

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 174**

51 Int. Cl.:

H01M (2006.01)

H01M (2006.01)

H01M 8/249 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.07.2015 PCT/US2015/041938**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.02.2016 WO16018741**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2015 E 15745104 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019 EP 3175503**

54 Título: **Intercambio de calor controlado dinámicamente para la puesta en marcha en cascada de redes de pilas de combustible**

30 Prioridad:
30.07.2014 US 201414446854

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.07.2019

73 Titular/es:
**MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC
(100.0%)
One Microsoft Way
Redmond, WA 98052-6399, US**

72 Inventor/es:
**PETERSON, ERIC C. y
JAMES, SEAN M.**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 719 174 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

Intercambio de calor controlado dinámicamente para la puesta en marcha en cascada de redes de pilas de combustible

Antecedentes

5 Como es bien conocido por los expertos en la técnica, una pila de combustible o un módulo de pilas de combustibles es un dispositivo que convierte la energía química de un combustible de reacción (por ej., hidrógeno gas o hidrocarburos tales como metano, propano, butano, etc.) en energía eléctrica a través de una reacción química con oxígeno u otros agentes oxidantes. En el caso de pilas de combustible de alta temperatura, las reacciones químicas que permiten que dichas pilas de combustible realicen operaciones autosostenidas no funcionan de manera eficiente hasta que las pilas de combustible hayan alcanzado temperaturas relativamente altas.

10 Antes de que una pila de combustible de alta temperatura comience a producir electricidad, varios componentes de la pila de combustible, y el combustible mismo, se calientan primero a temperaturas de operación que permitan operaciones químicas autosostenidas. En algunos sistemas de generación de energía basados en pilas de combustible se usan reformadores de combustible en combinación con generadores de vapor para preparar combustible para usar en las pilas de combustible. El calentamiento de las pilas de combustible, el reformado del combustible y la generación de vapor se realizan típicamente usando calentadores eléctricos o la quema de gas natural, o una combinación de ambos. Desafortunadamente, el procedimiento de inicio para calentar las pilas de combustible hasta las temperaturas operativas antes de que comience la generación de electricidad puede llevar mucho tiempo.

15 Ejemplos de pilas de combustible de alta temperatura incluyen, pero no se limitan a, pilas de combustible de óxidos sólidos (SOFC), pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC), pilas de combustible de cerámica protónica (PCFC), etc. Dependiendo del tipo de pila de combustible, las temperaturas de operación eficientes a menudo están en el intervalo de aproximadamente 600 a 1000°C. En consecuencia, cuando se ponen en marcha pilas de combustible de alta temperatura, esas pilas de combustible se calientan primero a una temperatura en la que pueden comenzar las reacciones químicas, lo que a su vez ayuda a calentar las pilas de combustible a una temperatura en la que la reacción es autosuficiente y eficiente. Por ejemplo, en el caso de las SOFC, la temperatura de activación es del orden de aproximadamente 700°C.

20 El documento US2012/141904 describe un monolito de una disposición de pilas de combustible que puede segmentarse en subunidades térmicamente independientes, en donde las subunidades se calientan en cascada, en donde el calor residual de una subunidad puede usarse para calentar otros segmentos.

25 El documento US2005/008904 describe una pila de combustible modular incorporada en el sistema de alimentación de un vehículo, en donde los módulos se pueden disponer cara a cara, y en donde el primer módulo se puede calentar durante el arranque con un dispositivo de calentamiento eléctrico, y después de que la primera sección está funcionando, su reacción exotérmica puede ayudar al calentamiento de los siguientes módulos en forma de cascada.

35 Sumario

Este sumario se proporciona para introducir una selección de conceptos en una forma simplificada que se describen a continuación en la descripción detallada. Este sumario no tiene la intención de identificar características clave o rasgos esenciales de la materia objeto reivindicada, ni pretende ser utilizado como una ayuda para determinar el alcance de la materia objeto reivindicada. Además, aunque ciertas desventajas de las tecnologías anteriores pueden notarse o tratarse en el presente documento, la materia objeto reivindicada no pretende limitarse a implementaciones que puedan resolver o abordar cualquiera o todas las desventajas de esas tecnologías anteriores.

40 En general, un "controlador de puesta en marcha en cascada", como se describe en este documento, proporciona varias técnicas para inicializar de manera rápida y eficiente las redes de pilas de combustible interconectadas. El controlador de puesta en marcha en cascada controla dinámicamente el intercambio de calor entre las pilas de combustible de la red para producir una puesta en marcha en cascada de la red de pilas de combustible a través de un patrón de expansión del exceso de energía térmica que se envía desde los módulos de pilas de combustible más calientes a los módulos de pilas de combustible más fríos. Este patrón de expansión del itinerario del exceso de energía térmica se controla dinámicamente a través de válvulas automatizadas de una red de intercambio de calor acoplada a la red de pilas de combustible para disminuir el tiempo total de puesta en marcha de los módulos de pilas de células de combustible de la red.

45 Más específicamente, en varias implementaciones, el controlador de puesta en marcha en cascada controla la distribución del calor (es decir, energía térmica) entre una red de tres o más módulos de pilas de combustible que incluyen, cada uno, uno o más sistemas de intercambio de calor que a su vez están conectados a una red de intercambio de calor. La red de intercambio de calor forma una ruta de intercambio térmico que interconecta los

55

sistemas de intercambio de calor de los módulos de pilas de combustible a través de una o más válvulas automatizadas acopladas a la red de intercambio de calor. Advuértase que la red de intercambio de calor utiliza cualquier medio de transferencia de calor deseado capaz de conducir calor, por ejemplo, fluidos, gases, vapor, etc., para transferir energía térmica hacia y desde los módulos de pilas de combustible.

5 Los intercambiadores de calor en cada módulo de pilas de combustible permiten que cada módulo de pilas de combustible a calentar hasta una temperatura de operación que permita que el módulo de pilas de combustible realice reacciones de generación de energía autosostenidas. Además, se usan uno o más intercambio de calor en cada módulo de pilas de combustible para eliminar el exceso de calor del módulo de pilas de combustible, y ese exceso de calor se envía a la red de intercambio de calor.

10 Las temperaturas de los módulos de pilas de combustible son monitorizadas por el controlador de puesta en marcha en cascada. El controlador de puesta en marcha en cascada utiliza esta información de la temperatura para controlar dinámicamente una o más de las válvulas de la red de intercambio de calor. El control de estas válvulas permite que el controlador de puesta en marcha en cascada desvíe o conecte el sistema de intercambio de calor de uno o más módulos de pilas de combustible a los sistemas de intercambio de calor de uno o más módulos de pilas de combustible vecinas.

15 El control de las válvulas automatizadas permite que el controlador de puesta en marcha en cascada inicie una puesta en marcha en cascada de la red de pilas de combustible al dirigir automáticamente el exceso de energía térmica desde un número cada vez mayor de módulos de pilas de combustible más calientes, a medida que se disponga de un exceso de energía térmica adicional, a uno o más módulos de pilas combustibles más fríos. Este enrutamiento dinámico de energía térmica continúa hasta que un número seleccionado de módulos de pilas de combustible en la red alcancen una temperatura de funcionamiento capaz de realizar reacciones de generación de energía autosostenidas. Ventajosamente, esta puesta en marcha en cascada utiliza un patrón de expansión del exceso de energía térmica que se envía desde los módulos de pilas de combustible más calientes a los módulos de pilas de combustible más frías que se controla dinámicamente de una manera que disminuye el tiempo total de puesta en marcha para el número seleccionado de módulos de pilas de combustible en la red.

20 En vista del sumario anterior, está claro que el controlador de puesta en marcha en cascada descrito en el presente documento proporciona varias técnicas para controlar dinámicamente el intercambio de calor entre las pilas de combustible para producir una puesta en marcha en cascada de la red de pilas de combustible a través de un patrón de expansión del exceso de energía térmica que se envía desde los módulos de pilas de combustible más calientes a los módulos de pilas de combustible más fríos. Además de los beneficios que se acaban de describir, otras ventajas del controlador de puesta en marcha en cascada se harán evidentes a partir de la descripción detallada que sigue a continuación, cuando se toma junto con las figuras de los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

35 Las características, aspectos y ventajas específicas de la materia objeto reivindicada se entenderán mejor con respecto a la siguiente descripción, las reivindicaciones adjuntas y los dibujos que se acompañan, donde:

La Figura 1 proporciona un diagrama de flujo arquitectónico ejemplo que ilustra los módulos del programa para implantar varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada, como se describe en el presente documento.

40 La Figura 2 proporciona un diagrama esquemático que ilustra una red rectangular de 2D ejemplo de módulos de pilas de combustible acopladas a una red de transferencia de calor a través de una serie de válvulas automatizadas, como se describe en el presente documento.

La Figura 3 proporciona un diagrama esquemático que ilustra una red de 2D ejemplo de módulos de pilas de combustible, que comprenden disposiciones circulares concéntricas de pilas de combustible, acopladas a una red de transferencia de calor a través de una serie de válvulas automatizadas, como se describe en el presente documento.

45 La Figura 4 proporciona un diagrama esquemático ejemplo que muestra varios para habilitar un segmento de una red de pilas de combustible más grande, como se describe en el presente documento.

La Figura 5 ilustra un diagrama general de flujo del sistema que ilustra métodos ejemplo para implantar varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada, como se describe en el presente documento.

50 La Figura 6 es un diagrama general del sistema que muestra un dispositivo informático de propósito general simplificado que tiene capacidades de I/O y computación simplificadas para su uso en la implementación de varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada, como se describe en el presente documento.

Descripción detallada de las implementaciones

En la siguiente descripción de las implementaciones de la materia objeto reivindicada, se hace referencia a los dibujos adjuntos, que forman parte de la misma, y en los que se muestra a modo de ilustración implementaciones

específicas en las que se puede practicar la materia objeto reivindicada. Debe entenderse que se pueden utilizar otras implementaciones y que se pueden hacer cambios estructurales sin apartarse del alcance de la materia objeto ahora reivindicada.

1.0 Introducción

5 Los módulos de pilas de combustible de alta temperatura convierten la energía química de varios combustibles basados en hidrógeno o hidrocarburos en energía eléctrica a través de una reacción química a alta temperatura con oxígeno u otros agentes oxidantes. Tales pilas de combustible no suelen realizar reacciones químicas eficientes o autosostenidas hasta que las pilas de combustible han alcanzado temperaturas relativamente altas. En consecuencia, la puesta en marcha o la inicialización de la pila de combustible generalmente implica elevar la temperatura del módulo de pilas de combustible hasta una temperatura en la que las reacciones químicas que producen energía se vuelven autosostenidas. Por ejemplo, en el caso de las pilas de combustible de óxidos sólidos (SOFC), la temperatura de activación es de alrededor de 700°C.

10 Un "controlador de puesta en marcha en cascada", como se describe en el presente documento, proporciona varias técnicas para inicializar de manera rápida y eficiente redes de pilas de combustible interconectadas. Ventajosamente, el controlador de puesta en marcha en cascada regula y distribuye dinámicamente el calor (es decir, la energía térmica) de las pilas de combustible de una manera que permite que las redes de pilas de combustible se inicialicen sin necesidad de acceder a redes eléctricas externas para el calentamiento de las pilas de combustible. Obsérvese que el controlador de puesta en marcha en cascada es aplicable para el uso con cualquiera de una variedad de pilas de combustible y módulos de pilas de combustible de alta temperatura, que incluyen, pero no se limitan a, SOFCs, pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC), pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM), pilas de combustible de cerámicas protónicas (PCFC), etc. Sin embargo, con fines explicativos, el controlador de puesta en marcha en cascada generalmente se tratará en el contexto de una red de pilas de combustible basadas en SOFC.

15 Ventajosamente, las redes de pilas de combustible habilitadas por el controlador de puesta en marcha en cascada pueden usar cualquier número deseado de módulos de pilas de combustible, conectados en cualquier disposición deseada, para producir cualquier cantidad de energía deseada. Además, también debe entenderse que el controlador de puesta en marcha en cascada también se puede utilizar con varias combinaciones de diferentes tipos de pilas de combustible sin apartarse del alcance previsto de los conceptos descritos en este documento.

20 El controlador de puesta en marcha en cascada utiliza el calor residual o la energía eléctrica de las pilas de combustible vecinas con el fin de calentar las pilas de combustible adyacentes hasta las temperaturas de operación. Más específicamente, el controlador de puesta en marcha en cascada controla dinámicamente el intercambio de energía térmica entre las pilas de combustible de la red para producir una puesta en marcha en cascada de la red de pilas de combustible a través de un patrón de expansión de la energía térmica en exceso que se envía desde los módulos de pilas de combustible más calientes a los módulos de pilas de combustible más fríos. Este patrón de expansión del itinerario del exceso de energía térmica se controla dinámicamente a través de válvulas automatizadas de una red de intercambio de calor acoplada a la red de pilas de combustible para disminuir el tiempo total de puesta en marcha de los módulos de células de combustible de la red.

25 Una ventaja de este patrón de expansión del itinerario de la energía térmica en exceso es que a medida que más energía térmica está disponible, un número creciente de pilas de combustible comienza a recibir esa energía térmica de la red de intercambio de calor. El resultado es un crecimiento exponencial del número de pilas de combustible que se están calentando a medida que se inicializa la red global de pilas de combustible. El exceso de calor adicional más allá del utilizado para calentar las pilas de combustible a temperaturas operativas se pone a disposición para una variedad de fines, que incluyen, pero no se limitan a, precalentar el gas u otro combustible para uso de las pilas de combustible, sistemas de calefacción locales o comunitarios, y calefacción, sistemas de cogeneración de energía basados en calor, etc.

1.1 Visión general del sistema

30 Como se señaló anteriormente, el "controlador de puesta en marcha en cascada", proporciona varias técnicas para controlar dinámicamente el intercambio de calor entre las pilas de combustible para producir una puesta en marcha en cascada de la red de pilas de combustible a través de un patrón de expansión de la energía térmica en exceso que se envía desde los módulos de pilas de combustible más calientes a los módulos de pilas de combustible más fríos. Los procesos resumidos anteriormente se ilustran mediante el diagrama general del sistema de la Figura 1. En particular, el diagrama del sistema de la Figura 1 ilustra las interrelaciones entre los módulos del programa para implementar varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada, como se describe en este documento. Además, mientras que el diagrama del sistema de la Figura 1 ilustra una vista de alto nivel de varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada, la Figura 1 no pretende proporcionar una ilustración exhaustiva o completa de cada implementación posible del controlador de puesta en marcha en cascada como se describe a lo largo de este documento.

Además, se debe tener en cuenta que cualquiera de las casillas e interconexiones entre casillas que pueden representarse mediante líneas rotas o discontinuas en la Figura 1 representan implementaciones alternativas o componentes opcionales del controlador de puesta en marcha en cascada que se describe en este documento. Además, cualquiera o todas estas implementaciones alternativas o componentes opcionales, como se describen a continuación, se pueden usar en combinación con otras implementaciones alternativas u otros componentes que se describen a lo largo de este documento.

En general, como se ilustra en la Figura 1, los procesos habilitados por el controlador de puesta en marcha en cascada inicializan una red 100 de pilas de combustible que comprende tres o más pilas de combustible utilizando un módulo 105 de energía inicial para iniciar el proceso de inicialización en una o más pilas de combustible particulares. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el controlador de puesta en marcha en cascada se utilizará más típicamente con redes muy grandes que contienen cientos o incluso miles de pilas de combustible.

Más específicamente, la red de pilas de combustible incluye módulos de pilas de combustible, cada una de las cuales incluye uno o más sistemas de intercambio de calor que se acoplan a una red 120 de transferencia de calor. Estos sistemas de intercambio de calor se utilizan para calentar cada módulo de pilas de combustible a temperaturas operativas, para transferir el exceso de energía térmica a la red 120 de transferencia de calor para su uso en calentar otras pilas de combustible y para enfriar las pilas de combustible o eliminar el exceso de calor, según sea necesario.

Durante el proceso de inicialización, se usa un módulo 105 de energía inicial para calentar una o más pilas de combustible iniciales en la red 100 de pilas de combustible a temperaturas suficientes para comenzar a producir energía a partir del combustible de reacción recibido a través de un módulo 110 de entrada de combustible. Este proceso de calentamiento inicial utiliza una fuente de energía inicial (por ej., baterías, pequeños generadores, células solares o colectores de calor basados en energía solar, fuentes de energía geotérmica, etc.) para poner en marcha al menos una de las pilas de combustible.

Ventajosamente, al utilizar una fuente de energía inicial disponible localmente para inicializar una o más de las pilas de combustible, el controlador de puesta en marcha en cascada puede reducir significativamente, o eliminar por completo, cualquier dependencia de la red 100 de pilas de combustible de las redes de energía eléctrica locales (por ej., redes de energía eléctrica de la ciudad, municipales o estatales) para la puesta en marcha. Como tal, la red 100 de pilas de combustible, y cualquier infraestructura asociada con la red de pilas de combustible, se pueden ubicar geográficamente sin preocuparse de si está disponible una red eléctrica local, o si dicha red es fiable, para respaldar la inicialización de la red de pilas de combustible.

Como se indicó anteriormente, el módulo 110 de entrada de combustible proporciona combustible de reacción recibido a través del módulo 110 de entrada de combustible. En general, el módulo 110 de entrada de combustible proporciona combustible de reacción (por ej., propano, metano, hidrógeno u otros hidrocarburos) a las pilas de combustible una vez que las pilas de combustible han alcanzado temperaturas que permitirán producir electricidad a partir del combustible de reacción. Además, en varias implementaciones, dependiendo del tipo de combustible de reacción y el tipo de pilas de combustible que se utilicen, el módulo 110 de entrada de combustible realiza cualquiera de una serie de operaciones adicionales, que incluyen, pero no se limitan a, precalentar el combustible de reacción, reformar o pre-reformar el combustible de reacción, filtrar el combustible de reacción, etc. Como es bien conocido por los expertos en la técnica, el pre-reformado, que a menudo es una etapa adicional del proceso de reformado con vapor de agua, se utiliza para convertir hidrocarburos más pesados, tales como por ejemplo, propano (C_3H_8), en una mezcla de moléculas más pequeñas, tales como, por ejemplo, metano (CH_4) y gas hidrógeno (H_2), y óxidos de carbono a temperaturas relativamente bajas. Este combustible de reacción reformado se suministra a las pilas de combustible, como se indicó anteriormente.

Una vez que las pilas de combustible iniciales estén a temperaturas suficientes para comenzar a producir electricidad a partir del combustible de reacción, esas pilas comenzarán a generar calor en exceso. Este calor en exceso se recoge a continuación y se transfiere a otras pilas de combustible a través de la red 120 de transferencia de calor en un patrón de expansión de transferencia de calor en cascada. Más específicamente, un módulo 115 de control del flujo de calor regula la temperatura de la pila de combustible y controla de manera dinámica las válvulas automatizadas de la red 120 de transferencia de calor. Este control dinámico da como resultado una distribución dinámica de la energía térmica, comenzando con el calor generado por una o más pilas inicializadas. a través del módulo 105 de potencia inicial, que da como resultado una inicialización en cascada de toda la red 100 de pilas de combustible (o un número seleccionado de pilas de combustible en la red de pilas de combustible).

En varias implementaciones, el módulo 115 de control de flujo de calor también controla una red 130 de calefacción eléctrica interna opcional para calentar las pilas de combustible a través de calentadores eléctricos acoplados a las pilas de combustible individuales. En varias implementaciones, la energía para estos calentadores eléctricos se obtiene del exceso de energía generado por una o más de las pilas de combustible de la red 100 de pilas de combustible cuando esas pilas comienzan a producir electricidad. Como tal, cualquiera o ambos, el calor y la energía eléctrica de una o más pilas de combustible se utilizan en varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada para impulsar la puesta en marcha en cascada de la red global 100 de pilas de combustible.

En general, una vez que una o más pilas de combustible de la red 100 de pilas de combustible comienzan a generar electricidad a partir del combustible de reacción, parte o toda esa electricidad es generada por un módulo 135 de salida de energía para uso por cualquier proceso deseado (por ej., computadoras, iluminación, refrigeración, carga de baterías, etc.). Además, una vez que las pilas de combustible individuales de la red estén a temperaturas operativas, esas pilas de combustible pueden necesitar ser enfriadas para eliminar el exceso de calor generado por las reacciones químicas entre el combustible de reacción y el módulo de pilas de combustible. En consecuencia, en varias implementaciones, se utiliza un circuito de refrigeración 145 para enfriar las pilas de combustible, según sea necesario, en función de las temperaturas de esas pilas de combustible.

En varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada, un módulo 140 de fuente de calor externo utiliza calor residual de fuentes externas, por ej., computadoras en centros de datos o servidores, pilas solares, energía geotérmica, etc., como fuente de calor de bajo calidad como aporte adicional a la red 120 de transferencia de calor. Ventajosamente, tal calor residual se puede usar para el precalentamiento inicial de algunas o todas las pilas de combustible de la red 100 de pilas de combustible. Aunque tal calor es típicamente de baja calidad, en relación con el calor generado por las pilas de combustible activas, incluso los aumentos relativamente pequeños de la temperatura inicial de las pilas de combustible disminuyen la cantidad de tiempo para que esas pilas de combustible alcancen temperaturas operativas utilizando fuentes de calor de alta calidad.

Además, en varias implementaciones, cualquier exceso de energía térmica disponible en la red 120 de transferencia de calor, tal como la cantidad creciente de calor disponible a medida que más y más pilas de combustible entran en operación, se proporciona a un módulo secundario 150 opcional de distribución de calor. En general, el módulo secundario 150 de distribución de calor utiliza el exceso de calor de la red 120 de transferencia de calor y/o se extrae de las pilas de combustible por el circuito de refrigeración 145, para realizar otras tareas. Tales tareas incluyen, pero no se limitan a, calentamiento local, generación de vapor de agua, suministro de energía térmica y/o de vapor de agua al módulo de entrada de combustible para su uso en el precalentamiento del combustible de reacción, reformado con vapor de agua del combustible de reacción, pre-reformado del combustible de reacción, etc.

Adviértase también que en varias implementaciones, una interfaz de usuario (no mostrada) permite a un usuario interactuar de forma local o remota con alguno o todos los diversos componentes del controlador de puesta en marcha en cascada (por ej., pilas de combustible individuales en la red 100 de pilas de combustible, el módulo 115 de control del flujo de calor, la red de transferencia de calor, etc.). Esto permite al usuario poner en marcha determinadas pilas de combustible, desconectar ciertas pilas de combustible o calentar o enfriar esas pilas para fines particulares, por ej., mantenimiento, pruebas de componentes, etc.

2.0 Detalles operacionales del controlador de puesta en marcha en cascada

Los módulos de programa descritos anteriormente se emplean para implementar varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada. Como se resumió anteriormente, el controlador de puesta en marcha en cascada proporciona varias técnicas para controlar dinámicamente el intercambio de energía térmica entre las pilas de combustible para producir una puesta en marcha en cascada de la red de pilas de combustible a través de un patrón de expansión de la energía térmica en exceso que se envía desde los módulos de pilas de combustible más calientes a los módulos de pilas de combustible más fríos. Las siguientes secciones proporcionan una descripción detallada del funcionamiento de varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada, y de métodos ejemplo para implementar los módulos de programa descritos en la Sección 1 con respecto a la Figura 1. En particular, las siguientes secciones proporcionan ejemplos y detalles operativos de varias implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada.

2.1 Visión general y ventajas de operación

Como se señaló anteriormente, los procesos basados en el controlador de inicio en cascada descritos en este documento proporcionan diversas técnicas para controlar dinámicamente el intercambio de energía térmica entre las pilas de combustible para producir una puesta en marcha en cascada de la red de pilas de combustible a través de un patrón de expansión de la energía térmica en exceso que se envía desde los módulos de pilas de combustible más calientes a los módulos de pilas de combustible más fríos.

Ventajosamente, el uso de redes de pilas de combustible, en combinación con las redes de intercambio de calor controladas dinámicamente para capturar y transferir la energía térmica generada por los módulos de células de combustible para inicializar otras pilas de combustible de la red, permite que se elimine gran parte o toda la infraestructura eléctrica típicamente requerida para la inicialización de tales redes. Esto permite que instalaciones, tales como centros de datos informáticos o servidores, fábricas, hospitales o cualquier otra instalación que pueda adaptarse para su uso con la energía eléctrica generada por los módulos de pilas de combustible inicialicen otras pilas de combustible de la red, permite que sean eliminadas gran parte o toda la infraestructura eléctrica típicamente requerida para inicializar dichas redes. Esto permite que instalaciones, tales como centros de datos informáticos o servidores, fábricas, hospitales o cualquier otra instalación que pueda adaptarse para su uso con la energía eléctrica generada por la red de pilas de combustible, estén ubicadas en áreas geográficamente ventajosas sin preocupaciones tales como consideraciones de la disponibilidad local de energía, la calidad de energía, el tiempo de inactividad de la generación de energía, etc. En particular, las diversas implementaciones proporcionadas por el

5 controlador de puesta en marcha en cascada permiten una fuente de energía inicial muy pequeña (por ej., pequeños generadores portátiles, energía eólica, energía solar, baterías, varios sistemas de generación eléctrica mecánica, etc.) para poner en marcha una sola pila de combustible o un número relativamente pequeño de pilas de combustible. El exceso de calor de la pila o pilas de combustible iniciales se captura entonces y se distribuye dinámicamente a través de la red de intercambio de calor para iniciar una cascada en expansión de los módulos de pilas de combustible restantes de la red (o un número deseado de pilas de combustible de la red).

10 En varias implementaciones, cada módulo de pilas de combustible incluye varias conexiones (por ej., térmicas, eléctricas, etc.) que permiten que uno o más recursos (por ejemplo, calor y/o electricidad) se compartan con o distribuyan a uno o más sistemas vecinos. Ejemplos de conexiones incluyen, pero no se limitan a, conexiones eléctricas, conexiones para enviar gases de escape a los módulos vecinos de pilas de combustible, aporte térmico a agua sobrecalentada o circuitos de aceite conectados a la red de intercambio de calor o a un intercambiador de calor o similar acoplado a la red de intercambio de calor, etc.

15 Por ejemplo, cuando los primeros sistemas de pilas de combustible comienzan a funcionar a medida que se aproximan a y alcanzan temperaturas operativas, parte de la energía eléctrica y/o los gases de escape se envían a los sistemas de pilas de combustible vecinos para comenzar a calentar los componentes. Una vez que los sistemas vecinos comienzan a funcionar a medida que se acercan a y alcanzan temperaturas operativas, la energía y los gases de esos sistemas se agregan a la cascada en expansión. El resultado es un intercambio de calor controlado dinámicamente entre las pilas de combustible para producir una puesta en marcha en cascada de la red de pilas de combustible a través de un patrón de expansión de enrutamiento de la energía térmica en exceso desde los módulos de pilas de combustible más calientes hasta los módulos de pilas de combustible más fríos. Por ejemplo, en el caso de que se compartan los gases de escape, a medida que más módulos de combustible comienzan a alcanzar la temperatura, hay un volumen creciente de gases calientes disponibles para el dirigirlos dinámicamente a otros módulos de pilas de combustible. Las válvulas automatizadas acopladas a la red de intercambio de calor controlan el flujo de gases calientes entre los módulos de pilas de combustible a lo largo de la red de pilas de combustible.

25 Obsérvese también que en varias implementaciones, una red de refrigeración controlada pasiva o dinámicamente o similar (también denominada en este documento como un "circuito de refrigeración") está integrada en la red de pilas de combustible y/o varios componentes asociados con la red de pilas de combustible. La red de refrigeración proporciona refrigeración a uno o más componentes (por ej., pilas de combustible, computadoras, bastidores de equipos, condensadores de vapor de agua, etc.) que pueden exceder las temperaturas deseadas durante la operación. Además, la red de enfriamiento se puede usar para bajar las temperaturas de varios componentes, incluidas las pilas de combustible, a temperaturas que sean seguras para que los trabajadores realicen tareas de mantenimiento u otras tareas.

Las ventajas y capacidades adicionales del controlador de puesta en marcha en cascada incluyen, pero no se limitan, las siguientes:

- 35 1. Opcionalmente, utilizar la energía eléctrica generada por las pilas de combustible operativas de la red de pilas de combustible para alimentar elementos de calentamiento eléctricos opcionales dentro de uno o más módulos de pilas de combustible de la red de pilas de combustible, lo que reduce aún más el tiempo de puesta en marcha de las pilas de combustible;
- 40 2. Opcionalmente, utilizar la energía eléctrica generada por las pilas de combustible operativas en la red de pilas de combustible para alimentar elementos de calentamiento eléctricos opcionales en uno o más reformadores opcionales para el acondicionamiento de combustible para ser utilizado por pilas de combustible en la red de pilas de combustible;
3. Opcionalmente, capturar la energía térmica quemando los gases del tubo de escape de las pilas de combustible para proporcionar un aporte de energía térmica adicional a la red de intercambio de calor;
- 45 4. Opcionalmente, usar la red de intercambio de calor para recolectar el calor en exceso o residual de una o más pilas de combustible operativas u otros sistemas de generación de calor (por ej., centros de datos informáticos o servidores, energía geotérmica, colectores de calor solar, etc.), y usar este calor residual recolectado para fines que incluyen, pero no se limitan a:
 - 50 a. Calentar o precalentar el combustible (por ej., gas natural, metano, gas hidrógeno, etc.) utilizado por los módulos de pilas de combustible;
 - b. Calentar o precalentar uno o más reformadores o pre-reformadores opcionales para acondicionar el combustible de reacción para uso en los módulos de pilas de combustible;
 - c. Calentar o precalentar uno o más módulos de pilas de combustible de la red;
 - 55 d. Generar vapor de agua para diversos usos, que incluyen, pero no se limitan a, reformado del combustible de reacción, sistemas de cogeneración con turbina de vapor de agua, purificación de agua, etc.;

- e. Sistemas de calentamiento ambiental;
- f. Etc.

2.2. Configuraciones ejemplo de redes de pilas de combustible

Como se indicó anteriormente, las redes de pilas de combustible habilitadas por el controlador de puesta en marcha en cascada incluyen tres o más pilas de combustible o módulos de pilas de combustible que se acoplan a una red de intercambio de calor controlada dinámicamente. Esta red de intercambio de calor controlada dinámicamente envía luego la energía térmica de las pilas de combustible más calientes a las pilas de combustible más frías en un patrón de expansión que reduce el tiempo total de puesta en marcha de la red de pilas de combustible. El diseño geométrico de las pilas de combustible entre sí y en relación con la red de intercambio de calor está diseñado para facilitar la transferencia de calor a través de una serie de válvulas controladas automáticamente en la red. El funcionamiento automatizado de estas válvulas permite que el controlador de puesta en marcha en cascada transfiera energía térmica a través de la red en un patrón eficiente y en expansión.

Debe entenderse que se puede usar cualquier geometría 2D o 3D deseada para construir la red de pilas de combustible. Además, una o más pilas de combustible en la red de pilas de combustible pueden posicionarse en relación con otros equipos para minimizar cualquier conectividad eléctrica asociada para alimentar a esos otros equipos con la electricidad generada por la red de pilas de combustible. Por ejemplo, las pilas de combustible pueden ubicarse adyacentes a una o más computadoras, bastidores de servidores, etc. Esto permite que las pilas de combustible proporcionen energía eléctrica directamente a una o más computadoras o bastidores de servidores (u otros equipos) sin la necesidad de instalar o conectar cualquier red eléctrica externa, o incluso para construir una red eléctrica común en todo un edificio o complejo haciendo uso de la red de pilas de combustible. En otras palabras, la electricidad producida por una o más pilas de combustible puede ser utilizada por equipos cercanos a esas pilas de combustible sin implementar o conectarse a una red o red de energía eléctrica más amplia.

Ventajosamente, tales diseños integrados permiten que los sistemas complejos, tales como, por ejemplo, centros de datos y similares, sean diseñados en combinación con redes de pilas de combustible integradas y coubicando (por ej., uno o más módulos de pilas de combustible diseñados para alimentar uno o más bastidores de servidores adyacentes) y redes de intercambio de calor. Esto permite una distribución eficiente tanto de energía térmica como de electricidad a lo largo de todo el sistema, según sea necesario, sin requerir una gran infraestructura eléctrica para distribuir la electricidad generada por las pilas de combustible. Por ejemplo, coubicando las pilas de combustible y los bastidores de servidores, los recorridos eléctricos desde las pilas de combustible hasta los bastidores de servidores se pueden medir en unos pocos decímetros (pies) en lugar de las infraestructuras eléctricas sustancialmente más grandes y más costosas típicamente vistas en instalaciones como los centros de datos.

La Figura 2 y la Figura 3 proporcionan diagramas esquemáticos simples que ilustran varias redes de módulos de pilas de combustible acopladas a redes de transferencia de calor a través de una serie de válvulas automatizadas. Obsérvese que mientras que las válvulas se ilustran en la Figura 2, la red de transferencia de calor en la Figura 3 se muestra sin las válvulas con fines de claridad en el esquema. Sin embargo, debe entenderse que la red de transferencia de calor de la Figura 3 incluye válvulas automatizadas para controlar la transferencia de energía térmica a través de la red de pilas de combustible. De nuevo, debe entenderse que las geometrías simples de las redes de pilas de combustible y las redes de transferencia de calor ilustradas por la Figura 2 y la Figura 3 se proporcionan solo con fines de ilustración y tratamiento de los resultados, y el hecho de que no se pretende que el controlador de puesta en marcha en cascada se limite al uso de dichas geometrías.

Por ejemplo, la Figura 2 muestra una red 200 rectangular en 2D de pilas de combustibles que comprende una pluralidad de pilas de combustible (205 a 245). Como se ilustra, cada pila de combustible en la red 200 de pilas de combustible incluye un intercambiador de calor para transferir energía térmica hacia o desde la red 250 de transferencia de calor. Que el calor (es decir, la energía térmica) fluya o no hacia o desde las pilas de combustible en la red 200 de pilas de combustible está determinado por el estado (es decir, abierto o cerrado) de las válvulas (por ej., válvulas 260) en la red 250 de intercambio de calor.

La Figura 3 proporciona una ilustración de una red 300 en 2D de pilas de combustibles que comprende disposiciones circulares concéntricas de pilas de combustible. Cada una de las pilas de combustible en esta red 300 de pilas de combustible está acoplada a múltiples pilas de combustible vecinas a través de la red 310 de transferencia de calor. Como se señaló anteriormente, esta red 310 de transferencia de calor también incluye válvulas automatizadas (no mostradas) para permitir que el controlador de puesta en marcha en cascada dirija la energía térmica a través de la red de pilas de combustible, como se describe en este documento.

La Figura 4 ilustra un segmento más complejo de una red global de pilas de combustible acoplada a una red de intercambio de calor, aunque con fines de claridad y explicación en la Figura 4 sólo se ilustra una pila de combustible. Debe entenderse que múltiples pilas de combustible están acopladas a la red de intercambio de calor, como se trata aquí. Más específicamente, la Figura 4 ilustra un segmento de una red de pilas de combustible que incluye el módulo 400 de pilas de combustible. Este módulo 400 de pilas de combustible está acoplado a un gas o fluido caliente compartido de la red 405 de intercambio de calor.

Como se ilustra, la red 405 de intercambio de calor incluye una variedad de válvulas automatizadas ubicadas a lo largo de la red de intercambio de calor para capturar y distribuir hacia y desde varios componentes, algunos o todos los cuales son opcionales, dependiendo del tipo de pilas de combustible que se utilicen y del combustible de reacción que se proporciona a esas pilas de combustible. Ejemplos de tales componentes conectados a la red 405 de intercambio de calor incluyen, pero no se limitan a, el módulo 400 de pilas de combustible, el pre-reformador 410 de combustible, varios intercambiadores de calor (415, 420 y 425) y el quemador 430 de tubo de escape.

En diversas implementaciones, el segmento ejemplo de una red global de pilas de combustible ilustrada mediante la Figura 4 incluye un condensador 435 de agua para recuperar el agua del escape del módulo 400 de pilas de combustible y/o el quemador 430 del tubo de escape (que quema cualquier gas inflamable que quede en el escape del módulo de combustible para generar energía térmica adicional). El agua recuperada mediante el condensador 435 de agua puede capturarse y almacenarse en el almacenamiento de agua 440. Además, se puede usar una bomba 445 de agua para bombear agua al intercambiador de calor 420 para usar en la generación de vapor de agua para su uso en el pre-reformador 410 de combustible. Además, se puede usar un soplante 450 de aire, o similar, para mover el aire a través del intercambiador 425 de calor para sobrecalentar el aire que se usa para calentar el módulo 400 de pilas de combustible, como se ilustra. La Figura 4 también ilustra los calentadores eléctricos opcionales, 455 y 460, para uso en el suministro de calentamiento eléctrico al módulo 400 de pilas de combustible y al pre-reformador 410 de combustible, respectivamente. La Figura 4 también muestra que el combustible de reacción, tal como gas natural u otro combustible, puede ser opcionalmente procesado por un agente desulfurante 465 para eliminar los contaminantes de azufre del combustible de reacción, reduciendo así los contaminantes en la corriente de escape de la pila de combustible 400.

Finalmente, la Figura 4 muestra que la energía eléctrica de CC 470 generada por el módulo 400 de pilas de combustible se proporciona como una salida del sistema general. Esta energía eléctrica de CC 470 se puede proporcionar opcionalmente a un inversor de corriente 475 para producir energía eléctrica de CA, si es necesario. Independientemente de si se recibe energía eléctrica de CC o CA (o ambas), esa energía eléctrica se aprovecha a continuación para cualquier uso deseado.

2.3 Consideraciones e implementaciones adicionales

Como se indicó anteriormente, el controlador de puesta en marcha en cascada se puede implementar en una amplia gama de configuraciones y con cualquier tipo o mezcla de tipos de pilas de combustible que se desee. Además, dependiendo de la cantidad de energía disponible para comenzar el proceso inicial de puesta en marcha de la red de pilas de combustible, se pueden poner en marcha una o múltiples pilas de combustible al mismo tiempo, usándose luego el exceso de energía térmica de esas pilas iniciales para impulsar la puesta en marcha en cascada del resto de la red de pilas de combustible. Como tal, el controlador de puesta en marcha en cascada actúa para llevar las pilas de combustible a temperaturas operativas para que se produzca reacción utilizando calor y/o energía eléctrica de las pilas vecinas.

Además, el controlador de inicio en cascada puede reaccionar a los cambios en la demanda de carga eléctrica aumentando la distribución de calor y combustible a una o más pilas de combustible, lo que aumenta la producción eléctrica de esas pilas. Como tal, el controlador de inicio en cascada opera en varias implementaciones como un control sobre el equilibrio de carga transitoria donde el calor se utiliza para la estabilización de las pilas de combustible de la red. Por ejemplo, supóngase que la pila de combustible está operando en estado estacionario, pero necesita producir más energía debido al aumento de la demanda de carga por alguna razón (por ej., se conectan más computadores, la pila de combustible vecina se desconecta, etc.). Típicamente, la pila de combustible producirá más energía (hasta cierto punto) a medida que se suministre más combustible. Sin embargo, el combustible está típicamente más frío que la pila de combustible, por lo que el uso de un exceso de aporte de calor a la pila de combustible a través de la red de transferencia de calor contrarrestará el combustible más frío, lo que ayudará a estabilizar las temperaturas de la pila de combustible cuando se envía más combustible para aumentar la producción de energía.

Con respecto a qué pilas de combustible se utilizan para comenzar el proceso inicial de puesta en marcha de la red de pilas de combustible, el controlador de puesta en marcha en cascada puede seleccionar esas pilas en función de varios criterios. Por ejemplo, el controlador de inicio en cascada puede simplemente seleccionar al azar una o más pilas de combustible de la red. Alternativamente, el controlador de inicio en cascada puede seleccionar una o más pilas de combustible más cercanas a la fuente de alimentación inicial. Alternativamente, el controlador de inicio en cascada puede seleccionar una o más pilas que estén en posiciones que reduzcan las distancias a las que la energía térmica se transfiere a otras pilas de combustible para impulsar la puesta en marcha en cascada del resto de la red de pilas de combustible. En algunos casos, esta última alternativa puede significar que el controlador de inicio en cascada seleccione una o más pilas de combustible para la inicialización que están en o cerca del centro de la red de pilas de combustible, o una o más pilas de combustible a lo largo de los bordes de la red de pilas de combustible, etc., dependiendo de la geometría de la red de pilas de combustible.

A modo de analogía con un incendio forestal, el controlador de inicio en cascada está actuando para iniciar un incendio (es decir, calentar la o las pilas de combustible iniciales a la temperatura operativa) que luego se propaga lo más rápidamente posible a otras pilas de combustible sin tener que iniciar más incendios. En otras palabras, el

controlador de inicio en cascada arranca o inicializa una o más pilas de combustible, y luego utiliza el calor, los gases de escape y la electricidad de la pila de combustible en funcionamiento para calentar las pilas de combustible vecinas a las temperaturas operativas. El calor, los gases de escape y la electricidad de esos vecinos se distribuyen a continuación, junto con los de la o las pilas de combustible iniciales a la cascada en expansión para calentar más vecinos a las temperaturas operativas, y así sucesivamente. Esta cascada en expansión continúa hasta que la red de pilas de combustible se inicializa completamente, o hasta que se haya inicializado un número deseado de pilas de combustible de la red de pilas de combustible.

Otro uso interesante del controlador de inicio en cascada es implementar un centro de datos o similar como un componente del sistema general. En este caso, el controlador de inicio en cascada supervisa la energía eléctrica disponible de las pilas de combustible en funcionamiento, y arranca dinámicamente más servidores del centro de datos a medida que hay más energía disponible. Además, las pilas de combustible se pueden colocar cerca de los bastidores del servidor a los que dan servicio con energía eléctrica, eliminando así una cantidad significativa del sistema de distribución eléctrica típico en el centro de datos.

Otras consideraciones para realizar varias implementaciones del controlador de inicio en cascada incluyen, pero no se limitan a, las siguientes:

a. Canaliza cantidades cada vez mayores de calor para el reformado del combustible a medida que se conectan más pilas de combustible, lo que prepara más combustible para su consumo por las pilas de combustible a medida que alcanzan las temperaturas operativas;

b. Usa cantidades cada vez mayores de electricidad disponible para calentar pilas de combustible frías a medida que más pilas de combustible de la red alcanzan las temperaturas operativas y comienzan a generar electricidad;

c. Las redes de pilas de combustible bajo el control del controlador de inicio en cascada han aumentado la resistencia a los fallos. Por ejemplo, dado que las pilas de combustible están conectadas en una red, y la red de pilas de combustible está conectada a la red de transferencia de calor mediante válvulas controladas dinámicamente, las pilas de combustible defectuosas o inoperables, o las pilas de combustible que requieren mantenimiento, pueden aislarse tanto de la red de pilas de combustible como de la red de transferencia de calor a través de las válvulas automatizadas; y

d. La red de transferencia de calor permite que el controlador de puesta en marcha en cascada precaliente las pilas de combustible utilizando la red de transferencia de calor sin proporcionar realmente combustible a esas pilas de combustible. Esto permite que las pilas de combustible precalentadas se mantengan en espera para generar electricidad tan pronto como se suministre combustible.

3.0 Sumario operacional del controlador de puesta en marcha en cascada

Los procesos descritos anteriormente con respecto a la Figura 1 a la Figura 4, y en una vista adicional de la descripción detallada proporcionada anteriormente en las Secciones 1 y 2, se ilustran mediante el diagrama de flujo operativo general de la Figura 5. En particular, la Figura 5 proporciona un diagrama de flujo operacional ejemplo que resume el funcionamiento de algunas de las diversas implementaciones del controlador de inicio en cascada. Obsérvese que la Figura 5 no pretende ser una representación exhaustiva de todas las diversas implementaciones del controlador de inicio en cascada descrito en este documento, y que las implementaciones representadas en la Figura 5 se proporcionan sólo con fines explicativos.

En general, como se ilustra en la Figura 5, el controlador de inicio en cascada opera usando una red de pilas de combustible que comprende una red (500) de tres o más módulos de pilas de combustible. Cada uno de estos módulos de pilas de combustible incluye uno o más sistemas de intercambio de calor para usar en el calentamiento del módulo de pilas de combustible a temperaturas operativas para realizar reacciones de generación de energía autosostenidas y para eliminar el exceso de calor del módulo de pilas de combustible. Los sistemas de intercambio de calor de cada módulo de pilas de combustible están acoplados (510) a una o más válvulas automatizadas de una ruta de intercambio térmico que forma una red de intercambio de calor.

Cada válvula de la red de intercambio de calor se controla automáticamente (520) para desviar o conectar el sistema de intercambio de calor de una o más de los módulos de pilas de combustible a los sistemas de intercambio de calor de uno o más módulos vecinos de pilas de combustible a través de la vía de intercambio térmico.

Una puesta en marcha en cascada (530) de la red de pilas de combustible se inicializa controlando automáticamente las válvulas para hacer que el exceso de calor se dirija desde un número creciente de módulos de pilas de combustible más calientes, a medida que esté disponible un exceso de calor adicional, a uno o más módulos de pilas de combustible más fríos. Este exceso de calor se envía a través de la ruta de intercambio térmico hasta que un número seleccionado de módulos de pilas de combustible de la red hayan alcanzado una temperatura de funcionamiento capaz de realizar reacciones de generación de energía autosostenidas.

La puesta en marcha en cascada incluye un patrón de expansión (540) del exceso de calor que se envía desde los módulos de pilas de combustible más calientes a los módulos de pilas de combustible más fríos que se controlan

dinámicamente a través de las válvulas automatizadas para disminuir el tiempo total de puesta en marcha para el número seleccionado de módulos de pilas de combustible en la red.

4.0 Ejemplos de entornos de operación

El controlador de inicio en cascada que se describe en este documento es operativo en numerosos tipos de entornos o configuraciones de sistemas informáticos de propósito general o especial. La Figura 6 ilustra un ejemplo simplificado de un sistema informático de propósito general en el que se pueden implementar varias implementaciones y elementos del controlador de inicio en cascada, como se describe en este documento. Cabe señalar que todas las casillas representadas en la Figura 6 por líneas rotas o discontinuas representan implementaciones alternativas del dispositivo informático simplificado, y que cualquiera o todas estas implementaciones alternativas, como se describe a continuación, pueden usarse en combinación con otras implementaciones alternativas que se describen a lo largo de este documento.

Por ejemplo, la Figura 6 muestra un diagrama general del sistema que muestra un dispositivo informático 600 simplificado. Ejemplos de tales dispositivos que pueden hacerse funcionar con el controlador de inicio en cascada incluyen, pero no se limitan a, dispositivos electrónicos portátiles, dispositivos informáticos portátiles, dispositivos informáticos de mano, computadoras portátiles o móviles, dispositivos de comunicaciones tales como teléfonos celulares, teléfonos inteligentes y PDAs, sistemas multiprocesadores, sistemas basados en microprocesadores, decodificadores, dispositivos electrónicos de consumo programables, PCs de red, minicomputadoras, reproductores de audio o video, dispositivos de control remoto portátiles, etc. Obsérvese que el controlador de inicio en cascada puede implementarse con cualquier pantalla táctil o superficie sensible al tacto que esté en comunicación con, o de otra manera acoplada con, una amplia gama de dispositivos u objetos electrónicos.

Para permitir que un dispositivo implemente el controlador de inicio en cascada, el dispositivo informático 600 debe tener una capacidad computacional y una memoria del sistema suficientes para permitir operaciones computacionales básicas. En el presente caso, el controlador de inicio en cascada monitoriza automáticamente condiciones tales como las temperaturas de las pilas de combustible, las temperaturas del combustible de reacción, la demanda de carga eléctrica actual o prevista, etc., y utiliza esta información para controlar dinámicamente las válvulas de la red de transferencia de calor a través del dispositivo informático 600. El controlador de puesta en marcha en cascada también utiliza esta información para controlar la distribución del combustible de reacción a las pilas de combustible a través del dispositivo informático 600. Además, el controlador de puesta en marcha en cascada utiliza esta información para controlar el enfriamiento de las pilas de combustible a través del dispositivo informático 600. Adviértase que las válvulas automáticas y las técnicas para interconectar y controlar tales dispositivos usando una computadora son bien conocidas por los expertos en la técnica, y no se describirán en el presente documento.

Además, el dispositivo informático 600 puede incluir uno o más sensores 605, que incluyen, pero no se limitan a, termopares, medidores de temperatura infrarrojos, acelerómetros, cámaras, sensores capacitivos, sensores de proximidad, micrófonos, sensores multispectrales, etc. Además, el dispositivo informático 600 también puede incluir el paquete informático permanente del sistema 625 opcional (u otro paquete informático permanente o memoria o almacenamiento accesible al procesador) para su uso en la implementación de varias implementaciones del controlador de inicio en cascada.

Como se ilustra en la Figura 6, la capacidad de cálculo del dispositivo de computación 600 generalmente se ilustra mediante una o más unidades de procesamiento 610, y también puede incluir una o más GPU 615, cada una o ambas en comunicación con la memoria 620 del sistema. Adviértase que la o las unidades de procesamiento 610 del dispositivo informático 600 pueden ser un microprocesador especializado, como un DSP, un VLIW u otro microcontrolador, o puede ser una CPU convencional con uno o más núcleos de procesamiento, incluidos núcleos especializados basados en GPU en una CPU de múltiples núcleos.

Además, el dispositivo informático simplificado 600 también puede incluir otros componentes, como, por ejemplo, una interfaz de comunicaciones 630. El dispositivo informático simplificado 600 también puede incluir uno o más dispositivos 640 convencionales de entrada de computadora o combinaciones de dichos dispositivos (por ejemplo, pantallas táctiles, superficies táctiles, dispositivos de señalización, teclados, dispositivos de entrada de audio, dispositivos de entrada y control de voz o basados en el habla, dispositivos de entrada de video, dispositivos de entrada háptica, dispositivos para recibir transmisiones de datos por cable o inalámbricas, etc.). El dispositivo informático simplificado 600 también puede incluir otros componentes opcionales, como, por ejemplo, uno o más dispositivos 650 convencionales de salida de computadora (por ej., dispositivo(s) de pantalla 655, dispositivos de salida de audio, dispositivos de salida de video, dispositivos para transmitir transmisiones de datos por cable o inalámbricas, etc.). Adviértase que las interfaces de comunicaciones 630 típicas, los dispositivos de entrada 640, los dispositivos de salida 650 y los dispositivos de almacenamiento 660 para computadoras de uso general son bien conocidos por los expertos en la técnica, y no se describirán en detalle en este documento.

El dispositivo informático simplificado 600 también puede incluir una variedad de medios legibles por computadora. Los medios legibles por computadora pueden ser cualquier medio disponible al que se pueda acceder a través de los dispositivos de almacenamiento 660 e incluyen tanto medios volátiles como no volátiles que pueden ser

- 5 extraíbles 670 y/o no extraíbles 680, para el almacenamiento de información tal como instrucciones legibles por computadora o ejecutables por computadora, estructuras de datos, módulos de programa, u otros datos. A modo de ejemplo, y no de limitación, los medios legibles por computadora pueden comprender medios de almacenamiento informáticos y medios de comunicación. Los medios de almacenamiento informático se refieren a dispositivos de almacenamiento o medios tangibles legibles por máquinas o computadoras tales como DVDs, CDs, disquetes, unidades de cinta, discos duros, unidades ópticas, dispositivos de memoria de estado sólido, RAM, ROM, EEPROM, memoria flash u otra tecnología de memoria, casetes magnéticos, cintas magnéticas, almacenamiento en discos magnéticos u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro dispositivo que se pueda utilizar para almacenar la información deseada y al que se pueda acceder mediante uno o más dispositivos informáticos.
- 10 El almacenamiento de información, tal como instrucciones legibles por computadora o ejecutables por computadora, estructuras de datos, módulos de programas, etc., también se puede lograr usando cualquiera de una variedad de los medios de comunicación mencionados anteriormente para codificar una o más señales de datos modulados u ondas portadoras, u otros mecanismos de transporte o protocolos de comunicación, e incluye cualquier mecanismo de entrega de información por cable o inalámbrico. Adviértase que las expresiones "señal de datos modulados" u
- 15 "onda portadora" generalmente se refieren a una señal que tiene una o más de sus características establecidas o modificadas de tal manera que codifican información en la señal. Por ejemplo, los medios de comunicación incluyen medios por cable, tal como una red por cable o una conexión directa por cable que transportan una o más señales de datos modulados, y medios inalámbricos, tales como medios acústicos, RF, infrarrojos, láser y otros medios inalámbricos para transmitir y/o recibir una o más señales de datos moduladas u ondas portadoras. Las combinaciones de cualquiera de los anteriores también deben incluirse dentro del alcance de los medios de comunicación.
- 20 La retención de información, tales como las instrucciones legibles por computadora o ejecutables por computadora, las estructuras de datos, los módulos de programas, etc., también se puede lograr utilizando cualquiera de los diversos medios de comunicación mencionados anteriormente para codificar una o más señales de datos modulados u ondas portadoras, u otros mecanismos de transporte o protocolos de comunicaciones, e incluye cualquier mecanismo de entrega de información por cable o inalámbrico. Adviértase que los términos "señal de datos modulados" u "onda portadora" generalmente se refieren a una señal que tiene una o más de sus características configuradas o cambiadas de tal manera que codifican información en la señal. Por ejemplo, los medios de comunicación incluyen medios por cable, tales como una red por cable o una conexión directa por cable que transportan una o más señales de datos modulados, y medios inalámbricos, tales como medios acústicos, RF, infrarrojos, láser y otros medios inalámbricos para transmitir y/o recibir una o más señales de datos modulados u ondas portadoras. Las combinaciones de cualquiera de los anteriores también deben incluirse dentro del alcance de los medios de comunicación.
- 25 Además, el software, los programas y/o los productos de programas informáticos que incorporan algunas o todas las diversas implementaciones del controlador de puesta en marcha en cascada descrito en este documento, o partes del mismo, pueden almacenarse, recibirse, transmitirse o leerse desde cualquier combinación deseada de medios legibles por computadora o máquinas o dispositivos de almacenamiento y medios de comunicación en forma de instrucciones ejecutables por computadora u otras estructuras de datos.
- 30 Finalmente, el controlador de puesta en marcha en cascada descrito en el presente documento puede describirse adicionalmente en el contexto general de las instrucciones ejecutables por computadora, tales como los módulos de programas, que se ejecutan mediante un dispositivo informático. En general, los módulos de programa incluyen rutinas, programas, objetos, componentes, estructuras de datos, etc., que realizan tareas particulares o implementan tipos de datos abstractos particulares. Las implementaciones descritas en este documento también se pueden practicar en entornos informáticos distribuidos donde las tareas se realizan mediante uno o más dispositivos de procesamiento remoto, o dentro de una nube de uno o más dispositivos, que están vinculados a través de una o más redes de comunicaciones. En un entorno informático distribuido, los módulos de programa pueden ubicarse en medios de almacenamiento informáticos locales y remotos, incluidos los dispositivos de almacenamiento multimedia. Aún más, las instrucciones mencionadas anteriormente pueden implementarse, en parte o en su totalidad, como circuitos lógicos de hardware, que pueden incluir o no un procesador.
- 35 La descripción anterior del controlador de inicio en cascada se ha presentado con fines de ilustración y descripción. No se pretende que sea exhaustiva o que limite la materia objeto reivindicada a la forma precisa descrita. Muchas modificaciones y variaciones son posibles a la luz de la enseñanza anterior. Además, se debe tener en cuenta que cualquiera o todas las implementaciones alternativas mencionadas anteriormente se pueden usar en cualquier combinación que se desee para formar implementaciones híbridas adicionales del controlador de inicio en cascada.
- 40 Se pretende que el alcance de la invención no esté limitado por esta descripción detallada, sino más bien por las reivindicaciones adjuntas. Aunque la materia objeto se ha descrito en un lenguaje específico a características estructurales y/o actos metodológicos, debe entenderse que la materia objeto definida en las reivindicaciones adjuntas no está necesariamente limitada a las características o actos específicos descritos anteriormente. Más bien, las características y los actos específicos descritos anteriormente se describen como formas de ejemplo de
- 45 implementación de las reivindicaciones.
- 50
- 55
- 60

REIVINDICACIONES

1. Un método para inicializar una red de pilas de combustible

De tres o más módulos de pilas de combustible, incluyendo cada módulo de pilas de combustible uno o más sistemas de intercambio de calor para su uso en el calentamiento del módulo de pilas de combustible a una temperatura de funcionamiento que permita que el módulo de pilas de combustible realice reacciones de generación de energía autosostenidas y para usar en la eliminación del calor en exceso del módulo de pilas de combustible;

Estando los sistemas de intercambio de calor de cada módulo de pilas de combustible acoplados a una o más válvulas automatizadas de una ruta de intercambio térmico;

Siendo cada válvula controlada automáticamente para desviar o conectar el sistema de intercambio de calor de uno o más de los módulos de pilas de combustible a los sistemas de intercambio de calor de uno o más módulos vecinos de pilas de combustible a través de la ruta de intercambio térmico; método que comprende:

Inicializar una puesta en marcha en cascada de la red de tres o más módulos de pilas de combustible controlando automáticamente las válvulas para hacer que la energía térmica en exceso sea enviada desde un número creciente de módulos de pilas de combustible más calientes, a medida que se disponga de energía térmica adicional en exceso, hasta uno o más módulos de pilas de combustible más fríos a través de la vía de intercambio térmico;

Continuar con la puesta en marcha en cascada hasta que un número seleccionado de módulos de pilas de combustible en la red de tres o más módulos de pilas de combustible hayan alcanzado una temperatura de funcionamiento capaz de realizar reacciones de generación de energía autosostenidas cuando se les suministra combustible de reacción; y

En el que la puesta en marcha en cascada incluye un patrón de expansión de la energía térmica en exceso que se envía desde los módulos de pilas de combustible más calientes a los módulos de pilas de combustible más fríos que se controlan dinámicamente a través de las válvulas automatizadas para disminuir el tiempo total de puesta en marcha para el número seleccionado de módulos de pilas de combustible de la red.

2. El método según la reivindicación 1, que además comprende colocar uno o más módulos de pilas de combustible en estado de espera mediante el uso de la vía de intercambio térmico para precalentar esos módulos de pilas de combustible a una temperatura operativa sin suministrar combustible de reacción a los módulos de pilas de combustible precalentados.

3. El método según la reivindicación 1, que además comprende adaptar automáticamente a incrementos transitorios de la demanda de carga aumentando la temperatura de uno o más módulos de pilas de combustible controlando automáticamente las válvulas para hacer que el exceso de energía térmica sea enviado a esos módulos de pilas de combustible y aumentar un flujo de combustible de reacción a esos módulos de pilas de combustible.

4. El método según la reivindicación 1, en el que uno o más de los módulos de pilas de combustible incluye además un dispositivo calentador eléctrico, recibiendo dicho dispositivo calentador eléctrico energía eléctrica durante la puesta en marcha en cascada de uno o más módulos de pilas de combustible que están realizando reacciones de generación de energía autosostenidas.

5. El método según la reivindicación 1, que además comprende capturar el calor residual de una o más computadoras del servidor y usar ese calor residual para precalentar parcialmente uno o más módulos de pilas de combustible.

6. El método según la reivindicación 1, que comprende además iniciar el enfriamiento en uno o más de los módulos de pilas de combustible utilizando una interfaz de usuario.

7. El método según la reivindicación 1, que comprende además enfriar uno o más módulos de pilas de combustible usando un circuito de refrigeración.

8. El método según la reivindicación 1, en el que se proporciona energía térmica en exceso disponible a la ruta de intercambio térmico para su uso en el reformado del combustible de reacción.

9. El método según la reivindicación 1, que además comprende usar un quemador de tubo de escape para quemar los gases de escape de uno o más módulos de pilas de combustible, y usar la energía térmica de los gases de escape quemados para proporcionar energía térmica adicional para calentar uno o más módulos de pilas de combustible más fríos.

10. El método según la reivindicación 1, en el que la red de pilas de combustible está completamente desconectada de una red eléctrica externa.

11. Una red de pilas de combustible, que comprende:

Una red de tres o más módulos de pilas de combustible acoplada a una red de intercambio de calor;

En la que la red de intercambio de calor incluye una pluralidad de válvulas controladas por computadora para distribuir energía térmica entre cualquiera de los módulos de pilas de combustible;

5 Un dispositivo de computación para inicializar una puesta en marcha en cascada de la red de tres o más módulos de pilas de combustible controlando automáticamente las válvulas para hacer que la energía térmica en exceso sea enviada desde un número creciente de módulos de pilas de combustible operativas a uno o más módulos de pilas de combustible más fríos a través de la red de intercambio de calor;

10 En donde la puesta en marcha en cascada continúa hasta que un número seleccionado de módulos de pilas de combustible se vuelvan operativos alcanzando una temperatura de operación capaz de realizar reacciones de generación de energía autosostenidas cuando se les suministra combustible de reacción; y

15 En la que la puesta en marcha en cascada incluye un patrón de expansión de la energía térmica en exceso que se envía desde los módulos de pilas de combustible operativos a los módulos de pilas de combustible más fríos que se controla dinámicamente mediante el dispositivo informático a través de las válvulas automatizadas para disminuir el tiempo de puesta en marcha para el número seleccionado de módulos de pilas de combustible de la red.

12. La red de pilas de combustible según la reivindicación 11, que además comprende uno o más bastidores de dispositivos informáticos, cada bastidor de dispositivos informáticos ubicado cerca de uno o más módulos de pilas de combustible, y que recibe energía eléctrica de uno o más de los módulos de pilas de combustible ubicados.

20 **13.** La red de pilas de combustible según la reivindicación 12, que comprende además recoger el calor residual de uno o más de los bastidores de dispositivos informáticos y usar ese calor residual para precalentar parcialmente uno o más módulos de pilas de combustible.

25 **14.** La red de pilas de combustible según la reivindicación 11, que comprende además colocar uno o más módulos de pilas de combustible en estado de espera usando la red de intercambio de calor para precalentar esos módulos de pilas de combustible a una temperatura operativa sin suministrar combustible de reacción a los módulos de pilas de combustible precalentadas.

15. Un dispositivo de almacenamiento legible por computadora que tiene instrucciones ejecutables por computadora almacenadas en el mismo para realizar una puesta en marcha en cascada de una red de pilas de combustible, causando dichas instrucciones que un dispositivo informático realice acciones que comprenden:

30 Controlar una pluralidad de válvulas controladas por computadora acopladas a una red de intercambio de calor para distribuir energía térmica entre cualquier módulo de pilas de combustible de una red de tres o más módulos de pilas de combustible;

35 Inicializar una puesta en marcha en cascada de la red de tres o más módulos de pilas de combustible controlando automáticamente las válvulas para hacer que la energía térmica en exceso sea enviada desde un número creciente de módulos de pilas de combustible operativos a uno o más módulos de pilas de combustible más fríos a través de la red de intercambio de calor;

Continuar la puesta en marcha en cascada hasta que un número seleccionado de módulos de pilas de combustible se hayan vuelto operativos alcanzando una temperatura de operación capaz de realizar reacciones de generación de energía autosostenidas cuando se les suministra combustible de reacción; y

40 En el que la puesta en marcha en cascada incluye un patrón de expansión de la energía térmica en exceso que se envía desde los módulos de pilas de combustible operativos a los módulos de pilas de combustible más fríos que se controla dinámicamente mediante el dispositivo informático a través de las válvulas automatizadas para disminuir el tiempo de puesta en marcha para el número seleccionado de módulos de pilas de combustible de la red.

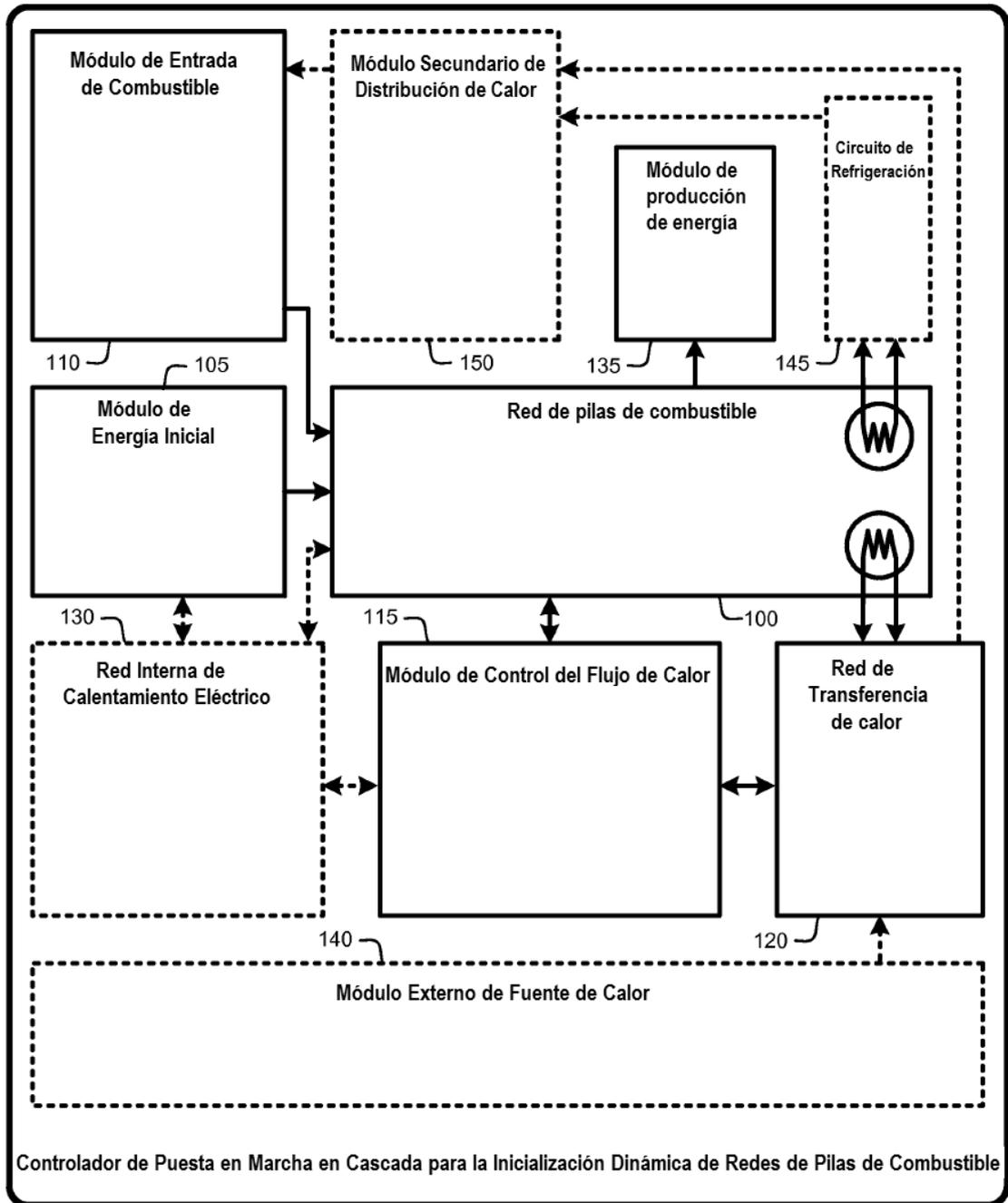


FIG. 1

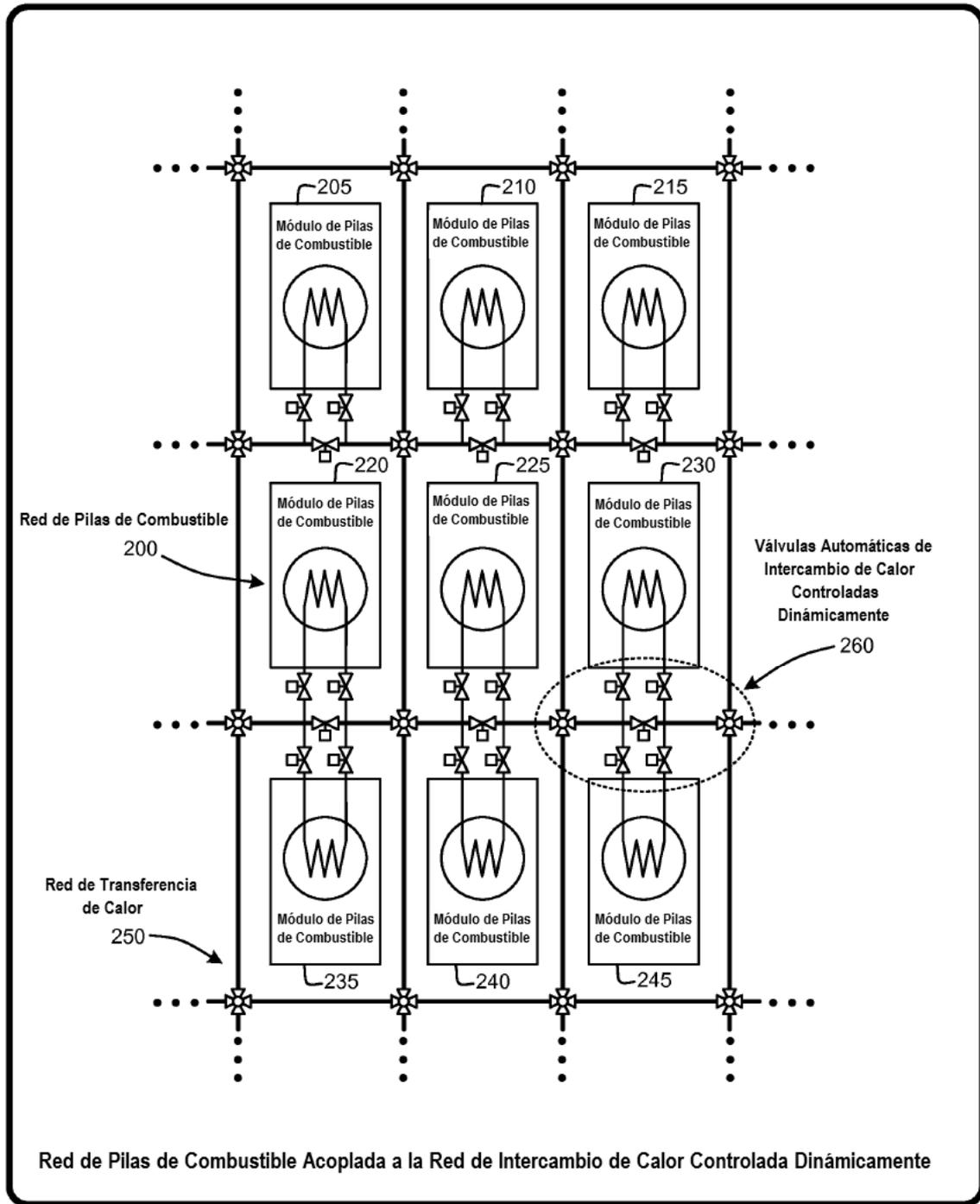


FIG. 2

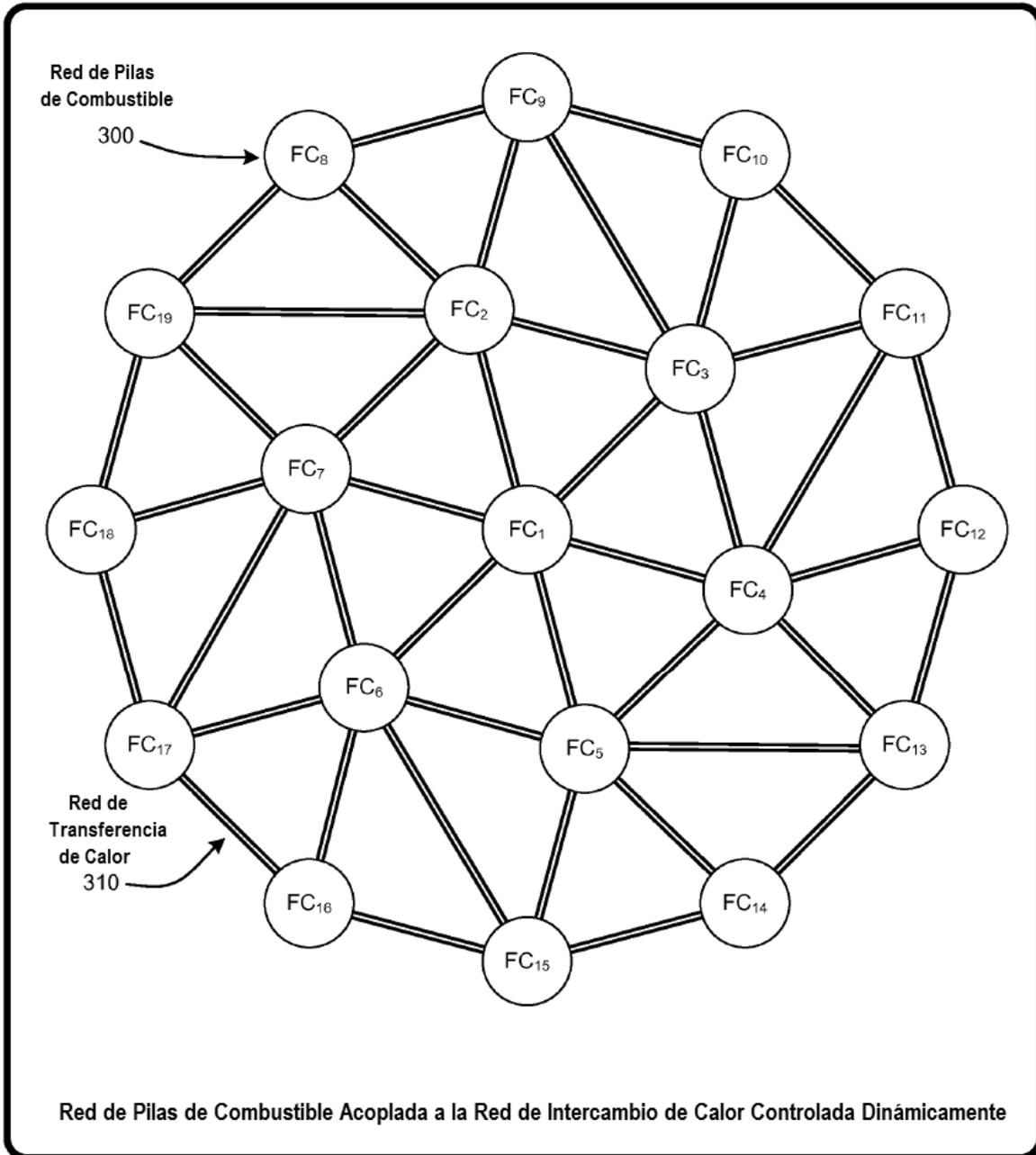


FIG. 3

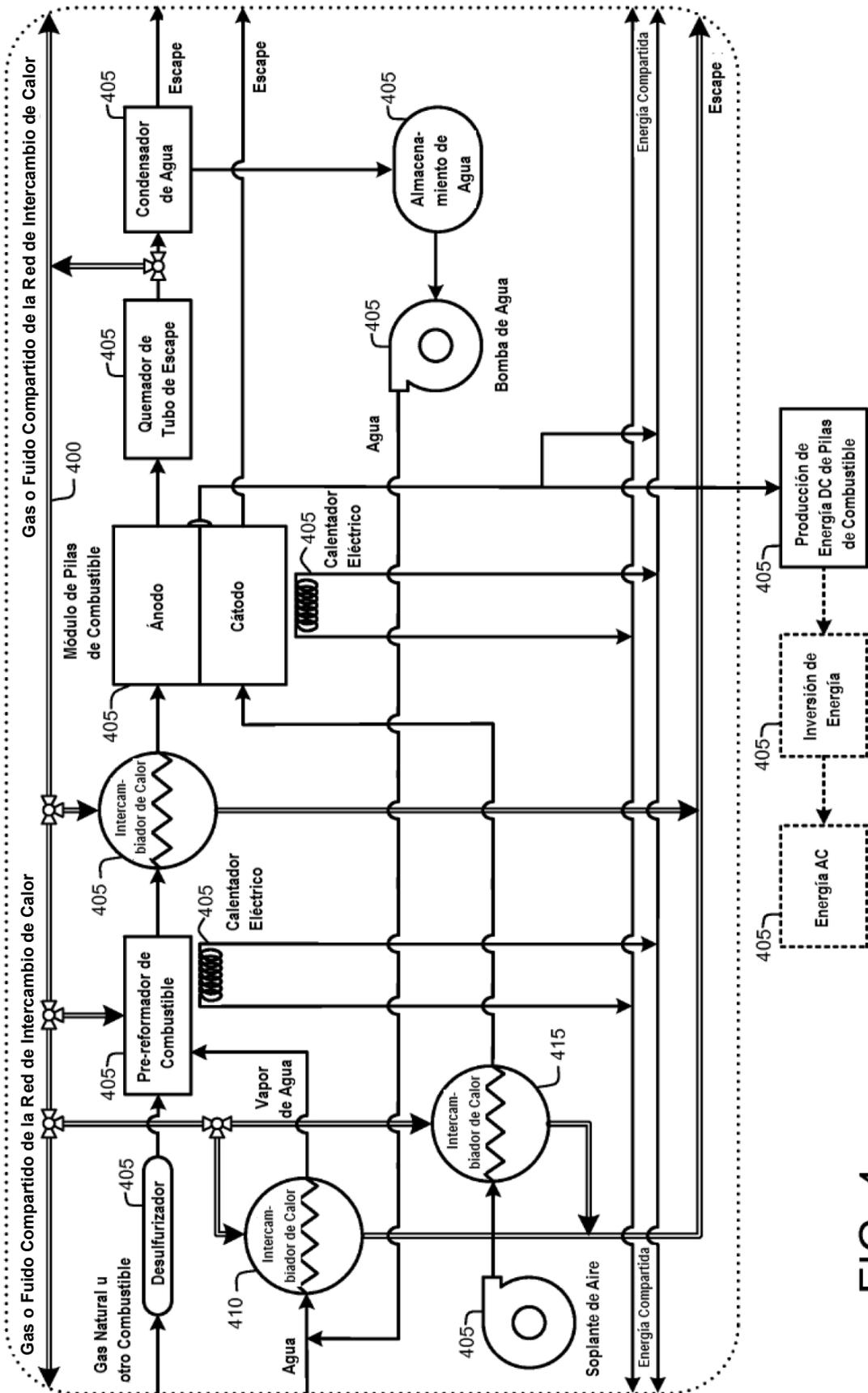


FIG. 4

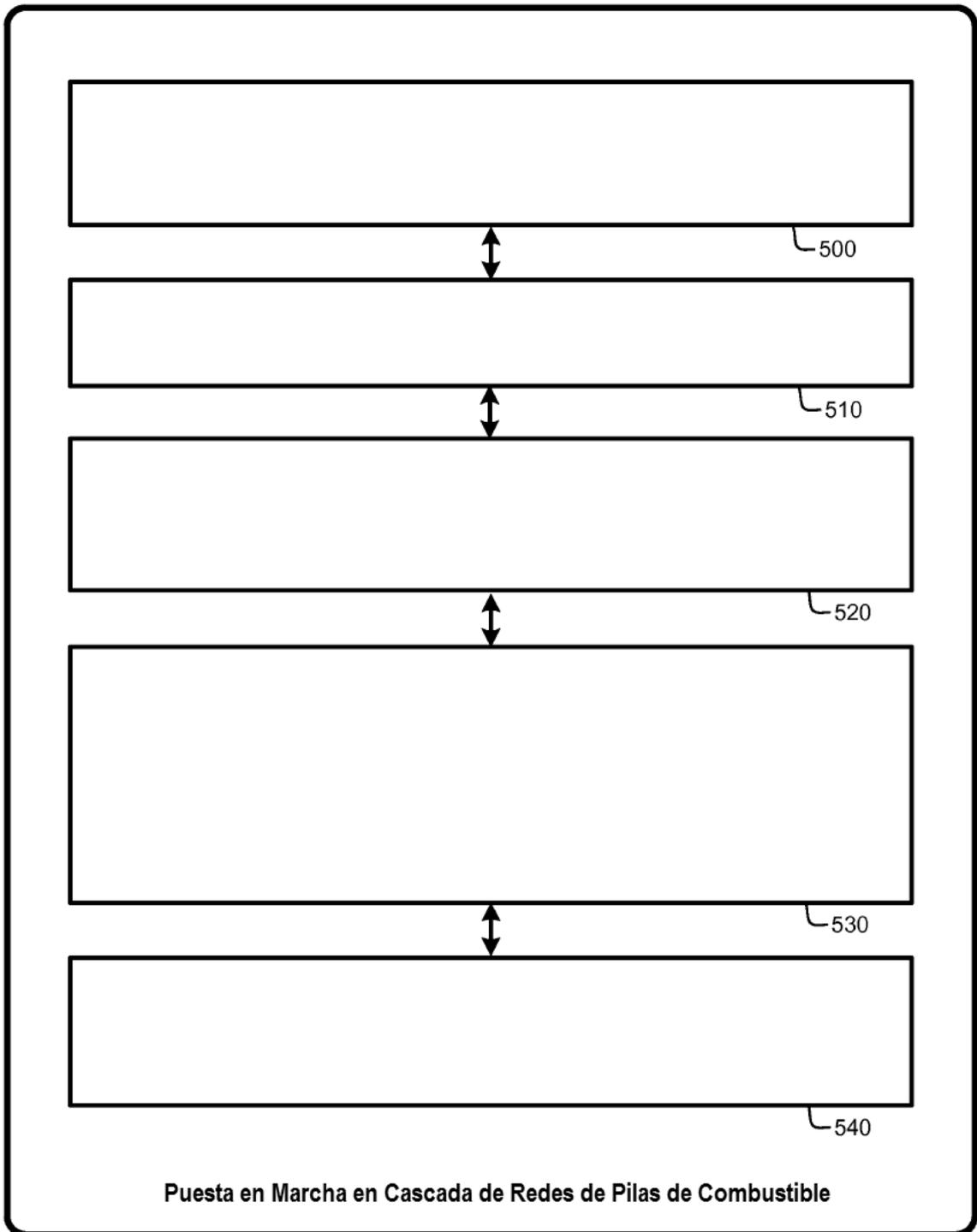


FIG. 5

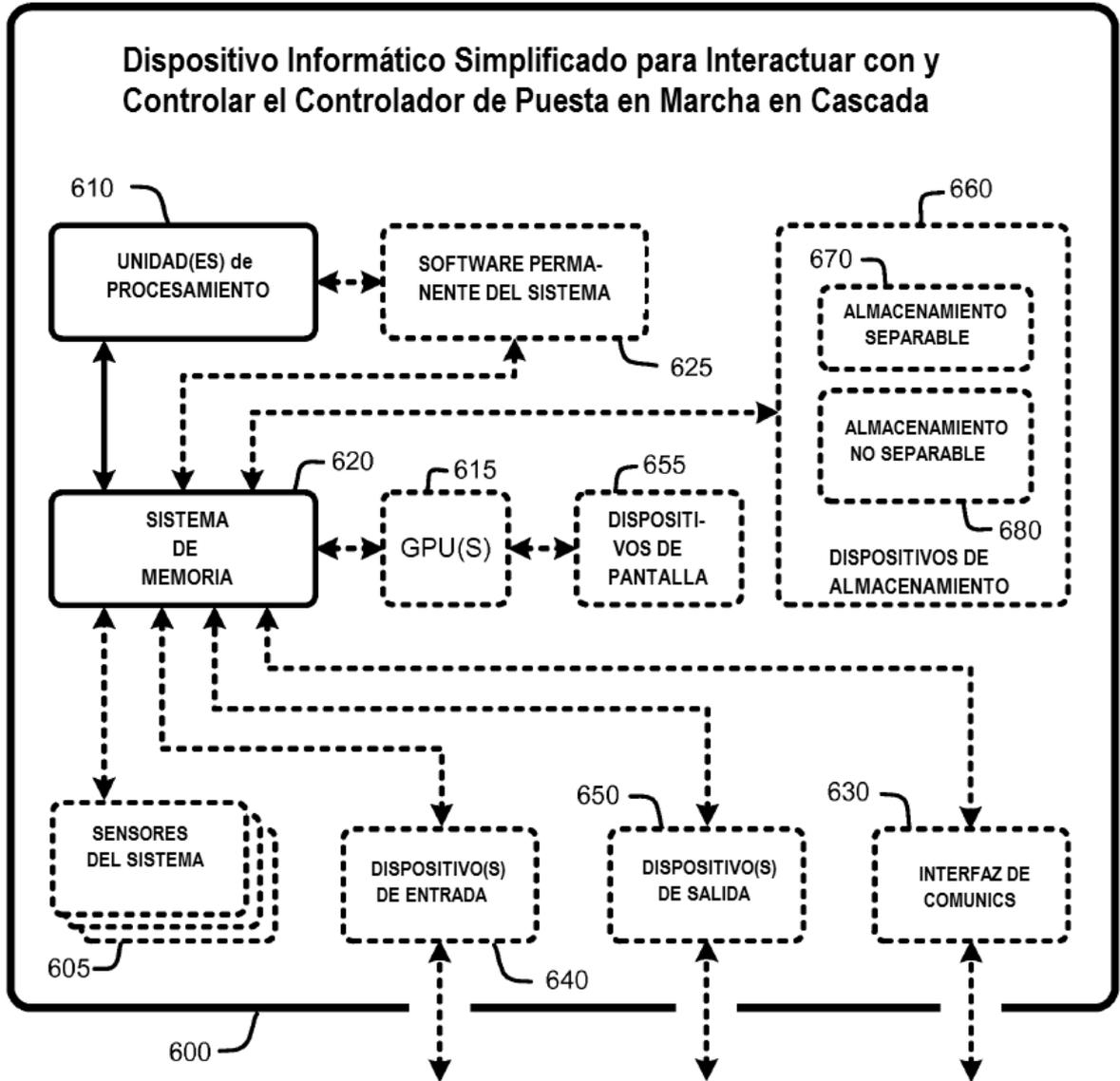


FIG. 6