(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 962 265**

(51) Int. Cl.:

G01M 99/00 (2011.01)
F24F 11/00 (2008.01)
F24F 11/48 (2008.01)
F24F 11/49 (2008.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.11.2016 PCT/US2016/064263**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **08.06.2017 WO17095954**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.11.2016 E 16871443 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2023 EP 3384268**

(54) Título: **Sistemas y métodos para planificar y ejecutar automáticamente pruebas in situ en sistemas eléctricos y mecánicos**

(30) Prioridad:

30.11.2015 US 201562261205 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.03.2024

(73) Titular/es:

NEXTRACKER LLC (100.0%)
6200 Paseo Padre Parkway
Fremont, CA 94555, US

(72) Inventor/es:

WOOTTON, BRUCE CHRISTOPHER;
TIMAR, RORY JOSEPH;
MURPHY, COLIN PATRICK;
BORRELLI, FRANCESCO y
DALY, ALLAN

(74) Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

DESCRIPCIÓN

Sistemas y métodos para planificar y ejecutar automáticamente pruebas *in situ* en sistemas eléctricos y mecánicos

Campo de la invención

La presente invención se refiere a sistemas de pruebas. Más particularmente, esta invención se refiere a pruebas *in situ* de sistemas eléctricos y mecánicos, tales como, sistemas HVAC.

Antecedentes de la invención

Someter a prueba desarrollos complejos personalizados supone un desafío porque someter a prueba componentes individualmente no revelará errores en la integración del sistema. Los ejemplos de sistemas complejos incluyen sistemas eléctricos, mecánicos, electromecánicos y HVAC. (Para simplificar la descripción a continuación, estos sistemas se denominan sistemas eléctricos y mecánicos). En cambio, los componentes deben someterse a prueba en su sitio (*in situ*) para garantizar que el sistema en su conjunto funcione como se desea. Las pruebas de un solo componente del sistema deben tener en cuenta y posiblemente modificar las condiciones de funcionamiento del sistema en su conjunto. En un sistema con un gran número de componentes y pruebas, esto da como resultado un procedimiento de prueba complejo que puede llevar un tiempo relativamente prolongado en completarse porque cada prueba de componente requiere establecer un nuevo conjunto de condiciones de funcionamiento. Además, si las pruebas se ejecutan en un sistema operativo actualmente, la capacidad de establecer condiciones de funcionamiento arbitrarias es limitada. Aunque existen herramientas que permiten el establecimiento automatizado de las condiciones de funcionamiento, estas herramientas carecen de la capacidad de coordinar y validar múltiples condiciones de funcionamiento en múltiples pruebas.

El documento US 2015/241856 A1 describe sistemas y métodos para la puesta en marcha por ellos mismos y el autodiagnóstico de equipos en un sistema de gestión de edificios. Un módulo de autocomprobación se implementa en una unidad de control del sistema de gestión de edificios. El módulo de autocomprobación pone a prueba los equipos del sistema de gestión de edificios utilizando un procedimiento de pruebas basado en el estado que difiere del funcionamiento normal de los equipos y monitoriza la información de retorno recibida desde un sensor del sistema de gestión de edificios en respuesta a poner a prueba los equipos. El módulo de autocomprobación utiliza la información de retorno desde el sensor para evaluar una condición de transición de estado del procedimiento de pruebas basado en el estado y para pasar entre estados del procedimiento de pruebas basado en el estado utilizando un resultado de la evaluación.

El documento US 2015/178421 A1 describe un sistema y un método para modelar características de rendimiento térmico de componentes de HVAC en un edificio utilizando la potencia del edificio u otro medidor para medir la potencia consumida por los componentes. Los modelos se utilizan para someter a prueba los componentes, preferentemente fuera del horario laboral, para garantizar un funcionamiento correcto y eficiente. Preferentemente, el software de prueba está escrito en un lenguaje interpretativo de alto nivel que es independiente del componente de HVAC modelado. Los modelos se mantienen de manera adaptativa garantizando periódicamente que su resultado medido coincide con el resultado previsto. Cuando no coinciden los dos, se actualizan los parámetros del modelo.

Breve sumario de la invención

Según los principios de la invención, se somete a prueba un sistema eléctrico y mecánico que presenta múltiples componentes coordinando dinámicamente pruebas de componentes teniendo en cuenta las condiciones del sistema. Un sistema de pruebas utiliza un algoritmo de planificación que minimiza el tiempo total de ejecución de las pruebas de componente, tal como ejecutando pruebas que pueden ejecutarse en paralelo, juntas, mientras se gestiona y monitoriza la validez de las condiciones de funcionamiento del sistema eléctrico y mecánico. Preferentemente, el sistema de pruebas implementa la gestión del ciclo de vida para pruebas y condiciones de funcionamiento utilizando máquinas de estados finitos (FSM) bien definidas, lo que permite pausar, cancelar, reiniciar y recuperar pruebas y condiciones.

En un primer aspecto, la invención comprende un método para someter a prueba un sistema eléctrico y mecánico según la reivindicación 1.

El método también incluye monitorizar automáticamente los cambios en los estados de los componentes y actualizar al menos una de las restricciones basándose en cualquier cambio.

En una forma de realización, el método también incluye seleccionar un primer conjunto de los componentes para someter a prueba basándose en las cargas en los dispositivos; seleccionar un segundo conjunto de los componentes para someter a prueba solo después de completar las pruebas del primer conjunto de componentes; y seleccionar restricciones para retrasar las pruebas del segundo conjunto de componentes solo después de completar las pruebas del primer conjunto de componentes.

Preferentemente, el método también incluye detectar que uno de los componentes no responde a una prueba de componente correspondiente; colocar el componente que no responde en un estado de recuperación; y actualizar las restricciones para indicar que el componente que no responde se retira de las agrupaciones de modo que ya no se considere cuando se coordinan las pruebas.

En una forma de realización, el sistema eléctrico y mecánico incluye una unidad de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, y los componentes incluyen un enfriador, un ventilador, una válvula, un conducto, un sensor de flujo de aire, un termómetro, un serpentín de calefacción, un respiradero, una bomba, cajas de volumen de aire variable, un radiador, una caldera, un actuador, o cualquier combinación de los mismos.

Preferentemente, el método también incluye asociar una máquina de estados finitos con cada uno de los dispositivos, en el que los estados de una máquina de estados finitos corresponden a una prueba de componente correspondiente, y generar automáticamente las máquinas de estados finitos a partir de las restricciones.

En un segundo aspecto de la invención, se proporciona un sistema de pruebas para someter a prueba un sistema eléctrico y mecánico según la reivindicación 7.

En una forma de realización, el sistema de pruebas también incluye conjuntos de habilitadores de prueba que comprenden restricciones que deben satisfacerse para que se ejecuten una o más de las pruebas de componente, en el que el planificador consulta los conjuntos de habilitadores de prueba antes de iniciar una o más de las pruebas de componente; y conjuntos de seguridad de prueba que incluyen restricciones que deben satisfacerse para que continúen ejecutándose una o más de las pruebas de componente, en el que el planificador consulta los conjuntos de habilitadores de prueba antes de detener la ejecución de una o más de las pruebas de componente.

Preferentemente, el sistema de pruebas también incluye una máquina de estados finitos de condición para monitorizar los resultados de las pruebas de componente y actualizar las restricciones basándose en los resultados, y un archivo de descripción que comprende interconexiones físicas del uno o más componentes y un estado de cada uno del uno o más componentes.

En una forma de realización, las múltiples máquinas de estados finitos y la máquina de estados finitos de condición se comunican utilizando mensajes asíncronos.

En una forma de realización, el sistema eléctrico y mecánico incluye una unidad de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, y los componentes incluyen un enfriador, un ventilador, una válvula, un conducto, un sensor de flujo de aire, un termostato, un serpentín de calefacción, un respiradero, una bomba, cajas de volumen de aire variable, un radiador, una caldera, un actuador, o cualquier combinación de los mismos.

Preferentemente, el sistema de pruebas está acoplado al sistema eléctrico y mecánico a través de una red, tal como una red en la nube. En otra forma de realización, el sistema de pruebas está acoplado al sistema eléctrico y mecánico a través de una red de área local, o incluso está alojado en la misma ubicación que el sistema eléctrico y mecánico.

El sistema de pruebas también incluye un medio legible por ordenador que almacena instrucciones ejecutables por ordenador que ejecutan un algoritmo asociado con el planificador y las múltiples máquinas de estados finitos, y las restricciones.

En una forma de realización, cada uno de los componentes presenta un paquete de lista de pruebas asociado que incluye una o más listas de pruebas, en el que cada lista de pruebas comprende una lista de pruebas de componente para someter a prueba el funcionamiento de un componente.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

Las siguientes figuras se utilizan para ilustrar formas de realización de la invención. En todas las figuras, la misma identificación hace referencia a un elemento idéntico o similar.

La figura 1 es un diagrama de alto nivel de una plataforma de pruebas acoplada a través de una red en la nube a un sistema eléctrico y mecánico según una forma de realización de la invención.

La figura 2 es un diagrama de alto nivel de un sistema HVAC, que se utiliza para explicar los principios de la invención.

La figura 3 es un diagrama de bloques de componentes de una plataforma de pruebas según una forma de realización de la invención.

La figura 4 muestra tablas que describen la planificación de pruebas de componente según una forma de realización de la invención.

La figura 5 muestra los estados de una máquina de estados finitos para ejecutar pruebas de componentes según una forma de realización de la invención.

La figura 6 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de un algoritmo para minimizar el tiempo de pruebas total de un dispositivo mecánico que presenta múltiples componentes según una forma de realización de la invención.

La figura 7 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de un algoritmo para minimizar el tiempo de pruebas total de un dispositivo eléctrico y mecánico que presenta múltiples componentes según otra forma de realización de la invención.

Descripción detallada de la invención

Según los principios de la invención, se somete a prueba un sistema eléctrico y mecánico que presenta uno o más dispositivos, que presentan cada uno, uno o más componentes, realizando pruebas de componente en cada componente. Las pruebas de componente se planifican para minimizar el tiempo de ejecución total de las pruebas de componente, y por tanto el tiempo de pruebas de todo el sistema eléctrico y mecánico. Preferentemente, el tiempo de pruebas total del sistema se minimiza realizando en paralelo aquellas pruebas de componente que puedan realizarse en paralelo, teniendo en cuenta restricciones de prueba tales como requisitos previos (por ejemplo, antes de monitorizar la temperatura del aire de un enfriador, asegurarse de que el enfriador está encendido) y restricciones de seguridad (por ejemplo, mientras circula aire desde un ventilador, asegurarse de que el conducto aguas abajo está abierto) que deben satisfacerse continuamente durante las pruebas del sistema. En una forma de realización, el tiempo de ejecución del sistema se reduce adicionalmente realizando pruebas de componente en componentes de dispositivos que presentan cargas más altas antes de realizar pruebas de componente en componentes de dispositivos que presentan cargas más bajas.

En una forma de realización, un sistema de pruebas según la invención incluye (1) un lenguaje que permite especificar, para cada prueba de componente, listas de requisitos previos, compuestas utilizando requisitos previos elementales, (2) un conjunto de máquinas de estados finitos (FSM) parametrizadas cuya configuración se genera automáticamente a partir de las listas de requisitos previos, asignado cada uno para el dispositivo de prueba, y (3) un planificador de tiempo mínimo y seguro que coordina y ejecuta dinámicamente pruebas en paralelo asignando las FSM a los componentes de HVAC y planificando su tiempo de ejecución.

En funcionamiento, los resultados de las pruebas pueden utilizarse para generar informes, enviar personal de mantenimiento para reparar o reemplazar componentes defectuosos, o intercambiar automáticamente componentes redundantes, por nombrar sólo algunas de estas acciones.

La figura 1 muestra una plataforma de pruebas 101 acoplada a través de una red 105 en la nube a un sistema eléctrico y mecánico 150, con múltiples dispositivos eléctricos y mecánicos 120A-Z, alojados en una estructura 170, según una forma de realización de la invención. En una forma de realización, el sistema eléctrico y mecánico 150 comprende un sistema de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire (HVAC) que da servicio a un edificio 170. Aunque la figura 1 muestra un único sistema eléctrico y mecánico 150, se apreciará que en otras formas de realización, una plataforma de pruebas está configurada para someter a prueba múltiples dispositivos eléctricos y mecánicos dentro de un solo edificio o en múltiples ubicaciones. Tal como se explica en más detalle a continuación, los dispositivos eléctricos y mecánicos 120A-Z incluyen cada uno, uno o más componentes sometidos a prueba utilizando la plataforma de pruebas. Por ejemplo, cuando el sistema eléctrico y mecánico es una unidad de HVAC, los componentes incluyen filtros, bombas, ventiladores de entrada y de extracción, serpentines de calefacción, actuadores, torres de enfriamiento, enfriadores, compuertas, sensores, unidades terminales de volumen de aire variable (VAV) y similares, sometido a prueba cada uno según una “prueba de componentes” correspondiente. Después de leer esta divulgación, los expertos en la materia reconocerán otros componentes que pueden someterse a prueba *in situ* según los principios de la invención.

En una forma de realización, la plataforma de pruebas 101 somete a prueba los componentes de los dispositivos eléctricos y mecánicos 120A-Z utilizando un algoritmo de planificación que planifica y envía de manera eficiente pruebas de componente de manera que minimiza el tiempo de ejecución total de las pruebas de componente, al tiempo que se garantiza la seguridad del sistema eléctrico y mecánico 150. Preferentemente, el sistema de pruebas 101 sólo inicia las pruebas de componente cuando se cumplen determinados requisitos previos o restricciones (“conjuntos de habilitadores de prueba”) y garantiza la seguridad al permitir que las pruebas de componente continúen ejecutándose sólo cuando se cumplen otras restricciones (“conjuntos de seguridad de prueba”). Preferentemente, los estados de los componentes (por ejemplo, encendido, apagado, abierto, cerrado, sin respuesta) se someten a prueba antes de que se ejecuten algunas pruebas de componente y se monitorizan de manera continua mientras están ejecutándose las pruebas de componente.

En algunas formas de realización, pueden establecerse restricciones de modo que las Pruebas de componente se ejecuten sólo en momentos específicos. Por ejemplo, pueden establecerse restricciones de modo que se ejecuten

las pruebas solo entre determinadas horas, cuando un edificio está desocupado, tal como a altas horas de la noche o los fines de semana.

Al implementar la plataforma de pruebas 101 en la nube, los clientes no tienen que instalar hardware adicional para la puesta en marcha automatizada. Pruebas de equipos basadas en la nube adicionales permiten analizar los resultados de prueba desde cualquier lugar, no solo en el sitio. No obstante, en otras formas de realización, la plataforma de pruebas 101 se implementa en el sitio, alojada en la estructura 170 o acoplada al sistema eléctrico y mecánico 150 mediante redes de área local, redes Ethernet u otros sistemas.

La figura 2 es un diagrama de una unidad 200 de HVAC utilizada para ilustrar los principios de la invención. La unidad 200 de HVAC comprende un filtro 205 acoplado en serie con un ventilador de entrada 210, acoplado en serie con un enfriador 220, acoplado en paralelo a diferentes zonas en un edificio a través de compuertas 225 y 230, que están acopladas ambas en serie a un ventilador de extracción 240. El enfriador 220 está acoplado a una torre 225 de agua. Se apreciará que para que los ventiladores 210 y 240 se sometan a prueba de manera segura (por ejemplo, de modo que no se acumule presión dentro de la unidad 200 de HVAC a niveles inaceptables) las compuertas 225 y 230 deben estar ambas abiertas. En este ejemplo, el estado de las compuertas abiertas es un requisito previo (restricción) almacenado, en una forma de realización, en un habilitador de prueba establecido en la plataforma de pruebas. La plataforma de pruebas garantiza que se cumpla este requisito previo antes de ejecutar la prueba de componente para someter a prueba los ventiladores 210 y 240.

También se apreciará que el tiempo de pruebas total de todas las pruebas de componentes en la unidad 200 de HVAC puede reducirse realizando pruebas de componente en las compuertas 225 y 230, en paralelo, en lugar de en serie. Es decir, las pruebas de componentes de las compuertas se superponen durante al menos una parte de sus tiempos de ejecución.

La figura 3 es un diagrama de bloques de una plataforma de pruebas 300 según una forma de realización de la invención. La plataforma de pruebas 300 incluye un procesador 301 y un medio 310 legible por ordenador que contiene tanto instrucciones ejecutables por ordenador como almacenamiento. El medio 310 legible por ordenador almacena un planificador 315, un archivo descriptor de sistema eléctrico y mecánico 320, una biblioteca de pruebas 325, máquinas de estados finitos (FSM) 330A-Z, una FSM de condición 335, conjuntos de habilitadores de prueba 340 y conjuntos de seguridad de prueba 345, descritos todos ellos en más detalle a continuación. Las instrucciones ejecutables por ordenador, cuando se ejecutan por el procesador 301, ejecutan las etapas de los algoritmos de planificación según formas de realización de la invención, así como también ejecutan las FSM.

El archivo descriptor de sistema eléctrico y mecánico 305 contiene una lista de los componentes de un sistema eléctrico y mecánico (por ejemplo, 200), posibles estados de cada componente y las interconexiones entre los componentes (por ejemplo, diseño físico). Como ejemplo, el archivo 320 describe que un enfriador A está conectado en el lado de agua a una torre de enfriamiento CT3 y una bomba P4 y en el lado de aire a un climatizador AH4, que sirve a las cajas de VAV 57 a 78. El archivo 320 indica que AH4 presenta una carga de 22 (por ejemplo, el número de cajas de VAV a las que sirve), que el planificador 301 utiliza preferentemente para planificar las pruebas de componente en AH4. En diferentes formas de realización, el archivo 320 se extrae o se infiere a partir de datos de gestión de servicios empresariales (BSM), lo proporciona un usuario o se proporciona o se determina de otro modo a partir de una combinación de ambos.

La biblioteca de pruebas 310 contiene pruebas de componente. Cada prueba de componente incluye operaciones restringidas en tiempo finito de uno o más componentes del sistema. Se espera que una prueba de componente afecte a una salida, un estado o ambos de un componente en respuesta a cambios en la entrada al componente. Como ejemplo, una prueba de sensor de flujo de aire de VAV (prueba AFS) mide la respuesta del sensor de flujo de aire de una caja de VAV en respuesta al movimiento de la posición de su compuerta a través de un conjunto de secuencias de posiciones. La prueba AFS se produce cuando el flujo de aire aumenta a lo largo de la abertura de la compuerta y no se produce cuando no se mide ningún aumento. Como segundo ejemplo, se somete a prueba un calentador cambiando una configuración de control de temperatura a través de un intervalo de valores y utilizando un termostato para medir la temperatura generada. La prueba de componente del calentador se produce cuando la temperatura medida corresponde a la configuración de control y no se produce en caso contrario.

Cada una de las pruebas presenta cero o más restricciones incluyendo, tal como se describió anteriormente, “conjuntos de habilitadores de prueba”, que deben satisfacerse para que se ejecute una prueba, y “conjuntos de seguridad de prueba”, que deben mantenerse durante las pruebas para garantizar la seguridad de todo el sistema eléctrico y mecánico. Como ilustración de los conjuntos de habilitadores de prueba, debe proporcionarse una temperatura fría para someter a prueba una caja de VAV, por ejemplo, tal como encendiendo un enfriador o una unidad de acondicionamiento de aire empaquetada. En una forma de realización, esto se logra habilitando una señal de anulación de la temperatura del aire de suministro y enviando una señal de anulación del punto de ajuste al enfriador o a la unidad de AC para forzar al enfriador o unidad de AC a reducir su temperatura de lado de suministro. Como ilustración de los conjuntos de seguridad de prueba, cuando se proporciona aire frío desde una unidad de AC empaquetada o una unidad de tratamiento de aire, la presión del conducto debe controlarse a un nivel seguro. La presión en el conducto puede aliviarse bloqueando las compuertas para que se quedan abiertas

de un número específico de cajas de VAV conectadas a la unidad que no están sometiéndose a pruebas automatizadas. Se apreciará que, para una prueba dada, los conjuntos de habilitadores de prueba y los conjuntos de seguridad de prueba pueden presentar restricciones comunes.

Las figuras 4A y 4B muestran, respectivamente, la tabla 1 y la tabla 2, que ilustran las restricciones utilizadas por un planificador para coordinar la ejecución de las pruebas de componente, prueba 1, prueba 2 y prueba 3 en las cajas de VAV VAVC-1, VAVC-2 y VAVC-3 (no mostrado) según una forma de realización de la invención. En este ejemplo, VAVC-1, VAVC-2 y VAVC-3 dependen de un requisito previo de una unidad empaquetada que requiere un conjunto de seguridad de tamaño 1. VAVC-1 se somete a prueba ejecutando una prueba, VAVC-2 se somete a prueba ejecutando dos pruebas y VAVC-3 se somete a prueba ejecutando tres pruebas. Haciendo referencia a la figura 4A, basándose en los criterios de un conjunto de seguridad, en el momento T1, se ejecuta la prueba de componente 1 en VAVC-1 y VAVC-2, mientras que no se ejecuta ninguna prueba en VAVC-3. A continuación, en el momento T2, basándose en los criterios del conjunto de seguridad, no se ejecuta ninguna prueba en VAVC-1, la prueba de componente 2 se ejecuta en VAVC-2 y la prueba de componente 1 se ejecuta en VAVC-3. A continuación, en el momento T3, basándose en los criterios del conjunto de seguridad, no se ejecuta ninguna prueba en VAVC-1, VAVC-2 se coloca en estado inactivo y se ejecuta la prueba de componente 2 en VAVC-3. A continuación, en el momento T4, se cumplieron todos los criterios del conjunto de seguridad. En este momento, se ejecuta la prueba de componentes 3 en VAVC-3.

Haciendo referencia a la figura 4B, basándose en los criterios de un conjunto de seguridad, en el momento T1, no se ejecuta ninguna prueba en VAVC-1 y se ejecuta la prueba de componente 1 en VAVC-2 y VAVC-3. A continuación, en el momento T2, basándose en los criterios del conjunto de seguridad, no se ejecuta ninguna prueba en VAVC-1 y se ejecuta la prueba de componente 2 en VAVC-2 y VAVC-3. A continuación, en el momento T3, basándose en los criterios del conjunto de seguridad, se ejecuta la prueba de componente 3 en VAVC-3.

En formas de realización preferidas, se utilizan máquinas de estados finitos (FSM) para planificar, enviar, coordinar y monitorizar pruebas de componente. Se asigna una FSM a cada dispositivo. Para un dispositivo, la FSM presenta estados correspondientes a una secuencia de acciones que se realizarán en el dispositivo. Por tanto, según las formas de realización, un planificador emite continuamente instrucciones para coordinar las FSM. De esta manera, el sistema permite una mayor resiliencia ante fallos del mundo real que la ejecución de una secuencia de acción planificada previamente para todo el sistema.

La figura 5 ilustra un FSM 500 para someter a prueba un dispositivo (por ejemplo, un ventilador) que presenta 2 componentes (por ejemplo, un actuador y un control de velocidad) según una forma de realización de la invención. Por tanto, el ventilador se somete a prueba ejecutando dos pruebas, la prueba 1 y la prueba 2. En este ejemplo, la FSM 500 comienza en el estado de inicio 501, en el que puede esperar hasta que se cumplan las restricciones establecidas del habilitador de prueba. Si existen requisitos previos y se cumplen, la FSM 500 pasa al estado de prueba 1 505, en el que se ejecuta una prueba de componente 1. Si la prueba de componente 1 se ejecuta satisfactoriamente, la FSM 500 pasa al estado de prueba 2 530, en el cual se ejecuta la prueba de componente 2. Si en el estado de prueba 505, la prueba de componente 1 está en pausa (por ejemplo, por un cambio de restricción, que requiere que el componente espere hasta que se complete un evento), la FSM 500 entra en un estado de pausa 510. La FSM 500 pasará del estado de pausa 510 de vuelta al estado de prueba 1 sólo después de que se hayan actualizado los criterios (por ejemplo, se haya completado el evento que desencadena la pausa). Si en el estado de prueba 505, se reinicia la prueba de componente 1, la FSM 500 entra en un estado de reinicio 520, en el que se restablecen los parámetros para realizar la prueba 1 (por ejemplo, se reinicializan). Por ejemplo, si un conducto debe abrirse secuencialmente desde una posición inicial hasta una posición final, la posición se restablece a la posición inicial. Si en el estado de prueba 505, los eventos determinan que es necesaria una recuperación, la FSM 500 pasa a un estado de recuperación 560, en el que se realizan todas las operaciones de recuperación, desde el cual la FSM 500 pasa al estado de salida 570. De manera similar, la FSM 500 pasa desde el estado de prueba 2 530 a un estado de reinicio 540, un estado de pausa 550, un estado de recuperación 560 y al estado de salida 570.

Se apreciará que la FSM 500 es meramente ilustrativa de un ejemplo. Según los principios de la invención, se generan otras FSM, adaptadas a componentes, requisitos de funcionamiento y especificaciones específicos, por nombrar sólo algunos criterios.

En una forma de realización, la FSM 500 recibe entrada sobre los conjuntos de seguridad de prueba, utilizados para sus transiciones de estado, desde una FSM de "condiciones" (no mostrado), que establece y mantiene cada condición de funcionamiento aguas arriba de modo que puedan establecerse las condiciones de funcionamiento según lo requiera el plan planificador actual. Esto permite ejecutar pruebas cuando pueden cumplirse las condiciones, evitando restricciones de utilización y carga externa. Si las restricciones dejan de ser válidas durante la vida útil de las condiciones de funcionamiento, la FSM de condición deshará las condiciones de funcionamiento solicitadas y las máquinas de estado de prueba dependientes cancelarán sus pruebas.

Aislar la secuencia de acciones de cada dispositivo en una FSM responsable de su ejecución proporciona varias ventajas. En lugar de ejecutar a ciegas en orden las secuencias de eventos planificadas combinadas, las FSM

permiten reaccionar ante un fallo enviando solo las FSM afectadas a un estado de recuperación, lo que permite que otras FSM continúen ejecutándose. Un sistema que utiliza FSM también es fácilmente escalable. Por ejemplo, en una forma de realización, la plataforma de pruebas se programa utilizando un lenguaje de programación orientado a objetos. En estas formas de realización, se crean instancias de FSM a partir de plantillas fácilmente configurables. Preferentemente, las FSM se generan automáticamente a partir de criterios tales como los conjuntos de habilitadores de prueba y los conjuntos de seguridad de prueba.

En una forma de realización, después de generar las FSM, el planificador envía las FSM según un algoritmo de planificación que minimiza el tiempo de ejecución total al tiempo que mantiene la seguridad del sistema. En una forma de realización, el algoritmo agrupa pruebas de componente para componentes que pueden ejecutarse en paralelo basándose en las restricciones del sistema. Por ejemplo, en la figura 2, los conductos 225 y 230 pueden someterse a prueba en paralelo. La figura 6 muestra las etapas 600 de un algoritmo según una forma de realización. Después de la etapa de inicio 601, en la etapa 610 se agrupan las pruebas de componente para cada dispositivo de manera que, basándose en las restricciones actuales, las pruebas de componente en cada grupo puedan ejecutarse en paralelo. Para cada dispositivo, se elimina una prueba de componente de un grupo una vez que se ha completado o se determina que el dispositivo no responde. A continuación, en la etapa 620, se ejecutan las pruebas de componente (por ejemplo, utilizando las FSM) según las agrupaciones. A continuación, en la etapa 630 se monitorizan los resultados de las pruebas de componente, y en la etapa 640, se actualizan las restricciones y el estado actual de las pruebas de componente (por ejemplo, en pausa, completado, etc.). Se apreciará que, en algunas formas de realización, los estados y las situaciones se actualizan de forma asíncrona, tal como utilizando una FSM de "condición" que se describe a continuación. A continuación, en la etapa 650, se determina si van a someterse a prueba más dispositivos. Si van a someterse a prueba más dispositivos, el método regresa a la etapa 610. De lo contrario, el método continúa hasta la etapa 650, en la que se genera un informe de resultados de prueba, desde donde el método continúa hasta la etapa 660, donde finaliza.

Se apreciará que aunque la figura 6 muestra etapas secuenciales, pueden realizarse la monitorización y las actualizaciones (por ejemplo, etapa 630) de forma asincrónica, tal como mediante la utilización de mensajes asíncronos.

También se apreciará que las etapas 600 son meramente ejemplificativas. Como todos los algoritmos descritos en la presente memoria, en diferentes formas de realización pueden eliminarse algunas de las etapas, otras pueden añadirse, algunas pueden combinarse y puede cambiarse el orden.

Se apreciará que pueden utilizarse otros algoritmos de planificación según la presente invención. Por ejemplo, según otra forma de realización, un algoritmo planifica eventos seleccionando iterativamente uno que requiere el recurso más sobrecargado (por ejemplo, dispositivo) para ejecutarse. Por tanto, el algoritmo es fácilmente escalable. El algoritmo utiliza una heurística basada en la suposición de que al planificar antes las pruebas de componente y otros eventos en recursos sobrecargados, esos recursos presentarán una carga relativamente reducida más adelante en la planificación. Por tanto, la planificación no se extenderá innecesariamente por una cadena de eventos que deben producirse en serie (y podrían haberse iniciado antes), al final de la planificación. Adicionalmente, debido a su naturaleza iterativa, la planificación puede realizarse "sobre la marcha" y se ajusta basándose en el estado del sistema a medida que se producen los eventos. Por tanto, esta solución para minimizar el tiempo de pruebas se caracteriza como un problema de satisfacción de restricciones dinámicas (DCSP) en lugar de un CSP.

Cuando determinadas condiciones implican el retraso necesario de otros eventos (por ejemplo, retrasar una prueba en un VAVC porque debe exigir aire frío de su unidad empaquetada de suministro para que pueda ejecutarse otra prueba dependiendo del aire frío), el algoritmo para minimizar el tiempo de pruebas total puede dividirse en dos fases. La primera fase implica seleccionar las condiciones que permitirán que se ejecuten los eventos en los recursos más sobrecargados y luego seleccionar los eventos en los recursos menos sobrecargados para posponerlos con el fin de crear las condiciones necesarias. En la segunda fase, utilizando el conjunto de condiciones que están presentes en el sistema, se seleccionan eventos con la intención de reducir la carga de los recursos más sobrecargados lo más rápido posible, es decir, ejecutando los eventos en los recursos más sobrecargados antes de ejecutar los eventos en los recursos menos sobrecargados. Dependiendo de la fiabilidad y latencia de la creación de una condición dada, estas fases pueden estar acopladas más o menos estrechamente. Si las condiciones pueden crearse instantáneamente, no hay necesidad de desacoplar las dos fases, ya que las condiciones pueden crearse con una prueba específica en mente. Sin embargo, si pueden producirse muchos eventos en el periodo de tiempo que lleva crear una sola condición, o si no se conoce bien el tiempo que lleva crear una condición, las condiciones deben elegirse de tal manera que pueda ejecutarse un conjunto de pruebas que dependan de los recursos sobrecargados.

Es posible que se apliquen condiciones adicionales al planificador si el sistema sometido a prueba está en pleno funcionamiento. Por ejemplo, en un sistema HVAC, el planificador puede añadir restricciones para evitar momentos en que parte o la totalidad del edificio al que se da servicio esté ocupado. El planificador también puede evitar momentos en que las dependencias aguas arriba de los sistemas del sistema estén completamente cargadas y, por tanto, su rendimiento se vea afectado al intentar crear condiciones de prueba.

La figura 7 muestra las etapas 700 de un algoritmo según una forma de realización de la invención. Después de la etapa de inicio 701, en la etapa 710, los dispositivos se clasifican basándose de sus cargas, clasificándose los dispositivos que presentan cargas más altas en un rango superior que los dispositivos que presentan cargas más pequeñas. A continuación, en la etapa 720, se seleccionan las condiciones que permiten que se ejecuten eventos en los recursos más sobrecargados. A continuación, en la etapa 730, se seleccionan las condiciones que permiten posponer eventos en los recursos menos sobrecargados. Juntas, las etapas 720 y 730 crean las condiciones necesarias. A continuación, en la etapa 740, se seleccionan eventos para reducir la carga de los recursos más sobrecargados.

En una forma de realización, las cargas se reducen en los recursos más sobrecargados ejecutando pruebas de componente en los recursos más sobrecargados antes en el ciclo de pruebas que las pruebas en los recursos menos sobrecargados. Tal como se utiliza en la presente memoria, las cargas pueden ser computacionales (por ejemplo, varias etapas computacionales para realizar una acción en un dispositivo), eléctricas (por ejemplo, una corriente consumida o una tensión generada), mecánicas (por ejemplo, un número total de dispositivos acoplados a un componente), o alguna combinación de estas, por nombrar sólo algunos ejemplos.

En una forma de realización, el algoritmo de la figura 7 se almacena en un medio legible por ordenador (por ejemplo, 310, figura 3) como instrucciones legibles por ordenador para realizar la secuencia de etapas 700 ejecutadas por un procesador (por ejemplo, 301, figura 3). Preferentemente, los estados de los recursos durante los eventos (por ejemplo, durante las pruebas de componente) se realizan en FSM, tal como se muestra en la figura 5.

Para un sistema eléctrico y mecánico que presenta múltiples dispositivos, presentando cada uno componentes, un planificador coordina la ejecución de pruebas de componente independientes, garantizando que el tiempo de pruebas total del sistema se reduzca al tiempo que se mantiene la seguridad durante las pruebas. Se analiza un archivo descriptor para determinar los componentes y sus interconexiones físicas. Se determinan las pruebas de componente para cada componente y se determinan las restricciones para, entre otras cosas, garantizar la seguridad del sistema durante las pruebas. Las restricciones se utilizan para generar máquinas de estados finitos, correspondiendo cada una a las pruebas de un dispositivo y, por tanto, a los componentes independientes del dispositivo. El planificador ejecuta las FSM según un algoritmo, que monitoriza y actualiza de manera constante las restricciones para garantizar las pruebas adecuadas. Finalmente, se analizan los resultados de las pruebas de los componentes para generar informes, enviar personal de servicio para reparar o reemplazar el equipo que funciona mal, o tomar otras medidas apropiadas.

Los sistemas según la invención son adaptables, y se basan en una heurística de planificación que es computacionalmente económica, pudiendo emplearse sobre la marcha para calcular el siguiente movimiento del conjunto de prueba en cada etapa, en lugar de calcular previamente toda la secuencia de acciones una vez al principio. Al utilizar elementos tales como máquinas de estados finitos, los sistemas también son robustos, lo que permite una recuperación eficiente. Por ejemplo, si una FSM responsable de mantener una caja de VAV como elemento de un conjunto de seguridad para la restricción de requisitos previos del equipo aguas arriba entra en un estado de error porque el controlador de la caja no responde, el planificador lo reconoce y creará una instancia para que se utilice en su lugar otra FSM en otra caja, y planificar sus pruebas en torno a este cambio en consecuencia. Además, debido a que los sistemas utilizan planificadores que se actualizan continuamente, los sistemas son resistentes a fallos de equipos individuales que se producen una vez completada la planificación.

Las formas de realización facilitadas anteriormente se muestran meramente a modo de ilustración y no pretenden limitar el alcance de la invención. Resultará fácilmente evidente para un experto en la materia que pueden realizarse otras modificaciones a las formas de realización sin apartarse del alcance de protección tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método para someter a prueba un sistema eléctrico y mecánico (150) que comprende unos dispositivos interconectados (120A-120Z), comprendiendo cada dispositivo (120A-120Z) uno o más componentes, sometiéndose cada componente a prueba utilizando una prueba de componente correspondiente, comprendiendo el método:

agrupar los componentes en grupos de manera que todos los componentes en cada uno de los grupos puedan someterse a prueba en paralelo;

planificar dinámicamente la ejecución de las pruebas de componente basándose en criterios que comprenden las agrupaciones y restricciones para iniciar y mantener la ejecución de las pruebas de componente para minimizar un tiempo de ejecución total de las pruebas de componente; y

ejecutar las pruebas de componente basándose en la planificación,

en el que los criterios comprenden asimismo estados de por lo menos uno de entre dicho uno o más componentes y las pruebas de componente se planifican en un orden de cargas decrecientes en los dispositivos.

2. Método según la reivindicación 1, que comprende asimismo:

monitorizar automáticamente cambios en los estados de los componentes y actualizar por lo menos una de las restricciones basándose en cualquier cambio,

en el que preferentemente las restricciones se actualizan de manera asíncrona.

3. Método según la reivindicación 1 o 2, que comprende asimismo:

seleccionar un primer conjunto de los componentes para someter a prueba basándose en las cargas en los dispositivos (120A-120Z):

seleccionar un segundo conjunto de los componentes para someter a prueba solo después de completar las pruebas del primer conjunto de componentes; y

seleccionar restricciones para retrasar las pruebas del segundo conjunto de componentes solo después de completar las pruebas del primer conjunto de componentes.

4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende asimismo:

detectar que uno de los componentes no responde a una prueba de componente correspondiente;

colocar el componente que no responde en un estado de recuperación; y

actualizar las restricciones para indicar que el componente que no responde se retira de las agrupaciones.

5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema eléctrico y mecánico (150) comprende una unidad (200) de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire y/o en el que los componentes comprenden un enfriador (220), un ventilador (210, 240), una válvula, un conducto (225, 230), un sensor de flujo de aire, un termómetro, un serpentín de calefacción, un respiradero, una bomba, unas cajas de volumen de aire variable, un radiador, una caldera, un actuador, o cualquier combinación de los mismos.

6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende asimismo asociar una máquina de estados finitos (330A-330Z) con cada uno de los dispositivos (120A-120Z), en el que los estados de una máquina de estados finitos (330A-330Z) corresponden a una prueba de componente correspondiente y preferentemente generar de manera automática las múltiples máquinas de estados finitos (330A-330Z) a partir de las restricciones.

7. Sistema de pruebas (300) para someter a prueba un sistema eléctrico y mecánico (150) que presenta múltiples dispositivos interconectados (120A-120Z) presentando cada uno, uno o más componentes, que comprende:

múltiples máquinas de estados finitos (330A-330Z) correspondiendo cada una a uno de los múltiples dispositivos interconectados (120A-120Z), en el que los estados de las múltiples máquinas de estados finitos (330A-330Z) corresponden a pruebas de componente para someter a prueba componentes de los múltiples dispositivos (120A-120Z); y

un planificador (315) para controlar dinámicamente las múltiples máquinas de estados finitos (330A-330Z) para ejecutar las pruebas de componente de manera que se minimice el tiempo de ejecución total de las múltiples pruebas de componente,

en el que el planificador (315) está configurado para planificar las pruebas de componente de manera que

a) aquellas pruebas de componente que puedan realizarse en paralelo se realicen en paralelo para minimizar el tiempo de ejecución total, teniendo en cuenta restricciones de prueba, tales como, requisitos previos y restricciones de seguridad que deben satisfacerse continuamente durante las pruebas del sistema, y

b) las pruebas de componente se realizan en los componentes de dispositivos que presentan cargas más altas antes de realizar pruebas de componente en componentes de dispositivos que presentan cargas más bajas para reducir adicionalmente el tiempo de ejecución total.

8. Sistema de pruebas (300) según la reivindicación 7, que comprende asimismo:

unos conjuntos de habilitadores de prueba (340) que comprenden restricciones que deben satisfacerse para que se ejecuten una o más de las pruebas de componente, en el que el planificador (315) consulta los conjuntos de habilitadores de prueba (340) antes de iniciar una o más de las pruebas de componente; y

conjuntos de seguridad de prueba (345) que comprenden restricciones que deben satisfacerse para que continúen ejecutándose una o más de las pruebas de componente, en el que el planificador (315) consulta los conjuntos de habilitadores de prueba antes de detener la ejecución de una o más de las pruebas de componente; y

una máquina de estados finitos de condición (335) para monitorizar los resultados de las pruebas de componente y actualizar las restricciones basándose en los resultados.

9. Sistema de pruebas (300) según las reivindicaciones 7 u 8, en el que el sistema de pruebas (300) comprende asimismo un archivo de descripción (320) que almacena:

una descripción de interconexiones físicas de dicho uno o más componentes; y un estado de cada uno de entre dicho uno o más componentes; y/o

en el que el sistema eléctrico y mecánico (150) comprende una unidad (200) de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire; y

en el que los componentes comprenden un enfriador (220), un ventilador (210, 240), una válvula, un conducto (225, 230), un sensor de flujo de aire, un termómetro, un serpentín de calefacción, un respiradero, una bomba, unas cajas de volumen de aire variable, un radiador, una caldera, un actuador, o cualquier combinación de los mismos.

10. Sistema de pruebas (300) según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que el sistema de pruebas (300) está acoplado al sistema eléctrico y mecánico (150) a través de una red; y

en el que la red comprende una red (105) en la nube.

11. Sistema de pruebas (300) según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, que comprende asimismo un medio (310) legible por ordenador que almacena:

instrucciones ejecutables por ordenador que ejecutan un algoritmo asociado con el planificador (315) y las múltiples máquinas de estados finitos (330A-330Z); y

las restricciones; y/o

en el que cada uno de los componentes presenta un paquete de lista de pruebas asociado que comprende una o más listas de pruebas, en el que cada lista de pruebas comprende una lista de pruebas de componente para someter a prueba el funcionamiento de un componente.

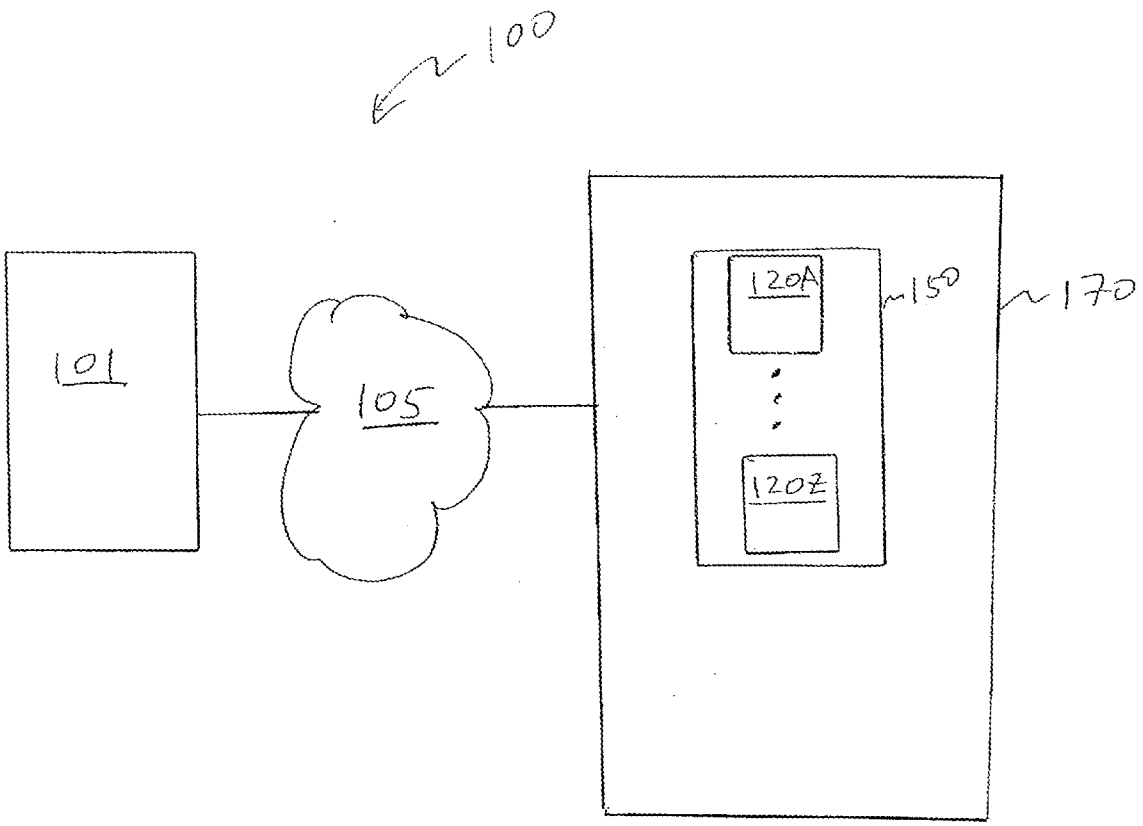

Figura 1

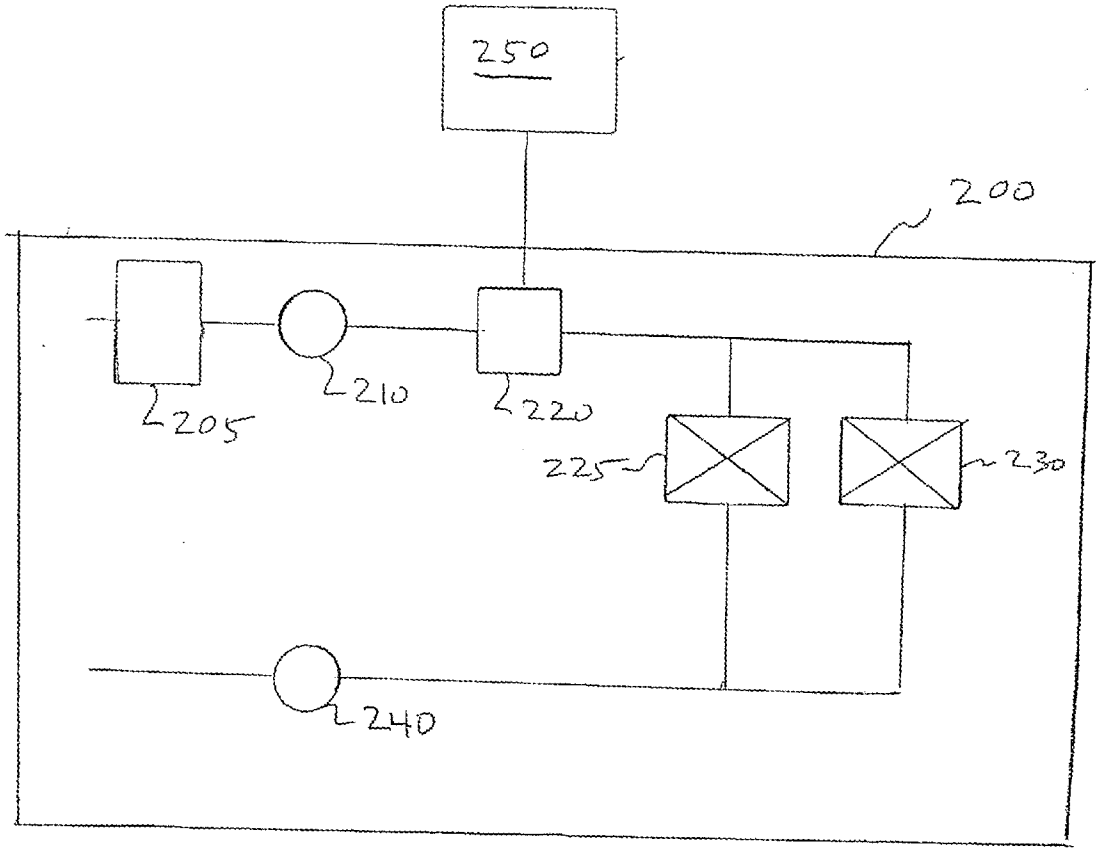

Figura 2

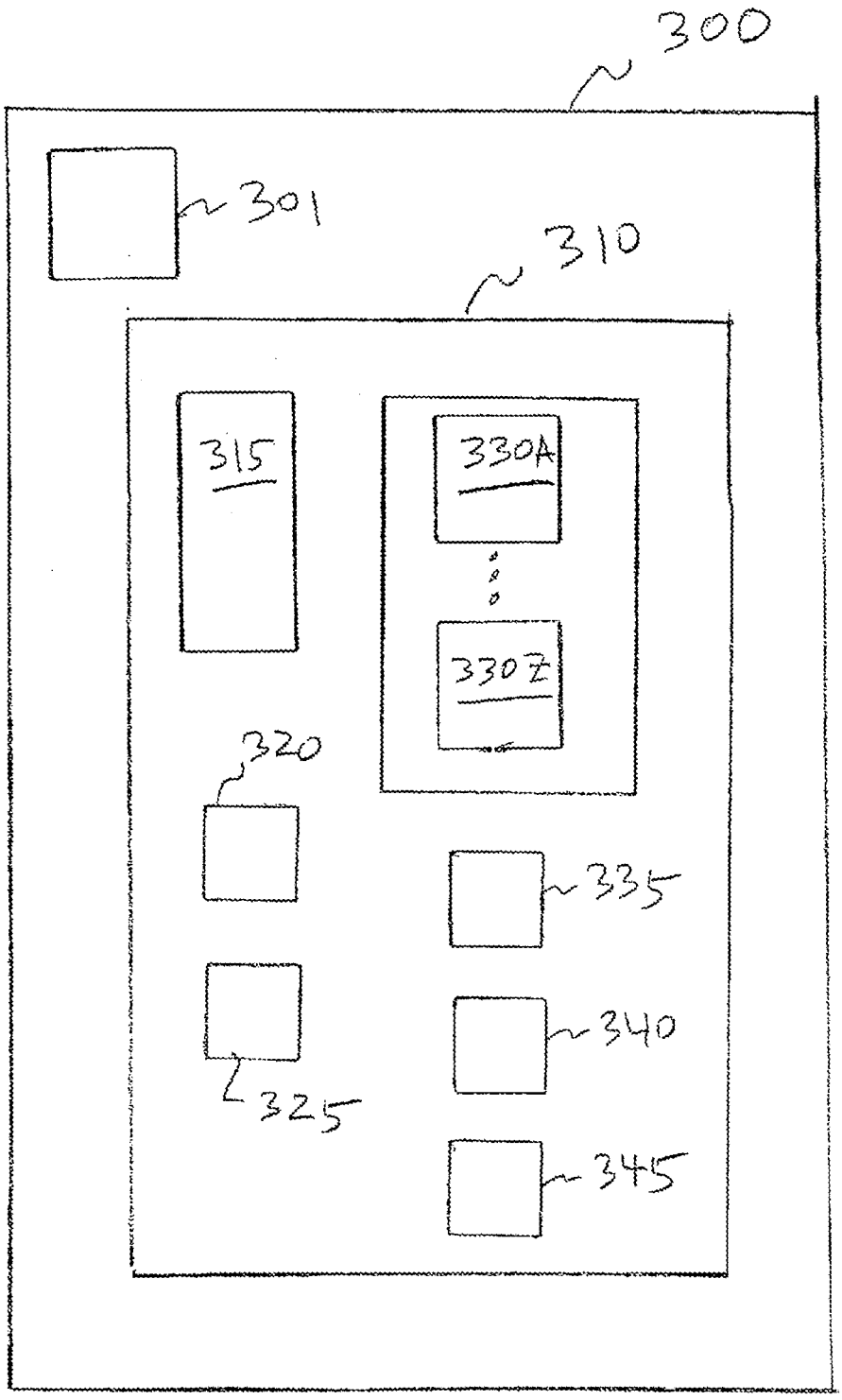

Figura 3

Tabla 1

Tiempo / Equipos	T1	T2	T3	T4	T5
VAVC-1	Prueba 1	Conjunto de seguridad	Conjunto de seguridad		
VAVC-2	Prueba 1	Prueba 2	Inactivo		
VAVC-3	Conjunto de seguridad	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	

Figura 4A

Tabla 2

Tiempo / Equipos	T1	T2	T3	T4	T5
VAVC-1	Conjunto de seguridad	Conjunto de seguridad	Prueba 1		
VAVC-2	Prueba 1	Prueba 2	Conjunto de seguridad		
VAVC-3	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3		

Figura 4B

Figura 4

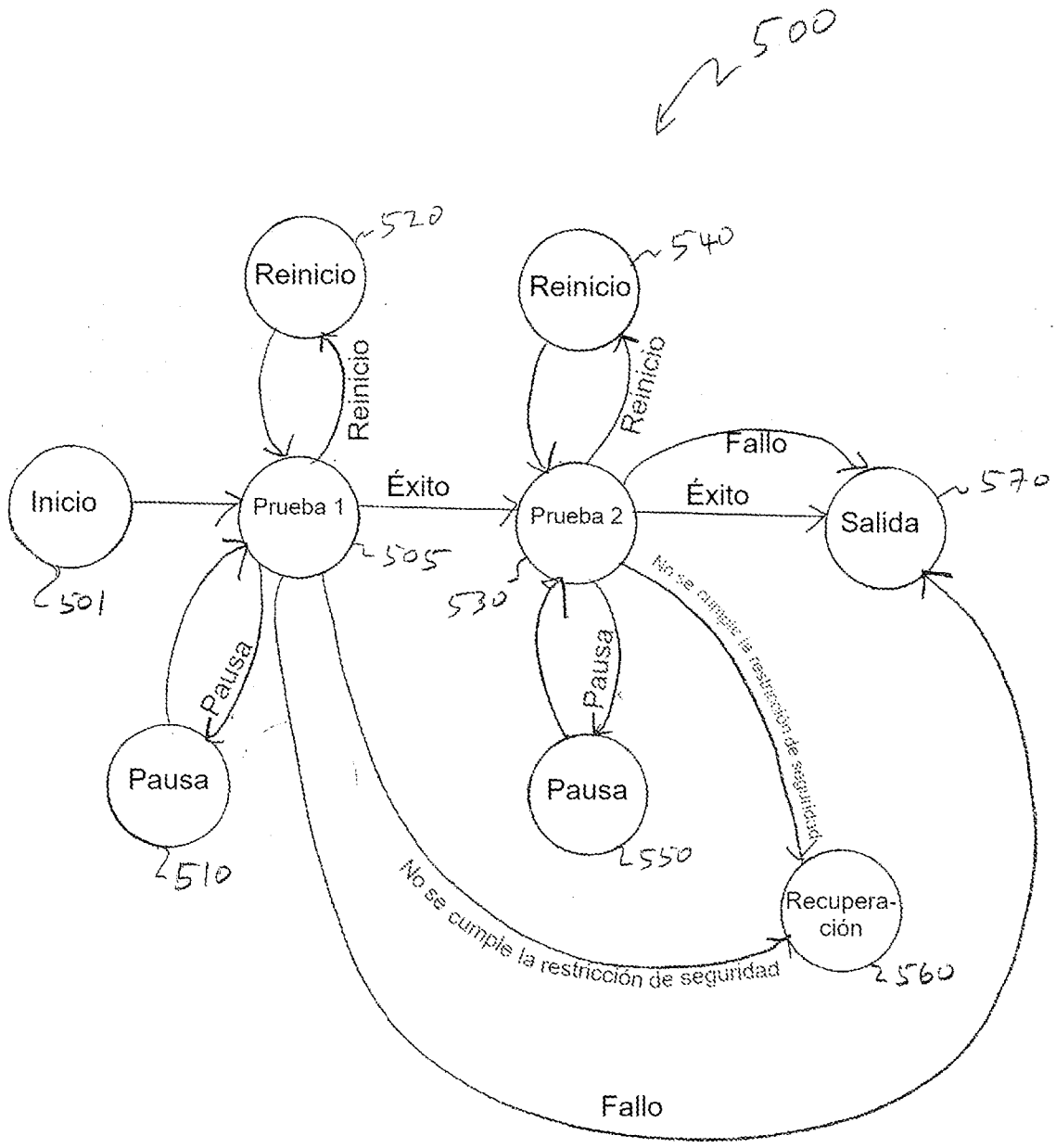
500
Reinicio
520
Reinicio
540
Reinicio
Reinicio
Fallo
Inicio
Prueba 1
Éxito
Prueba 2
Éxito
Salida
570
501
505
530
Pausa
Pausa
Pausa
Pausa
510
550
No se cumple la restricción de seguridad
Recupera-
ción
560
No se cumple la restricción de seguridad
Fallo

Figura 5

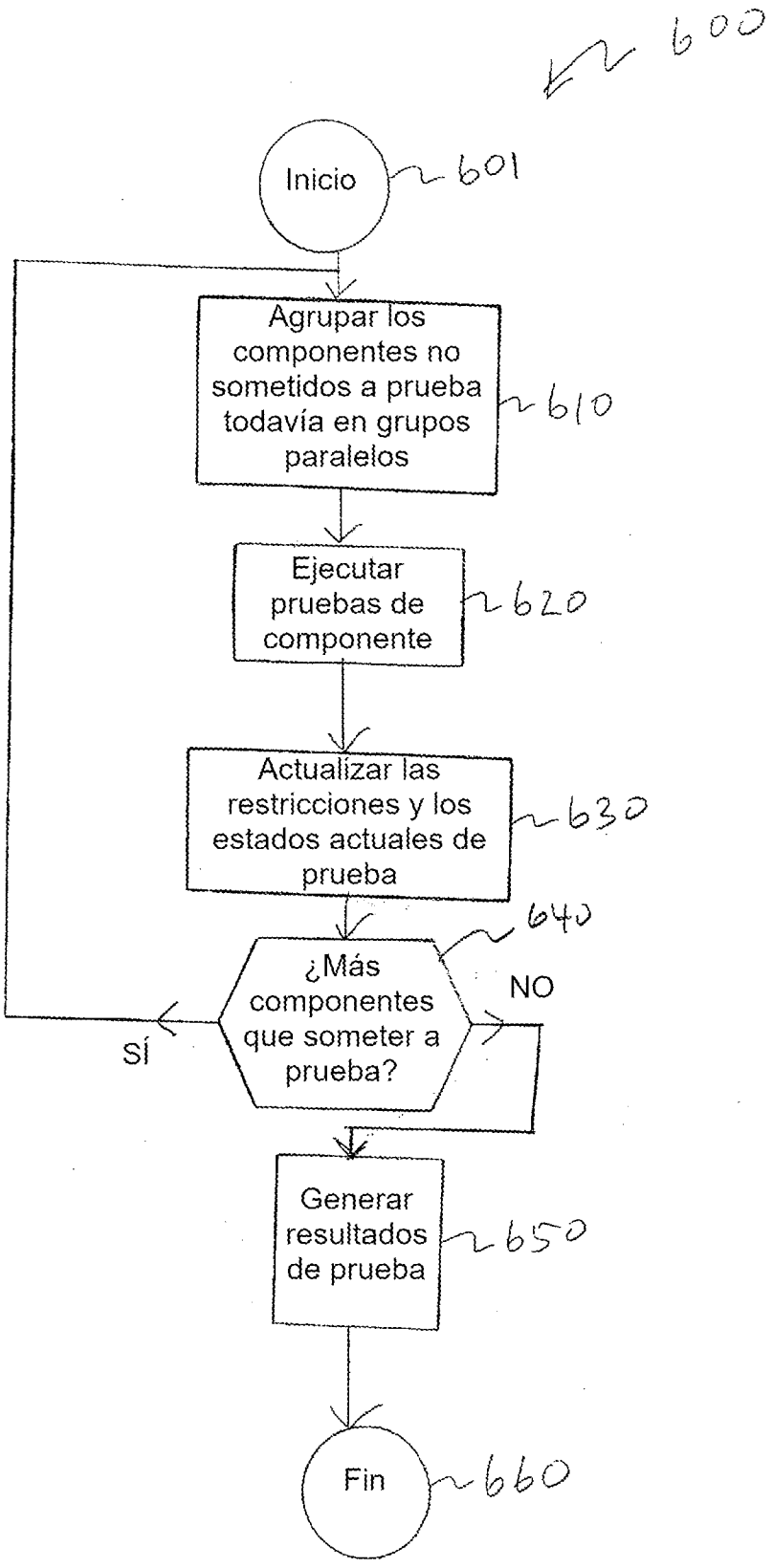
600
Inicio
601
Agrupar los componentes no sometidos a prueba todavía en grupos paralelos
610
Ejecutar pruebas de componente
620
Actualizar las restricciones y los estados actuales de prueba
630
640
¿Más componentes que someter a prueba?
NO
SÍ
Generar resultados de prueba
650
Fin
660

Figura 6

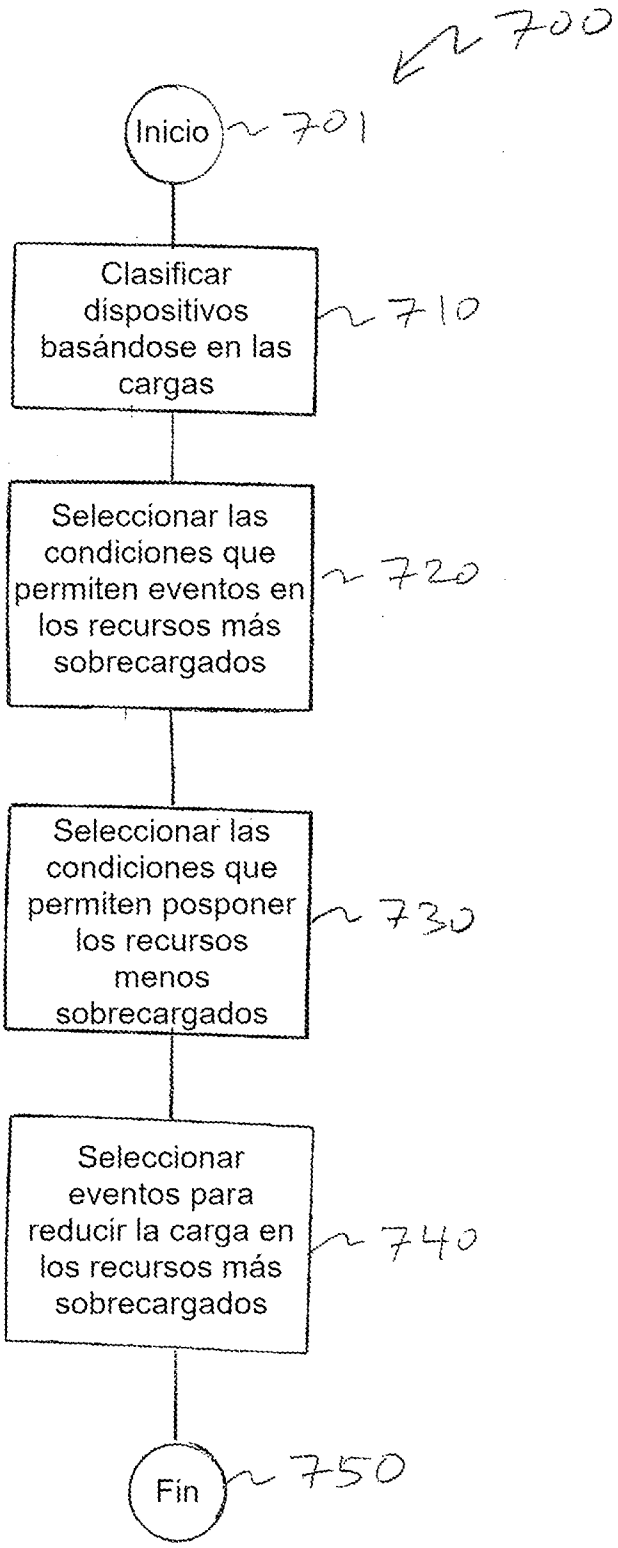
700
Inicio
701
Clasificar dispositivos basándose en las cargas
710
Seleccionar las condiciones que permiten eventos en los recursos más sobrecargados
720
Seleccionar las condiciones que permiten posponer los recursos menos sobrecargados
730
Seleccionar eventos para reducir la carga en los recursos más sobrecargados
740
Fin
750

Figura 7