

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 980 239**

51 Int. Cl.:

G01K 7/22 (2006.01)

G01K 7/42 (2006.01)

G01R 31/74 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2019** **E 19177452 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2024** **EP 3575763**

54 Título: **Sistema de monitorización para la estimación de fatiga termomecánica en un fusible eléctrico**

30 Prioridad:

31.05.2018 US 201815994513

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

30.09.2024

73 Titular/es:

EATON INTELLIGENT POWER LIMITED (100.0%)
30 Pembroke Road
Dublin 4, IE

72 Inventor/es:

SIRIGINEEDI, GOPINADH;
R, PANDARINATH;
S, RAVISHANKAR;
DOUGLASS, ROBERT STEPHEN y
HANDCOCK, HAROLD

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 980 239 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

Sistema de monitorización para la estimación de fatiga termomecánica en un fusible eléctrico

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El campo de la invención se refiere, en general, a sistemas de distribución de energía eléctrica y, más específicamente, a sistemas y procedimientos para estimar una temperatura de un elemento fusible que tiene una resistencia no lineal en un circuito eléctrico con el fin de estimar la fatiga termomecánica en el elemento fusible.

Los fusibles se utilizan ampliamente como dispositivos de protección contra sobrecorriente para evitar daños costosos a los circuitos eléctricos. Los terminales de fusibles típicamente forman una conexión eléctrica entre una fuente de alimentación eléctrica o fuente de alimentación y un componente eléctrico o una combinación de componentes dispuestos en un circuito eléctrico. Uno o más enlaces o elementos fusibles, o un conjunto de elementos fusibles, están conectados entre los terminales de fusibles, de modo que cuando la corriente eléctrica fluye a través del fusible y/o la temperatura del fusible excede un límite predeterminado, los elementos fusibles se funden y abren uno o más circuitos a través del fusible para evitar daños en los componentes eléctricos.

En muchos sistemas de energía eléctrica para vehículos eléctricos y otros sistemas eléctricos, una falla de fusible como resultado de un procedimiento de fatiga termomecánica puede ser una molestia o una emergencia. En vista del uso cada vez mayor de vehículos eléctricos y otros sistemas electrónicos, se desean sistemas y procedimientos de monitoreo del uso de fusibles asequibles que puedan evaluar una condición térmica, y por lo tanto la fatiga, de un fusible eléctrico y predecir o estimar una vida útil restante del fusible hacia el objetivo de reemplazar un fusible fatigado por ciclo térmico antes de que falle por el procedimiento de fatiga para satisfacer las necesidades del mercado.

Se llama la atención sobre el documento US 2016 299 186 A1, que muestra un sistema de fusibles para un vehículo que incluye un elemento fusible configurado para recibir una corriente. Un controlador está conectado operativamente al elemento fusible y tiene un procesador y una memoria en la que se registran instrucciones para ejecutar un procedimiento para determinar la vida útil restante del fusible (LR) del elemento fusible. La ejecución de las instrucciones por parte del procesador hace que el controlador determine una temperatura (T) del elemento fusible. El controlador puede configurarse para determinar si la vida útil restante del fusible está por debajo del primer y segundo umbral. Si la vida útil restante del fusible está por encima del segundo umbral, se puede mostrar un primer mensaje en la pantalla de un vehículo. Si la vida útil restante del fusible está por debajo del segundo umbral, el vehículo puede cambiarse a un modo de funcionamiento alternativo predefinido. Además, el documento US 2011 291 481 A1 se refiere a un aparato de fuente de alimentación que está provisto de baterías que suministran energía a una carga, un circuito de regulación de corriente que controla la corriente de la batería, un fusible conectado en serie con las baterías, un primer circuito de cálculo que calcula una primera corriente permisible que puede fluir a través de las baterías según un parámetro que incluye corriente, temperatura, voltaje y capacidad restante especificados por la batería, y un segundo circuito de cálculo que calcula una segunda corriente permisible que puede fluir a través del fusible sin quemar el fusible según la integral de tiempo del flujo de corriente a través del fusible. El circuito de regulación de corriente controla la corriente de la batería a un valor inferior al de la primera corriente permitida calculada por el primer circuito de cálculo y el de la segunda corriente permitida calculada por el segundo circuito de cálculo.

Según la presente invención, se proporciona un sistema de evaluación de fatiga termomecánica según lo establecido en la reivindicación 1. Se divulgan realizaciones adicionales, entre otras, en las reivindicaciones dependientes.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Realizaciones no limitantes y no exhaustivas se describen con referencia a las siguientes Figuras, donde los números de referencia similares se refieren a partes similares a lo largo de los diversos dibujos a menos que se especifique lo contrario.

La Figura 1 ilustra un perfil de corriente ejemplar al que puede someterse un fusible de energía eléctrica.

La Figura 2 es una vista en planta superior de un fusible de potencia de alto voltaje que puede experimentar el perfil de corriente que se muestra en la Figura 1.

La Figura 3 es un circuito parcial esquemático de una porción de un sistema de energía eléctrica que ilustra una primera técnica de detección de corriente ejemplar según una realización de la presente invención.

La Figura 4 ilustra un primer rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 4 ilustra un primer gráfico de corriente deducida según el tiempo en el elemento fusible ejemplar.

Las Figuras 5A, 5B y 5C representan un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en la gráfica de corriente deducida según el tiempo ilustrada en la Figura 4, donde la Figura 5A ilustra una gráfica de un primer diferencial de temperatura calculado según el tiempo y una gráfica de un primer diferencial de temperatura estimado según el tiempo, donde la Figura 5B ilustra una gráfica de un segundo diferencial de temperatura calculado según el tiempo y una gráfica de un segundo diferencial de temperatura estimado según el tiempo, y donde la Figura 5C ilustra una gráfica de la temperatura del elemento fusible calculada según el tiempo y una gráfica de la temperatura del elemento fusible

estimada según el tiempo.

La Figura 6 ilustra un segundo rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 6 ilustra un segundo gráfico de corriente deducida frente al tiempo en el elemento fusible ejemplar.

Las Figuras 7A, 7B y 7C representan un rendimiento ejemplar de la técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en la gráfica de corriente deducida según el tiempo ilustrada en la Figura 6, donde la Figura 7A ilustra una gráfica de un primer diferencial de temperatura calculado según el tiempo y una gráfica de un primer diferencial de temperatura estimado según el tiempo, donde la Figura 7B ilustra una gráfica de un segundo diferencial de temperatura calculado según el tiempo y una gráfica de un segundo diferencial de temperatura estimado según el tiempo, y donde la Figura 7C ilustra una gráfica de la temperatura del elemento fusible calculada según el tiempo y una gráfica de la temperatura del elemento fusible estimada según el tiempo.

La Figura 8A ilustra un tercer rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 8A ilustra un tercer gráfico de corriente deducida según el tiempo en el elemento fusible ejemplar y la Figura 8B representa un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en el gráfico de corriente deducida según el tiempo ilustrado en la Figura 8A donde la Figura 8B ilustra un gráfico de temperatura calculada del elemento fusible según el tiempo y un gráfico de temperatura estimada del elemento fusible según el tiempo.

La Figura 9A ilustra un cuarto rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 9A ilustra un cuarto gráfico de corriente deducida según el tiempo en el elemento fusible ejemplar y la Figura 9B representa un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en el gráfico de corriente deducida según el tiempo ilustrado en la Figura 9A donde la Figura 9B ilustra un gráfico de temperatura calculada del elemento fusible según el tiempo y un gráfico de temperatura estimada del elemento fusible según el tiempo.

La Figura 10A ilustra un quinto rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 10A ilustra un quinto gráfico de corriente deducida según el tiempo en el elemento fusible ejemplar y la Figura 10B representa un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en el gráfico de corriente deducida según el tiempo ilustrado en la Figura 10A donde la Figura 10B ilustra un gráfico de temperatura calculada del elemento fusible según el tiempo y un gráfico de temperatura estimada del elemento fusible según el tiempo.

La Figura 11A ilustra un sexto rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 11A ilustra un sexto gráfico de corriente deducida según el tiempo en el elemento fusible ejemplar y la Figura 11B representa un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en el gráfico de corriente deducida según el tiempo ilustrado en la Figura 11A donde la Figura 11B ilustra un gráfico de temperatura calculada del elemento fusible según el tiempo y un gráfico de temperatura estimada del elemento fusible según el tiempo.

La Figura 12 es un diagrama de flujo del procedimiento que ilustra procedimientos ejemplares asociados con las técnicas y sistemas de estimación de la temperatura de los fusibles que se muestran en las Figuras 3-11.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Los recientes avances en las tecnologías de vehículos eléctricos, entre otras cosas, presentan desafíos únicos para los fabricantes de fusibles. Los fabricantes de vehículos eléctricos están buscando protección de circuitos con fusibles para sistemas de distribución de energía eléctrica que funcionen a voltajes mucho más altos que los sistemas de distribución de energía eléctrica convencionales para vehículos, mientras que al mismo tiempo buscan fusibles menos costosos con una funcionalidad efectiva de monitoreo de temperatura para facilitar la detección de condiciones de falla inminentes, por ejemplo, para cumplir con las especificaciones y demandas del vehículo eléctrico.

Los sistemas de energía eléctrica para vehículos convencionales accionados por motores de combustión interna funcionan a voltajes relativamente bajos, típicamente a o por debajo de aproximadamente 48VDC. Los sistemas de energía eléctrica para vehículos movidos por electricidad, denominados en esta solicitud vehículos eléctricos (VE), sin embargo, funcionan a voltajes mucho más altos. Los sistemas de voltaje relativamente alto (por ejemplo, 200 VDC y superiores) de los vehículos eléctricos generalmente permiten que las baterías almacenen más energía de una fuente de alimentación y proporcionen más energía a un motor eléctrico del vehículo con menores pérdidas (por ejemplo, pérdida de calor) que las baterías convencionales que almacenan energía a 12 voltios o 24 voltios utilizadas con motores de combustión interna, y sistemas de alimentación de 48 voltios más recientes.

Los fabricantes de equipos originales (OEM) de VE emplean fusibles de protección de circuitos para proteger las cargas eléctricas en vehículos eléctricos de batería (BEV), vehículos eléctricos híbridos (HEV) y vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV). En cada tipo de VE, los fabricantes de VE buscan maximizar el intervalo de kilometraje del VE por carga de batería al tiempo que reducen el costo de propiedad. El logro de estos objetivos depende del almacenamiento de energía y la entrega de energía del sistema del VE, así como del costo, tamaño, volumen y masa de los componentes del vehículo que son transportados por el sistema de energía. Los vehículos más pequeños, más asequibles y/o más livianos satisfarán estas demandas de manera más efectiva que los vehículos más grandes, más caros y más pesados, y como tales, todos los componentes de los vehículos eléctricos ahora se están examinando en busca de posibles ahorros de tamaño, peso y costos.

En términos generales, los componentes más complejos con sistemas de monitoreo de temperatura tienden a tener mayores costos de material asociados, mayores costos de componentes terminados y tienden a aumentar el tamaño general del VE para ocupar una cantidad indebida de espacio en un volumen de vehículo que se reduce, y tienden a introducir una mayor masa que reduce directamente el kilometraje del vehículo por cada carga de batería. Sin embargo, los fusibles de protección de circuitos de alta tensión conocidos que incorporan algunos tipos de monitoreo de temperatura son relativamente complejos, caros y relativamente grandes. Históricamente, y por una buena razón, los fusibles de protección de circuitos han tendido a aumentar en complejidad, costo y tamaño para satisfacer las demandas de los sistemas de energía de alto voltaje en lugar de los sistemas de menor voltaje. Como tal, los fusibles existentes necesarios para proteger los sistemas de energía de VE de alto voltaje son mucho más grandes que los fusibles existentes necesarios para proteger los sistemas de energía de bajo voltaje de los vehículos convencionales alimentados por motores de combustión interna. Se desean fusibles de potencia de alto voltaje menos complejos, menos costosos y más pequeños que incorporen funciones de monitoreo de temperatura para satisfacer las necesidades de los fabricantes de vehículos eléctricos, sin sacrificar el rendimiento y la confiabilidad de la protección del circuito.

Los sistemas de energía eléctrica para los VE del estado de la técnica pueden funcionar a voltajes tan altos como 450 VDC. El aumento del voltaje del sistema de energía proporciona deseablemente más energía al VE por carga de batería. Sin embargo, las condiciones de funcionamiento de los fusibles eléctricos en tales sistemas de alimentación de alta tensión son mucho más severas que en los sistemas de menor tensión. Específicamente, las especificaciones relacionadas con las condiciones de arco eléctrico a medida que se abre el fusible pueden ser particularmente difíciles de cumplir para los sistemas de energía de mayor voltaje, especialmente cuando se combinan con la preferencia de la industria por la reducción en el tamaño de los fusibles eléctricos. Las cargas cíclicas actuales, y los ciclos de temperatura resultantes, impuestos a los fusibles de potencia por los vehículos eléctricos del estado de la técnica también tienden a imponer tensión mecánica y desgaste que pueden conducir a un fallo prematuro de un elemento fusible convencional debido a la fatiga del elemento fusible. Si bien los fusibles de potencia conocidos que incorporan características de monitoreo de temperatura están actualmente disponibles para su uso por los OEM de VE en circuitos de alta tensión de las aplicaciones de VE del estado de la técnica, el costo y la complejidad de los fusibles de potencia convencionales capaces de proporcionar monitoreo de temperatura del elemento fusible para de VE es impracticablemente alto para su implementación en VE asequibles producidos en masa.

Proporcionar fusibles de potencia relativamente menos costosos y sistemas de monitoreo de temperatura que puedan manejar hábilmente la alta corriente y los altos voltajes de la batería de los sistemas de potencia de VE del estado de la técnica, al tiempo que proporcionan un rendimiento de interrupción aceptable ya que el elemento fusible funciona a altos voltajes y el monitoreo de la temperatura de al menos el elemento fusible es desafiante, por decir lo menos. Los fabricantes de fusibles y los fabricantes de vehículos eléctricos se beneficiarían de sistemas de monitoreo de temperatura de fusibles menos costosos y menos complejos. Si bien las innovaciones en vehículos eléctricos están liderando los mercados deseados para fusibles de mayor voltaje y sistemas de monitoreo de temperatura más pequeños y asequibles, la tendencia hacia sistemas eléctricos más pequeños, pero más potentes, trasciende el mercado de los vehículos eléctricos. Una variedad de otras aplicaciones de sistemas de energía sin duda se beneficiarían de sistemas de monitoreo de temperatura de elementos fusibles menos complejos y más asequibles. Las demandas impuestas a los fusibles eléctricos por las aplicaciones del sistema de energía de VE, sin embargo, presentan desafíos particulares que pueden acortar la vida útil de los fusibles eléctricos y que pueden resultar en un tiempo de inactividad no planificado del vehículo sin sistemas de monitoreo adicionales para facilitar la predicción de estos eventos de falla. Se necesitan mejoras a las necesidades de larga data e insatisfechas en la técnica.

Los sistemas y procedimientos de la invención se describen a continuación donde el monitoreo de la fatiga del fusible se logra al menos en parte monitoreando un parámetro de fatiga tal como la temperatura del elemento fusible o la tensión mecánica, y comparando el parámetro monitoreado con parámetros de fatiga conocidos para un elemento fusible similar para evaluar un estado de fatiga y la vida útil restante del fusible. El monitoreo de fatiga también se puede lograr monitoreando la temperatura del fusible, calculando una tensión asociada con las temperaturas máximas del elemento fusible en una carga de corriente cíclica, calculando un componente de daño por fatiga para cada temperatura máxima y acumulando los componentes de daño por fatiga a lo largo del tiempo para evaluar un estado de fatiga y una vida útil restante asociada del fusible.

La Figura 1 ilustra un perfil de accionamiento de corriente ejemplar 100 en una aplicación de sistema de energía de VE que puede hacer que un fusible, y específicamente el elemento o elementos de fusible en el mismo, sean susceptibles a la fatiga por ciclos de corriente de carga, al menos parcialmente debido a los ciclos de temperatura. La corriente se muestra a lo largo de un eje vertical en la Figura 1 con el tiempo mostrado a lo largo del eje horizontal. En las aplicaciones típicas del sistema de alimentación de VE, los fusibles de alimentación se utilizan como dispositivos de protección de circuitos para evitar daños a las cargas eléctricas por condiciones de falla eléctrica. Considerando el ejemplo de la Figura 1, los sistemas de energía de VE son susceptibles a grandes variaciones en las cargas de corriente y, por lo tanto, a grandes variaciones en la temperatura durante períodos de tiempo relativamente cortos. La variación en la corriente produce pulsos de corriente de varias magnitudes en secuencias producidas por hábitos de conducción aparentemente aleatorios según las acciones del conductor del vehículo eléctrico, las condiciones del tráfico y/o las condiciones de la carretera. Esto crea una variedad prácticamente infinita de ciclos de carga de corriente y temperatura en el motor de accionamiento de VE, la batería de accionamiento primario y cualquier fusible de energía

de protección incluido en el sistema.

Tales condiciones de carga de corriente aleatoria, ejemplificadas en el perfil de pulso de corriente de la Figura 1, son de naturaleza cíclica tanto para la aceleración del VE (correspondiente al drenaje de la batería) como para la desaceleración del VE (correspondiente a la carga regenerativa de la batería). Esta carga cíclica actual impone una tensión térmica cíclica en el elemento fusible, y más específicamente en los llamados puntos débiles del conjunto del elemento fusible en el fusible de potencia, por medio de un procedimiento de calentamiento por efecto Joule. Esta carga térmica cíclica del elemento fusible impone ciclos mecánicos de expansión y contracción en los puntos débiles del elemento fusible en particular. Esta carga cíclica mecánica repetida de los puntos débiles del elemento fusible impone una tensión acumulada que daña los puntos débiles hasta el punto de rotura en el tiempo. Para los fines de la presente descripción, este procedimiento y fenómeno termomecánico se denomina en esta invención fatiga del fusible. La fatiga del fusible es atribuible principalmente a la deformación por fluencia a medida que el fusible soporta el perfil de accionamiento. El calor generado en los puntos débiles del elemento fusible es el mecanismo principal que conduce a la aparición de la fatiga del fusible.

A continuación se describen realizaciones ejemplares de sistemas y procedimientos que facilitan una estimación computacionalmente eficiente y rentable de una temperatura de un conductor que tiene una resistencia no lineal, tal como un elemento fusible eléctrico. Los sistemas y procedimientos facilitan la estimación de las temperaturas experimentadas por el elemento fusible hacia el objetivo de reemplazar un fusible fatigado por el ciclo de temperatura antes de que falle como resultado de ciclos repetidos de temperatura y corriente. Esto se logra, como se explica en detalle a continuación, deduciendo (es decir, calculando y/o recibiendo) un flujo de corriente en el elemento fusible, recibiendo una temperatura ambiente y aplicando un modelo de estado-espacio a la corriente deducida y la temperatura ambiente para estimar la temperatura del elemento fusible. En consecuencia, el sistema puede proporcionar alertas y notificaciones sobre un recuento de ciclos de temperatura monitoreado, registrar datos e información sobre el mismo, comunicar los datos e información sobre el mismo, comunicar los datos e información a dispositivos remotos e incluso reconocer casos de sobretensión que pueden hacer que el fusible se abra/falle antes de su vida útil estándar esperada. Los aspectos del procedimiento serán en parte evidentes y en parte explícitamente discutidos en la siguiente descripción.

Si bien la presente invención se describe en el contexto de aplicaciones de VE que generan un perfil de corriente como el que se muestra en la Figura 1, y si bien la invención también se describe en el contexto de un tipo y clasificación particulares de un fusible para satisfacer las necesidades de la aplicación para VE ejemplar, los beneficios de la invención no se limitan necesariamente a aplicaciones de VE o al tipo o clasificaciones particulares descritas. Más bien, se cree que los beneficios de la invención se acumulan de manera más amplia en muchas aplicaciones diferentes del sistema de energía que generan otros perfiles de corriente. La invención también se puede poner en práctica en parte o en su totalidad para construir diferentes tipos de fusibles que tengan clasificaciones similares o diferentes a las descritas en esta invención. Por lo tanto, el perfil de corriente de VE que se muestra en la Figura 1 y el fusible que se describe a continuación se analizan con fines ilustrativos en lugar de limitativos.

La Figura 2 es una vista en planta superior de un fusible de potencia de alto voltaje ejemplar 200 que puede experimentar el perfil de corriente que se muestra en la Figura 1 y que está diseñado para su uso con un sistema de potencia de VE. Como se muestra en la Figura 2, el fusible de potencia 200 de la invención incluye una carcasa 202, cuchillas terminales 204, 206 configuradas para la conexión a una línea y un circuito de lado de la carga, y un elemento fusible 208 que incluye un punto débil de elemento fusible 209 que completa una conexión eléctrica entre las cuchillas terminales 204, 206. Cuando se somete a condiciones de corriente predeterminadas, al menos una porción del elemento fusible 208 se funde, se desintegra o falla estructuralmente de otro modo y abre la trayectoria del circuito entre las cuchillas terminales 204, 206. Por lo tanto, los circuitos del lado de la carga están aislados eléctricamente de los circuitos del lado de la línea para proteger los componentes del circuito del lado de la carga y el circuito de daños cuando ocurren condiciones de falla eléctrica.

El fusible 200 en un ejemplo está diseñado para proporcionar una clasificación de voltaje predeterminada y una clasificación de corriente adecuada para su uso en un sistema de energía eléctrica de un vehículo eléctrico en una realización contemplada. En un ejemplo, la carcasa 202 se fabrica a partir de un material no conductor conocido en la técnica tal como melamina de vidrio en una realización ejemplar. Alternativamente, se podrían utilizar otros materiales conocidos adecuados para la carcasa 202 en otras realizaciones, según se desee. Además, la carcasa 202 que se muestra es generalmente cilíndrica o tubular y tiene una sección transversal generalmente circular a lo largo de un eje paralelo a la longitud de las hojas de terminal 204, 206 en la realización ejemplar que se muestra. La carcasa 202 se puede formar alternativamente en otra forma si se desea, sin embargo, que incluye, pero no se limita a, una forma rectangular que tiene cuatro paredes laterales dispuestas ortogonalmente entre sí y, por lo tanto, que tiene una sección transversal de forma cuadrada o rectangular. La carcasa 202, como se muestra, incluye un primer extremo 210, un segundo extremo 212 y un orificio interno o pasaje entre los extremos opuestos 210, 212 que recibe y aloja el elemento fusible 208.

En algunas realizaciones, la carcasa 202 puede estar fabricada de un material eléctricamente conductor si se desea, aunque esto requeriría juntas aislantes y similares para aislar eléctricamente las cuchillas terminales 204, 206 de la carcasa 202.

Las cuchillas terminales 204, 206 se extienden respectivamente en direcciones opuestas desde cada extremo opuesto 210, 212 de la carcasa 202 y están dispuestas para extenderse en una relación generalmente coplanaria entre sí. Cada una de las cuchillas terminales 204, 206 puede estar fabricada a partir de un material eléctricamente conductor tal como cobre o plata o aleaciones metálicas adecuadas en las realizaciones contempladas. Alternativamente, se pueden utilizar otros materiales conductores conocidos en otras realizaciones, según se desee, para formar las cuchillas terminales 204, 206. Cada una de las cuchillas terminales 204, 206 está formada con una abertura 214, 216 como se muestra en la Figura 3, y las aberturas 214, 216 pueden recibir un sujetador tal como un perno (no mostrado) para asegurar el fusible 200 en su lugar en un VE y establecer conexiones de circuito de lado de línea y carga a conductores de circuito a través de las cuchillas terminales 204, 206.

Si bien se muestran y describen cuchillas terminales ejemplares 204, 206 para el fusible 200, también se pueden utilizar otras estructuras y disposiciones terminales en realizaciones adicionales y/o alternativas. Por ejemplo, las aberturas 214, 216 pueden considerarse opcionales en algunas realizaciones y pueden omitirse. Se pueden proporcionar contactos de hoja de cuchilla en lugar de las hojas de terminal como se muestra, así como terminales de férula o tapas de extremo como apreciarán los expertos en la técnica para proporcionar varios tipos diferentes de opciones de terminación. Las cuchillas terminales 204, 206 también pueden estar dispuestas en una orientación separada y generalmente paralela si se desea y pueden proyectarse desde la carcasa 202 en ubicaciones diferentes a las mostradas.

En diversas realizaciones, las placas de extremo 226, 228 pueden formarse para incluir las cuchillas terminales 204, 206 o las cuchillas terminales 204, 206 pueden proporcionarse y unirse por separado. Las placas de extremo 226, 228 pueden considerarse opcionales en algunas realizaciones y la conexión entre el elemento fusible 208 y las cuchillas terminales 204, 206 puede establecerse de otra manera.

Un medio o material de extinción de arco 232 rodea el elemento fusible 208. El medio de extinción de arco 232 se puede introducir en la carcasa 202 a través de una o más aberturas de llenado en una de las placas de extremo 226, 228 que se sellan con tapones (no se muestran). Los tapones pueden estar fabricados a partir de acero, plástico u otros materiales en diversas realizaciones. En otras realizaciones, se puede proporcionar un orificio de llenado u orificios de llenado en otras ubicaciones, que incluyen, entre otras, la carcasa 202 para facilitar la introducción del medio de extinción de arco 232.

En una realización contemplada, el medio de extinción de arco 232 incluye arena de sílice de cuarzo y un aglutinante de silicato de sodio. La arena de cuarzo tiene una capacidad de conducción y absorción de calor relativamente alta en su estado compactado suelto, pero puede silicarse para proporcionar un mejor rendimiento. Por ejemplo, al agregar una solución líquida de silicato de sodio a la arena y luego secar el agua libre, se puede obtener el medio de extinción del arco de silicato 232 con las siguientes ventajas.

El medio de extinción de arco 232 crea una unión de conducción térmica de silicato de sodio al elemento fusible 208, la arena de cuarzo, la carcasa del fusible 202 y las placas de extremo 226 y 228. Este enlace térmico permite una mayor conducción de calor desde el elemento fusible 208 a su entorno, interfaces de circuito y conductores. La aplicación de silicato de sodio a la arena de cuarzo ayuda a la conducción de energía térmica fuera y lejos del elemento fusible 208.

El silicato de sodio une mecánicamente la arena al elemento fusible, al terminal y al tubo de la carcasa, lo que aumenta la conducción térmica entre estos materiales. Convencionalmente, un material de relleno que puede incluir arena solo hace contacto puntual con las porciones conductoras del elemento fusible en un fusible, mientras que la arena silicatada del medio de enfriamiento por arco 232 se une mecánicamente al elemento fusible. Por lo tanto, el medio de enfriamiento por arco silicatado 232 hace posible una conducción térmica mucho más eficiente y efectiva.

Los elementos de fusible descritos en el fusible 200 utilizan elementos de fusible estampados o perforados de metal, lo que presenta cierta preocupación para las aplicaciones de VE, incluido el tipo de cargas de corriente cíclicas descritas anteriormente. Dichos diseños de elementos fusibles estampados, ya sean fabricados de cobre o plata o aleaciones de cobre, introducen indeseablemente tensiones y esfuerzos mecánicos en los puntos débiles 209 del elemento fusible, de modo que tiende a resultar una vida útil más corta que si el fusible 200 se usara en otro sistema de alimentación que tuviera una carga de corriente diferente. Esta corta vida útil del fusible se manifiesta en forma de funcionamiento molesto del fusible como resultado de la fatiga mecánica del elemento fusible en los puntos débiles 209.

En un sistema contemplado de la invención, la medición de la resistencia del fusible se puede realizar con precisión inyectando una corriente conocida a través del elemento fusible 208 como se describe adicionalmente a continuación. Es decir, el sistema puede medir la resistencia no lineal del fusible mientras está en servicio, y se pueden desarrollar algoritmos para evaluar los cambios en la resistencia y estimar una temperatura del elemento fusible 208 según la resistencia del fusible 200 y las condiciones térmicas ambientales, como se describirá más adelante.

La Figura 3 ilustra una primera técnica de detección de corriente ejemplar para un sistema de energía eléctrica

ejemplar 300 según una realización de la presente invención. La técnica mostrada en la Figura 3 reconoce que el fusible 200, como todos los fusibles eléctricos, es esencialmente una resistencia calibrada. Debido a que una resistencia hace caer el voltaje durante el funcionamiento, conociendo el voltaje V_{sense} , la corriente I_{sense} se puede calcular utilizando la Ley de Ohm si se conoce la resistencia del fusible R_{fusible} . El voltaje V_{sense} a través del fusible 200 no permite una determinación simple y directa de la corriente I_{sense} usando la ley de Ohm. Esto se debe a que el elemento fusible 208 en el fusible 200 exhibe una resistencia no lineal. Es decir, la resistencia del elemento fusible R_{fusible} está sujeta a cambios en diferentes condiciones de funcionamiento y, a medida que cambia la resistencia, el voltaje detectado V_{sense} variará de una manera que no siempre se correlaciona con un cambio en la corriente.

Por lo tanto, los circuitos de compensación 302 se proporcionan para, entre otras cosas, detectar de forma iterativa en períodos de tiempo sucesivos el voltaje V_{sense} , determinar la resistencia R_{fusible} en cada punto particular en el tiempo y calcular la corriente I_{sense} usando la ley de Ohm y/o relaciones predeterminadas entre el voltaje y la resistencia, la temperatura y la corriente para el elemento fusible en ciertas condiciones de funcionamiento. Con el tiempo, los cambios en la corriente en el fusible I_{sense} se pueden determinar de manera confiable solo a partir del voltaje detectado en el fusible V_{sense} , y la detección efectiva de la corriente se puede realizar sin sensores de corriente convencionales como los descritos anteriormente.

Por consiguiente, los circuitos de compensación 302 pueden incluir un controlador 304 que mide el voltaje del elemento fusible V_{sense} a intervalos periódicos para tener en cuenta las variaciones en la resistencia del fusible R_{fusible} , determina la resistencia del fusible R_{fusible} en cada intervalo periódico y calcula la corriente I_{sense} según el voltaje monitoreado V_{sense} y la resistencia determinada R_{fusible} . Si bien el controlador 304 se ilustra como parte de los circuitos de compensación 302, el controlador puede proporcionarse alternativamente en otro lugar, que incluye, pero no se limita a, un módulo de submedición (SMM) en, por ejemplo, una caja combinadora que incluye el fusible 200. Es decir, el controlador 304 no necesita ser una parte de los propios circuitos de compensación 302 en todas las realizaciones, sino que puede proporcionarse por separado.

El voltaje detectado V_{sense} en algunas realizaciones puede ingresarse opcionalmente a otro controlador opcional 306 en una ubicación local o remota con respecto al fusible 200 que calcula la corriente I_{sense} de la manera descrita a continuación. El controlador 306 puede proporcionarse además del o en lugar del controlador 304. Sin embargo, se entiende que la funcionalidad de los controladores 304, 306 que se muestran se puede combinar en un único controlador si se desea. En cualquier caso, uno o ambos controladores 304, 306 pueden determinar ventajosamente la resistencia R_{fusible} en cualquier punto dado en el tiempo como se explica a continuación, y según la determinación de la resistencia R_{fusible} , la corriente I_{sense} se puede calcular utilizando la ley de Ohm (es decir, $I_{\text{sense}} = V_{\text{sense}} / R_{\text{fusible}}$) al tiempo que se logra un sistema de detección de corriente relativamente más pequeño y más rentable que el que se muestra en la Figura 1.

Los controladores 304 y/o 306 pueden ser cada uno controladores basados en procesador. Como se usa en esta solicitud, el término "basado en procesador" se referirá no solo a controladores que incluyen un procesador o microprocesador, sino también a otros elementos equivalentes tales como microordenadores, controladores lógicos programables, circuitos con conjunto de instrucciones reducido (RISC), circuitos integrados específicos de la aplicación y otros circuitos programables, circuitos lógicos, equivalentes de los mismos y cualquier otro circuito o procesador capaz de ejecutar las funciones descritas a continuación. Los dispositivos basados en procesador enumerados anteriormente son solo ejemplares y, por lo tanto, no pretenden limitar de ninguna manera la definición y/o el significado del término "basado en procesador".

En lugar de o además del controlador 304, los circuitos de compensación 302 pueden incluir un amplificador diferencial que proporciona una entrada de voltaje directa o indirecta a un dispositivo basado en procesador, u otro sensor de voltaje o circuito de sensor de voltaje conocido en la técnica se puede aplicar en los circuitos de compensación 302 para detectar el voltaje V_{sense} con el fin de calcular la corriente I_{sense} . El cálculo de la corriente se puede realizar en su totalidad o en parte dentro de los circuitos de compensación 302 o los circuitos de compensación 302 pueden suministrar una señal de voltaje a otro dispositivo para realizar el cálculo o completar el cálculo de la corriente.

En las realizaciones contempladas, uno o ambos controladores 304 o 306 utilizan algoritmos para traducir la respuesta no lineal del elemento fusible en lecturas de corriente calculadas. En el ejemplo, el fusible 200 se conecta entre los circuitos del lado de la línea 308 y los circuitos del lado de la carga 310. Las lecturas de corriente calculadas se basan en un rendimiento idealizado del elemento fusible en un equilibrio de temperatura de estado estacionario. Dicho rendimiento idealizado puede modelarse matemáticamente utilizando relaciones conocidas y/o establecerse y verificarse experimentalmente para tipos y configuraciones particulares de fusibles eléctricos y elementos fusibles. El rendimiento modelado se puede expresar en gráficos y/o relaciones matemáticas que se pueden utilizar para calcular la corriente eléctrica que fluye a través del fusible a medida que se detectan cambios en el voltaje V_{sense} .

Dado que los diferentes elementos fusibles tienen sus propias variables y propiedades únicas e individuales, se requiere un esquema para codificar estas variables y propiedades únicas con las relaciones modeladas aplicables para la traducción adecuada y precisa del voltaje de la resistencia a una corriente calculada. Un esquema de codificación puede incluir etiquetado RFID y/o etiquetado de código de barras.

Los expertos en la materia apreciarán que los circuitos electrónicos propuestos requieren un esquema de aislamiento adecuado para aislar la tensión del sistema del sistema de energía eléctrica 300 de la electrónica. Una vez determinados, los datos actuales se pueden transmitir a una ubicación remota, a través de, por ejemplo, sistemas de comunicación ópticos o inalámbricos, aunque son posibles otros tipos de comunicación si se desea. Se proporciona una capacidad de pronóstico y/o diagnóstico que mejora la supervisión, el monitoreo y el control de un sistema de distribución de energía eléctrica, utilizando una arquitectura comparativamente simple y de bajo costo del sistema de detección de corriente.

Como se describe en detalle a continuación, las realizaciones contempladas miden simple y directamente la caída de voltaje V_{sense} a través del fusible 200 a una frecuencia predeterminada tal como 20Hz y, según la caída de voltaje medida y la caracterización previa del fusible a través de las relaciones aplicadas del fusible en condiciones idealizadas, calculan la corriente que causa la caída de voltaje medida. Ventajosamente, la arquitectura de detección actual se puede lograr a un coste relativamente bajo al tiempo que proporciona suficiente precisión para ciertas aplicaciones en las que solo se requiere precisión de telemetría en lugar de alta precisión.

Las técnicas de detección de corriente descritas hasta ahora se basan en una suposición idealizada de que, mientras que un elemento fusible típicamente exhibe una resistencia no lineal cuando se conecta a circuitos eléctricos energizados, una resistencia del elemento fusible depende linealmente de la temperatura en ciertas condiciones de funcionamiento. Con un enfoque hacia estas condiciones de funcionamiento, dicha dependencia lineal de la temperatura proporciona una base para determinar fácilmente una resistencia del elemento fusible en esas condiciones y, a su vez, calcular la corriente I_{sense} en cualquier momento deseado. En realidad, la suposición idealizada detrás de la determinación de la resistencia del fusible y la corriente calculada puede o no realizarse, pero, sin embargo, la corriente aún puede calcularse con precisión en muchos casos, como se demuestra más adelante.

Teniendo en cuenta un tipo bien conocido del elemento fusible 208, como una tira conductora de metal (por ejemplo, una tira de cobre) que tiene uno o más puntos débiles o áreas de área de sección transversal reducida, la suposición idealizada de resistencia lineal y temperatura a primera vista puede parecer inapropiada. Por ejemplo, el cobre tiene un coeficiente de temperatura de 0,0038 y aplicando este coeficiente se puede esperar que una resistencia del elemento fusible cambie en aproximadamente un 23 % a través de un diferencial de temperatura de 60 °C suponiendo que la resistencia realmente cambie linealmente con la temperatura. Sin embargo, en realidad, esta suposición puede ascender a alrededor de 0,38 % de error por °C en condiciones en las que el elemento fusible simplemente no sigue el comportamiento supuesto.

El sistema 300 y los procedimientos descritos son más fáciles de implementar y son más precisos en sistemas de energía eléctrica que tienen una carga de corriente relativamente estable, pero es más difícil en un sistema de energía de VE que tiene un perfil de pulso de corriente cíclico de tipo aleatorio como el que se muestra en la Figura 1. Sin embargo, el sistema 300 y los procedimientos pueden ser útiles para proporcionar estimaciones de la corriente que fluye a través del fusible 200 para su uso en el cálculo de la temperatura del elemento fusible 208 en un sistema de energía de VE como se describirá a continuación. Los datos recopilados por el sistema 300 se pueden utilizar de manera beneficiosa para refinar los algoritmos para aumentar la precisión de la evaluación de resistencia y temperatura realizada.

Si bien los conceptos descritos se ilustran en el contexto de calcular o deducir de otro modo la corriente con el fin de estimar al menos la temperatura del elemento fusible 208 del fusible 200, los conceptos ilustrados en la Figura 3 podrían aplicarse alternativamente a otros elementos conductores además de un fusible. El uso de elementos de circuito como fusibles, contactos de disyuntor, conexiones eléctricas y todos los demás componentes que introducen resistencia en serie en el circuito para estimar una condición térmica de un componente se puede aplicar de manera efectiva con un circuito de compensación adjunto en funcionamiento. Dado que cada elemento de circuito utilizado para la detección de corriente puede tener sus propias variables y propiedades únicas e individuales, se requiere un esquema para codificar estas variables y propiedades únicas con el elemento de circuito para la traducción adecuada y precisa de la tensión de la resistencia a una corriente calculada y, finalmente, a una temperatura estimada del componente según la corriente calculada y la temperatura ambiente con el fin de estimar la fatiga en el elemento fusible, como se describe en detalle a continuación.

La determinación de una temperatura del elemento fusible 208 para evaluar con mayor precisión la fatiga puede ser difícil dado el tamaño y las restricciones operativas de un fusible de VE típico. El cálculo de la temperatura del elemento fusible durante el funcionamiento del VE se puede lograr con varios sistemas computacionales, tales como ANSYS®, pero el análisis puede ser computacionalmente intensivo y puede requerir una potencia de cálculo sustancial para resolver operaciones trigonométricas y generar temperaturas calculadas para el elemento fusible 208. Los siguientes algoritmos, y técnicas para realizar los algoritmos, representan una forma relativamente ligera computacionalmente para estimar y modelar la condición térmica del elemento fusible 208.

En las realizaciones contempladas, los algoritmos son utilizados por uno o ambos controladores 304 y 306 para traducir las lecturas de corriente calculadas y la temperatura ambiente del fusible 200 en temperaturas estimadas para el elemento fusible 208 durante el uso operativo. En una realización contemplada, uno o ambos controladores 304 y 306 pueden deducir las lecturas de corriente calculadas, donde al menos uno de los controladores 304 y 306 puede al

menos uno de calcular la corriente que fluye a través del fusible 200 y recibir las lecturas de corriente calculadas de al menos otro controlador. En realizaciones contempladas, uno o ambos controladores 304 y 306 pueden recibir lecturas de corriente de cualquier otro componente que facilite la estimación de la temperatura, y por lo tanto la fatiga térmica, del elemento fusible 208 como se describe en esta invención.

Para estimar la temperatura del elemento fusible 208 en tiempo real, al menos uno de los controladores 304 y 306 utiliza una serie de algoritmos basados en el modelado de estado-espacio. La serie de algoritmos se puede usar para estimar la temperatura del elemento fusible 208 según una corriente deducida en el elemento fusible 208 y una temperatura ambiente del entorno en el que se encuentra el fusible 200. La estimación de la temperatura del elemento fusible 208 incluye deducir (es decir, calcular o recibir) la corriente en el elemento fusible 208 y la temperatura ambiente en la ubicación del fusible 200, estimar un primer diferencial de temperatura entre el elemento fusible 208 y el medio de extinción de arco 232, estimar un segundo diferencial de temperatura entre el medio de extinción de arco 232 y la temperatura ambiente, y finalmente, sumar el primer diferencial de temperatura, el segundo diferencial de temperatura y la temperatura ambiente para calcular la temperatura estimada del elemento fusible 208.

La Figura 4 ilustra un primer rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 4 ilustra un primer gráfico de corriente deducida según el tiempo en el elemento fusible 208. Según la corriente deducida en el elemento fusible, como se ilustra en la Figura 4, y la temperatura ambiente del fusible 200, las Figuras 5A, 5B y 5C representan un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención. Una vez que se determina la corriente que fluye a través del fusible 200 utilizando la técnica ilustrada en la Figura 3, la corriente deducida y la temperatura ambiente se utilizan para estimar la temperatura del elemento fusible 208 utilizando los algoritmos que se describen con más detalle a continuación.

En un primer ejemplo de técnica de estimación de temperatura contemplado, la temperatura del elemento fusible 208 puede estimarse usando una función de transferencia en el dominio Z. El primer diferencial de temperatura se puede estimar para una situación de corriente variable mediante el uso de la siguiente ecuación: donde $T_{\text{arena_fusible}}(i)$ es el primer diferencial de temperatura entre el elemento fusible y el medio de extinción de arco, o arena, y T es la temperatura ambiente. El primer diferencial de temperatura para una aplicación de corriente constante como se muestra en la Figura 4 se puede estimar de la siguiente manera para el medio de extinción de arco ejemplar 232 y el fusible 200 (Figura 2):

$$T_{\text{arena_fusible}}(i) = \frac{\left(0.002398 + 0.001 * \frac{(T - 21)}{64}\right)z - (0.001692)}{z^2 - (0.8131 - 0.12 * \frac{(T - 21)}{64})z}$$

donde $T_{\text{arena_fusible}}(i)$ es el primer diferencial de temperatura para la aplicación de corriente constante y T es la temperatura ambiente.

Usando la técnica de estimación de temperatura anterior, el cálculo del segundo diferencial de temperatura entre el medio de temple por arco 232 y la temperatura ambiente se puede estimar usando una función de transferencia en el dominio Z de la siguiente manera para el material de extinción del arco ejemplar 232 y el fusible 200:

$$T_{\text{arena_ambiente}}(i) = \frac{\left(1.159 - 0.0095 * \frac{T - 21}{64}\right) * 10^{-5} * z^2 - 1.147 * 10^{-5} * z}{z^4 - 0.6808 * z^3 + (2.3386 + 0.008 * \frac{T - 21}{64})z^2 - \left(2.65778 + \left(0.008 * \frac{T - 21}{64}\right)\right)z}$$

donde $T_{\text{arena_ambiente}}(i)$ es el segundo diferencial de temperatura, y T es la temperatura ambiente. Finalmente, la temperatura del elemento fusible 208 puede estimarse, como resultado del uso de las funciones de transferencia anteriores en el dominio Z, añadiendo el primer diferencial de temperatura y el segundo diferencial de temperatura a la temperatura ambiente.

En otro ejemplo de técnica de estimación de temperatura contemplado, la temperatura del elemento fusible 208 se puede estimar en el dominio del tiempo utilizando una serie de algoritmos para estimar el primer diferencial de temperatura y el segundo diferencial de temperatura en una condición de corriente variable. El primer diferencial de temperatura se puede estimar de la siguiente manera para un medio de extinción de arco ejemplar 232 y el fusible 200 (Figura 4):

$$T_{\text{arena_fusible}}(i) = \begin{cases} \left(0.8131 - 0.12 \cdot \frac{(T-21)}{64}\right) \cdot T_f(i-1) + \left(0.002398 + 0.001 \cdot \frac{(T-21)}{64}\right) \cdot I(i)^2 - 0.001692 \cdot I(i-1)^2 & t = 1 \text{ seg} \\ I(i)^{2.35} \cdot 0.0075 \cdot \left(1 + 1.1 \cdot \frac{T-21}{9 \cdot 64}\right) & t = 5 \text{ seg} \\ I(i)^{2.35} \cdot 0.0009 \cdot \left(1 + 1.1 \cdot \frac{T-21}{9 \cdot 64}\right) & t = 10 \text{ seg} \\ I(i)^{2.35} \cdot 0.001 \cdot \left(1 + 1.1 \cdot \frac{T-21}{9 \cdot 64}\right) & t = 50 \text{ seg} \\ T_f(50) & 50 < t \leq 100 \\ I(i)^{2.35} \cdot T_f(50) + (0.00115 \cdot \left(1 + 1.1 \cdot \frac{T-21}{9 \cdot 64}\right) - T_f(50)) \cdot \left(1 - e^{-\frac{(t-100)}{2300}}\right) & 100 < t \leq \infty \end{cases}$$

donde $T_{\text{arena_fusible}}(i)$ es el primer diferencial de temperatura, i es el instante de tiempo del perfil de accionamiento, t es la duración de la corriente constante y T es la temperatura ambiente.

Utilizando la técnica de estimación de temperatura anterior, el segundo diferencial de temperatura, en el dominio del tiempo, se puede estimar utilizando la siguiente ecuación:

$$T_{\text{arena_ambiente}}(i) = \left(2.65778 + \left(0.008 \cdot \frac{T-21}{64}\right)\right) \cdot T_{\text{arena}}(i-1) - \left(2.3386 + 0.008 \cdot \frac{T-21}{64}\right) \cdot T_{\text{arena}}(i-2) \\ + 0.6808 \cdot T_{\text{arena}}(i-3) + \left(1.159 - 0.0095 \cdot \frac{T-21}{64}\right) \cdot 10^{-5} \cdot I(i-2)^2 - 1.147 \cdot 10^{-5} \cdot I(i-1)^2$$

donde $T_{\text{arena_ambiente}}(i)$ es el segundo diferencial de temperatura, y T es la temperatura ambiente. Finalmente, la temperatura del elemento fusible 208 puede estimarse, como resultado del uso de los algoritmos de dominio de tiempo anteriores, añadiendo el primer diferencial de temperatura y el segundo diferencial de temperatura a la temperatura ambiente de la siguiente manera:

$$T_{\text{fusible}}(i) = T_{\text{arena_fusible}}(i) + T_{\text{arena_ambiente}}(i) + T$$

Las relaciones y cálculos pueden repetirse en cualquier intervalo de tiempo deseado para monitorizar la temperatura del elemento fusible 208 a lo largo del tiempo.

Los rendimientos de los algoritmos descritos anteriormente se muestran en las Figuras 5A, 5B y 5C según la gráfica de la corriente deducida frente al tiempo que se muestra en la Figura 4. Más específicamente, la Figura 5A ilustra un gráfico de un primer diferencial de temperatura calculado según el tiempo y un gráfico de un primer diferencial de temperatura estimado según el tiempo, la Figura 5B ilustra un gráfico de un segundo diferencial de temperatura calculado según el tiempo y un gráfico de un segundo diferencial de temperatura estimado según el tiempo, y la Figura 5C ilustra un gráfico de la temperatura calculada del elemento fusible según el tiempo y un gráfico de la temperatura estimada del elemento fusible según el tiempo. Cada una de las gráficas estimadas ilustradas por una de las respectivas Figuras 5A, 5B y 5C ilustra un rendimiento de al menos uno de los algoritmos que utilizan las técnicas descritas anteriormente.

Como se puede observar en la Figura 4, el gráfico de la corriente deducida indica que la velocidad de flujo de corriente a través del fusible 200 es sustancialmente constante. Con base en la corriente deducida y la temperatura ambiente del fusible 200, el primer diferencial de temperatura estimado para la situación de corriente sustancialmente constante se estima realizando la técnica y los algoritmos descritos anteriormente, y el primer diferencial de temperatura estimado resultante entre una temperatura del elemento fusible 208 y una temperatura del medio de extinción de arco 232 se traza como se muestra en la Figura 5A. Como se ilustra en la Figura 5A, la gráfica del primer diferencial de temperatura estimado sigue de cerca la gráfica del primer diferencial de temperatura calculado que se generó utilizando un procedimiento de cálculo intensivo, como ANSYS. En este ejemplo, el primer diferencial de temperatura estimado aumenta lentamente hasta que se alcanza una condición de equilibrio térmico aproximadamente a la mitad de la ventana de medición, lo que indica que el medio de extinción de arco 232 alcanza rápidamente una condición térmica de estado estacionario con respecto al elemento fusible 208 durante el funcionamiento del fusible 200 mientras el elemento fusible 208 recibe una velocidad sustancialmente constante de flujo de corriente. Además, el diferencial de temperatura estimado aumenta desde la condición inicial hasta la condición de equilibrio térmico en una cantidad relativamente pequeña, lo que indica que el medio de extinción de arco es un conductor de energía térmica relativamente bueno.

La Figura 5B ilustra la gráfica del segundo diferencial de temperatura estimado, la gráfica generada utilizando la técnica y los algoritmos descritos anteriormente para una situación de corriente constante y según la temperatura ambiente del fusible 200 y la corriente deducida. Como se muestra en la Figura 5B, la gráfica del segundo diferencial de temperatura estimado sigue de cerca la gráfica del segundo diferencial de temperatura calculado que se generó utilizando un procedimiento de cálculo intensivo, como ANSYS. En este ejemplo, el segundo diferencial de temperatura

estimado aumenta rápidamente hasta una condición de equilibrio térmico dentro del primer 25 % de la ventana de medición, lo que indica además que el medio de extinción de arco 232 alcanza rápidamente una condición térmica de estado estacionario en relación con las condiciones ambientales durante el funcionamiento del fusible 200 mientras el elemento fusible 208 recibe una velocidad sustancialmente constante de flujo de corriente.

- 5 La Figura 5C ilustra la gráfica de la temperatura estimada del elemento fusible, la gráfica generada utilizando la técnica y los algoritmos descritos anteriormente para una situación de corriente constante y según la temperatura ambiente del fusible 200 y la corriente deducida. Como se muestra en la Figura 5C, la gráfica de la temperatura estimada del elemento fusible sigue de cerca la gráfica del segundo diferencial de temperatura calculado que se generó utilizando
- 10 un procedimiento de cálculo intensivo, como ANSYS. En este ejemplo, la temperatura estimada del elemento fusible aumenta a una tasa que es aproximadamente igual a una resultante de la combinación de la tasa de aumento del primer diferencial de temperatura estimado y la tasa de aumento del segundo diferencial de temperatura estimado hasta que se alcanza una condición de equilibrio térmico dentro del primer 20 % de la ventana de medición.
- 15 Las realizaciones ejemplares de la técnica ilustrada en las Figuras 3, 4, 5A, 5B y 5C que adoptan los conceptos y algoritmos descritos anteriormente se describirán ahora en realizaciones específicas adicionales que se cree que son ventajosas para ilustrar la aplicación de la técnica ilustrada en las Figuras 3, 4, 5A, 5B y 5C.
- 20 La Figura 6 ilustra un segundo rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 6 ilustra un segundo gráfico de corriente deducida frente al tiempo en el elemento fusible ejemplar. Como se muestra en la Figura 6, la corriente que fluye a través del fusible 200 es una corriente periódica de tipo pulso. Las Figuras 7A, 7B y 7C representan un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en la gráfica de corriente deducida según el tiempo ilustrada en la Figura 6, donde la
- 25 Figura 7A ilustra una gráfica de un primer diferencial de temperatura calculado según el tiempo y una gráfica de un primer diferencial de temperatura estimado según el tiempo, donde la Figura 7B ilustra una gráfica de un segundo diferencial de temperatura calculado según el tiempo y una gráfica de un segundo diferencial de temperatura estimado según el tiempo, y donde la Figura 7C ilustra una gráfica de la temperatura del elemento fusible calculada según el tiempo y una gráfica de la temperatura del elemento fusible estimada según el tiempo.
- 30 La Figura 8A ilustra un tercer rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3. La Figura 8A ilustra un tercer gráfico de corriente deducida frente al tiempo en el elemento fusible ejemplar, donde la corriente que fluye a través del fusible 200 es una corriente periódica no simétrica de tipo pulso. La Figura 8B representa un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en la
- 35 gráfica de corriente deducida frente al tiempo ilustrada en la Figura 8A, donde la Figura 8B ilustra una gráfica de temperatura del elemento fusible calculada frente al tiempo y una gráfica de temperatura del elemento fusible estimada frente al tiempo. Como se muestra en la Figura 8B, la gráfica de la temperatura estimada del elemento fusible sigue de cerca la gráfica de la temperatura calculada del elemento fusible para la corriente de tipo pulso no simétrica representada en la Figura 8A.
- 40 La Figura 9A ilustra un cuarto rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 9A ilustra un cuarto gráfico de corriente deducida frente al tiempo en el elemento fusible ejemplar, donde la corriente que fluye a través del fusible 200 es una corriente de tipo pulso aleatoria y no simétrica. La Figura 9B representa un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en la
- 45 gráfica de corriente deducida frente al tiempo ilustrada en la Figura 9A, donde la Figura 9B ilustra una gráfica de temperatura del elemento fusible calculada frente al tiempo y una gráfica de temperatura del elemento fusible estimada frente al tiempo. Como se muestra en la Figura 9B, la gráfica de la temperatura estimada del elemento fusible sigue de cerca la gráfica de la temperatura calculada del elemento fusible para la corriente de tipo aleatorio no simétrica representada en la Figura 9A.
- 50 La Figura 10A ilustra un quinto rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 10A ilustra un quinto gráfico de corriente deducida frente al tiempo en el elemento fusible ejemplar, donde la corriente que fluye a través del fusible 200 es otra realización de una corriente de tipo pulso aleatoria y no simétrica. La Figura 10B representa un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en la
- 55 gráfica de corriente deducida frente al tiempo ilustrada en la Figura 10A, donde la Figura 10B ilustra una gráfica de temperatura del elemento fusible calculada frente al tiempo y una gráfica de temperatura del elemento fusible estimada frente al tiempo. Como se muestra en la Figura 10B, la gráfica de la temperatura estimada del elemento fusible sigue de cerca la gráfica de la temperatura calculada del elemento fusible para la corriente de tipo aleatorio no simétrica representada en la Figura 10A.
- 60 La Figura 11A ilustra un sexto rendimiento ejemplar de la técnica ilustrada en la Figura 3, donde la Figura 11A ilustra un sexto gráfico de corriente deducida frente al tiempo en el elemento fusible ejemplar, donde la corriente que fluye a través del fusible 200 es otra realización más de una corriente de tipo pulso aleatoria y no simétrica. La Figura 11B representa un rendimiento ejemplar de una técnica de estimación de temperatura ejemplar según una realización de la presente invención basada en la
- 65 gráfica de corriente deducida frente al tiempo ilustrada en la Figura 11A, donde la Figura 11B ilustra una gráfica de temperatura del elemento fusible calculada frente al tiempo y una gráfica de temperatura del elemento fusible estimada frente al tiempo. Como se muestra en la Figura 11B, la gráfica de la

temperatura estimada del elemento fusible sigue de cerca la gráfica de la temperatura calculada del elemento fusible para la corriente de tipo aleatorio no simétrica representada en la Figura 11A.

Las precisiones con las que al menos uno de los algoritmos de estimación de temperatura del elemento fusible descritos anteriormente estima las temperaturas del elemento fusible para los perfiles de corriente ilustrados en las Figuras 4, 6, 8A, 9A, 10A y 11A se ilustran en la tabla a continuación. El error cuadrático medio (RMSE - *root-mean-square error*) para la aplicación de al menos uno de los algoritmos a los perfiles de corriente ilustrados anteriormente varía de 0,46 °C a 1,95 °C. El error máximo a una temperatura máxima del elemento fusible para la aplicación de al menos uno de los algoritmos a los perfiles de corriente ilustrados anteriormente varía de 1,5 °C a 3,1 °C. El error más grande a una temperatura máxima resultante de la temperatura estimada del elemento fusible para el perfil de corriente PLS1 (ilustrado en las Figuras 8A y 8B) representa un error de 5,2 %, aproximadamente, en comparación con una temperatura calculada por ANSYS para el perfil de corriente. El error más pequeño a una temperatura máxima resultante de la temperatura estimada del elemento fusible para el perfil de corriente Hard-Set2 (ilustrado en las Figuras 10A y 10B) representa un error de 2,1 %, aproximadamente, en comparación con una temperatura calculada por ANSYS para el perfil de corriente.

PERFIL DE CORRIENTE	ERROR CUADRÁTICO MEDIO (°C)	ERROR MÁXIMO EN EL PICO (°C)
Figura 6	1,95	2
Figura 8A	1,24	3,1
Figura 9A	0,77	1,7
Figura 10A	0,46	1,5
Figura 11A	0,47	2,1

Los algoritmos y técnicas de estimación de temperatura del elemento fusible para la estimación de temperatura descritos en esta invención representan relaciones de base empírica determinadas a través de la aplicación de procedimientos científicos y matemáticos. Si bien los algoritmos y relaciones ejemplares descritos en esta invención facilitan la estimación eficiente y efectiva de la temperatura de un elemento fusible, se contempla que se pueden utilizar otros algoritmos y relaciones para estimar la temperatura del elemento fusible mediante la aplicación de las técnicas descritas en esta invención.

La Figura 12 es un diagrama de flujo del procedimiento que ilustra procedimientos ejemplares 800 asociados con las técnicas y sistemas de estimación de la temperatura del fusible que se muestran en las Figuras 3-11 que, a su vez, permiten la evaluación de la fatiga del fusible. Los procedimientos 800 se pueden realizar electrónicamente para implementar un sistema de estimación de temperatura de fusible eléctrico tal como los descritos anteriormente o incluso variaciones adicionales según corresponda o como se describe para satisfacer de manera flexible las necesidades particulares de diferentes sistemas de energía eléctrica. Si bien los procedimientos 800 pueden ser particularmente deseables en la aplicación del sistema de energía de VE como se describió anteriormente, no se limitan a las aplicaciones del sistema de energía de VE y, en cambio, se pueden extender a cualquier sistema de energía en el que la determinación de una temperatura de fusible y los problemas discutidos anteriormente sean de interés práctico.

Como se muestra en las etapas preparatorias en la Figura 12, se proporciona un fusible en la etapa 802 y se proporciona un controlador en la etapa 804. Como se describió anteriormente, el fusible proporcionado en la etapa 802 puede incluir uno o más elementos fusibles de metal estampado que definen una geometría que incluye al menos un punto débil, y el controlador proporcionado en la etapa 804 puede incluir los controladores descritos anteriormente. En las realizaciones contempladas, el controlador puede estar integrado en el fusible y, como tal, las etapas 802 y 804 pueden implementarse en una sola etapa, en lugar de en etapas separadas. En otras realizaciones contempladas, el controlador puede estar integrado en un portafusibles o un interruptor de desconexión que incluye el controlador. Sin embargo, en aún otras realizaciones, el controlador proporcionado en la etapa 804 puede proporcionarse de otra manera que facilite la evaluación. En realizaciones que incluyen más de un controlador como se contempló anteriormente, se realizarían adecuadamente etapas adicionales similares a la etapa 804. Cuando así se proporciona, el controlador o controladores suministrados pueden monitorear al menos un parámetro de condición térmica durante un período de tiempo mientras el fusible proporcionado en la etapa 802 está conectado a un sistema de energía eléctrica energizado.

Como se representa en la etapa 806, se puede proporcionar una fuente de corriente y el controlador puede inyectar una corriente. Los circuitos de compensación como los descritos anteriormente pueden proporcionarse internos o externos al fusible y pueden configurarse para detectar el flujo de corriente a través del fusible. Usando técnicas como las descritas anteriormente, el controlador puede configurarse para deducir una corriente en el elemento fusible. En algunos casos, también se puede utilizar un sensor de corriente separado opcional (o sensores de corriente)

representado en la etapa 808 para facilitar las mediciones/deducciones de corriente, la determinación del tipo de corriente (constante o variable) y/o proporcionar de otro modo cierta capacidad para evaluar las condiciones térmicas del elemento fusible. Como tal, las técnicas de inyección de corriente y los circuitos de compensación no se requieren necesariamente en todas las realizaciones.

Como se muestra en la etapa 810, el controlador está configurado para determinar la resistencia no lineal del elemento fusible en el fusible proporcionado en la etapa 802. En una realización contemplada, la resistencia determinada se utiliza para calcular o deducir de otro modo una cantidad de corriente que fluye a través del elemento fusible durante el funcionamiento del VE en cualquier momento dado.

Como se representa en la etapa 812, una temperatura ambiente del fusible es recibida por el controlador. Dicha medición de temperatura ambiente puede ser recibida por el controlador desde un sensor de temperatura separado colocado en el mismo entorno que el fusible. En algunos casos, el controlador se coloca en un entorno que tiene la misma temperatura ambiente que el entorno en el que se coloca el fusible y el controlador incluye un sensor de temperatura que mide la temperatura ambiente en el controlador y, por lo tanto, el fusible.

En una realización contemplada, la corriente calculada o deducida de otro modo en el elemento fusible y la temperatura ambiente medida del entorno que rodea el fusible se utilizan para estimar una temperatura del elemento fusible como se muestra en la etapa 814. Específicamente, y como se describió anteriormente en detalle, en algunas realizaciones, según al menos la corriente deducida en el elemento fusible y la temperatura ambiente del entorno que rodea el elemento fusible, se estima un primer diferencial de temperatura entre una temperatura del elemento fusible y una temperatura de un medio de extinción de arco como se representa en la etapa 816. Además, como se describió anteriormente, según al menos la corriente deducida en el elemento fusible y la temperatura ambiente del entorno que rodea el elemento fusible, se estima un segundo diferencial de temperatura entre la temperatura del medio de extinción de arco y la temperatura ambiente como se representa en la etapa 818. Finalmente, como se muestra en la etapa 814, el primer diferencial de temperatura, el segundo diferencial de temperatura y la temperatura ambiente se suman a la temperatura estimada del elemento fusible.

Una vez que se estima la temperatura del elemento fusible, el controlador puede comunicar información sobre las condiciones térmicas estimadas experimentadas por el elemento fusible como se muestra en la etapa 820. La comunicación de las condiciones térmicas experimentadas por el elemento fusible se puede comunicar de cualquier manera tal como las descritas anteriormente o conocidas en la técnica. Si bien la comunicación inalámbrica puede ser preferida en ciertos sistemas, la comunicación por cable puede ser preferida en otros, y en algunos sistemas se podrían utilizar comunicaciones tanto inalámbricas como por cable para proporcionar realizaciones de comunicación redundantes. La condición térmica del elemento fusible comunicada puede, como se describió anteriormente, comunicarse de un controlador a otro (o de un dispositivo a otro) antes de recibirse en un destino apropiado, donde se pueden generar alertas o notificaciones como se muestra en la etapa 822 para evitar el funcionamiento de tipo molesto del fusible debido a problemas relacionados con las condiciones térmicas experimentadas por el elemento fusible. En particular, la comunicación de la información puede incluir un dispositivo lector o un dispositivo remoto en comunicación con el controlador. En realizaciones que tienen múltiples controladores, los controladores pueden determinar o comunicar solo una parte de la información a otro controlador o dispositivo que puede procesar adicionalmente la información recibida hasta que finalmente la información de condición térmica esté disponible para la comunicación en la etapa 820 con el propósito final de notificación en la etapa 822 de que el fusible ha experimentado un ciclo térmico predeterminado y/o ha estado expuesto a temperaturas por encima de un punto predeterminado. Antes de que dicha notificación se genere adecuadamente, la información de exposición a la condición térmica puede registrarse y comunicarse también para facilitar la funcionalidad de archivo y análisis de datos, así como los informes deseados. Esta información de exposición a la condición térmica se puede usar para evaluar la fatiga del elemento fusible en vista de las condiciones térmicas estimadas experimentadas por el elemento fusible. Estas evaluaciones se pueden realizar utilizando un modelo empírico, aplicando la regla de Miner de componentes de daño acumulado de ciclos térmicos, modelos de regresión de la vida útil de los fusibles o mediante otros modelos y técnicas de estimación de la vida útil de los fusibles familiares para los expertos en la materia.

Después de que se genera la notificación de la etapa 822, se puede proporcionar un tiempo de espera para que se pueda tomar una acción adecuada con respecto a la notificación, que puede incluir el reemplazo de fusibles, la inspección y/o el registro de datos adicionales para garantizar que el uso y disfrute del sistema de energía no se interrumpa. En aplicaciones como en las aplicaciones del sistema de energía de VE discutidas, la confiabilidad del sistema y la satisfacción del usuario pueden mejorarse evitando un funcionamiento de tipo molesto impredecible del fusible atribuible a la fatiga del fusible, al menos parcialmente, como resultado de la fatiga térmica del fusible.

Como se muestra en la etapa 824, el controlador puede configurarse para identificar una condición de falla según la temperatura del elemento fusible. En la etapa 826, el controlador también puede configurarse para identificar un tipo específico de condición de falla en el sistema de energía eléctrica utilizando técnicas tales como las descritas anteriormente (por ejemplo, identificación de falla según una ventana de evaluación de una duración predeterminada). En la etapa 828, el controlador puede configurarse para comunicar el tipo de condición de falla. Dicha comunicación de tipos específicos de condiciones de falla puede ser valiosa para solucionar problemas u optimizar los sistemas de energía eléctrica a lo largo del tiempo, así como para proporcionar información en tiempo real sobre el rendimiento de

los fusibles eléctricos en un sistema de energía eléctrica.

5 Habiendo descrito las relaciones, algoritmos y cálculos funcionalmente por la descripción anterior, los expertos en la materia pueden implementar en consecuencia las relaciones, algoritmos y cálculos a través de la programación de los controladores u otros dispositivos basados en procesador. Se cree que dicha programación o implementación de los conceptos descritos está dentro del alcance de los expertos en la materia y no se describirá con más detalle.

Ahora se cree que las ventajas y beneficios de la invención se han demostrado ampliamente en las realizaciones ejemplares descritas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) que comprende:
 - 5 un conductor eléctrico (208) que tiene una resistencia que está sujeta a cambios en diferentes condiciones de funcionamiento cuando se conecta a un sistema de energía eléctrica energizado;
 - un sensor de temperatura colocado en el mismo entorno que el conductor eléctrico, o en un entorno que tiene la misma temperatura que el entorno en el que se coloca el conductor eléctrico (208), y configurado para medir la temperatura ambiente del conductor eléctrico;
 - 10 uno o más sensores de corriente para proporcionar una medición de la corriente que fluye a través del conductor (208); y un controlador (304, 306) operable para estimar una temperatura de funcionamiento del conductor eléctrico (208) según un valor de temperatura ambiente del sensor de temperatura, y la corriente que fluye a través del conductor (208) según lo proporcionado por el sensor o sensores de corriente,
 - 15 **caracterizado porque** el controlador (304, 306) está configurado, además, para:
 - estimar la temperatura del elemento fusible según una adición de un primer diferencial de temperatura estimado, un segundo diferencial de temperatura estimado y la temperatura ambiente;
 - 20 donde el primer diferencial de temperatura estimado es un diferencial de temperatura estimado entre una temperatura del elemento fusible y una temperatura de un medio de extinción de arco que rodea el elemento fusible, el primer diferencial de temperatura estimado se estima según la temperatura ambiente y la corriente que fluye a través del elemento fusible; y
 - donde el segundo diferencial de temperatura estimado es un diferencial de temperatura estimado entre la temperatura del medio de extinción de arco y la temperatura ambiente, el segundo diferencial de temperatura estimado se estima según la temperatura ambiente y la corriente que fluye a través del elemento fusible.
2. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 1, donde el controlador (304, 306) está configurado además para estimar el primer diferencial de temperatura, el segundo diferencial de temperatura y la temperatura del elemento fusible utilizando al menos una función de transferencia de dominio Z.
3. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 1, donde el controlador (304, 306) está configurado además para estimar el primer diferencial de temperatura, el segundo diferencial de temperatura y la temperatura del elemento fusible usando al menos un algoritmo de dominio de tiempo.
- 35 4. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 1, donde el controlador está configurado para comunicar de forma inalámbrica al menos uno de la temperatura ambiente, la corriente que fluye a través del elemento fusible, el primer diferencial de temperatura estimado, el segundo diferencial de temperatura estimado y la temperatura estimada del elemento fusible.
- 40 5. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 1, donde el controlador (304, 306) está configurado para evaluar un estado de fatiga del elemento fusible según al menos uno del primer diferencial de temperatura estimado, el segundo diferencial de temperatura estimado y la temperatura estimada del elemento fusible.
- 45 6. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 1, donde el controlador incluye el sensor de temperatura.
7. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 1, donde el conductor eléctrico (208) es un elemento fusible definido por una tira de metal conductor (5) que tiene al menos un punto débil (209) de un área de sección transversal reducida.
- 50 8. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 7, donde el elemento fusible se puede conectar entre elementos terminales (204, 206) de un fusible de potencia que establecen una conexión eléctrica a un sistema de potencia de un vehículo eléctrico.
- 55 9. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 8, donde los elementos terminales (204, 206) son cuchillas terminales.
10. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 8, donde el elemento fusible está contenido en una carcasa (202) del fusible de potencia.
- 60 11. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica (300) según la reivindicación 10, donde la carcasa (202) es cilíndrica.
- 65 12. El sistema de evaluación de fatiga termomecánica según la reivindicación 8, donde el elemento fusible está diseñado para abrir un circuito bajo un voltaje de funcionamiento de 450VDC.

100

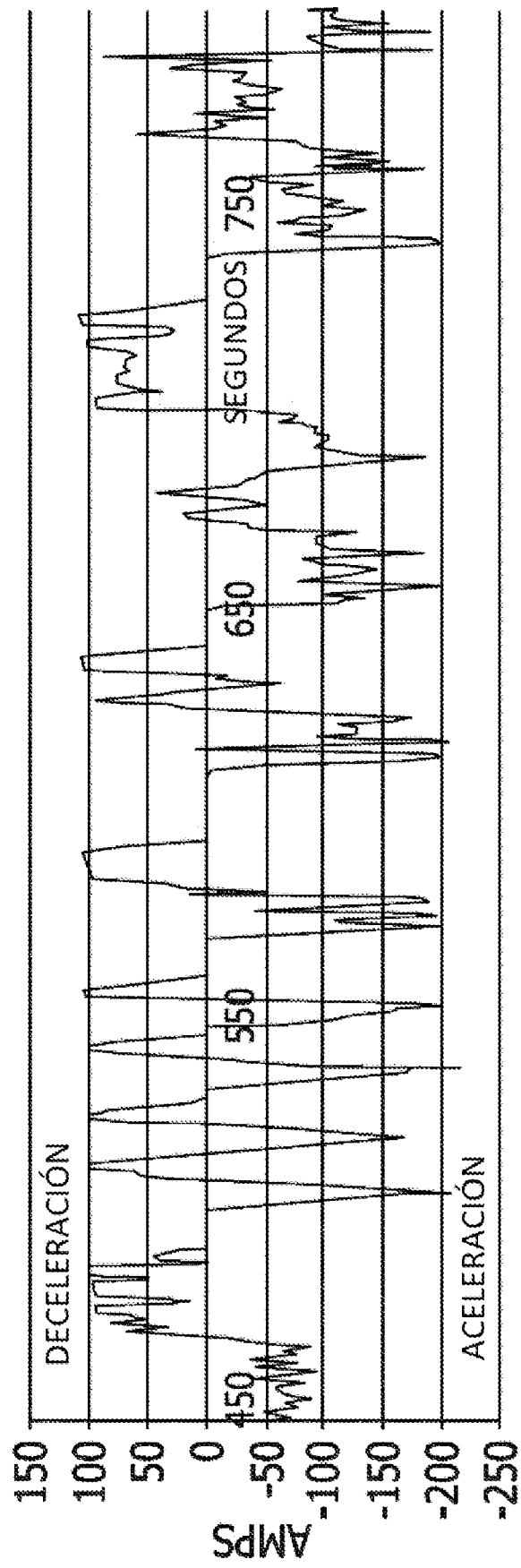


FIG. 1

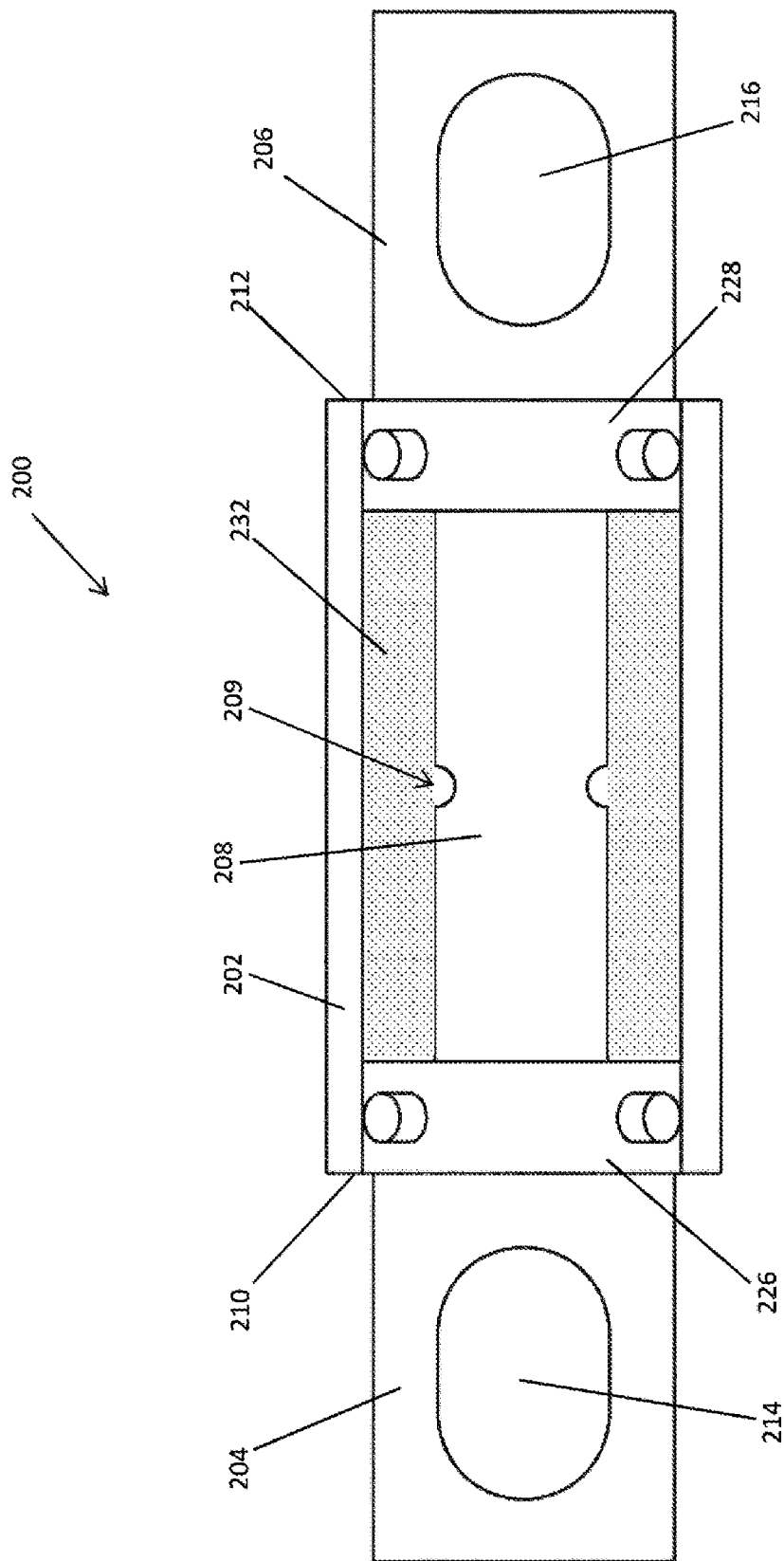


FIG. 2

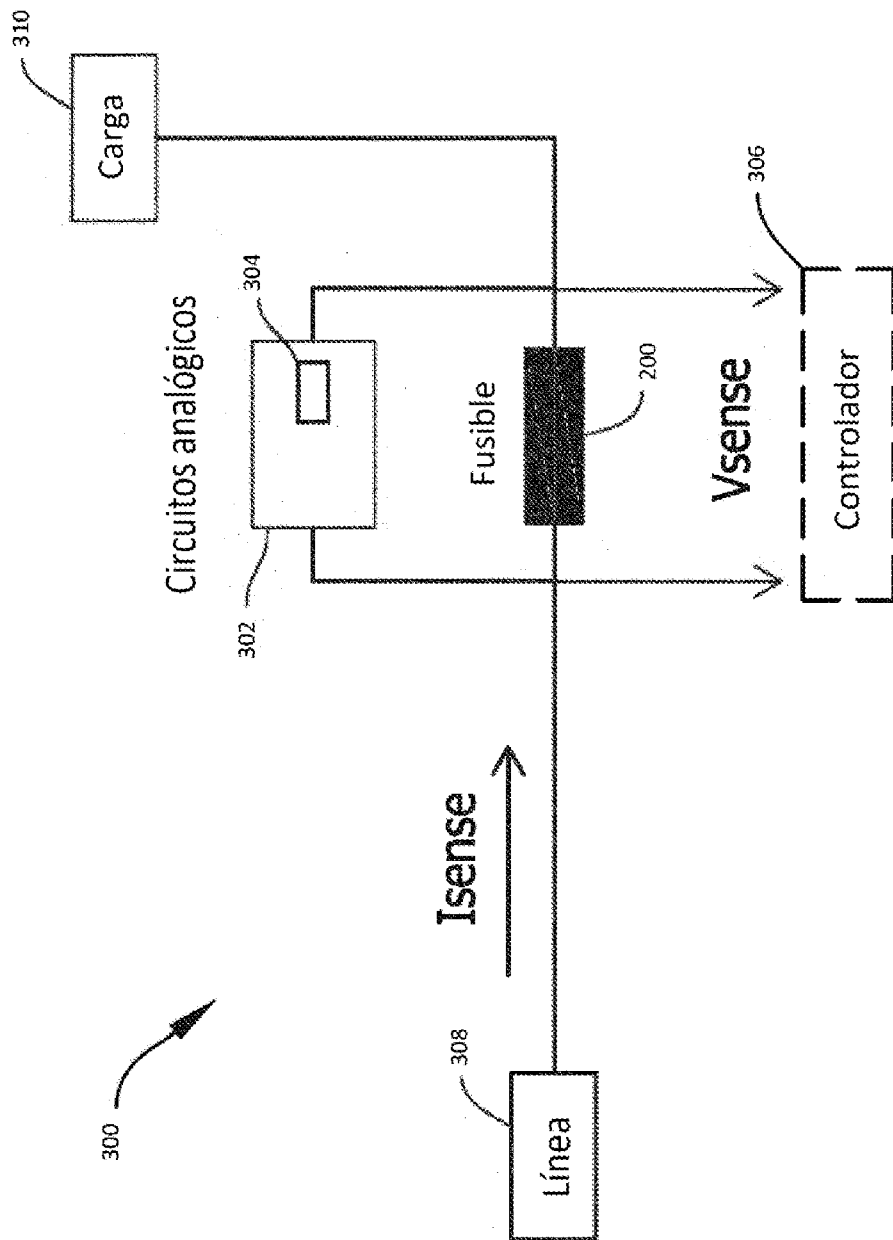


FIG. 3

PERFIL DE CORRIENTE

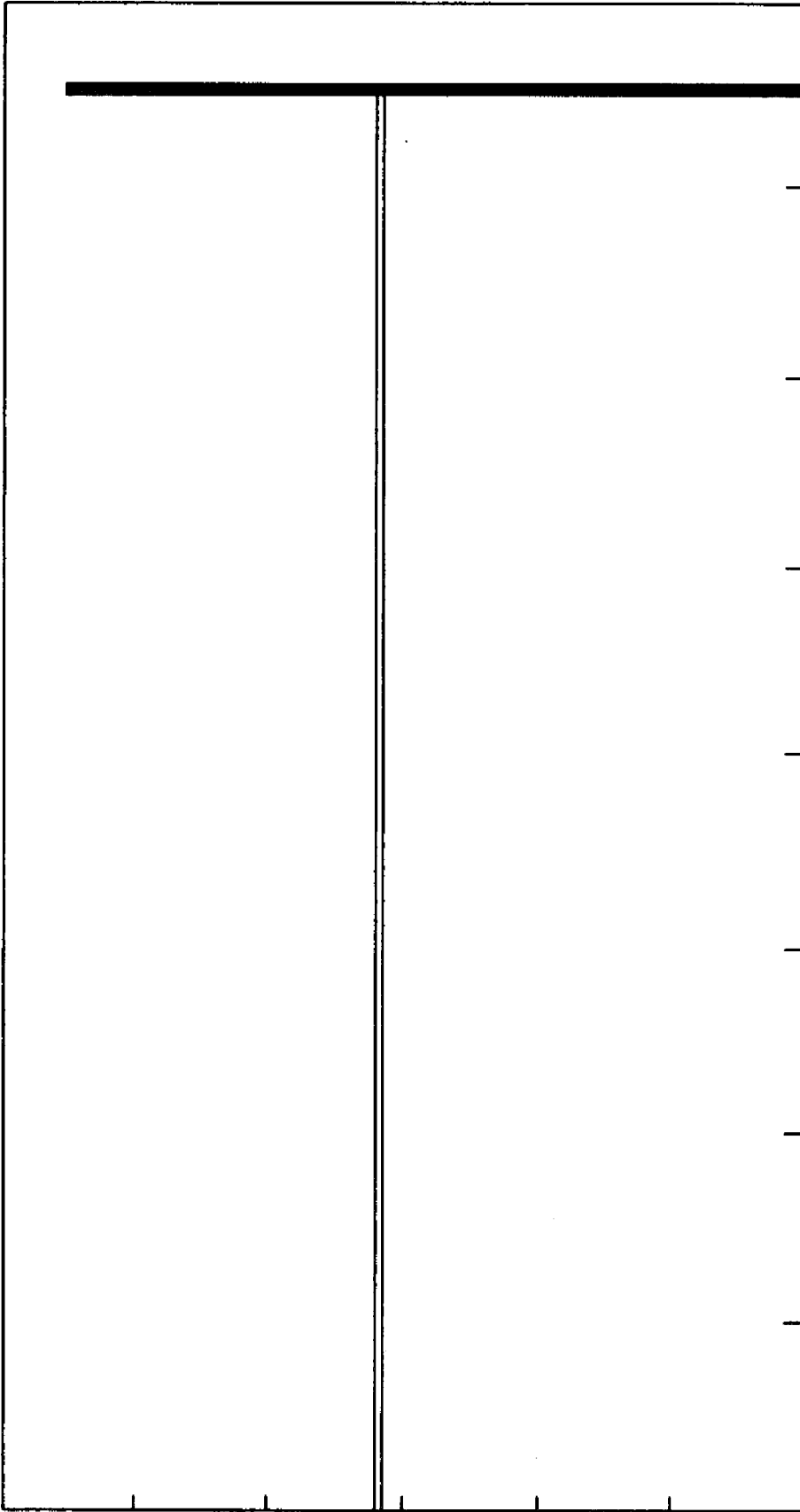


FIG. 4

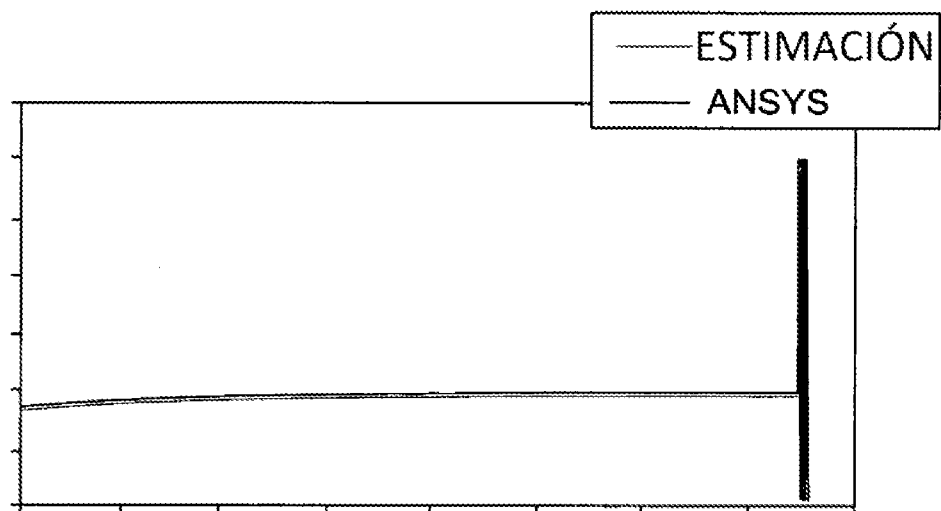


FIG. 5A

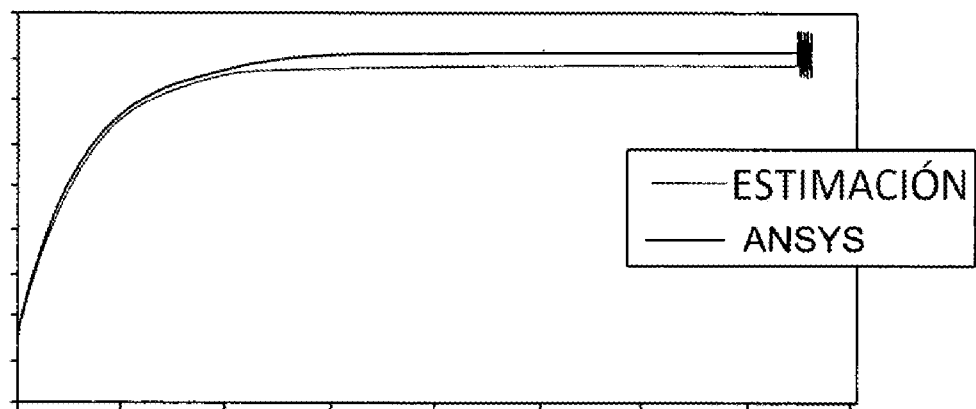


FIG. 5B

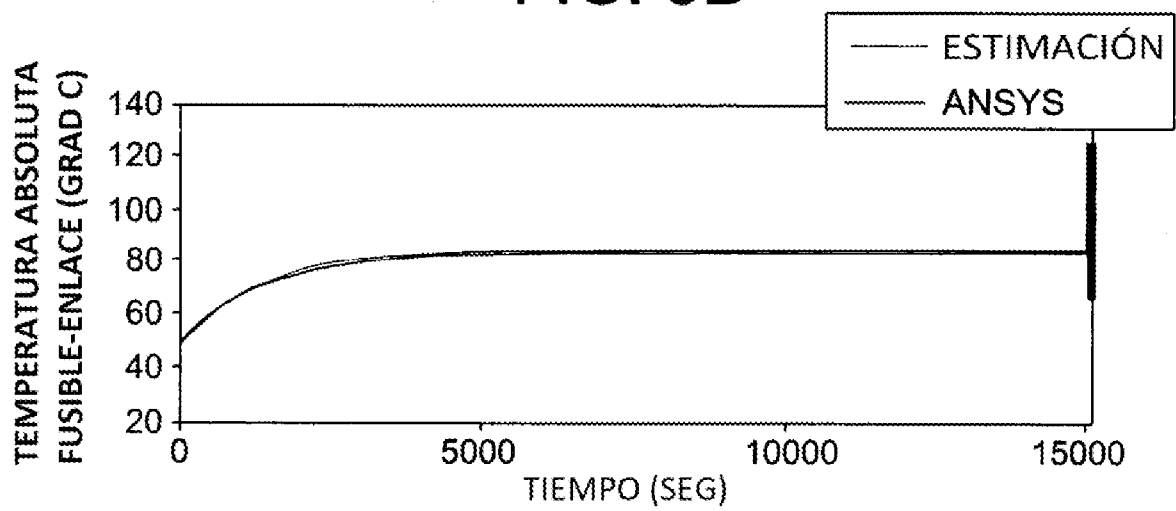


FIG. 5C

PERFIL DE CORRIENTE

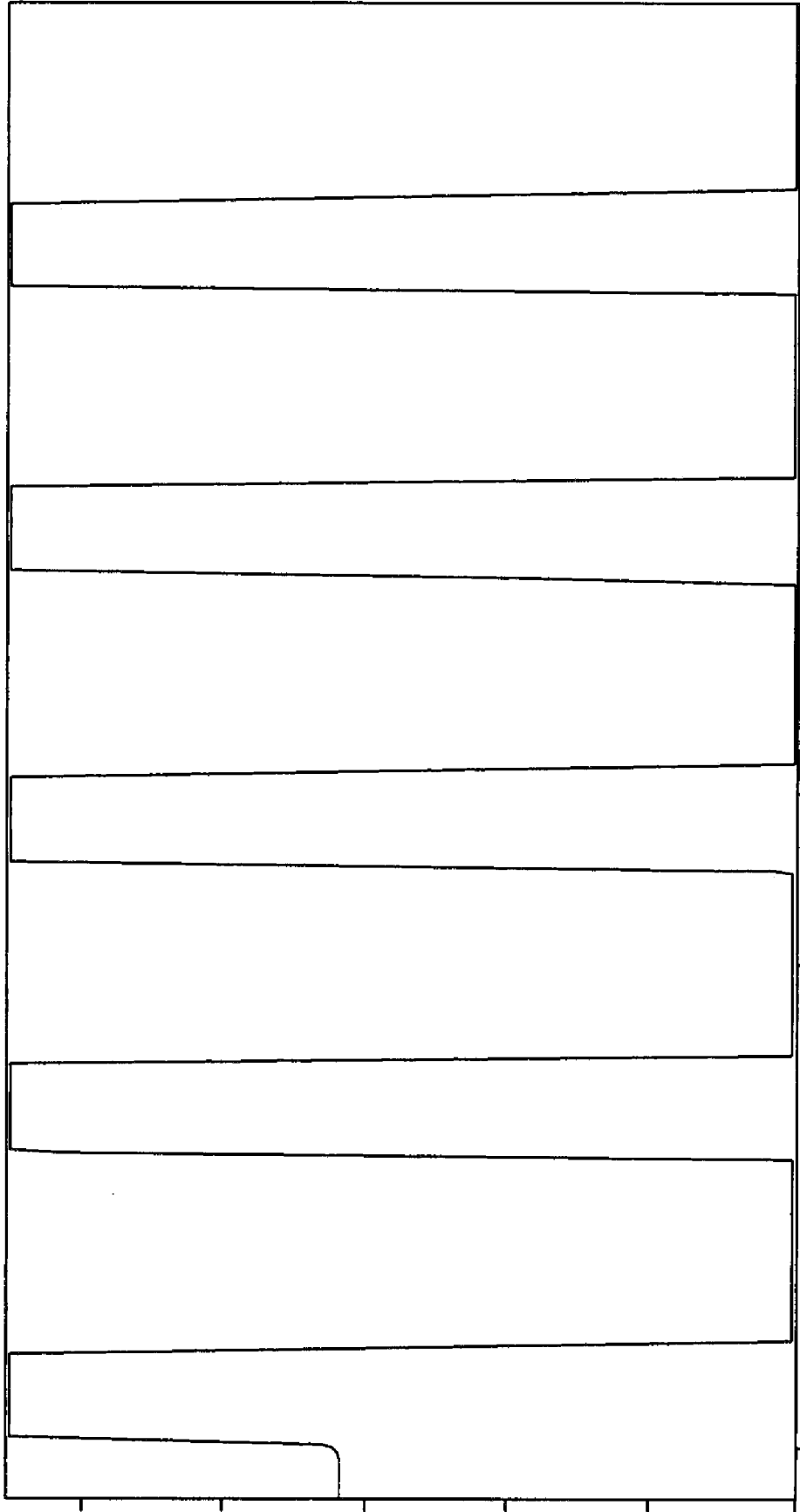


FIG. 6

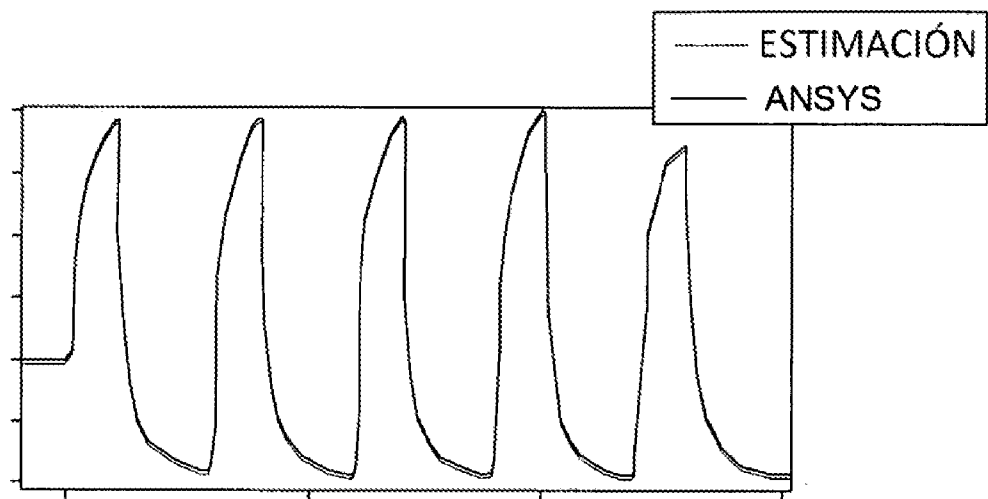


FIG. 7A

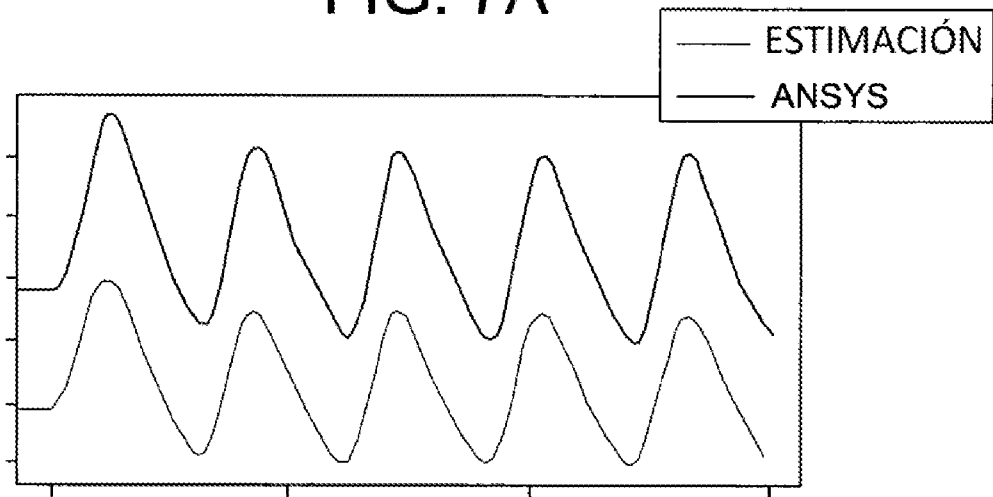


FIG. 7B

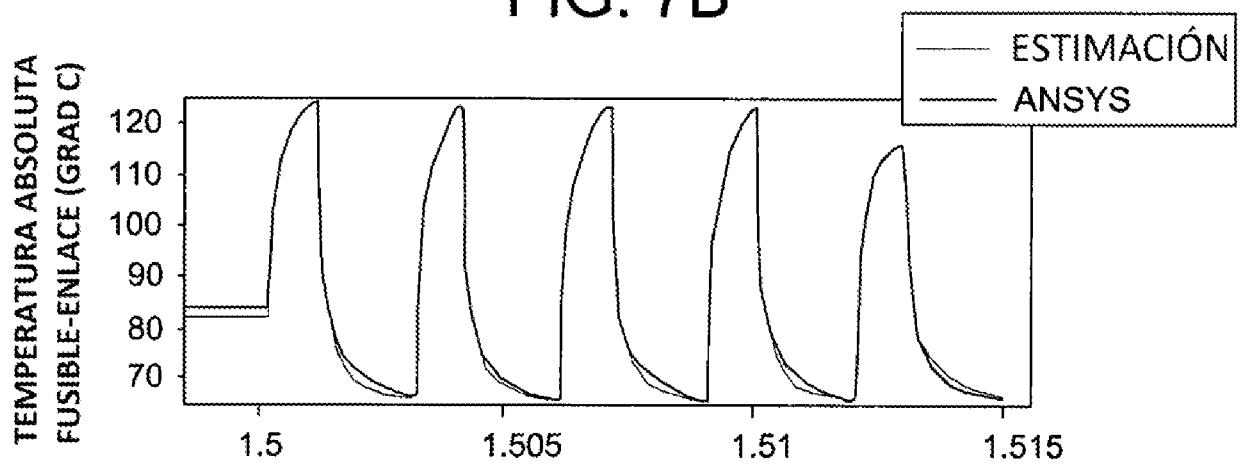


FIG. 7C

PERFIL DE CORRIENTE (PLS1)

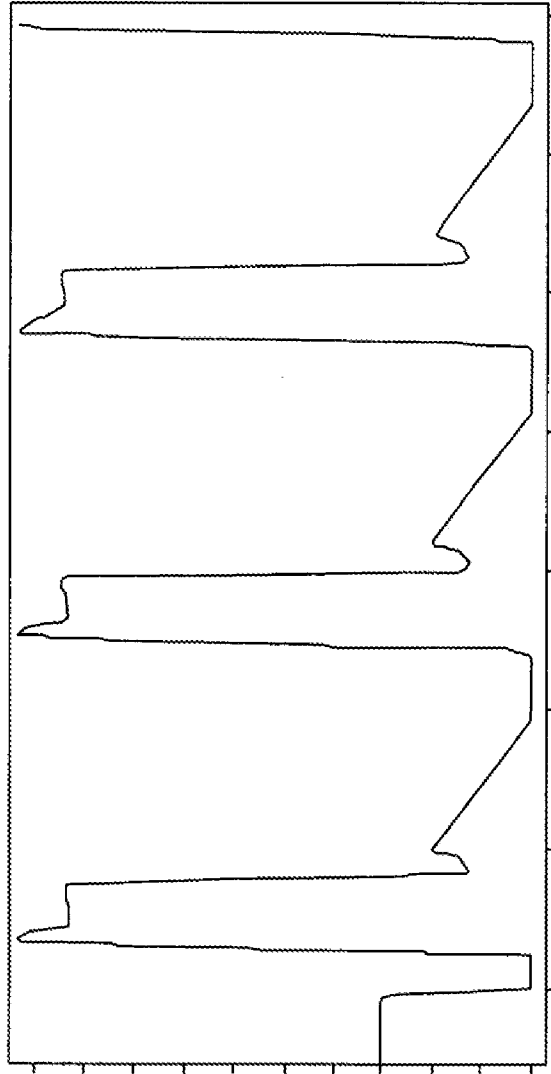


FIG. 8A

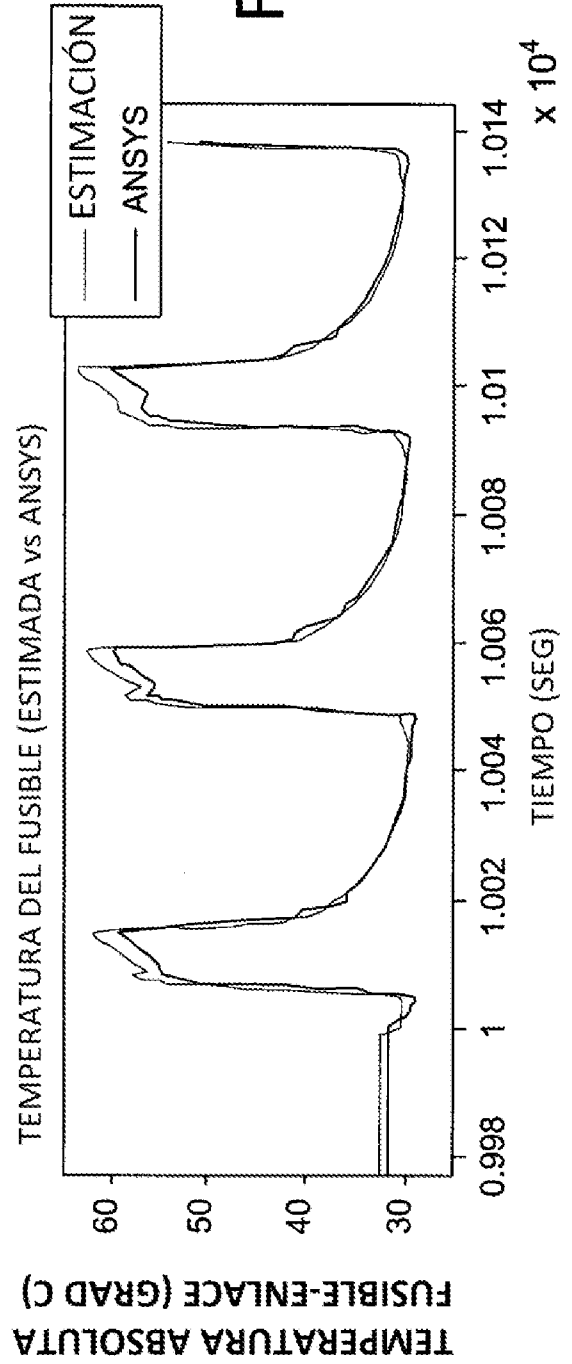


FIG. 8B

PERFIL DE CORRIENTE (NORMAL 1)

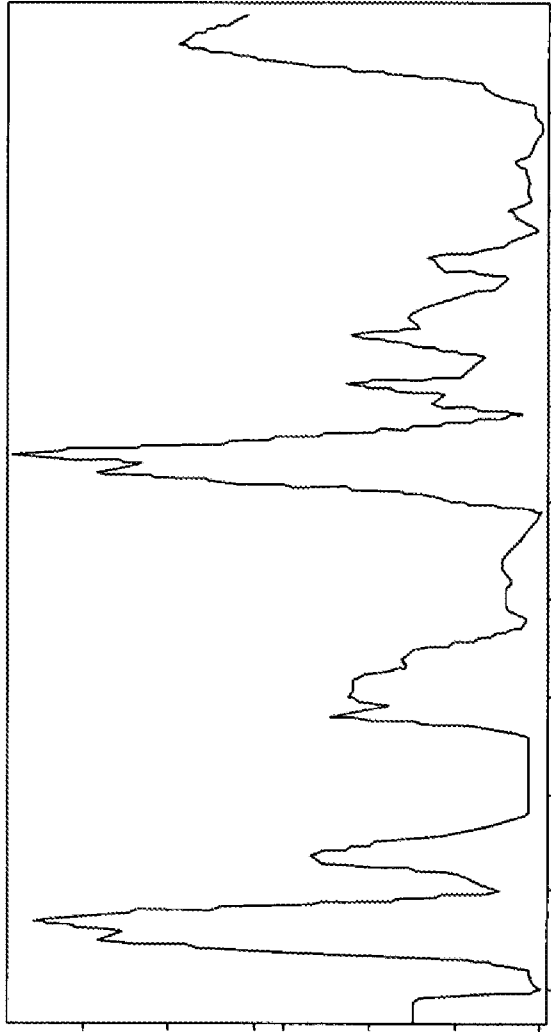


FIG. 9A

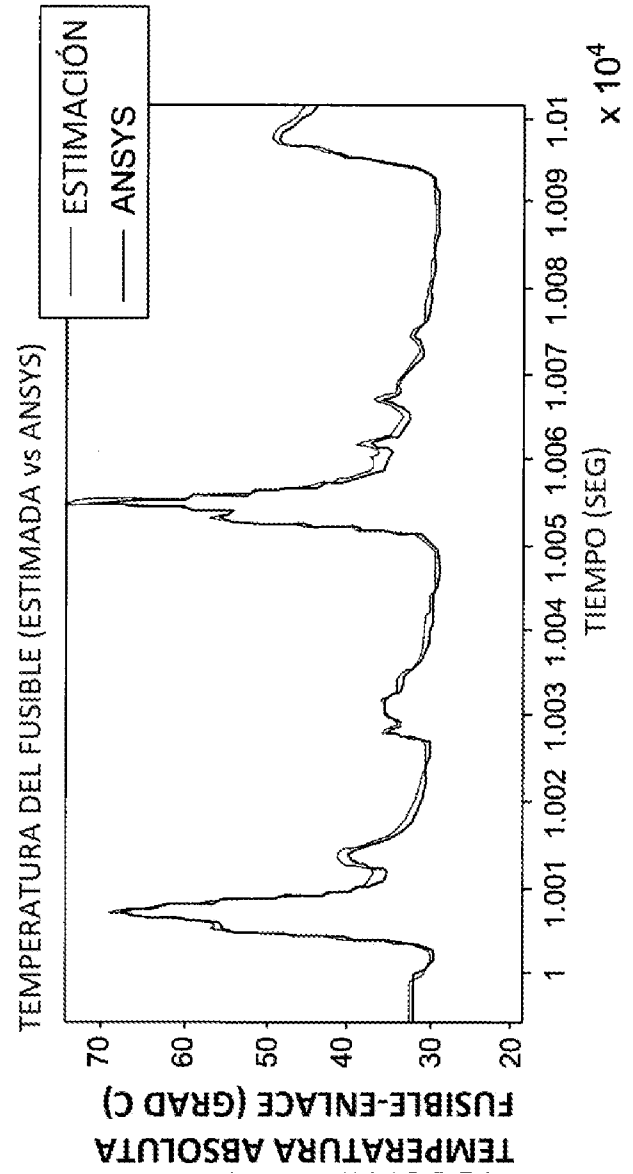
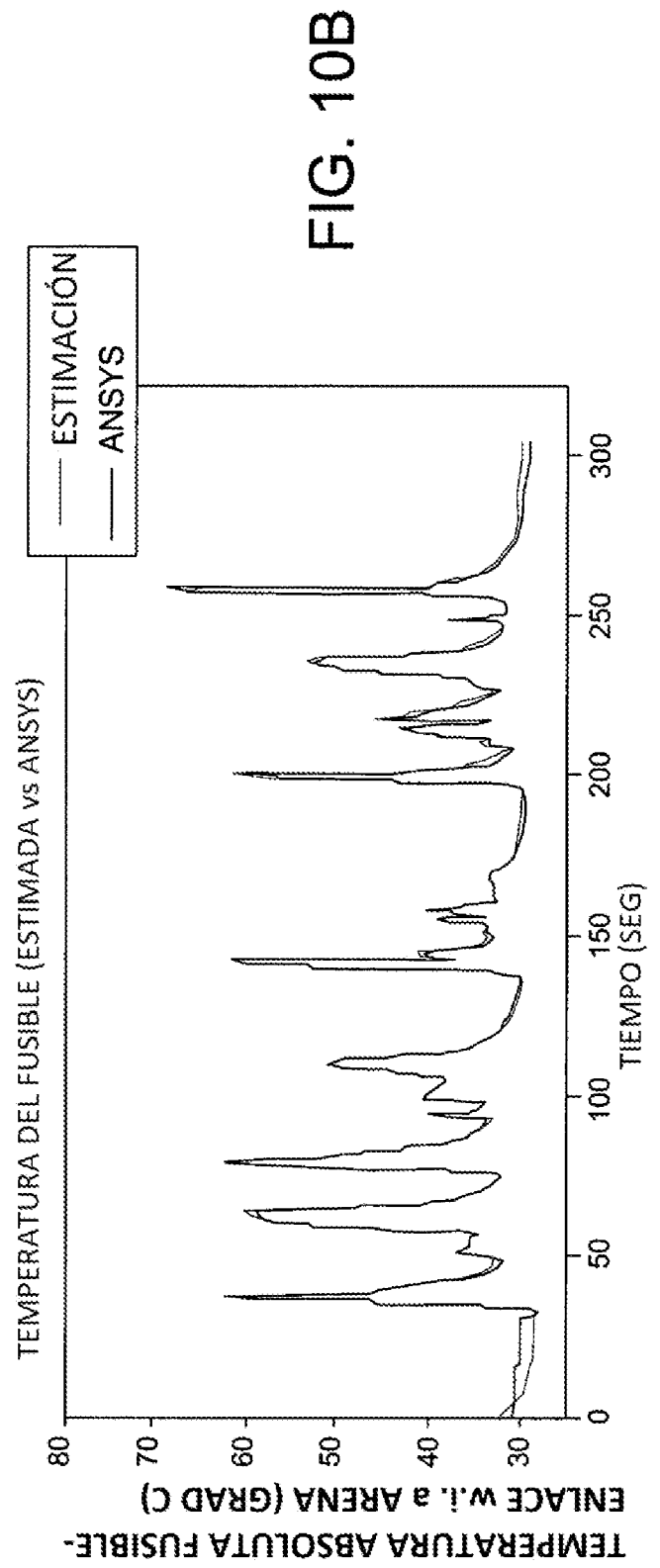
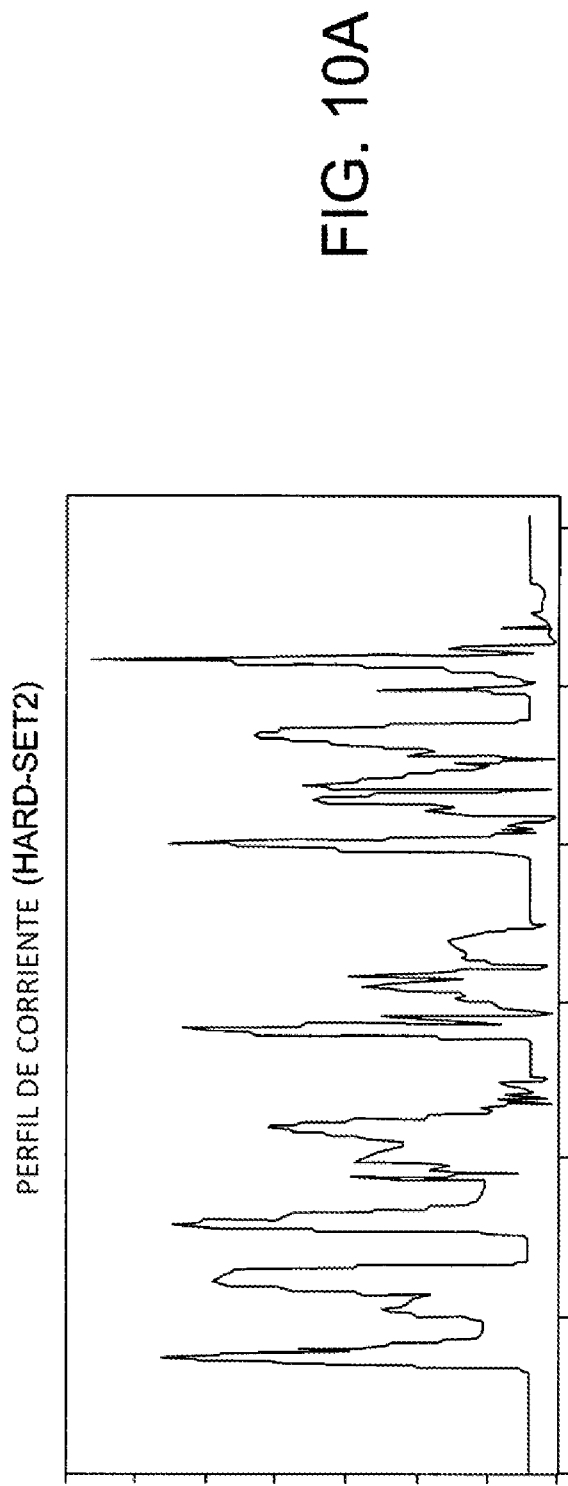


FIG. 9B



PERFIL DE CORRIENTE (HARD-SET3)

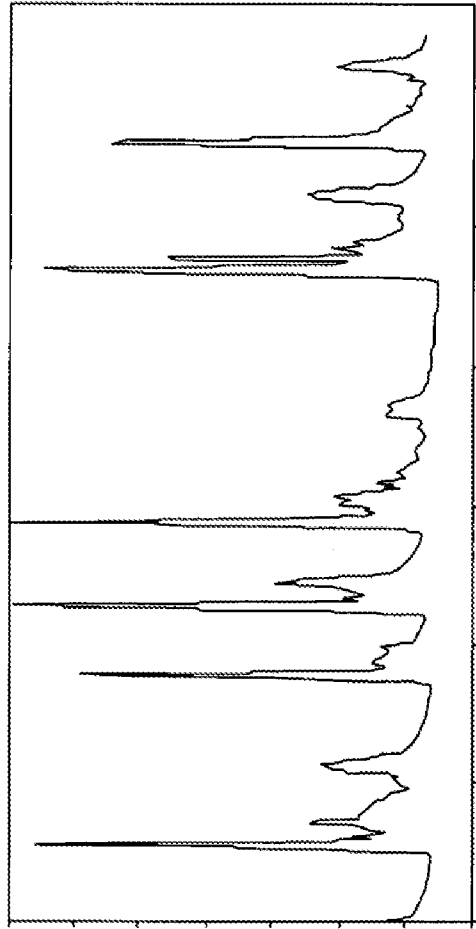


FIG. 11A

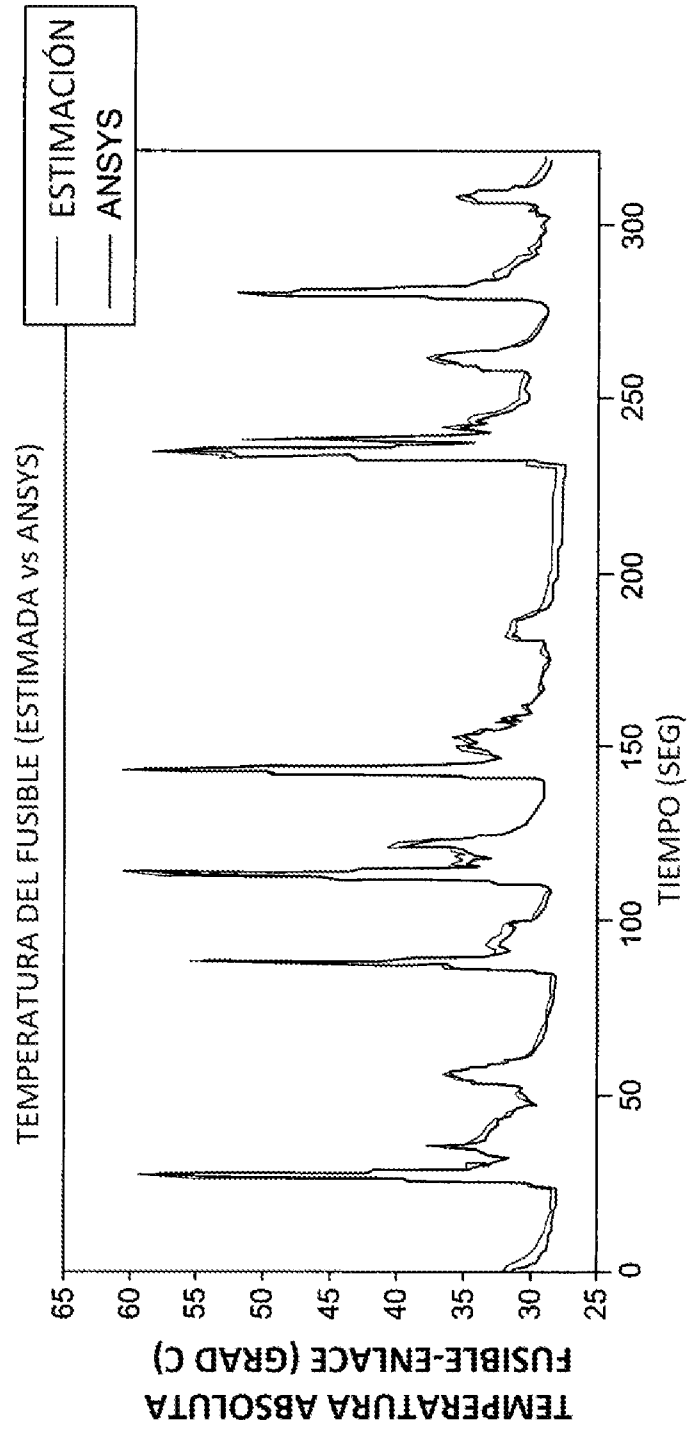


FIG. 11B

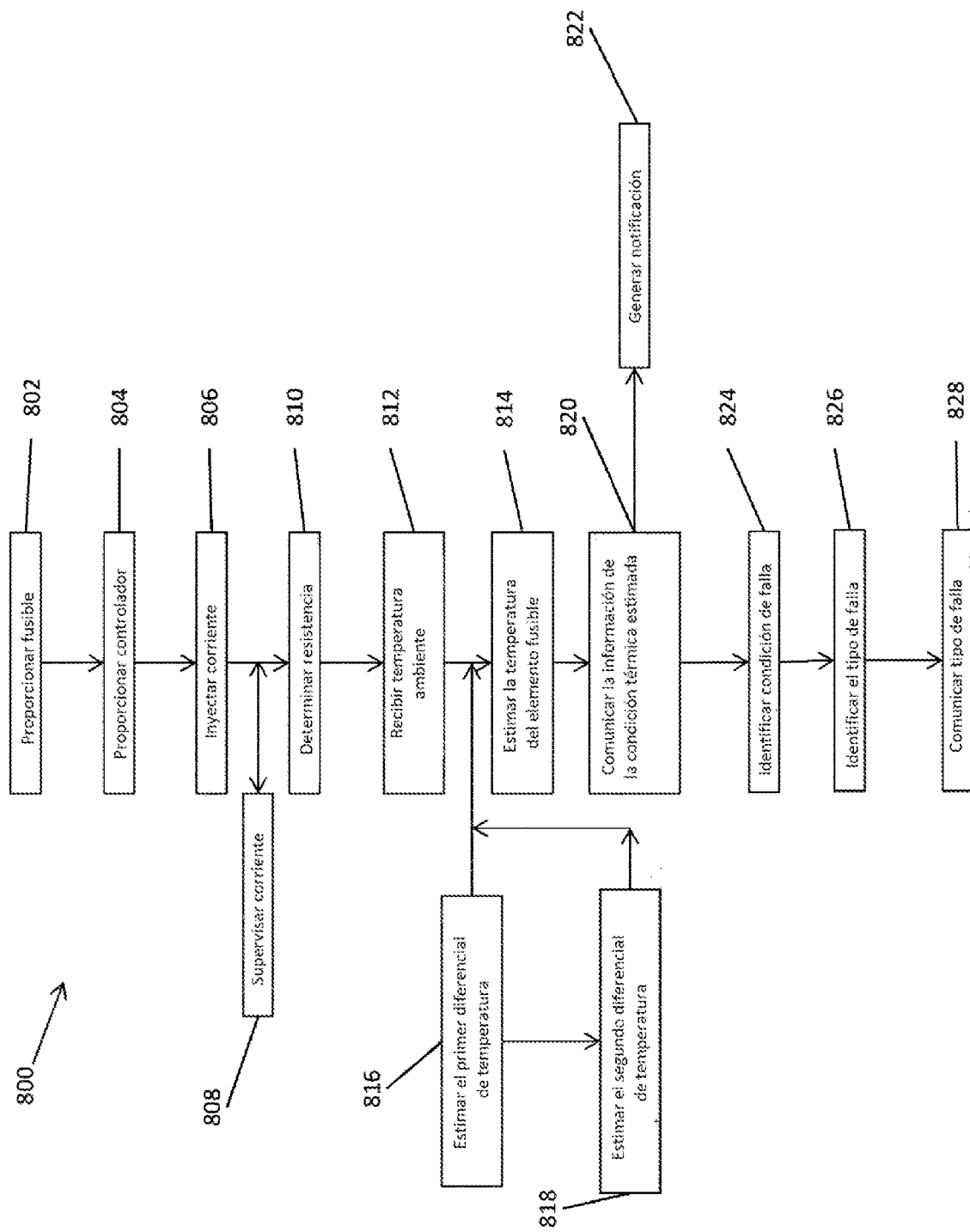


FIG. 12