En tales realizaciones, el BMS 430 no necesita solicitar al CMD 400 los datos relevantes, y en su lugar el método 1600 comienza con la etapa 1610, que sirve para alertar al BMS 430 de que el CMD 400 detectó una falla.

- 5 El método 1600 también puede comenzar con la etapa 1610, en lugar de la etapa 1605, cuando el CMD 400 transmite actualizaciones de estado, incluyendo indicadores de falla y datos de falla relacionados al BMS 430 de acuerdo con un programa predefinido, como se discute por ejemplo con referencia a las Figuras 11 a 14.

- 10 En la etapa 1610, el BMS 430 recibe, desde el CMD 400, un indicador de falla y datos de falla relacionados. El indicador de falla indica que el CMD 400 detectó o determinó una falla en el grupo de celdas con base en las mediciones obtenidas en el grupo de celdas por los sensores respectivos del CMD 400. El indicador de falla también puede identificar la falla, incluir un nivel de gravedad de la falla, o ambos.

- 15 Los datos de falla incluyen una información de temporización, tal como una marca de tiempo, que indica cuándo el CMD 400 determinó la falla. Los datos de falla también pueden incluir mediciones de sensor obtenidas por el CMD 400 en el grupo de celdas y usadas para determinar la falla, mediciones derivadas de la medición de sensor, o ambas. El CMD 400 puede enviar el indicador de falla y datos de falla relacionados en respuesta a la solicitud enviada por el BMS 430 en la etapa 1605.

- 20 La actualización de estado enviada por el CMD 400 puede incluir todas las fallas determinadas por el CMD 400 en el grupo de celdas desde la actualización de estado previa enviada por el CMD 400, todas las fallas determinadas por el CMD 400 en el grupo de celdas durante un período de tiempo particular, todas las fallas determinadas por el CMD 400 en el grupo de celdas durante la vida útil del CMD 400 o del grupo de celdas, o todas las fallas determinadas por el CMD 400 en el grupo de celdas mientras el BMS 430 estaba apagado, o inactivo, o de otro modo incomunicado con el CMD 400. La actualización de estado enviada por el CMD 400 también puede incluir mediciones de propiedades de celdas obtenidas durante los mismos períodos de tiempo o derivadas de tales mediciones, o ambas que no dieron como resultado que el CMD 400 detectara ninguna falla.

En la etapa 1615, el BMS 430 procesa el indicador de falla y datos de falla relacionados recibidos para determinar si se necesita una acción en respuesta a la falla detectada. Por ejemplo, la acción puede ser que el BMS 430 actualice el estado del sistema de batería a la condición de falla y que transmita los datos recibidos desde el CMD 400 a un sistema externo.

- 30 Como se discute con referencia a las Figuras 9 a 14, el BMS 430 puede analizar los datos de falla recibidos usando los modelos de celda correspondientes almacenados en BMS 430 para confirmar la determinación por el CMD 400 de que el grupo de celdas experimentó la falla.

- 35 Alternativa o adicionalmente, como también se discute con referencia a las Figuras 9 a 14, el BMS puede solicitar una actualización de estado de uno u otros más grupos de celdas desde uno u otros más CMDs 400 respectivos y, tras recibir la actualización de estado, analizar los datos de falla recibidos desde el primer CMD 400 en combinación con los datos incluidos en la actualización de estado recibida desde uno u otros más CMDs 400 que monitorizan el uno u otros más grupos de celdas para confirmar que el primer grupo de celdas experimentó la falla. El uno u otros más grupos de celdas pueden ser grupos de celdas adyacentes al primer grupo de celdas, un número seleccionado de grupos de celdas monitorizados por el BMS 430, o todos los otros grupos de celdas monitorizados por el BMS 430.

- 45 En la etapa 1620, el BMS 430 almacena los resultados del procesamiento del indicador de falla y datos de falla relacionados recibidos. Por ejemplo, el BMS 430 puede actualizar el estado del sistema de batería para indicar que experimentó una falla o que está en condición de falla, un tipo de la falla, dónde se originó la falla, y otros datos relevantes. Adicional o alternativamente, el BMS 430 almacena el indicador de falla y datos de falla relacionados recibidos.

En la etapa 1625, el BMS 430 puede recibir, desde un sistema externo, una solicitud de una actualización de estado en el sistema de batería que comprende el grupo de celdas. En la etapa 1630, el BMS 430 transmite los resultados del procesamiento del indicador de falla y datos de falla relacionados recibidos y/o el indicador de falla y datos de falla relacionados recibidos desde el CMD 400 al sistema externo.

- 50 El BMS puede repetir las etapas 1605 a 1630 para todos los CMDs 400 que monitorizan el estado de celdas de batería que forman el sistema de batería.

- 55 Las descripciones de las diversas realizaciones de la presente divulgación se han presentado con propósitos de ilustración y no están previstas para ser exhaustivas ni limitar el alcance de la divulgación. Muchas modificaciones y variaciones de las realizaciones divulgadas serán evidentes para aquellos de experiencia normal en la técnica a partir de las realizaciones divulgadas en este documento, sin apartarse del alcance de la divulgación. La terminología usada en este documento para divulgar las realizaciones de la divulgación fue elegida para explicar mejor los principios de las realizaciones, la aplicación práctica o mejora técnica sobre las

tecnologías que se encuentran en el mercado, o para permitir que otros de experiencia normal en la técnica entiendan las realizaciones divulgadas en este documento.

- 5 Se aprecia que ciertas características de la divulgación, que, para claridad, se describen en el contexto de realizaciones separadas, también pueden proporcionarse en combinación en una única realización. Por el contrario, diversas características de la divulgación, que, para brevedad, se describen en el contexto de una única realización, también pueden proporcionarse por separado o en cualquier subcombinación adecuada o según sea adecuado en cualquier otra realización descrita de la divulgación. Ciertas características descritas en el contexto de diversas realizaciones no deben considerarse características esenciales de esas realizaciones a menos que la realización sea inoperativa sin esos elementos.
- 10 Aunque la divulgación se ha descrito en conjunto con realizaciones específicas de la misma, es evidente que muchas alternativas, modificaciones, y variaciones serán evidentes para los expertos en la técnica. Por consiguiente, está prevista para abarcar todas de tales alternativas, modificaciones y variaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para monitorizar una batería mediante un sistema de gestión de batería, BMS, comprendiendo la batería una pluralidad de grupos de celdas, comprendiendo cada grupo de celdas una o más celdas de batería y un correspondiente dispositivo de monitorización de celdas, CMD, comprendiendo el método:
 - 5 recibir (1610), mediante el BMS (730, 1030, 1330) desde un primer CMD (400, 600, 720₁, 1020, 1320) de un primer grupo de celdas (712_i) en la pluralidad de grupos de celdas (712₁, 712₂, 712₃, 712₄, 712_N), un indicador de falla y datos de falla almacenados (1125, 1325) en el primer CMD, en donde:
 - 10 el indicador de falla indica que el primer CMD determinó una falla en el primer grupo de celdas con base en una o más mediciones de propiedades de celdas obtenidas en una o más celdas en el primer grupo de celdas por al menos un sensor (411, 611) del primer CMD,
 - los datos de falla se relacionan con la falla determinada y comprenden una marca de tiempo que indica cuándo el primer CMD determinó la falla; y
 - 15 procesar (1615) mediante el BMS el indicador de falla y datos de falla recibidos para determinar una acción en respuesta a la falla determinada por el primer CMD independientemente de si el primer CMD estaba conectado al BMS o en comunicación con BMS.
 2. El método de la reivindicación 1, que comprende:
 - recibir, mediante el BMS, un comando para conectar la batería a una fuente de potencia;
 - verificar, mediante el BMS, un estado de la batería antes de conectar la batería a la fuente de potencia, en donde verificar el estado comprende las etapas de recibir y procesar el indicador de falla y los datos de falla; y
 - 20 rechazar, mediante el BMS, el comando para conectar la batería a la fuente de potencia en respuesta a procesar el indicador de falla y datos de falla recibidos; y
 - opcionalmente, emitir una alerta de que la batería está experimentando una condición de falla.
 3. El método de la reivindicación 1 o 2, en donde los datos de falla comprenden al menos una medición usada por el primer CMD para determinar la falla, comprendiendo la al menos una medición una o más de una medición obtenida en el primer grupo de celdas o una medición derivada con base en una o más mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas.
 4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el indicador de falla indica uno o más de: la falla o un nivel de gravedad de la falla, siendo el nivel de gravedad uno de un peligro inmediato, un peligro retrasado, o un peligro de degradación.
 5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde procesar el indicador de falla y datos de falla recibidos comprende almacenar, en el BMS, el indicador de falla y los datos de falla relacionados recibidos desde el primer CMD, comprendiendo el método:
 - recibir, desde un sistema externo, una solicitud de una actualización de estado de la batería; y
 - 35 transmitir la actualización de estado de la batería al sistema externo, comprendiendo la actualización de estado el indicador de falla y los datos de falla relacionados almacenados en el BMS.
 6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde procesar el indicador de falla y datos de falla recibidos comprende:
 - 40 usar uno o más modelos de celdas, almacenados en el BMS y que corresponden a la una o más celdas del primer grupo de celdas, con los datos de falla recibidos para confirmar que el primer grupo de celdas experimentó la falla.
 7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde procesar el indicador de falla y datos de falla recibidos comprende:
 - recibir una actualización de estado en un segundo grupo de celdas en la pluralidad de grupos de celdas, desde un CMD del segundo grupo de celdas, comprendiendo la actualización de estado al menos uno de:
 - 45 una o más mediciones de una o más propiedades de celda de una o más celdas en el segundo grupo de celdas obtenidas por al menos un sensor del segundo CMD, o
 - datos de falla relacionados con una o más fallas determinadas por el segundo CMD en el segundo grupo de celdas, comprendiendo los datos de falla una o más marcas de tiempo que indican cuándo el segundo CMD determinó respectivamente la una o más fallas; y

comparar los datos de falla recibidos desde el primer CMD con datos incluidos en la actualización de estado recibida desde el segundo CMD para confirmar que el primer grupo de celdas experimentó la falla.

8. El método de la reivindicación 7, que comprende:

5 transmitir, tras recibir el indicador de falla y datos de falla desde el primer CMD, una solicitud de estado al segundo CMD,

en donde la actualización de estado en el segundo grupo de celdas es recibida por el BMS en respuesta a la solicitud de estado.

10 9. El método de la reivindicación 7 u 8, en donde el segundo grupo de celdas comprende una o más celdas adyacentes al primer grupo de celdas o en donde el método comprende repetir las etapas de recepción y comparación para cada grupo de celdas de la pluralidad de grupos de celdas.

10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9,

15 en donde el indicador de falla que indica que el primer CMD determinó que el primer grupo de celdas experimentó la falla y los datos de falla relacionados se reciben desde el primer CMD del primer grupo de celdas como una parte de una actualización de estado proporcionada por el primer CMD al BMS, en donde la actualización de estado es recibida por el BMS periódicamente, en un tiempo preprogramado, o en respuesta a una solicitud de actualización de estado enviada por el BMS al primer CMD; y

en donde la actualización de estado del primer CMD comprende uno o más indicadores de falla y datos de falla relacionados con respecto a una o más de:

20 todas las fallas determinadas por el primer CMD en el primer grupo de celdas desde una actualización de estado previa recibida por el BMS desde el primer CMD,

todas las fallas determinadas por el primer CMD en el primer grupo de celdas durante un período de tiempo predefinido,

todas las fallas determinadas por el primer CMD en el primer grupo de celdas, o

25 una o más fallas determinadas por el primer CMD en el primer grupo de celdas mientras el BMS estaba apagado o inactivo.

11. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el BMS está en un modo de suspensión antes de recibir el indicador de falla y los datos de falla relacionados desde el primer CMD, comprendiendo el método:

30 recibir, mediante el BMS en el modo de suspensión, una señal de alerta desde el primer CMD que indica que el primer CMD detectó la falla;

en respuesta a la señal de alerta, hacer transición el BMS desde el modo de suspensión a un modo activo para procesar el indicador de falla y datos de falla relacionados,

opcionalmente en donde la falla determinada por el primer CMD es clasificada por el CMD como un peligro inmediato.

35 12. El método de la reivindicación 11, que comprende:

en respuesta a la señal de alerta, transmitir una solicitud de actualización de estado desde el BMS al primer CMD, en donde el indicador de falla y datos de falla relacionados se reciben desde el primer CMD en respuesta a la solicitud de actualización de estado.

40 13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas y recibidas por el BMS como los datos de falla comprenden uno o más de:

un voltaje detectado en el primer grupo de celdas,

una temperatura detectada externamente al grupo de celdas,

una temperatura en el primer grupo de celdas,

una temperatura en una celda o dentro de la celda del primer grupo de celdas,

45 una presión de gas dentro de una celda del primer grupo de celdas,

una fuerza ejercida por una celda del primer grupo de celdas sobre una superficie externa de la celda,

una desviación de un recinto de celda de una celda en el primer grupo de celdas causada por un cambio de presión interna,

un nivel de humedad en el primer grupo de celdas o en una celda en el primer grupo de celdas,

un producto químico predeterminado indicativo de daño de celda, o

- 5 una corriente que fluye a través del primer grupo de celdas o a través de una celda en el primer grupo de celdas.

14. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde la falla determinada en el primer grupo de celdas es una falla operativa o una falla de comportamiento,

- 10 siendo la falla operativa determinada cuando se determina que el rendimiento del primer grupo de celdas cae fuera de un área operativa segura definida por límites operativos seguros predeterminados o fuera de un área operativa normal definida por límites operativos normales predeterminados, en donde los límites operativos seguros y normales corresponden a las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas y están definidos por un modelo de celda que corresponde al primer grupo de celdas, y

- 15 siendo la falla de comportamiento determinada cuando el rendimiento del primer grupo de celdas se desvía del rendimiento esperado del primer grupo de celdas en una desviación mayor que un umbral predefinido, estando el rendimiento esperado del primer grupo de celdas definido por al menos uno de: un modelo de celda que corresponde al primer grupo de celdas o rendimiento de uno o más grupos de celdas vecinas en la pluralidad de grupos de celdas determinados con base en mediciones obtenidas por sensores locales en el uno o más grupos de celdas vecinas.

- 20 15. El método de la reivindicación 14,

en donde la falla operativa se determina cuando las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas cumplen una o más de las condiciones:

una corriente que fluye a través del primer grupo de celdas excede una corriente de carga máxima predefinida para la una o más celdas de batería en el primer grupo de celdas,

- 25 una corriente que fluye a través del primer grupo de celdas excede una corriente de descarga máxima predefinida para la una o más celdas de batería en el primer grupo de celdas,

una temperatura tomada en el grupo de celdas está por debajo de una temperatura operativa mínima predefinida para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas,

- 30 la temperatura tomada en el grupo de celdas excede una temperatura operativa máxima predefinida para la una o más celdas de batería en el primer grupo de celdas,

un voltaje terminal de celda de la una o más celdas de batería en el grupo de celdas excede un voltaje operativo máximo predefinido para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas,

el voltaje terminal de celda de la una o más celdas de batería en el grupo de celdas está por debajo de un voltaje operativo mínimo predefinido para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas,

- 35 una presión de celda de la una o más celdas de batería en el grupo de celdas excede una presión operativa máxima predefinida para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas, o

una presión de celda de la una o más celdas de batería en el grupo de celdas está por debajo de una presión operativa mínima predefinida para la una o más celdas de batería en el grupo de celdas;

y

- 40 en donde la falla de comportamiento se determina cuando las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas cumplen al menos una de las siguientes condiciones:

una tasa de cambio de temperatura en el primer grupo de celdas es mayor o menor que un modelo termoelectrico del primer grupo de celdas para un estímulo conocido y un estado actual del primer grupo de celdas, o

- 45 una tasa de cambio de presión en el primer grupo de celdas es mayor o menor que un modelo termoelectrico del primer grupo de celdas para un estímulo conocido y un estado actual del primer grupo de celdas, o

una tasa de cambio de voltaje en el primer grupo de celdas es mayor o menor que un modelo termoelectrico del primer grupo de celdas para un estímulo conocido y un estado actual del primer grupo de celdas.

16. El método de la reivindicación 14, que comprende:

recibir, mediante el BMS, mediciones obtenidas en uno o más grupos de celdas vecinas del primer grupo mediante uno o más CMDs vecinas correspondientes, correspondiendo las mediciones obtenidas en el uno o más grupos de celdas vecinas a las mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas y recibidas desde el uno o más CMDs vecinas,

en donde la falla de comportamiento se determina cuando un cambio, o una tasa de cambio, determinado en una o más mediciones obtenidas en el primer grupo de celdas durante un período de tiempo se desvía de un cambio, o una tasa de cambio respectivamente, determinado en una o más mediciones correspondientes obtenidas en el uno o más grupos de celdas vecinas durante el mismo período de tiempo en una desviación mayor que un umbral correspondiente, cuando el primer grupo de celdas y el uno o más grupos de celdas vecinas están expuestos al mismo estímulo.

17. Un medio legible por ordenador que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por al menos un procesador de un Sistema de Gestión de Batería, BMS, hacen que el BMS (730, 1030, 1330) realice el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16.

18. Un método para monitorizar un grupo de celdas mediante un dispositivo de monitorización de celdas, CMD, comprendiendo el grupo de celdas una o más celdas de batería, comprendiendo el método:

recibir (1505), mediante el CMD (400, 600, 720, 1020, 1320) del grupo de celdas, desde al menos un sensor (411, 611) configurado para medir una o más propiedades del grupo de celdas, al menos una medición obtenida por el al menos un sensor, comprendiendo el CMD al menos un modelo de celda del grupo de celdas configurado para el grupo de celdas;

procesar (1510) la al menos una medición recibida por el CMD usando un modelo de celda correspondiente del grupo de celdas para determinar si el grupo de celdas experimentó una falla;

en respuesta a la determinación de una primera falla en el grupo de celdas, almacenar (1525) en la memoria del CMD, un indicador de falla, que indica que el grupo de celdas experimentó la primera falla, y datos de falla relacionados con la primera falla, comprendiendo los datos de falla una marca de tiempo generada cuando la primera falla fue determinada por el CMD, recuperar (1530), desde la memoria del CMD, uno o más indicadores de falla y datos de falla correspondientes, incluyendo el indicador de falla y los datos de falla relacionados con la primera falla, indicando cada indicador de falla que el grupo de celdas experimentó una falla correspondiente; y

comunicar (1535), mediante el CMD a un sistema de gestión de batería, BMS, configurado para gestionar una batería que comprende el grupo de celdas, el uno o más indicadores de falla recuperados y los datos de falla correspondientes,

en donde el CMD realizó las etapas de recepción, procesamiento, y almacenamiento independientemente del BMS y de si el CMD estaba conectado al BMS (730, 1030, 1330) o en comunicación con el BMS.

19. El método de la reivindicación 18, en donde para cada falla determinada, los datos de falla relacionados comprenden al menos uno de: una o más mediciones de sensor que el CMD usó para determinar la falla, o una o más mediciones derivadas que el CMD usó para detectar la falla, y/o en donde para cada falla determinada, el indicador de falla identifica la falla.

20. El método de la reivindicación 18 o 19, que comprende además: determinar (1520), con base en la al menos una medición recibida, un nivel de gravedad de la primera falla, siendo el nivel de gravedad uno de un peligro inmediato, un peligro retrasado, o un peligro de degradación, opcionalmente en donde el indicador de falla de la primera falla identifica el nivel de gravedad de la primera falla.

21. El método de la reivindicación 20, en donde la determinación del nivel de gravedad de la primera falla comprende: actualizar el nivel de gravedad de la primera falla desde el peligro retrasado hasta un peligro inmediato o desde el peligro de degradación hasta un peligro inmediato cuando el CMD determinó la primera falla dentro de un período de tiempo predefinido después de determinar una u otras más fallas en el grupo de celdas.

22. El método de cualquiera de las reivindicaciones 18 a 21, que comprende: repetir las etapas de recepción y procesamiento mediante el CMD cuando no se determina ninguna falla en el grupo de celdas y/o repetir las etapas de recepción, procesamiento, y almacenamiento mediante el CMD para detectar una pluralidad de fallas.

23. El método de la reivindicación 22, en donde las etapas de recepción y procesamiento se repiten con una frecuencia variada dependiendo al menos de uno de: si el CMD está en un primer modo o un segundo modo, o un tipo de al menos una medición.

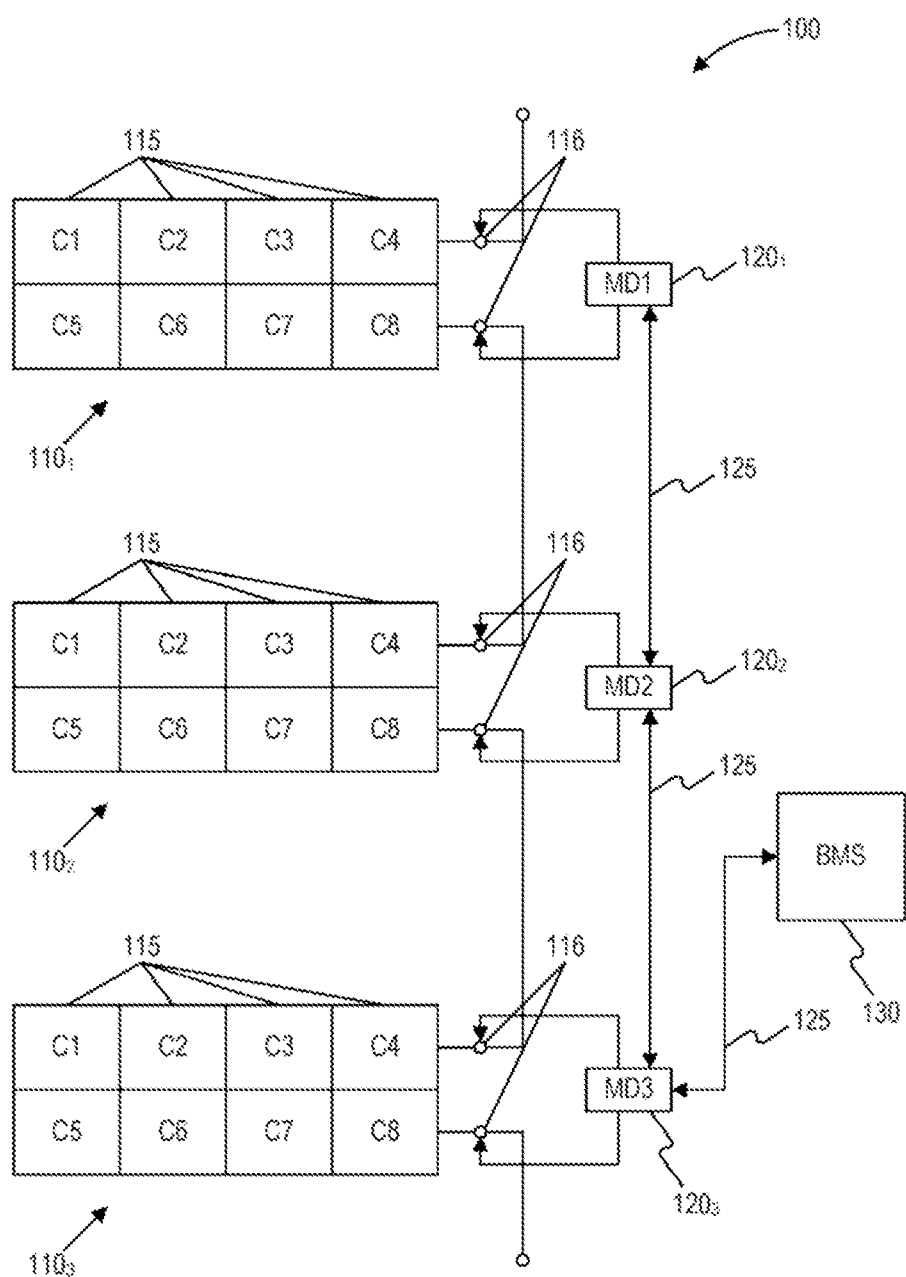


FIG. 1
(Técnica Anterior)

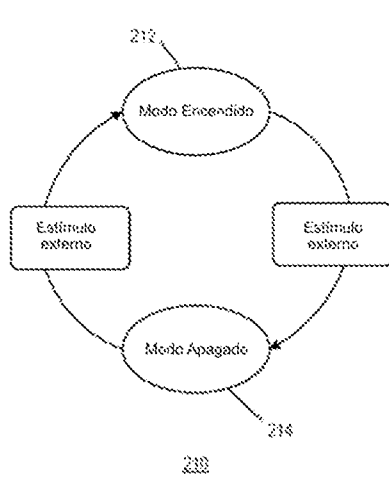


FIG. 2A
(Técnica Anterior)

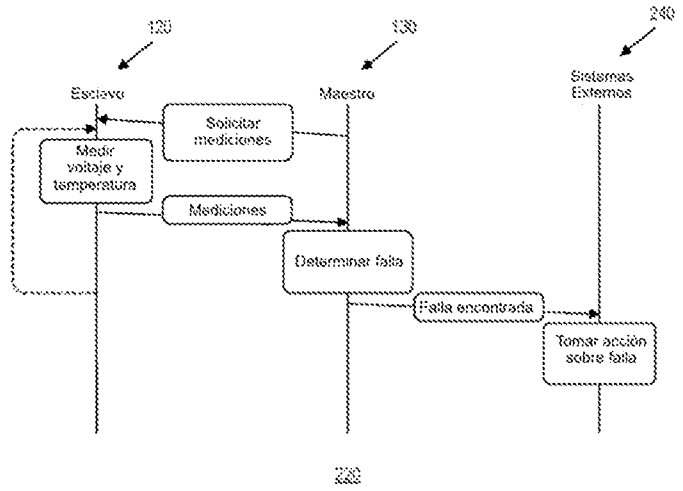


FIG. 2B
(Técnica Anterior)

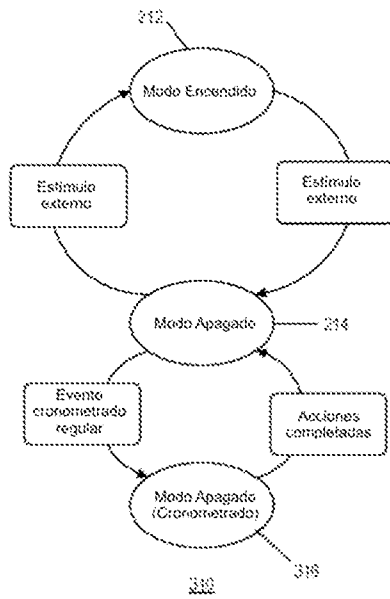


FIG. 3A
(Técnica Anterior)

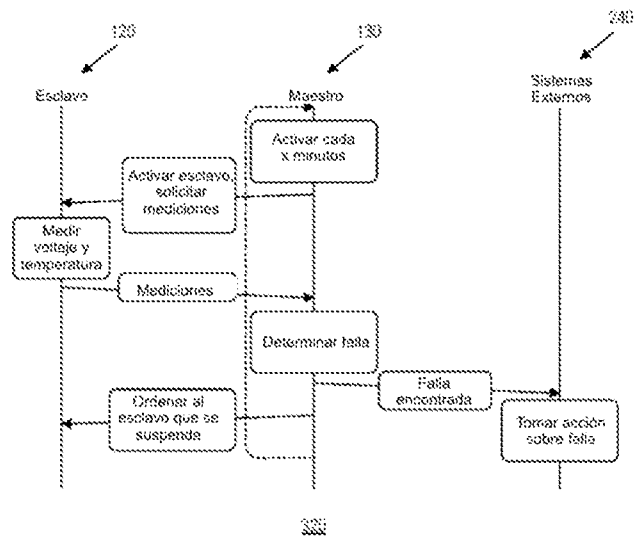


FIG. 3B
(Técnica Anterior)

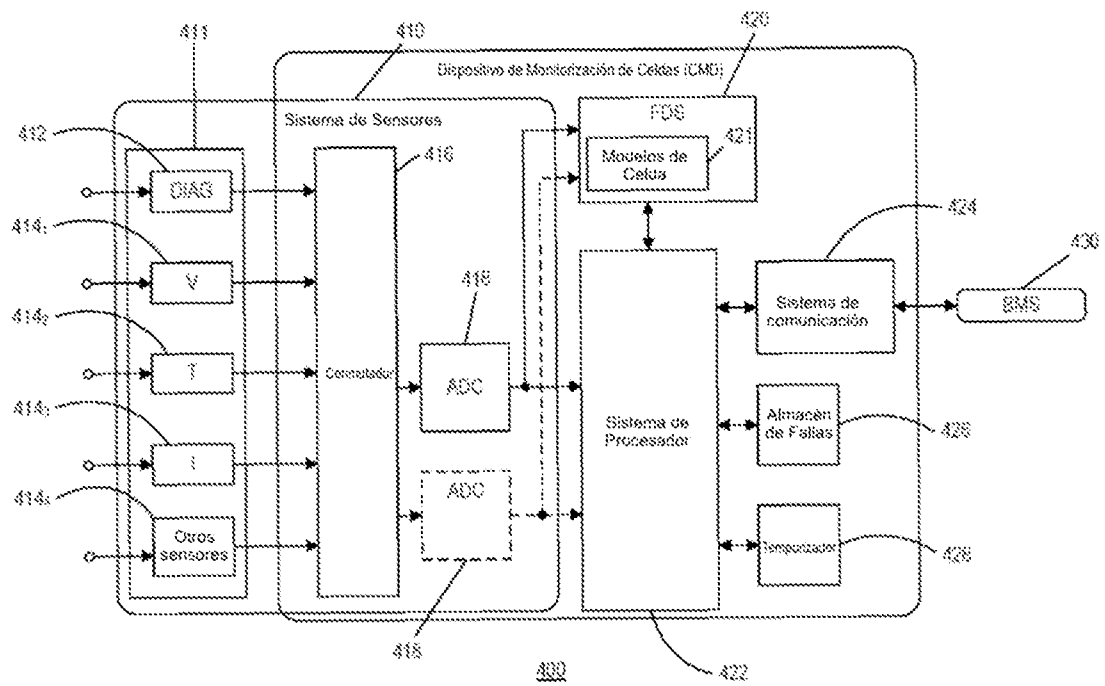


FIG. 4

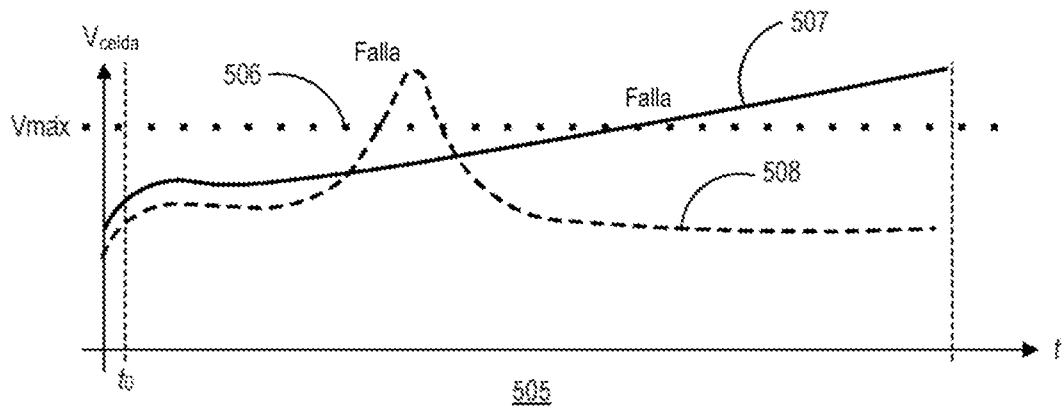


FIG. 5A

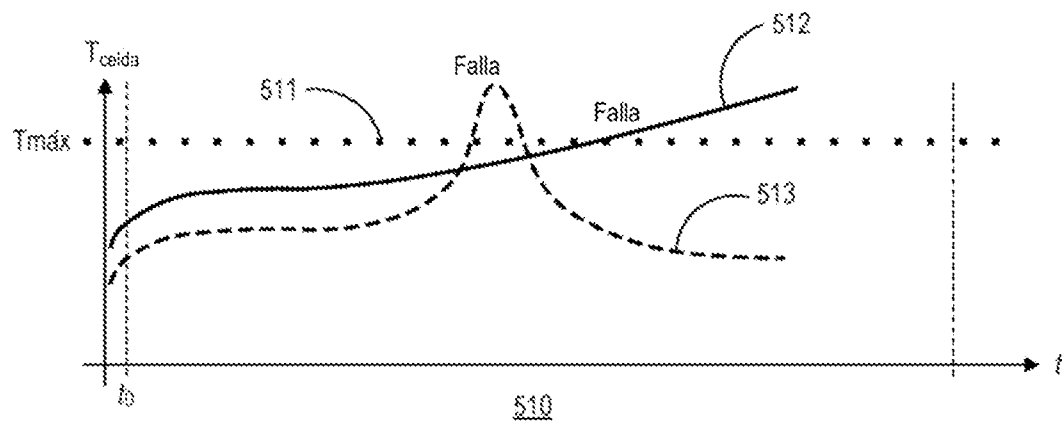
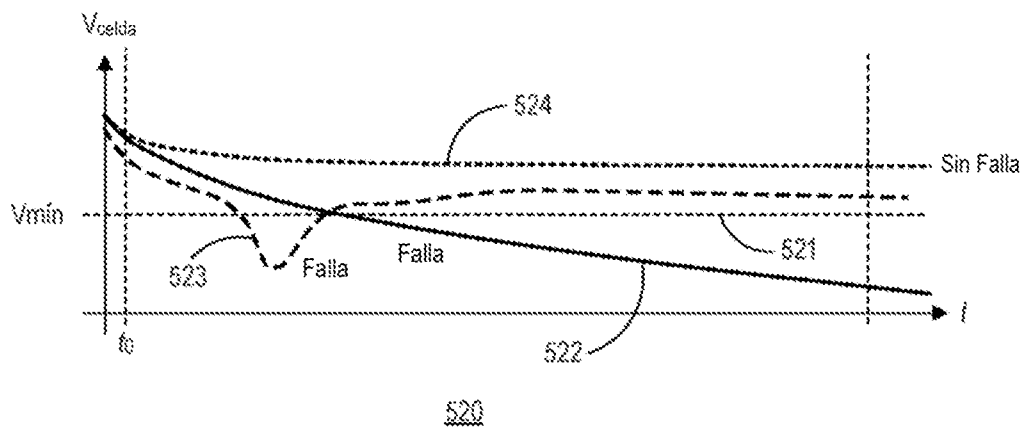
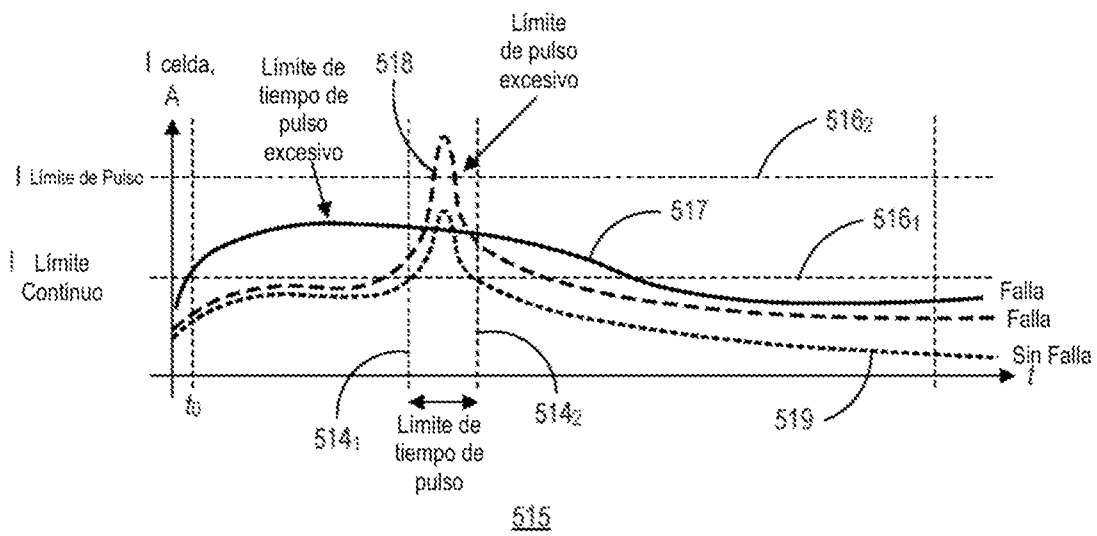


FIG. 5B



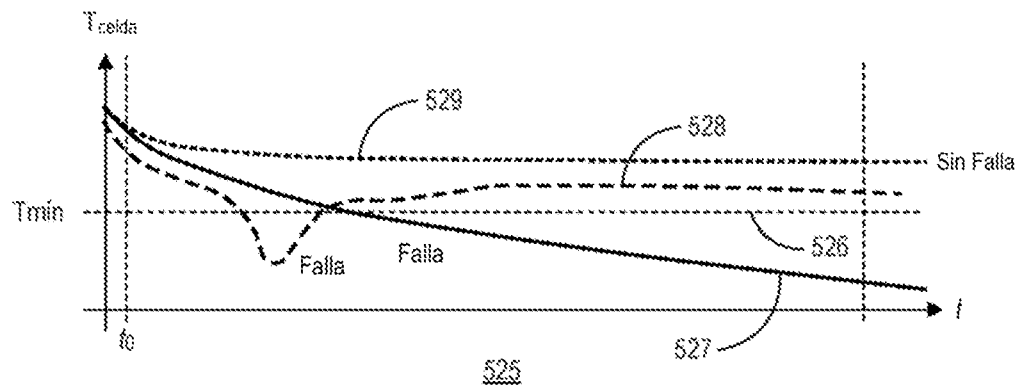


FIG. 5E

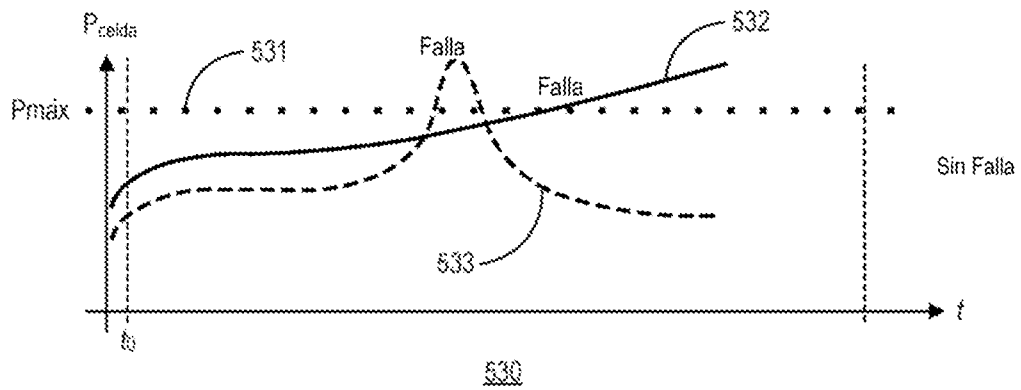


FIG. 5F

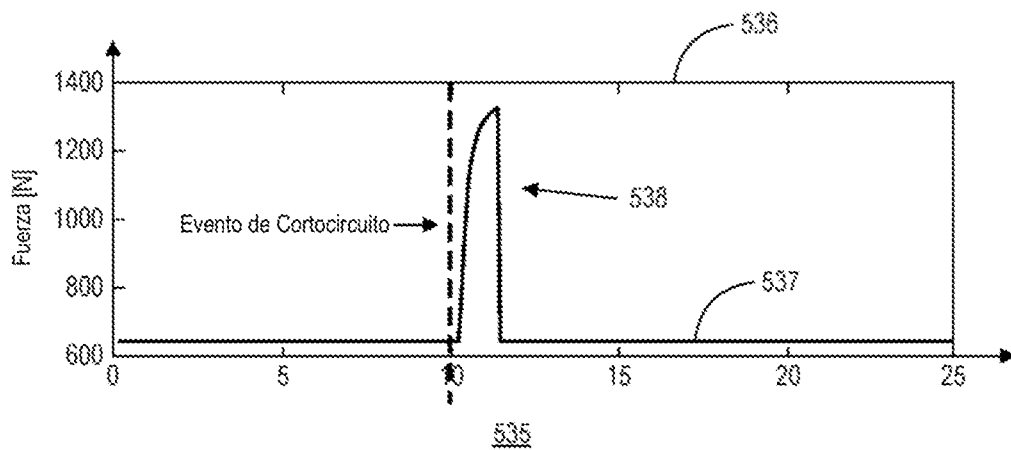


FIG. 5G

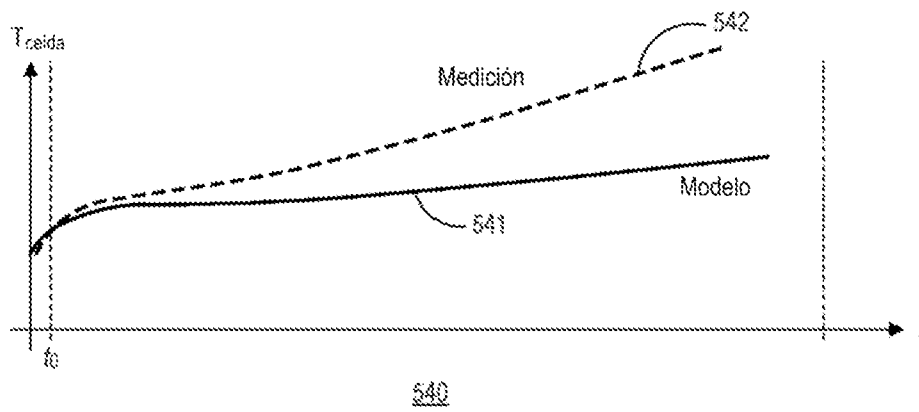


FIG. 5H

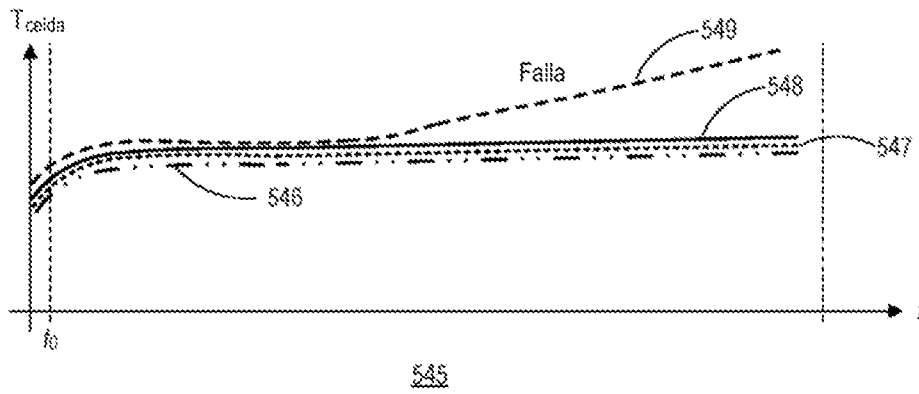


FIG. 5J

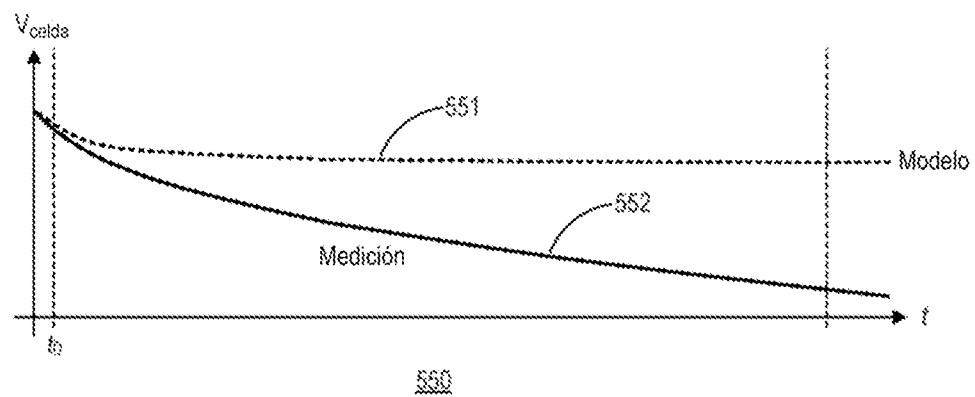


FIG. 5K

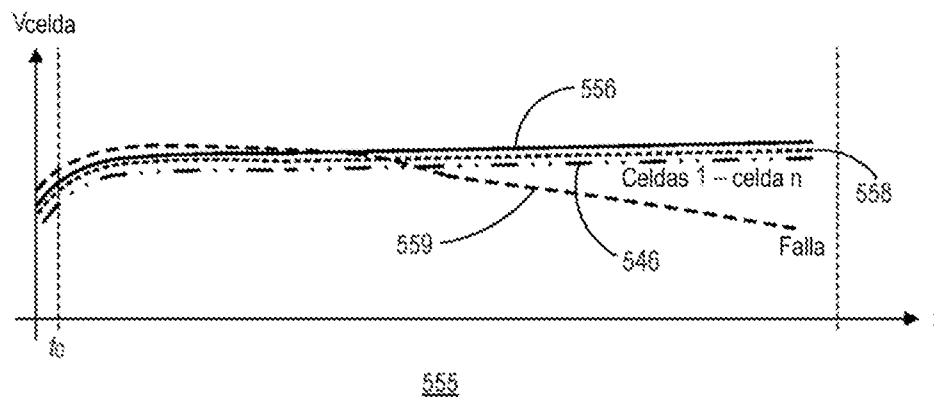


FIG. 5L

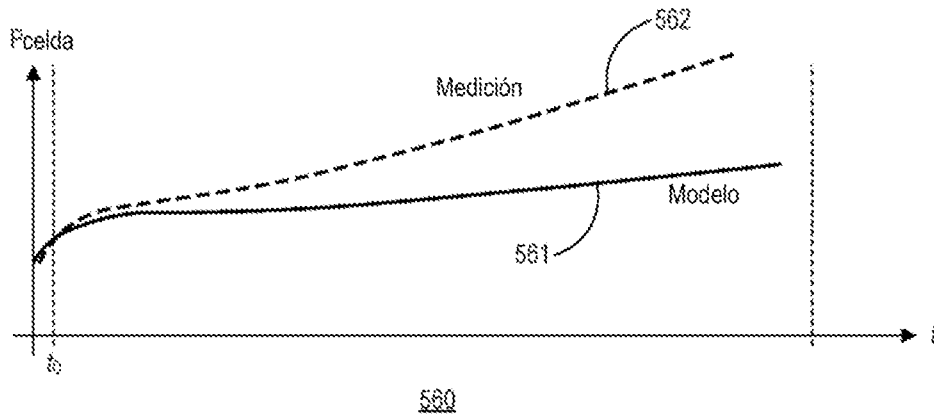


FIG. 5M

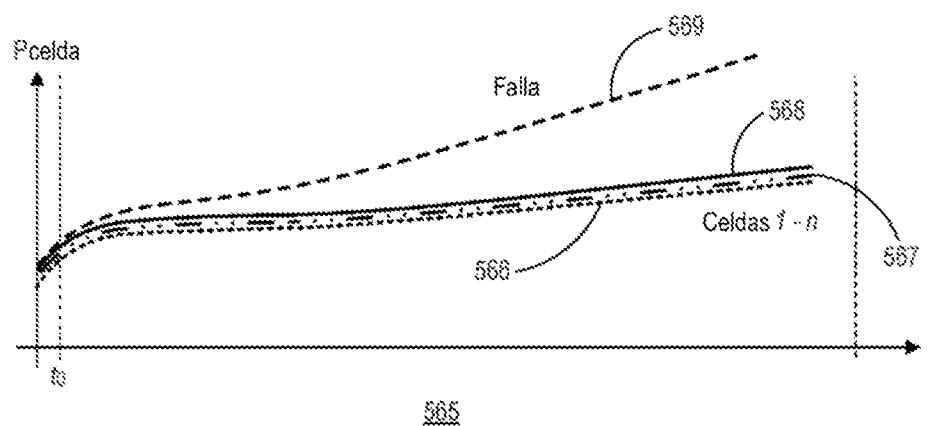


FIG. 5N

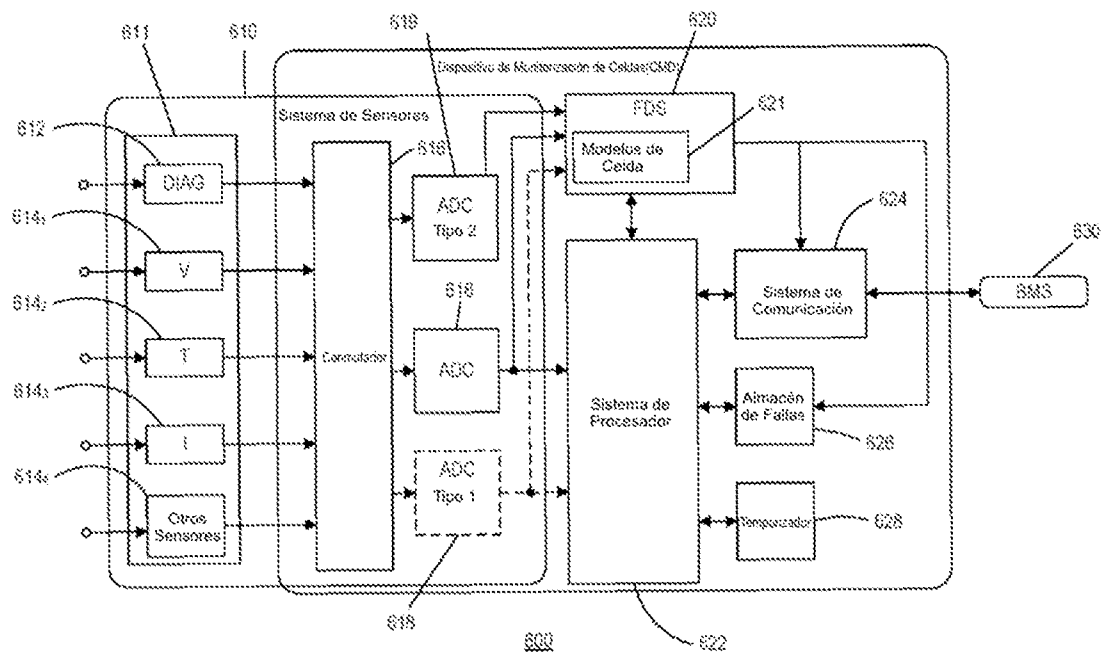


FIG. 6

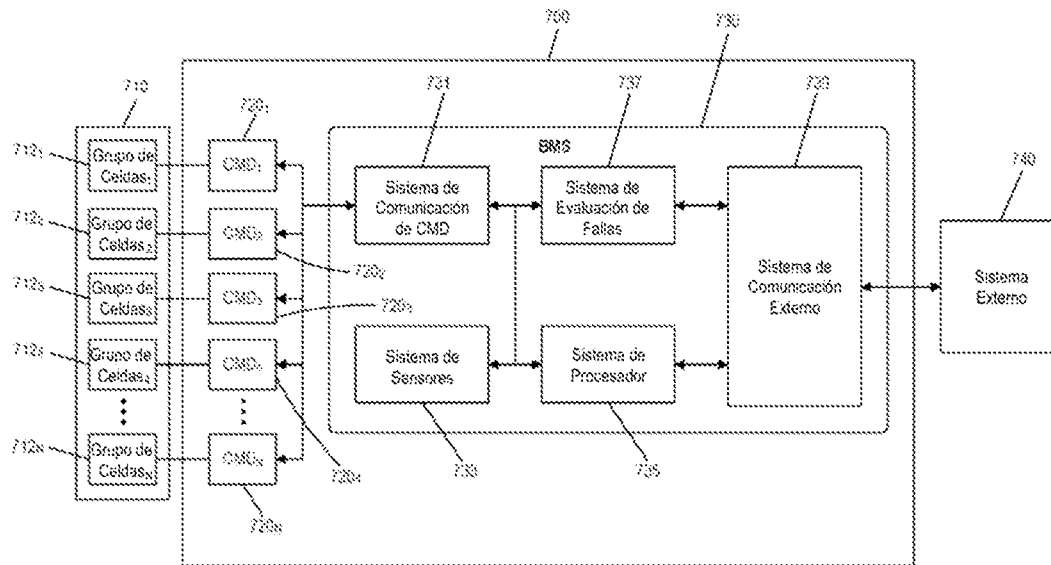


FIG. 7

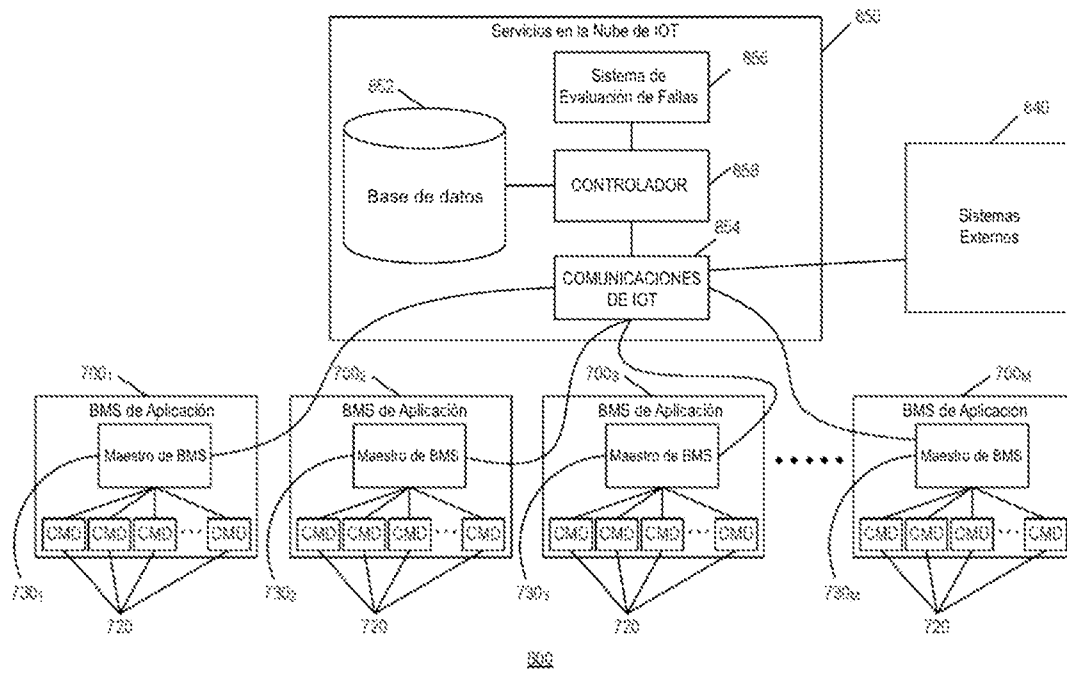


FIG. 8

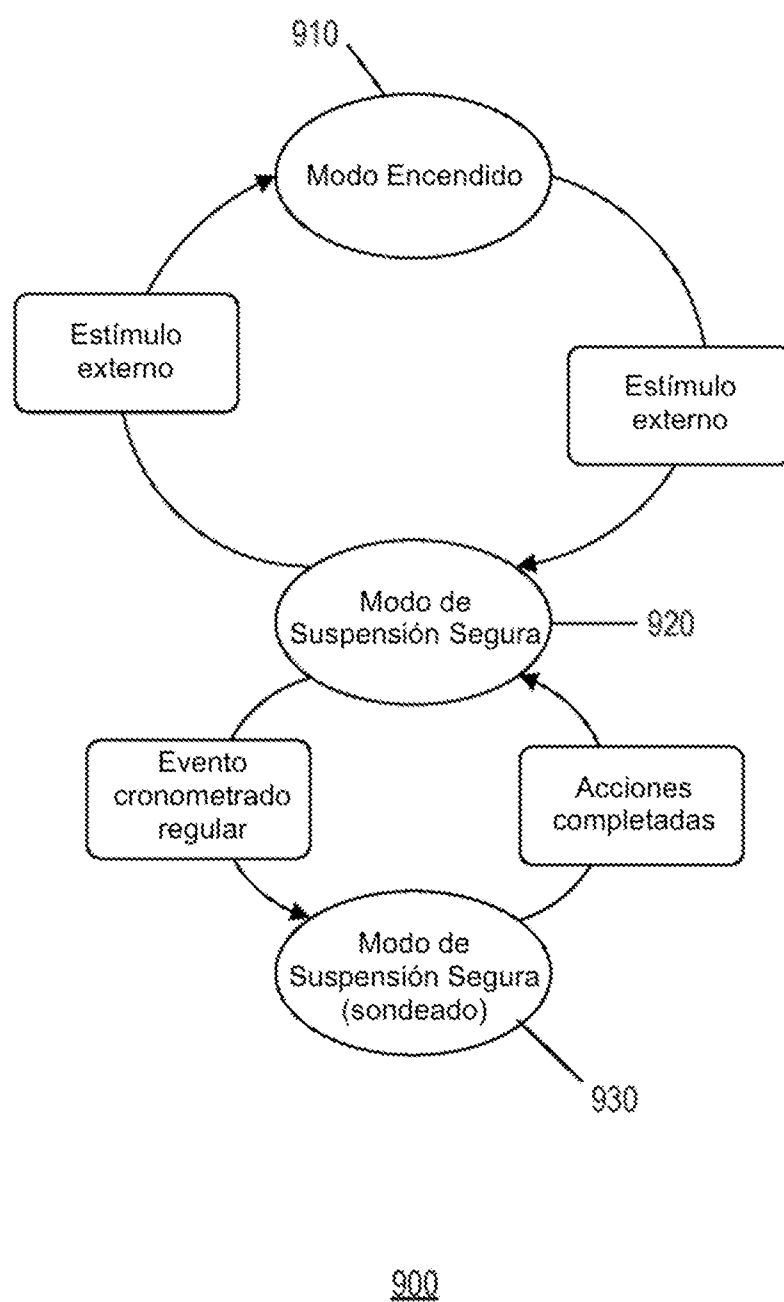


FIG. 9

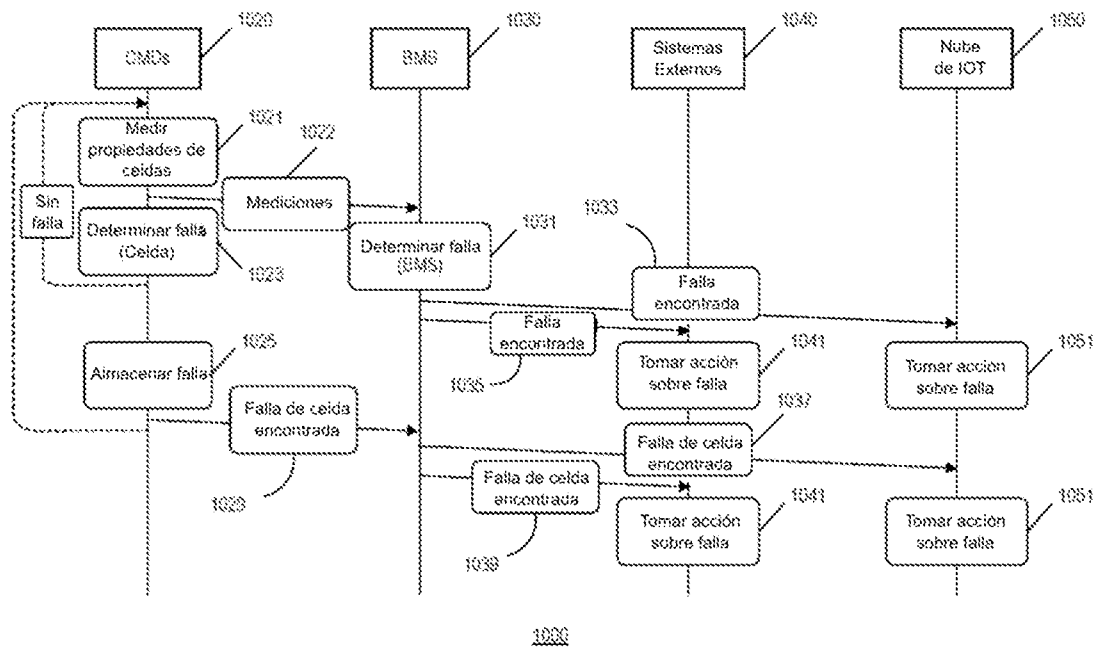


FIG. 10

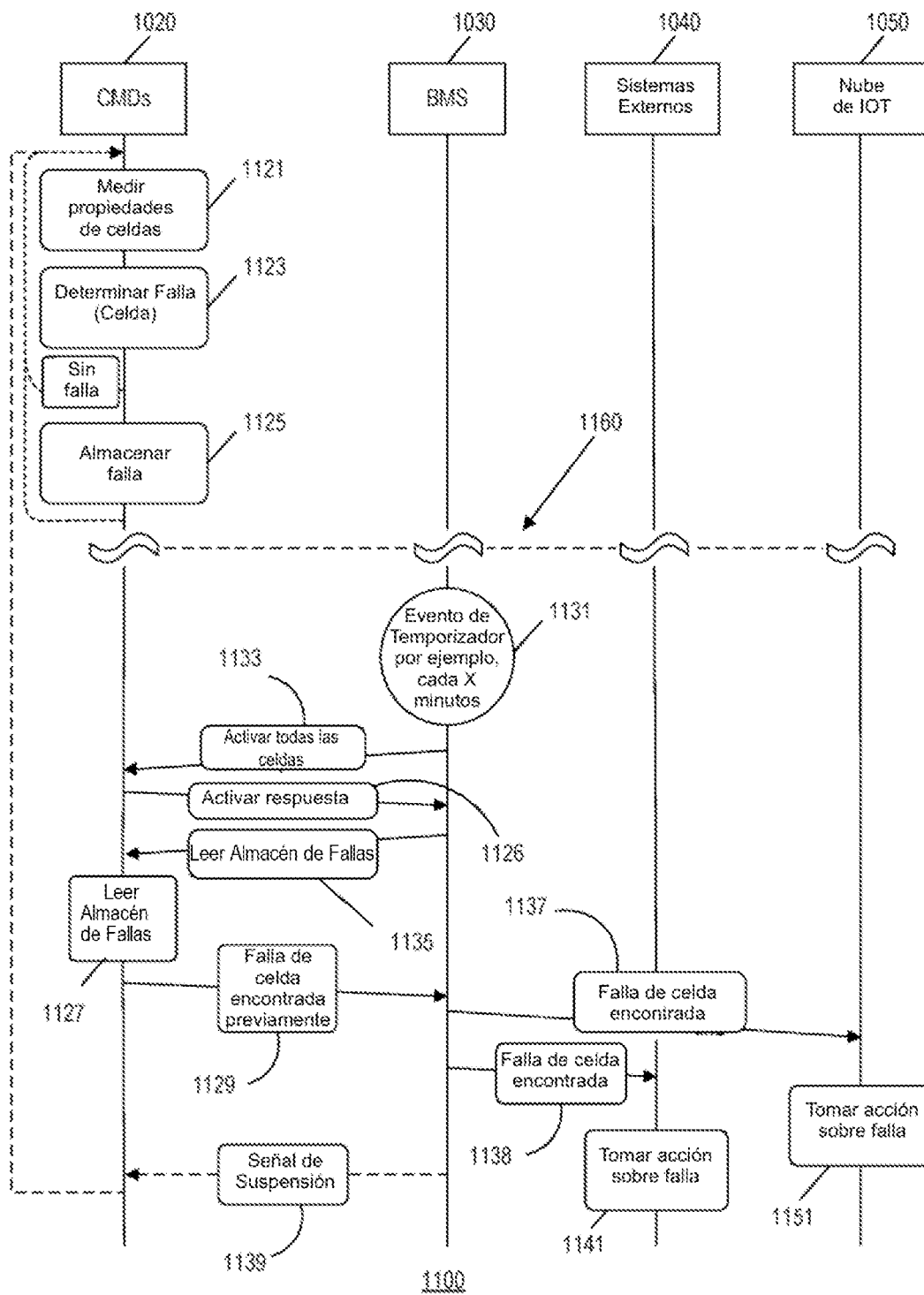


FIG. 11

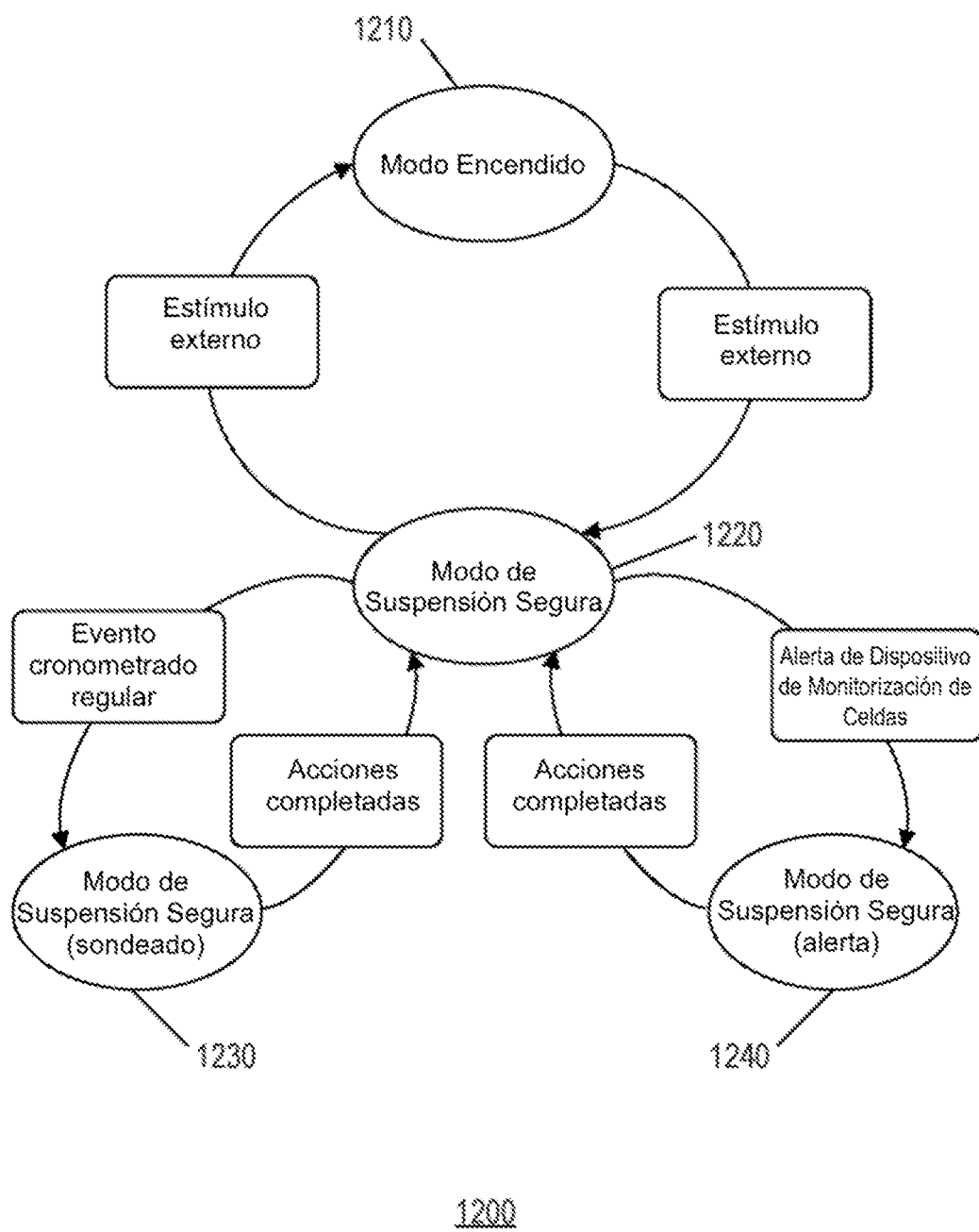


FIG. 12

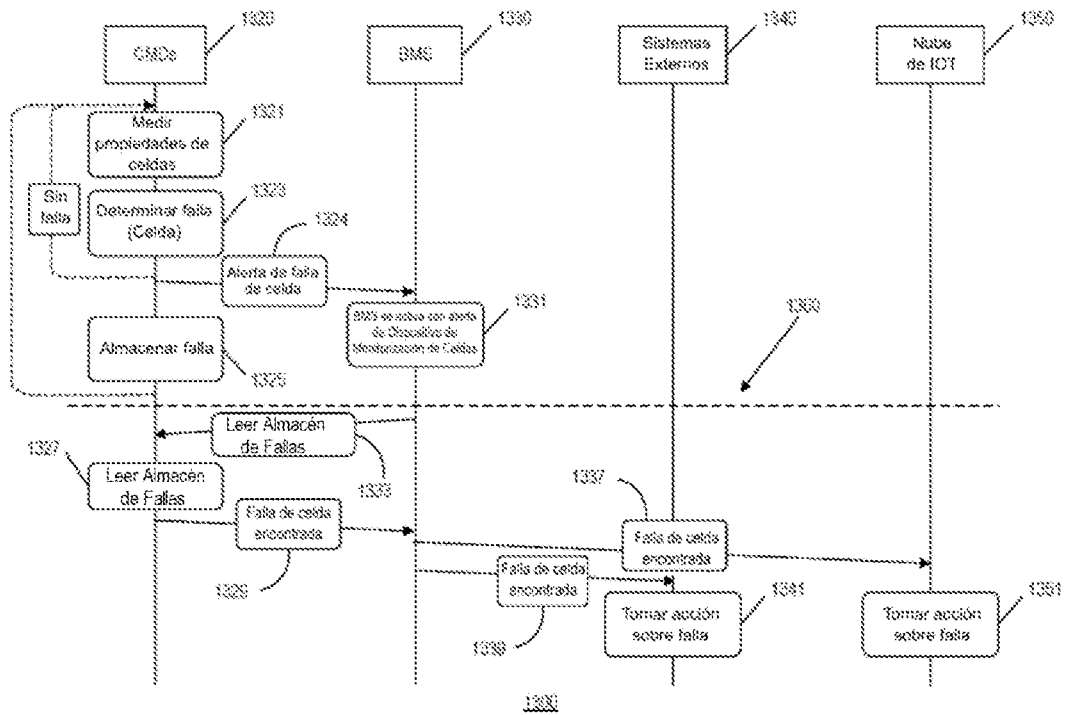


FIG. 13

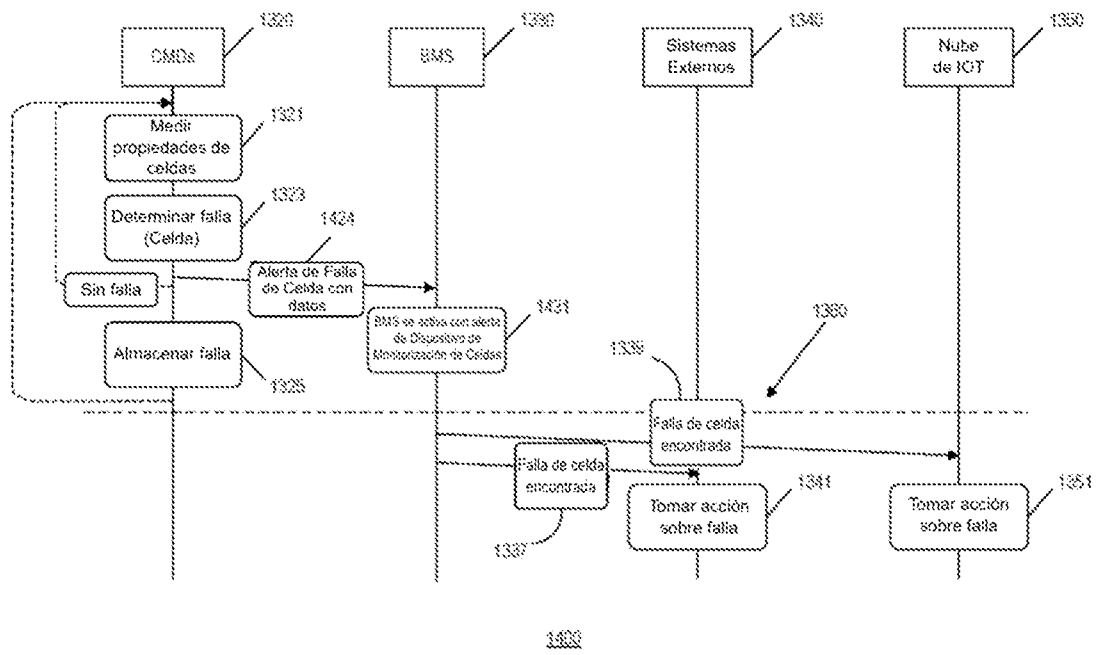


FIG. 14

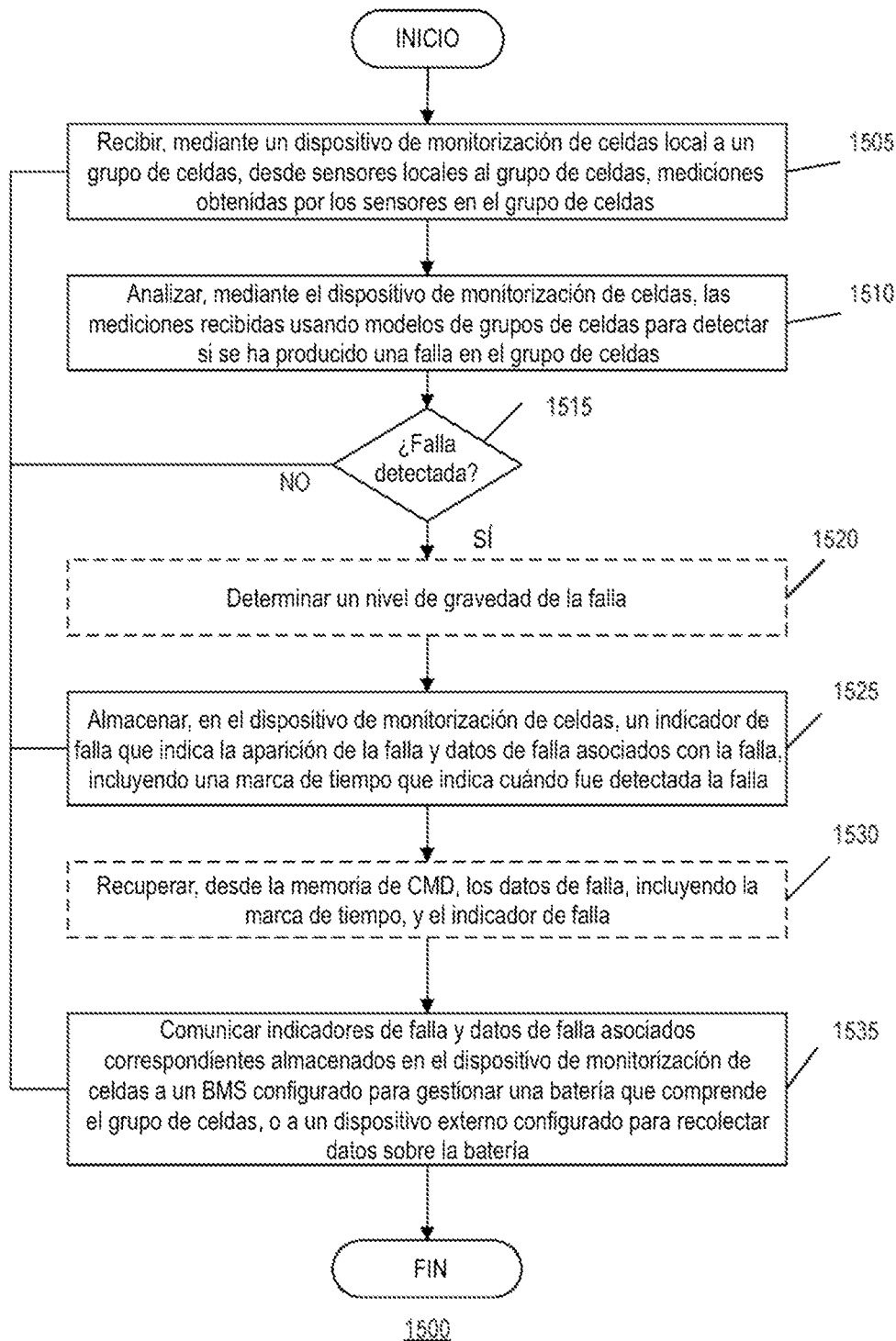
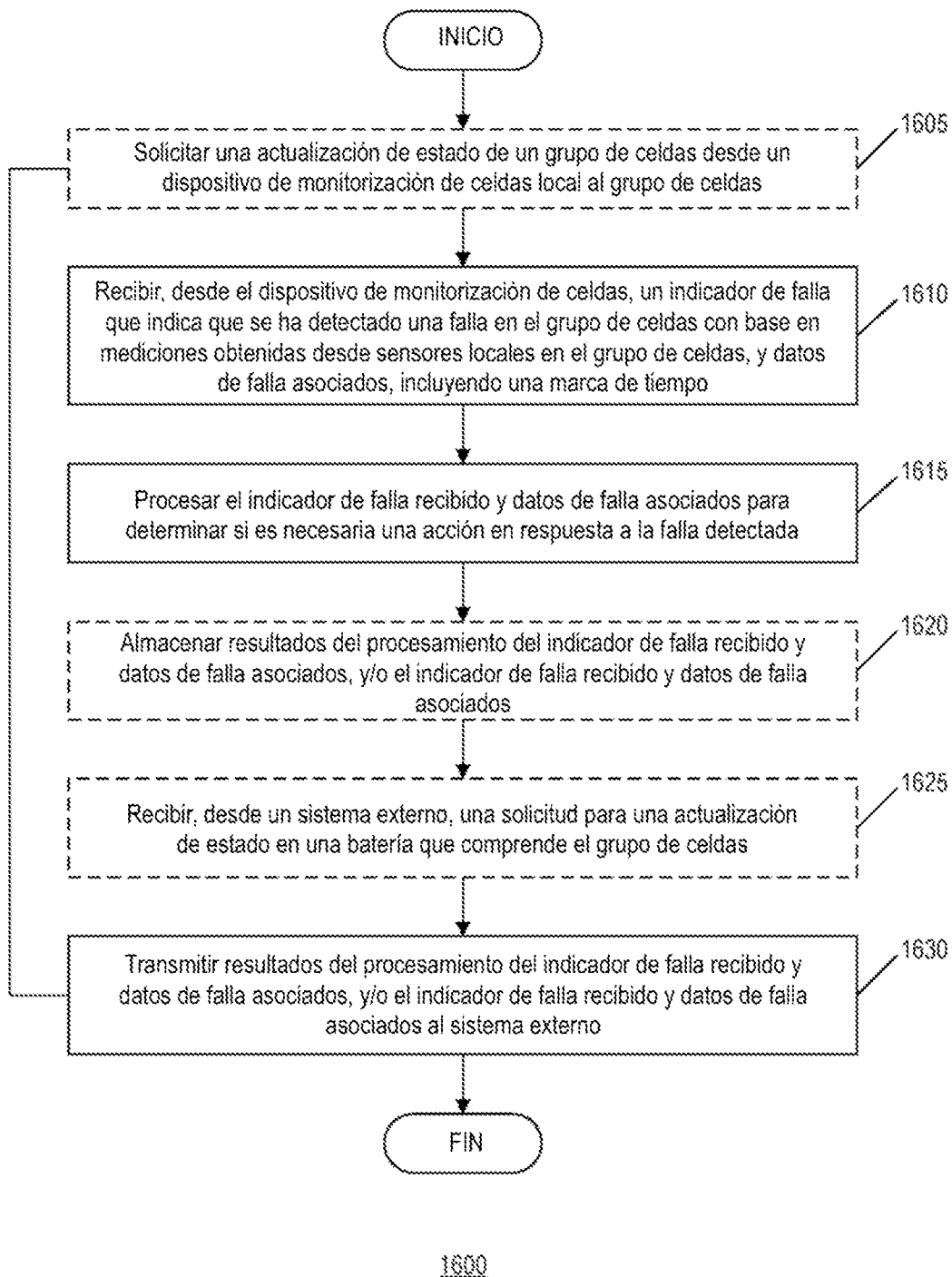


FIG. 15

**FIG. 16**