

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 766 526**

51 Int. Cl.:

**H05K 7/20**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.09.2011 PCT/US2011/051866**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.03.2012 WO12037427**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2011 E 11770217 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 2617276**

54 Título: **Sistema y método para predecir un flujo de aire de baldosas perforadas en un centro de datos**

30 Prioridad:

**17.09.2010 US 884832**

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

**12.06.2020**

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC IT CORPORATION  
(100.0%)**

**132 Fairgrounds Road  
West Kingston, RI 02892, US**

72 Inventor/es:

**VANGILDER, JAMES, W.;**  
**SHEFFER, ZACHARY y**  
**ZHANG, XUANHANG**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 766 526 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Sistema y método para predecir un flujo de aire de baldosas perforadas en un centro de datos

**Antecedentes de la invención**

Sector técnico de la invención

- 5 Por lo menos una realización según la presente invención se refiere, en general, a sistemas y métodos para gestión y diseño de centros de datos, y más específicamente, a sistemas y métodos para predecir un flujo de aire de baldosas perforadas en un centro de datos.

Discusión de la técnica relacionada

- 10 En respuesta a las demandas crecientes de economías basadas en la información, las redes de tecnologías de la información siguen proliferando por todo el mundo. Una manifestación de este crecimiento es el centro de datos de red centralizado. Un centro de datos de red centralizado consiste habitualmente en diverso equipo de tecnologías de la información, colocado en una estructura que proporciona conectividad de red, alimentación eléctrica y capacidad de refrigeración. A menudo el equipo es alojado en recintos especializados denominados "bastidores", que integran estos elementos de conectividad, alimentación y refrigeración. En algunas configuraciones de centros de datos,
  - 15 estas filas están organizadas en pasillos calientes y fríos para reducir el coste asociado con la refrigeración del equipo de tecnologías de la información. Para proporcionar aire de refrigeración a los bastidores, habitualmente se utiliza un suelo elevado que tiene una cámara presurizada de aire bajo el suelo. El aire de refrigeración se distribuye de la cámara presurizada de aire a los bastidores a través de baldosas perforadas que tienen áreas abiertas.

- 20 Se han desarrollado diversos procesos y aplicaciones de software, tales como los productos InfrastruXure® Central y Operations Manager, disponibles en la firma Power Conversion Corporation (APC) de West Kingston, RI, para ayudar al personal de los centros de datos a diseñar y mantener configuraciones eficientes y eficaces de los centros de datos. Estas herramientas guían a menudo al personal del centro de datos a través de actividades tales como diseñar la estructura del centro de datos, posicionar los equipos dentro del centro de datos antes de la instalación y volver a posicionar los equipos después de que se ha completado la construcción y la instalación. Por lo tanto, estos
  - 25 conjuntos de herramientas convencionales proporcionan al personal del centro de datos una metodología de diseño estandarizada y predecible. Los documentos de patente US2007/038414 y US2008/174954 muestran ejemplos de métodos y sistemas para gestionar rendimientos de refrigeración de bastidores de equipos, según la técnica anterior disponible.

**Compendio de la invención**

- 30 Un primer aspecto de la invención está dirigido a un método implementado por ordenador para predecir un flujo de aire a partir de una serie de aberturas en una cámara presurizada. El método incluye (A) recibir datos de entrada desde un dispositivo de almacenamiento, incluyendo los datos de entrada datos relacionados con la cámara presurizada, (B) determinar una presión promedio del aire en la cámara presurizada, (C) determinar un valor del flujo de aire para cada una de las aberturas en base a la presión promedio del aire, (D) dividir la cámara presurizada en
  - 35 una serie de celdas de cuadrícula, (E) utilizando un primer método iterativo, determinar un valor para la velocidad del flujo de aire para cada una de las celdas de cuadrícula, (F) determinar un valor de la presión del aire en cada una de las aberturas en base a la velocidad del flujo de aire, (G) utilizando un segundo método iterativo, determinar un nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas en base al valor de la presión del aire en dicha una de las aberturas, (H) determinar si la diferencia entre los nuevos valores del flujo de aire y los valores del flujo de
    - 40 aire anteriores es mayor que un umbral, (I) repetir las acciones (E) a (H) hasta que la diferencia no sea mayor que el umbral, y almacenar a continuación el nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas como un valor final del flujo de aire, y (J) controlar por lo menos uno de un dispositivo de refrigeración y un bastidor de equipos en un centro de datos basándose, por lo menos, en un valor final del flujo de aire.

- 45 El método puede incluir además presentar el valor final del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas. En otra versión, el método puede incluir controlar por lo menos uno de un dispositivo de refrigeración y un bastidor de equipos en un centro de datos en base, por lo menos, a un valor final del flujo de aire. La acción (D) del método puede incluir ajustar automáticamente el tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula de tal modo que por lo menos una celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula tenga un tamaño diferente del tamaño de otra celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula. El método puede incluir asimismo que ajustar automáticamente un tamaño incluye determinar un tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula en base a características de la cámara presurizada. La acción (E) del método puede incluir ajustar un factor de relajación para el primer método iterativo, y utilizar el factor de relajación en el primer método iterativo. El método puede incluir además ajustar un límite para el número de iteraciones del primer método iterativo en base al número completado de iteraciones del segundo método iterativo, y aumentar el límite en base a un aumento en el número completado de
  - 50 iteraciones del segundo método iterativo. En el método, la acción (D) puede incluir crear un modelo bidimensional de una obstrucción en la cámara presurizada, y la acción (G) puede incluir determinar si los flujos de aire en la cámara presurizada cumplen una ecuación de balance de masa. El método puede incluir además corregir un valor de presión o flujos de aire de baldosas directamente en cada una de las aberturas si no se cumple la ecuación de
    - 55

balance de masa.

Un segundo aspecto de la invención está dirigido a un sistema para evaluar un flujo de aire en una cámara presurizada de un centro de datos. El sistema incluye un dispositivo de almacenamiento, un visualizador y un controlador acoplado al dispositivo de almacenamiento y al visualizador, y configurado para: recibir datos de entrada desde el dispositivo de almacenamiento, incluyendo los datos de entrada datos relacionados con la cámara presurizada, determinar una presión promedio del aire en la cámara presurizada, determinar un valor del flujo de aire para cada una de las aberturas en base a la presión promedio del aire, dividir la cámara presurizada en una serie de celdas de cuadrícula, utilizar un primer método iterativo para determinar un valor para la velocidad del flujo de aire para cada una de las celdas de cuadrícula, y un valor de la presión del aire en cada una de las aberturas en base a la velocidad del flujo de aire, utilizar un segundo método iterativo para determinar un nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas en base al valor de la presión del aire en dicha una de las aberturas, determinar si la diferencia entre los nuevos valores del flujo de aire y valores del flujo de aire anteriores es mayor que un umbral, utilizar repetidamente el primer método iterativo y el segundo método iterativo hasta que la diferencia no sea mayor que el umbral, y almacenar a continuación en el dispositivo de almacenamiento el nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas como un valor final del flujo de aire; y controlar por lo menos uno de un dispositivo de refrigeración y un bastidor de equipos en el centro de datos en base a, por lo menos, un valor final del flujo de aire.

En el sistema, el controlador puede estar configurado además para controlar el visualizador para visualizar el valor final del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas, y para controlar por lo menos un dispositivo en base a, por lo menos, un valor final del flujo de aire. El controlador puede estar configurado asimismo para ajustar un tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula, de tal modo que por lo menos una celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula tenga un tamaño diferente del tamaño de otra celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula, donde el tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula se basa en características de la cámara presurizada. El controlador puede estar configurado asimismo para ajustar un factor de relajación para el primer método iterativo, y utilizar el factor de relajación en el primer método iterativo. El controlador puede estar configurado para ajustar un límite para el número de iteraciones del primer método iterativo en base al número completado de iteraciones del segundo método iterativo, y el controlador está configurado además para aumentar el límite en base a un aumento en el número completado de iteraciones del segundo método iterativo. El controlador puede estar configurado asimismo para crear un modelo bidimensional de una obstrucción en la cámara presurizada.

Otro aspecto más de la invención está dirigido a un medio legible por ordenador que tiene almacenadas en el mismo secuencias de instrucción que incluyen instrucciones que harán que un procesador: reciba datos de entrada, procediendo los datos de entrada de un dispositivo de almacenamiento, que incluyen datos relacionados con la cámara presurizada, determine una presión promedio del aire en la cámara presurizada, determine un valor del flujo de aire para cada una de las aberturas en base a la presión promedio del aire, divida la cámara presurizada en una serie de celdas de cuadrícula, utilice un primer método iterativo para determinar un valor para la velocidad del flujo de aire para cada una de las celdas de cuadrícula, y un valor de la presión del aire en cada una de las aberturas en base a la velocidad del flujo de aire, utilice un segundo método iterativo para determinar un nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas en base al valor de la presión del aire en dicha una de las aberturas, determine si la diferencia entre los nuevos valores del flujo de aire y valores del flujo de aire anteriores es mayor que un umbral, y utilice repetidamente el primer método iterativo y el segundo método iterativo hasta que la diferencia no sea mayor que el umbral, y almacene en el dispositivo de almacenamiento el nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas como un valor final del flujo de aire, y controle por lo menos uno de un dispositivo de refrigeración y un bastidor de equipos en base, por lo menos, a un valor final del flujo de aire.

Las secuencias de instrucción pueden incluir instrucciones que harán que un procesador ajuste el tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula de tal modo que, por lo menos, una celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula tenga un tamaño diferente del tamaño de otra celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula, donde el tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula se basa en características de la cámara presurizada.

#### **Breve descripción de los dibujos**

Los dibujos adjuntos no pretenden estar dibujados a escala. En los dibujos, cada componente idéntico o casi idéntico que se muestra en las diversas figuras se representa por un numeral similar. Para mayor claridad, pueden no estar identificados todos los componentes en cada dibujo. En los dibujos:

la figura 1 muestra un sistema informático de ejemplo con el que se pueden implementar varios aspectos de acuerdo con la presente invención;

la figura 2 muestra un sistema distribuido de ejemplo, que incluye una realización.

la figura 3 muestra una analogía de circuito eléctrico de flujo de aire en un centro de datos de suelo elevado;

la figura 4 muestra un proceso para determinar flujos de aire en una cámara presurizada de acuerdo con una

realización;

la figura 5 muestra representaciones de flujo de aire desde un CRAC;

la figura 6 muestra la utilización de simetría, de acuerdo con una realización;

la figura 7 muestra una analogía de circuito eléctrico de flujo de aire en un centro de datos de suelo elevado;

5 la figura 8 muestra un proceso para determinar flujos de aire en una cámara presurizada, de acuerdo con una realización;

la figura 9 muestra la utilización de celdas de cuadrícula, de acuerdo con una realización;

la figura 10 muestra un proceso para determinar flujos de aire en una cámara presurizada, de acuerdo con una realización;

10 la figura 11 muestra la utilización de celdas de cuadrícula de tamaño variable, de acuerdo con una realización;

la figura 12 es una ilustración que muestra un ejemplo de un proceso utilizado para reducir el tiempo de computación, de acuerdo con una realización;

las figuras 13A, 13B y 13C muestran representaciones de una obstrucción en una cámara presurizada de aire;

15 la figura 14 muestra un proceso para determinar flujos de aire en una cámara presurizada, de acuerdo con una realización;

la figura 15 muestra un proceso para determinar flujos de aire en una cámara presurizada, de acuerdo con una realización.

#### Descripción detallada

20 Por lo menos algunas realizaciones según la presente invención se refieren a sistemas y procesos a través de los cuales un usuario puede diseñar nuevas configuraciones de centros de datos y analizar, modificar, gestionar y controlar configuraciones existentes. Estos sistemas pueden facilitar esta actividad permitiendo al usuario crear modelos de configuraciones de centros de datos, a partir de los cuales se pueden determinar métricas de rendimiento. Tanto los sistemas como el usuario pueden utilizar estas métricas de rendimiento para determinar configuraciones alternativas de centros de datos que cumplan diversos objetivos de diseño. Además, en por lo  
25 menos una realización, un sistema proporciona predicción de flujo de aire de baldosas perforadas para una distribución propuesta de un equipo de centro de datos, y proporciona asimismo predicción de flujo de aire de baldosas perforadas para un centro de datos instalado.

30 Tal como se describe en la solicitud de patente de EE.UU. número 12/019109, titulada "System and Method for Evaluating Equipment Rack Cooling", presentada el 24 de enero de 2008 (mencionada en el presente documento como "la 'solicitud '109"), y la solicitud de patente de EE.UU. número 11/342,300, titulada "Methods and Systems for Managing Facility Power and Cooling", presentada el 27 de enero de 2006 (mencionada en el presente documento como "la 'solicitud '300"), que están ambas asignadas al cesionario de la presente solicitud, los típicos bastidores de equipos en los centros de datos modernos extraen aire de refrigeración en la parte frontal del bastidor y expulsan  
35 aire a la parte posterior del bastidor. Los bastidores de equipos y los refrigeradores en hileras están dispuestos habitualmente en filas en una disposición frontal/posterior alterna que crea pasillos calientes y fríos alternos en un centro de datos, estando la parte frontal de cada fila de bastidores enfrentada al pasillo frío y la parte posterior de cada fila de bastidores enfrentada al pasillo caliente. Las filas adyacentes de bastidores de equipos separados por un pasillo frío se pueden denominar una agrupación de pasillo frío, y las filas adyacentes de bastidores de equipos separadas por un pasillo caliente se pueden denominar una agrupación de pasillo caliente. Tal como es evidente para un experto en la materia, una fila de bastidores de equipos puede ser parte de una agrupación de pasillo  
40 caliente y de una agrupación de pasillo frío. En las descripciones y las reivindicaciones de la presente memoria, los equipos en bastidores, o los propios bastidores, se pueden denominar consumidores de refrigeración, y las unidades de refrigeración en hileras y/o los acondicionadores de aire de salas informáticas (CRAC, computer room air conditioners) se pueden denominar proveedores de refrigeración. En las solicitudes mencionadas, se dan a conocer  
45 herramientas para analizar el rendimiento de refrigeración de una agrupación de bastidores en un centro de datos. En estas herramientas, se pueden llevar a cabo múltiples análisis sobre diferentes distribuciones para intentar optimizar el rendimiento de refrigeración del centro de datos.

50 En un típico centro de datos que utiliza CRAC para proporcionar refrigeración, la salida de flujo de aire desde los CRAC es distribuida habitualmente a bastidores de equipos que utilizan una cámara presurizada bajo el suelo. Los CRAC bombean aire frío a la cámara presurizada, y el aire sale de la cámara presurizada a través de baldosas del suelo perforadas, que están situadas habitualmente en la parte frontal de los bastidores de equipos. Para instalaciones que utilizan un diseño de pasillos calientes/pasillos fríos, las baldosas perforadas están habitualmente contenidas en los pasillos fríos. En las herramientas existentes de diseño y gestión de centros de datos, habitualmente no se lleva a cabo un análisis detallado de los flujos de aire a través de las baldosas perforadas,

utilizándose en su lugar alguna regla general o estimación aproximada para determinar el flujo de aire que es suministrado a través de baldosas perforadas y, a menudo, se supone un flujo de aire uniforme a través de cada baldosa perforada en base al flujo de aire total proporcionado por los CRAC y al flujo de aire de fugas. A continuación se utilizan datos de flujo de aire en cálculos de refrigeración, para diseñar y evaluar soluciones de refrigeración para el centro de datos. El análisis de estimación aproximada no tiene en cuenta obstrucciones tales como bandejas de cables y tuberías de agua, la profundidad de la cámara presurizada, el tipo de baldosa perforada, las vías de fuga y las localizaciones del CRAC y de las baldosas.

Es conocido el utilizar comercialmente programas de software disponibles basados en dinámica de fluidos computacional (CFD, Computational Fluid Dynamics), tales como "TileFlow" disponible en la firma Innovative Research, Inc., para realizar análisis de los flujos de aire en una cámara presurizada bajo el suelo. Sin embargo, estos programas son habitualmente extremadamente costosos, de ejecución lenta, y su manejo requiere un conocimiento especial.

Por lo menos algunas realizaciones descritas en la presente memoria están dirigidas a herramientas y métodos mediante los que el rendimiento del flujo de aire de baldosas perforadas puede ser estimado en tiempo real o en tiempo casi real utilizando ordenadores comunes. Las herramientas y métodos se pueden utilizar junto con herramientas de diseño de centros de datos y herramientas de gestión de centros de datos, y no requieren operadores de alto nivel.

Los aspectos dados a conocer en la presente memoria según la presente invención no se limitan en su aplicación a los detalles de construcción y la disposición de componentes explicados en la siguiente descripción o mostrados en los dibujos. Estos aspectos pueden asumir otras realizaciones, y practicarse o llevarse a cabo de varias maneras. En la presente memoria se dan a conocer ejemplos de implementaciones específicas solamente con fines ilustrativos, y no pretenden ser limitativos. En particular, no se pretende que las acciones, elementos y características explicadas en relación con cualesquiera una o varias realizaciones sean excluidas de una función similar en cualesquiera otras realizaciones.

Por ejemplo, de acuerdo con una realización de la presente invención, un sistema informático está configurado para llevar a cabo cualquiera de las funciones descritas en la presente memoria, incluyendo de forma no limitativa configurar, modelar y presentar información relativa a configuraciones específicas de centros de datos. Además, los sistemas informáticos en realizaciones del centro de datos pueden ser utilizados para medir automáticamente parámetros ambientales en un centro de datos, y en equipos de control, tales como enfriadores o refrigeradores, para optimizar el rendimiento. Además, los sistemas descritos en la presente memoria pueden estar configurados para incluir o excluir cualquiera de las funciones explicadas en la presente memoria. Por lo tanto, la invención no se limita a una función específica o conjunto específico de funciones. Asimismo, la fraseología y terminología utilizada en la presente memoria tiene fines descriptivos y no se deberá considerar limitativa. La utilización en la presente memoria de "incluye", "comprende", "tiene", "contiene", "involucra" y variaciones de los mismos significa que abarca los elementos enumerados a continuación y los equivalentes de los mismos, así como elementos adicionales.

#### Sistema informático

Varios aspectos y funciones descritos en la presente memoria según la presente invención se pueden implementar como hardware o software en uno o varios sistemas informáticos. Existen muchos ejemplos de sistemas informáticos actualmente en uso. Estos ejemplos incluyen, entre otros, aplicaciones de red, ordenadores personales, estaciones de trabajo, ordenadores centrales, clientes en red, servidores, servidores multimedia, servidores de aplicación, servidores de bases de datos y servidores web. Otros ejemplos de sistemas informáticos pueden incluir dispositivos informáticos móviles, tales como teléfonos celulares y asistentes digitales personales, y equipos de red, tales como dispositivos de balance de carga, encaminadores y conmutadores. Además, los aspectos según la presente invención pueden estar localizados en un único sistema informático o pueden estar distribuidos entre una serie de sistemas informáticos conectados a una o varias redes de comunicaciones.

Por ejemplo, varios aspectos y funciones pueden estar distribuidos entre uno o varios sistemas informáticos configurados para proporcionar un servicio a uno o varios ordenadores cliente, o para llevar a cabo una tarea global como parte de un sistema distribuido. Adicionalmente, los aspectos se pueden llevar a cabo en un sistema cliente-servidor o en un sistema de múltiples capas que incluye componentes distribuidos entre uno o varios sistemas de servidor que llevan a cabo diversas funciones. Por lo tanto, la invención no se limita a su ejecución en ningún sistema particular o grupo particular de sistemas. Además, los aspectos se pueden implementar en software, en hardware o en software inalterable, o en cualquier combinación de los mismos. Por lo tanto, los aspectos según la presente invención se pueden implementar en métodos, acciones, sistemas, elementos de sistema y componentes utilizando una variedad de configuraciones de hardware y de software, y la invención no se limita a ninguna arquitectura distribuida, red o protocolo de comunicación particulares.

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de un sistema informático distribuido 100, en el que se pueden practicar varios aspectos y funciones según la presente invención. El sistema informático distribuido 100 puede incluir uno o varios sistemas informáticos. Por ejemplo, tal como se muestra, el sistema informático distribuido 100 incluye los sistemas informáticos 102, 104 y 106. Tal como se muestra, los sistemas informáticos 102, 104 y 106 están

interconectados mediante una red de comunicación 108 y pueden intercambiar datos a través de la misma. La red 108 puede incluir cualquier red de comunicación a través de la cual los sistemas informáticos puedan intercambiar datos. Para intercambiar datos utilizando la red 108, los sistemas informáticos 102, 104 y 106 y la red 108 pueden utilizar varios métodos, protocolos y estándares incluyendo, entre otros, Token Ring, Ethernet, Ethernet inalámbrico, Bluetooth, TCP/IP, UDP, Http, FTP, SNMP, SMS, MMS, SS7, Jsn, Soap y Corba. Para garantizar que la transferencia de datos es segura, los sistemas informáticos 102, 104 y 106 pueden transmitir datos a través de la red 108 utilizando diversas medidas de seguridad que incluyen TSL, SSL o VPN, entre otras técnicas de seguridad. Si bien el sistema informático distribuido 100 muestra tres sistemas informáticos en red, el sistema informático distribuido 100 puede incluir cualquier número de sistemas informáticos y dispositivos informáticos, conectados en red utilizando cualquier medio y protocolo de comunicación.

Varios aspectos y funciones según la presente invención se pueden implementar como hardware o software especializado que se ejecuta en uno o varios sistemas informáticos, incluyendo el sistema informático 102 mostrado en la figura 1. Tal como se representa, el sistema informático 102 incluye un procesador 110, una memoria 112, un bus 114, una interfaz 116 y un almacenamiento 118. El procesador 110 puede ejecutar una serie de instrucciones que tienen como resultado datos manipulados. El procesador 110 puede ser un procesador disponible comercialmente, tal como un procesador Pentium, Motorola PowerPC, SGI MIPS, Sun UltraSPARC o Hewlett-Packard PA-RISC, pero puede ser cualquier tipo de procesador o controlador, dado que están disponibles muchos otros procesadores y controladores. El procesador 110 está conectado a otros elementos de sistema, incluyendo uno o varios dispositivos de memoria 112, mediante el bus 114.

La memoria 112 puede ser utilizada para almacenar programas y datos durante el funcionamiento del sistema informático 102. Por lo tanto, la memoria 112 puede ser una memoria de acceso aleatorio, volátil, de rendimiento relativamente alto, tal como una memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM, dynamic random access memory) o memoria estática (SRAM). Sin embargo, la memoria 112 puede incluir cualquier dispositivo de almacenamiento para almacenar datos, tal como una unidad de disco u otro dispositivo de almacenamiento no volátil. Varias realizaciones según la presente invención pueden organizar la memoria 112 en estructuras particularizadas y, en algunos casos, únicas para llevar a cabo los aspectos y funciones dados a conocer en la presente memoria.

Los componentes del sistema informático 102 pueden estar acoplados mediante un elemento de interconexión, tal como el bus 114. El bus 114 puede incluir uno o varios buses físicos, por ejemplo, buses entre componentes que están integrados dentro de una misma máquina, pero puede incluir cualquier acoplamiento de comunicación entre elementos de sistema incluyendo tecnologías de bus informático especializadas o estándar, tales como IDE, SCSI, PCI y InfiniBand. Por lo tanto, el bus 114 permite que se intercambien comunicaciones, por ejemplo datos e instrucciones, entre componentes de sistema del sistema informático 102.

El sistema informático 102 incluye asimismo uno o varios dispositivos de interfaz 116, tales como dispositivos de entrada, dispositivos de salida y dispositivos de combinación de entrada/salida. Los dispositivos de interfaz pueden recibir entradas o proporcionar salidas. Más particularmente, los dispositivos de salida pueden proporcionar información para la presentación externa. Los dispositivos de entrada pueden aceptar información de fuentes externas. Ejemplos de dispositivos de interfaz incluyen teclados, dispositivos de ratón, bolas de seguimiento, micrófonos, pantallas táctiles, dispositivos de impresora, pantallas de visualización, altavoces, tarjetas de interfaz de red, etc. Los dispositivos de interfaz permiten que el sistema informático 102 intercambie información y comunique con entidades externas, tales como usuarios y otros sistemas.

El sistema de almacenamiento 118 puede incluir un medio de almacenamiento no volátil de lectura y escritura por ordenador, en el que están almacenadas instrucciones que definen un programa para ejecutar por el procesador. El sistema de almacenamiento 118 puede incluir asimismo información que es registrada en, o dentro del medio, y esta información puede ser procesada por el programa. Más específicamente, la información puede ser almacenada en una o varias estructuras de datos configuradas específicamente para conservar espacio de almacenamiento o incrementar el rendimiento de intercambio de datos. Las instrucciones pueden estar almacenadas persistentemente como señales codificadas, y las instrucciones pueden hacer que un procesador lleve a cabo cualquiera de las funciones descritas en el presente documento. El medio puede ser, por ejemplo, un disco óptico, un disco magnético o una memoria flash, entre otros. En funcionamiento, el procesador o algún otro controlador puede hacer que se lean datos desde el medio de registro no volátil en otra memoria, tal como la memoria 112, que permite un acceso más rápido del procesador a la información que con el medio de almacenamiento incluido en el sistema de almacenamiento 118. La memoria puede estar localizada en el sistema de almacenamiento 118 o en la memoria 112, si bien el procesador 110 puede manipular los datos en el interior de la memoria 112, y a continuación copia los datos al medio asociado con el sistema de almacenamiento 118 después de que se ha completado el procesamiento. Diversos componentes pueden gestionar el movimiento de datos entre el medio y el elemento de memoria del circuito integrado, y la invención no se limita a estos. Además, la invención no se limita a un sistema de memoria o sistema de almacenamiento particulares.

Aunque el sistema informático 102 se muestra a modo de ejemplo como un tipo de sistema informático en el que se pueden practicar diversos aspectos y funciones según la presente invención, los aspectos de la invención no se limitan a su implementación en el sistema informático que se muestra en la figura 1. Diversos aspectos y funciones acordes con la presente invención se pueden practicar en uno o varios ordenadores con arquitecturas o

componentes diferentes a los mostrados en la figura 1. Por ejemplo, el sistema informático 102 puede incluir hardware de propósito especial, programado especialmente, tal como por ejemplo un circuito integrado de aplicación específica (ASIC, application-specific integrated circuit) personalizado para llevar a cabo una operación particular dada a conocer en la presente memoria, mientras que otra realización puede llevar a cabo la misma función utilizando varios dispositivos informáticos de propósito general que ejecutan MAC OS System X con procesadores Motorola PowerPC y varios dispositivos informáticos especializados que ejecutan hardware propietario y sistemas operativos propietarios.

El sistema informático 102 puede ser un sistema informático que incluye un sistema operativo que gestiona, por lo menos, una parte de los elementos de hardware incluidos en el sistema informático 102. Normalmente, un procesador o un controlador, tal como el procesador 110, ejecuta un sistema operativo que puede ser, por ejemplo, un sistema operativo basado en Windows, tal como los sistemas operativos Windows NT, Windows 2000 (Windows ME), Windows XP o Windows Vista, disponibles en la firma Microsoft Corporation, un sistema operativo MAC OS System X disponible en la firma Apple Computer, una de las muchas distribuciones de sistema operativo basadas en Linux, por ejemplo el sistema operativo Enterprise Linux disponible en la firma Red Hat Inc., un sistema operativo Solaris disponible en la firma Sun Microsystems, o un sistema operativo UNIX disponible en varias fuentes. Se pueden utilizar muchos otros sistemas operativos, y las realizaciones no se limitan a ninguna implementación particular.

El procesador y el sistema operativo definen juntos una plataforma informática para la que se pueden escribir programas de aplicación en lenguajes de programación de alto nivel. Estas aplicaciones de componentes pueden ser código ejecutable, intermedio, por ejemplo C-, bytecode o interpretado, que comunica sobre una red de comunicaciones, por ejemplo, internet, utilizando un protocolo de comunicaciones, por ejemplo, TCP/IP. Análogamente, los aspectos según la presente invención se pueden implementar utilizando un lenguaje de programación orientada a objetos, tal como .Net, SmallTalk, Java, C++, Ada o C# (C-Sharp). Se pueden utilizar asimismo otros lenguajes de programación orientados a objetos. Alternativamente, se pueden utilizar lenguajes de programación funcional, por lotes o lógicos.

Adicionalmente, varios aspectos y funciones según la presente invención se pueden implementar en un entorno no programado, por ejemplo, documentos creados en HTML, XML u otro formato que, cuando se visualizan en una ventana de un programa navegador, proporcionan aspectos de interfaz gráfica de usuario o llevan a cabo otras funciones. Además, varias realizaciones acordes con la presente invención se pueden implementar como elementos programados o no programados, o cualquier combinación de los mismos. Por ejemplo, una página web se puede implementar utilizando HTML mientras que un objeto de datos invocado desde la página web puede estar escrito en C++. Por lo tanto, la invención no se limita a un lenguaje de programación específico y se podría utilizar asimismo cualquier lenguaje de programación adecuado. Además, en por lo menos una realización, la herramienta se puede implementar utilizando VBA Excel.

Un sistema informático incluido dentro de una realización puede llevar a cabo funciones adicionales fuera del alcance de la invención. Por ejemplo, los aspectos del sistema se pueden implementar utilizando un producto comercial existente, tal como, por ejemplo, sistemas de gestión de base de datos tales como SQL Server disponible en la firma Microsoft de Seattle WA., Oracle Database disponible en la firma Oracle de Redwood Shores, CA, y MySQL de la firma MySQL AB de Uppsala, Suecia, o software de integración tal como el software de intercambio Web Sphere de la firma IBM de Armonk, NY. Sin embargo, un sistema informático que ejecuta, por ejemplo, SQL Server puede ser capaz de soportar tanto aspectos acordes con la presente invención como bases de datos para aplicaciones varias fuera del alcance de la invención.

#### Arquitectura de sistema de ejemplo

La figura 2 representa un diagrama de contexto que incluye elementos físicos y lógicos de un sistema distribuido 200. Tal como se muestra, el sistema distribuido 200 está configurado especialmente según la presente invención. La estructura del sistema y el contenido expuestos en relación con la figura 2 son solamente a modo de ejemplo y no pretenden limitar la invención a la estructura específica mostrada en la figura 2. Tal como será evidente para un experto en la materia, se pueden diseñar muchas variaciones de la estructura de sistema sin apartarse del alcance de la presente invención. La realización particular presentada en la figura 2 se ha elegido para aportar claridad.

La información puede fluir entre los elementos, componentes y subsistemas representados en la figura 2 utilizando cualquier técnica. Dichas técnicas incluyen, por ejemplo, pasar la información sobre la red por medio de TCP/IP, pasar la información entre módulos de memoria y pasar la información escribiéndola en un archivo, base de datos o algún otro dispositivo de almacenamiento no volátil. Se pueden utilizar otras técnicas y protocolos sin apartarse del alcance de la invención.

Haciendo referencia a la figura 2, el sistema 200 incluye el usuario 202, la interfaz 204, el sistema de diseño y gestión de centros de datos 206, la red de comunicaciones 208 y la base de datos 210 del centro de datos. El sistema 200 puede permitir al usuario 202, tal como un diseñador del centro de datos u otro personal del centro de datos, interactuar con la interfaz 204 para crear o modificar un modelo de una o varias configuraciones de centro de datos. De acuerdo con una realización, la interfaz 204 puede incluir aspectos del editor de suelo y del editor de

bastidores que se dan a conocer en la solicitud del Tratado de cooperación en materia de patentes número PCT/US08/63675, titulada "METHODS AND SYSTEMS FOR MANAGING FACILITY POWER AND COOLING", presentada el 15 de mayo de 2008, a la que se hace referencia en adelante como PCT/US08/63675. En otras realizaciones, la interfaz 204 se puede implementar con instalaciones especializadas que permiten al usuario 202 diseñar, a modo de arrastrar y soltar, un modelo que incluye una representación de la distribución física de un centro de datos o cualquier subconjunto del mismo. Esta distribución puede incluir representaciones de componentes estructurales del centro de datos, incluyendo características de cámara presurizada de suelo elevado, así como equipos del centro de datos. Las características de la interfaz 204, como se puede encontrar en varias realizaciones según la presente invención, se explican en mayor detalle a continuación. En por lo menos una realización, la información relativa a un centro de datos se introduce en el sistema 200 a través de la interfaz, y se proporcionan al usuario estimaciones y recomendaciones para el centro de datos. Además, en por lo menos una realización, se pueden llevar a cabo procesos de optimización para optimizar el rendimiento de refrigeración y la utilización de energía del centro de datos.

Tal como se muestra en la figura 2, el sistema de diseño y gestión de centros de datos 206 presenta al usuario 202 una interfaz de diseño de datos 204. De acuerdo con una realización, el sistema de diseño y gestión de centros de datos 206 puede incluir el sistema de diseño y gestión de centros de datos que se da a conocer en la patente PCT/US08/63675. En esta realización, la interfaz de diseño 204 puede incorporar funcionalidad del módulo de entrada, del modo de visualización y del módulo constructor incluidos en la patente PCT/US08/63675 y puede utilizar el módulo de bases de datos para almacenar y recuperar datos.

Tal como se muestra, el sistema de diseño y gestión de centros de datos 206 puede intercambiar información con la base de datos 210 del centro de datos por medio de la red 208. Esta información puede incluir información cualquier requerida para soportar las características y funciones del sistema de diseño y gestión de centros de datos 206. Por ejemplo, en una realización, la base de datos 210 del centro de datos puede incluir por lo menos alguna parte de los datos almacenados en la base de datos de equipos del centro de datos descrita en la patente PCT/US08/63675. En otra realización, esta información puede incluir cualquier información requerida para soportar la interfaz 204, tal como, entre otros datos, la distribución física de una o varias configuraciones de modelos de centro de datos, las características de producción y distribución de los proveedores de refrigeración incluidas en las configuraciones de modelo, las características de consumo de los consumidores de refrigeración en las configuraciones de modelo, y un listado de bastidores de equipos y proveedores de refrigeración a incluir en una agrupación.

En una realización, la base de datos 210 del centro de datos puede almacenar tipos de proveedores de refrigeración, la cantidad de aire frío proporcionado por cada tipo de proveedor de refrigeración, y la temperatura del aire frío proporcionado por el proveedor de refrigeración. De este modo, por ejemplo, la base de datos 210 del centro de datos incluye registros de un tipo particular de unidad de CRAC que está calificada para suministrar flujo de aire al régimen de 5600 cfm a una temperatura de 20 grados centígrados (68 grados Fahrenheit). Además, la base de datos 210 del centro de datos puede almacenar una o varias métricas de refrigeración, tal como las temperaturas de entrada y de salida de los CRAC y las temperaturas de entrada y de salida de uno o varios bastidores de equipos. Las temperaturas pueden ser medidas periódicamente e introducidas al sistema o, en otras realizaciones, las temperaturas y los flujos de aire pueden ser monitorizados continuamente utilizando dispositivos acoplados al sistema 200. Además, en algunas realizaciones, para centros de datos instalados, un sistema puede utilizar mediciones de flujos de aire reales de una o varias baldosas perforadas, para mejorar la precisión de uno de los procesos descritos en la presente memoria. Además, el flujo de aire medido puede ser utilizado por un sistema en una realización como una comprobación frente a flujos de aire calculados, y cuando la diferencia entre medido y calculado supera un umbral preestablecido, se puede iniciar una alerta para avisar a un operador del sistema.

La base de datos 210 del centro de datos puede adoptar la forma de cualquier construcción lógica que pueda almacenar información en un medio legible por ordenador, que incluye, entre otras estructuras, archivos planos, archivos de índices, bases de datos jerárquicas, bases de datos relacionales o bases de datos orientadas a objetos. Los datos se pueden modelar utilizando índices y relaciones de claves únicas y externas. Los índices y relaciones de claves únicas y externas se pueden establecer entre los diversos campos y tablas para garantizar tanto la integridad de los datos como el rendimiento del intercambio de datos.

Los sistemas informáticos mostrados en la figura 2, que incluyen el sistema de diseño y gestión de centros de datos 206, la red 208 y la base de datos de equipos 210 del centro de datos, pueden incluir, cada uno, uno o varios sistemas informáticos. Además, el sistema 2 puede asimismo conectar a uno o varios dispositivos en un centro de datos, incluyendo componentes del sistema de refrigeración o del sistema de distribución de alimentación para controlar y monitorizar estos sistemas. Tal como se ha explicado anteriormente en relación con la figura 1, los sistemas informáticos pueden tener uno o varios procesadores o controladores, memoria y dispositivos de interfaz. La configuración particular del sistema 200 representado en la figura 2 se utiliza solamente con fines ilustrativos, y las realizaciones de la invención se pueden practicar en otros contextos. Por lo tanto, las realizaciones de la invención no se limitan a un número específico de usuarios o sistemas.

En por lo menos una realización, que se describirá a continuación, se da a conocer una herramienta que predice en tiempo real el flujo de aire a través de baldosas perforadas de una cámara presurizada bajo el suelo en un centro de datos. La herramienta utiliza métodos nuevos para modelar la cámara presurizada bajo el suelo en un centro de

datos y simplificar el análisis de los modelos para predecir el rendimiento del flujo de aire en tiempo real. La capacidad de predecir el rendimiento en tiempo real, o casi en tiempo real, permite que la herramienta se utilice para analizar rápidamente diversas posibles soluciones y considerar diversos compromisos de diseño. Tal como se explica en mayor detalle a continuación, la herramienta puede ser utilizada como una herramienta de compromiso independiente, incorporada en un sistema de diseño de centros de datos, o incorporada como parte de un sistema de gestión de centros de datos, tal como los productos InfrastruXure® Central y Operations Manager de APC, explicados anteriormente.

En la siguiente descripción, se dan a conocer cinco nuevos métodos de alto nivel para estimar el flujo de aire de baldosas perforadas y, además, se dan a conocer asimismo técnicas nuevas para modelar cámaras presurizadas y simplificar cálculos dentro de los métodos de alto nivel. Los cinco métodos de alto nivel se identifican como el método de red de flujo (FNM, Flow Network Method), el método de corrección de Bernoulli promediada en presión (PAB-C, Pressure-Averaged Bernoulli Correction), el método de flujo potencial (PFM, potential flow method), el método híbrido y el método de dinámica rápida de fluidos (FFD, Fast Fluid Dynamics). Cada uno de estos métodos se puede incorporar en una herramienta que se puede combinar con sistemas existentes de diseño y gestión de centros de datos para proporcionar un rendimiento mejor.

Modelo de red de flujo

El método del modelo de red de flujo (FNM) es una técnica de predicción de flujo de fluido que se utiliza principalmente para predecir la caída de presión en sistemas de conductos y tuberías. El FNM se basa en la hipótesis de que la caída de presión experimentada por un fluido que se desplaza a través de algún elemento resistivo (por ejemplo, una longitud de tubería o una baldosa perforada) está relacionada con el caudal a través del elemento resistivo, mediante alguna función simple, tal como la mostrada en la ecuación (1).

$$\Delta P = R Q^2 \tag{1}$$

Donde R es habitualmente una resistencia conocida en unidades de caída de presión por caudal al cuadrado. En el FNM utilizado en, por lo menos, algunas realizaciones descritas en la presente memoria, el flujo de aire está gobernado exclusivamente por diferencias de presión ignorando el momento. Aunque los caminos de los flujos de aire no se conocen a priori en la aplicación de cámara presurizada, el FNM está adaptado para funcionar y, a continuación, "afinarse" empíricamente contra un gran número de soluciones de referencia de CFD.

La figura 3 muestra una analogía de circuito eléctrico 300 del flujo de aire en un centro de datos de suelo elevado. En la analogía, la fuente de corriente 302 representa uno de los j CRAC, las resistencias 304 representan la resistencia del flujo de aire de cada una de i baldosas de suelo perforado, y las resistencias 306 representan la resistencia del camino de flujo desde la salida del CRAC j hasta cada una de las baldosas perforadas i. Para cualquier CRAC j, existe un camino independiente para el aire frío que este suministra hasta llegar a cualquier baldosa perforada individual i. El punto A es la posición inmediatamente bajo los ventiladores del CRAC en el interior de la cámara presurizada y el punto B es el espacio sobre las baldosas perforadas en la sala del centro de datos. Se supone que el aire frío suministrado por el CRAC j se separará en el punto A en N corrientes de flujo de aire (N es el número de baldosas perforadas) y se desplazará independientemente en la cámara presurizada de suelo elevado antes de llegar al punto i, que es la posición inmediatamente debajo de cada baldosa perforada i, y a continuación saldrá de la cámara presurizada a través de baldosas y entrará al espacio de la sala. El flujo de aire se mezclará a continuación en el interior de la sala del centro de datos antes de encontrar su camino de retorno al CRAC j para completar el bucle.

Por la figura 3 se puede ver que la caída de presión a través de los caminos de flujo y a través de las baldosas perforadas tiene que ser igual a la caída total de presión a través de los CRAC, tal como se muestra en la ecuación (2).

$$\Delta P_j = \Delta P_{A_i} + \Delta P_{i_B} \tag{2}$$

Se puede suponer que la caída de presión  $\Delta P_{A_i}$  es función del flujo de aire  $Q_{ij}^2$  y que  $f(\Delta x_{ij})$  es función de la distancia  $\Delta x_{ij}$ , tal como se muestra en la ecuación (3).

$$\Delta P_{A_i} = f(\Delta x_{ij}) Q_{ij}^2 \tag{3}$$

Donde

$f(\Delta x_{ij})$  es la resistencia al flujo en la cámara presurizada entre la baldosa i y el CRAC j;

$Q_{ij}$  es el flujo de aire a través de la baldosa perforada  $i$  suministrado por el CRAC  $j$ .

Se observa empíricamente que la resistencia al flujo de la cámara presurizada  $f(\Delta x_{ij})$  se puede expresar como:

$$f(\Delta x_{ij}) = \Delta x_{ij}^{-C} \tag{4}$$

Donde

5  $\Delta x_{ij}$  es la distancia entre la baldosa perforada  $i$  y el CRAC  $j$ ;

$C$  es una constante determinada empíricamente, que es función de la profundidad de la cámara presurizada y de las fugas.

10 El parámetro  $C$  determinado empíricamente se selecciona para proporcionar la mejor conformidad global con los resultados de referencia CFD sobre un gran número de configuraciones de salas, caudales CRAC, tipos de baldosa, factores de fuga y profundidades de cámara presurizada. El parámetro  $C$  depende principalmente del factor de fuga y de la profundidad de la cámara presurizada y, en una realización, los valores utilizados para  $C$  se incluyen en la tabla 1.

Tabla 1 - Constante  $C$  determinada empíricamente

Fuga (%)	Profundidad de la cámara presurizada (cm (pulgadas))				
	30,48 (12)	45,72 (18)	60,96 (24)	91,44 (36)	121,92 (48)
0	5.89	6.37	6.83	7.51	8.28
0.1	5.76	6.23	6.62	7.19	7.86
0.2	5.63	6.10	6.44	6.87	7.52
0.3	5.50	5.97	6.29	6.64	6.98
0.4	5.37	5.85	6.15	6.49	6.64
0.5	5.22	5.75	5.99	6.35	6.47

15 Las características de caída de presión de cada tipo de baldosa perforada se conocen generalmente a partir de datos publicados y se pueden escribir como  $\Delta P_{iB} = A_i Q_{ij}^2$ . Combinando esto con las ecuaciones 1 a 4 y para el flujo de aire a través de cada baldosa perforada, se tiene la ecuación (5).

$$Q_{ij} = \sqrt{\frac{\Delta P_j}{\Delta x_{ij}^{-C} + A_i}} \tag{5}$$

Debido a la conservación de masa, la suma del flujo de aire a través de todas las baldosas tiene que ser igual al flujo de aire procedente del CRAC (suponiendo que no hay fugas), tal como se expresa en la ecuación (6).

20 Todas las baldosas

$$\sum_i Q_{ij} = Q_j^{CRAC} \tag{6}$$

Donde  $Q_j^{CRAC}$  es el flujo de aire total suministrado por el CRAC  $j$ . Combinando las ecuaciones 5 y 6 se tiene la ecuación (7).

$$\Delta P_j = \left( \frac{Q_j^{CRAC}}{\sum_i \text{Todas las baldosas} \left[ \frac{1}{\sqrt{\Delta x_{ij}^{-C} + A_i}} \right]} \right)^2 \tag{7}$$

25 Sustituyendo la ecuación 7 en la ecuación 5,  $Q_{ij}$  se puede expresar tal como se muestra en la ecuación (8).

$$Q_{ui} = \frac{Q_{CRAC}}{\sum_{\text{Todas las baldosas}} \left[ \frac{1}{\sqrt{\Delta x_{ij}^2 + A_i}} \right]} \sqrt{\Delta x_{ij}^2 + A_i} \quad (8)$$

El flujo de aire a través de cada baldosa i se puede calcular a continuación utilizando la ecuación (9).

Todos los CRAC

$$Q_{i}^{\text{baldosa}} = \sum_j Q_{ui} \quad (9)$$

5 Aunque el flujo de aire de fuga no se considera explícitamente en el FNM, el caudal de aire total del CRAC se puede reducir para tener en cuenta las fugas, de tal modo que solamente el flujo de aire que pasa realmente a través de las baldosas se considera en el cálculo. En una realización, la magnitud de la reducción de flujo de aire para cada CRAC se toma en proporción con su caudal total.

10 La figura 4 proporciona un resumen de un proceso 400 utilizado en un sistema de gestión y/o de diseño de centros de datos para calcular el flujo de aire de baldosas utilizando un proceso basado en FNM, de acuerdo con una realización. En una primera acción 402 del proceso, se introduce en el sistema información relacionada con la cámara presurizada que incluye la geometría de la cámara presurizada y las localizaciones de CRAC y baldosas. En una realización, la información es introducida por un usuario, mientras que por lo menos en otra realización, se accede a la información a partir de información relativa al centro de datos almacenada en el sistema. En una  
 15 realización, se puede visualizar un modelo del centro de datos que muestra el suelo elevado con localizaciones de CRAC y de baldosas perforadas. En una segunda acción 404, se determina el flujo de aire efectivo para cada CRAC restando el flujo de aire de fugas. En la acción 406, se determina el flujo de aire en cada baldosa procedente del CRAC, utilizando la ecuación (8) explicada anteriormente. A continuación, en la acción 408, se determina el flujo de aire total de cada baldosa sumando los flujos de aire desde cada CRAC en cada baldosa. El proceso finaliza  
 20 continuación en la acción 410. En por lo menos una realización, los resultados del proceso 400 son utilizados por el sistema de gestión y/o de diseño de centros de datos, como una de las entradas para analizar el rendimiento de refrigeración de un centro de datos.

25 La utilización del modelo de red de flujo para calcular el flujo de aire de baldosas perforadas se conocía anteriormente, pero estaba habitualmente limitada por la hipótesis de una presión uniforme de la cámara presurizada. Esta hipótesis tiene como resultado que todas las baldosas de una determinada construcción (por ejemplo, área abierta del 25 % o del 56 %) suministran el mismo caudal de aire. Esto es equivalente a estimar simplemente el flujo de aire de baldosas en base a la presión promedio de la cámara presurizada. Este enfoque puede ser muy engañoso ya que predice que las baldosas con la mayor área abierta suministrarán la mayor parte del flujo de aire. En la práctica, la utilización de baldosas de gran área abierta conduce a menudo a no uniformidades  
 30 sustanciales del flujo de aire e incluso a reflujo (flujo en sentido inverso, de la sala a la cámara presurizada). La utilización de la resistencia de los caminos de flujo desde los CRAC a las baldosas de aire, en algunas realizaciones de la presente invención, tiene como resultado predicciones no uniformes de presión de la cámara presurizada con diferentes caudales de aire para baldosas diferentes, incluso si tienen la misma construcción, y proporciona una estimación más precisa del flujo de aire desde las baldosas.

35 Método de corrección de Bernoulli promediada en presión (PAB-C)

La PAB-C es una técnica en tiempo real utilizada por lo menos en algunas realizaciones para predecir el flujo de aire de baldosas. Utilizando la PAB-C, el patrón de flujo de aire global de la cámara presurizada se determina a partir de una hipótesis de patrones de flujo de aire asociados con cada CRAC. A su vez, estos patrones de flujo de aire se estiman a partir de fórmulas conocidas. Los patrones de flujo de aire se calculan a partir de un promedio ponderado  
 40 de un chorro bidimensional y un patrón de flujo radial completamente semicilíndrico desde cada CRAC. Con el patrón de flujo de aire de cámara presurizada conocido, se utiliza la ecuación de Bernoulli junto con una técnica de "corrección de presión" para determinar la distribución final de presión de la cámara presurizada. A continuación, se calcula el caudal de aire a través de cada baldosa a partir de datos conocidos del flujo de aire de la baldosa frente a la caída de presión.

45 Aunque ocasionalmente los CRAC están instalados con palas giratorias que redirigen el flujo de aire en paralelo al suelo, normalmente (y preferentemente), el flujo de aire del CRAC incide directamente sobre el contrapiso sólido y a continuación se dispersa por toda la cámara presurizada. Esto es preferible, debido a que el flujo de aire se distribuye más uniformemente a menor velocidad, con menos variación en la presión. Las paredes circundantes, la

colocación de otros CRAC y de las baldosas perforadas, pueden hacer que el flujo se dirija más en una dirección particular, más como un flujo de chorro tradicional. Por consiguiente, el patrón de flujo de aire cerca de un CRAC se puede aproximar como algún promedio ponderado de componentes de chorro y radiales, tal como se muestra en la ecuación (10).

$$\vec{V} = (1 - \theta) \vec{V}_{\text{chorro}} + \theta \vec{V}_{\text{radial}} \quad (10)$$

Donde  $\vec{V}_{\text{chorro}}$  y  $\vec{V}_{\text{radial}}$  son vectores de velocidad asociados con patrones de flujo de aire de chorro y radial, respectivamente, y  $\theta$  es un parámetro de ponderación determinado empíricamente. La figura 5 muestra una representación de un flujo de chorro procedente de un CRAC 502 y un flujo radial procedente de un CRAC 504. El patrón de flujo de aire de chorro bidimensional se ha determinado analíticamente (de Bejan, A. Convection Heat Transfer, Wiley and Sons, New York, 1984), tal como se muestra en la ecuación (11).

$$u_{\text{chorro}} = U_0 \left( \frac{x}{x_0} \right)^{-\frac{1}{2}} \left\{ 1 - \tanh^2 \left( \gamma \frac{y}{x} \right) \right\} \quad (11)$$

Donde  $u_{\text{chorro}}$  es el componente de velocidad en la dirección del chorro,  $U_0$  es la velocidad del chorro (y la velocidad de suministro del CRAC) a una distancia  $x_0$  desde el punto ficticio de origen del chorro (tomado en la parte posterior del CRAC), y  $x$  es la distancia desde la línea central del chorro perpendicular a la dirección de chorro, y  $\gamma=7,67$  una constante determinada experimentalmente. El componente de velocidad  $v_{\text{chorro}}$  en la dirección y se puede determinar a partir de la ecuación 11 y de la Ecuación de continuidad (conservación de masa). El resultado se muestra en la ecuación (12).

$$v_{\text{chorro}} = \frac{U_0}{2\gamma x} \left( \frac{x}{x_0} \right)^{-\frac{1}{2}} \left\{ 2\gamma y \operatorname{sech}^2 \left( \gamma \frac{y}{x} \right) - x \tanh \left( \gamma \frac{y}{x} \right) \right\} \quad (12)$$

Finalmente,  $x_0$  se puede relacionar con la anchura  $D_0$  del CRAC mediante  $x_0=4\gamma D_0/3$ .

La magnitud de velocidad del patrón de flujo de aire radial se determina mediante el caudal del CRAC  $Q_{\text{CRAC}}$  y la distancia radial  $r$  desde el centro posterior del CRAC, tal como se muestra en la ecuación (13).

$$V_{\text{radial}} = \frac{Q_{\text{CRAC}}}{\pi r d} \quad (13)$$

Donde  $d$  es la profundidad de la cámara presurizada. La ecuación (13) se modificaría si el CRAC no estuviera situado frente a una pared; en este caso, el patrón de velocidad resultante sería cilíndrico en lugar de semicilíndrico.

Transformando a coordenadas cartesianas, los componentes de velocidad  $x$  e  $y$  son los mostrados en la ecuación (14).

$$u_{\text{radial}} = \frac{x Q_{\text{CRAC}}}{\pi d(x^2 + y^2)} \quad v_{\text{radial}} = \frac{y Q_{\text{CRAC}}}{\pi d(x^2 + y^2)} \quad (14)$$

Con el patrón de flujo de aire asociado con cada CRAC conocido en toda la cámara presurizada, se estima el patrón de flujo de aire global utilizando superposición; se suman los componentes de velocidad  $u$  y  $v$  en cada punto de cálculo deseado de cada CRAC. El resultado es que los CRAC de igual intensidad que soplan directamente uno a otro crearán entre ambos un punto a medio camino de velocidad cero.

En una realización, para modelar paredes (límites) de cámara presurizada, se explota la simetría tal como se describirá a continuación haciendo referencia a la figura 6. Utilizando simetría, para cada cámara presurizada considerada, se incluyen en el análisis ocho áreas adicionales, ficticias, de la cámara presurizada. La figura 6 muestra una cámara presurizada 602 que se va a analizar. La cámara presurizada 602 tiene baldosas perforadas 604. También se muestran en la figura 6 ocho cámaras presurizadas adicionales 606, 608, 610, 612, 614, 616, 618, 620 añadidas por simetría, con una cámara presurizada añadida a cada lado y una en cada esquina como se ve en

la figura 6, y teniendo cada cámara presurizada adicional la misma disposición (simetría especular) de CRAC y de baldosas perforadas que la cámara presurizada 602 analizada. Las cámaras presurizadas adicionales proporcionan una distribución de velocidades que casi cancela la velocidad normal a los límites de pared de la cámara presurizada de interés, emulando la presencia de las paredes circundantes. En otras realizaciones, para mejorar la precisión de la solución, en lugar de proporcionar solamente una cámara presurizada ficticia adicional a cada lado, el patrón de simetría se puede repetir más hacia el exterior en todas las direcciones.

Para esta realización, la presión promedio de la cámara presurizada se define como la única presión uniforme que existiría en la cámara presurizada si la única resistencia en el sistema se debiera exclusivamente a las baldosas perforadas. La presión promedio de la cámara presurizada para la cámara presurizada 602 de la figura 6 se puede determinar utilizando la analogía de circuito eléctrico 700 mostrada en la figura 7. En la figura 7, todo el flujo de aire de la CRAC se acumula conjuntamente en una única fuente de corriente 702 y se muestran cuatro resistencias 704, 706, 708 y 710 que representan cuatro baldosas perforadas, dos baldosas abiertas al 25 % y dos baldosas abiertas al 56 %. Aunque esto se puede generalizar a cualquier cantidad y tipo de baldosas, para  $n_{25}$  en baldosas abiertas al 25 % y  $n_{56}$  baldosas abiertas al 56 %, la presión promedio de la cámara presurizada es la mostrada en la ecuación (15).

$$P_{\text{cave}} = \frac{(1 - f)^2 Q_{\text{CRAC}}^2}{\left( \frac{n_{25}}{\sqrt{Q_{25}}} + \frac{n_{56}}{\sqrt{Q_{56}}} \right)^2} \quad (15)$$

Donde las características de caída de presión de baldosa perforada frente a flujo de aire se pueden modelar como  $\Delta P = aQ^2$ , donde "a" es una constante conocida, diferente para cada tipo de baldosa y f es el factor de fuga. El factor de fuga se define como la fracción del flujo de aire de CRAC total que existe en la cámara presurizada sin pasar a través de baldosas perforadas.

Normalmente, la presión real en cualquier punto determinado de la cámara presurizada no es igual a la presión promedio. La presión en cualquier punto se puede determinar utilizando la ecuación de Bernoulli, que se muestra en la ecuación (16):

$$P_i + \frac{1}{2} \rho V_i^2 = \text{constante} \quad (16)$$

Donde  $V_i$  es la magnitud de la velocidad (rapidez) del flujo de aire en el punto i. De acuerdo con la ecuación 16, si se conoce la presión en un punto en la cámara presurizada, se puede determinar entonces la presión en todos los puntos. Sin embargo, inicialmente, no se conoce la presión absoluta en cualquier punto dado pero, tal como se describirá a continuación, la presión en un punto se puede determinar. La presión absoluta correcta (termodinámica)  $P_i$  se puede descomponer en dos partes, tal como se muestra en la ecuación (17).

$$P_i = P_i^* + P' \quad (17)$$

Donde  $P_i^*$  es la presión relativa calculada a partir de la ecuación (16) y  $P'$  es la corrección de presión constante que se tiene que añadir a todos los  $P_i^*$  para obtener la presión absoluta deseada. Se toma un punto de referencia, por ejemplo el origen de coordenadas, para que tenga  $P_i^*(0,0) = P_i^* = 0$ , y todas las demás  $P_i^*$  se calculan en relación con este valor. La  $P'$  correcta es la que resulta de un balance de masa global entre el flujo de aire de CRAC y el flujo de aire de baldosas más las fugas, tal como se muestra en la ecuación (18).

$$(1 - f)Q_{\text{CRAC}} - \sum_{i=1}^{\infty} Q_i^{\text{total}} \quad (18)$$

Donde n es el número de baldosas perforadas. A continuación, se halla  $P_i$  numéricamente ajustando  $P'$  hasta que se cumple la ecuación (18). En otras realizaciones se pueden utilizar otros algoritmos, y en una realización se utiliza un simple método de bisección en el que se comprueba el balance de masa global en base a conjeturas para  $P'$ ; a continuación se toman las conjeturas a medio camino entre las dos mejores conjeturas anteriores, hasta que  $P'$  cambia en no más de una cantidad despreciable. El espacio de búsqueda para  $P'$  se basa en escalas físicas del problema, por ejemplo, desde  $-3P_{ave}$  hasta  $3P_{ave}$ .

$Q_i^{baldosa}$  en la ecuación 18 se calcula en una realización utilizando la ecuación (19).

$$Q_i^{baldosa} = \frac{P_i}{|P_i|} \sqrt{\frac{|P_i|}{a_i}} \tag{19}$$

Donde, tal como se ha explicado anteriormente,  $a_i$  es una característica conocida de resistencia al flujo de la baldosa, y la forma de la ecuación permite que el flujo de aire de baldosas sea positivo (fuera de la cámara presurizada) o negativo (en la cámara presurizada) dependiendo del signo de  $P_i$ .

En otra realización, se utiliza una alternativa a la técnica de corrección de presión para modelar el acoplamiento flujo de aire-presión. En la técnica de "corrección del flujo de aire", las presiones físicamente correctas, es decir, las que satisfacen el balance de masa de la ecuación (18), no se determinan explícitamente. En su lugar, las presiones en cada punto se determinan con respecto a  $P_{ave}$  de la ecuación (15) utilizando la ecuación (16):  $P_i = P_{ave} - \frac{1}{2} \rho V_i^2$ . Las presiones se pueden utilizar a continuación para determinar caudales en baldosas utilizando la ecuación (19). En lugar de corregir los valores de presión en este punto, en la técnica de corrección de flujo de aire, los caudales de aire de baldosa predichos se corrigen simplemente hacia arriba o hacia abajo uniformemente sobre todas las baldosas, según se requiera para cumplir el balance de masa de la ecuación (18). La técnica de corrección de flujo de aire añade aproximaciones adicionales al modelo de ecuación de Bernoulli de flujo potencial acoplado que pueden reducir la precisión; sin embargo, aumentan significativamente la velocidad y la estabilidad de la solución.

Sólo hay un parámetro determinado empíricamente en el método PAB-C,  $\theta$ , que se selecciona para proporcionar el mejor acuerdo global con los resultados de referencia CFD sobre un gran número de configuraciones de salas, caudales y tamaños de CRAC, tipos de baldosas, factores de fuga y profundidades de cámara presurizada. El parámetro  $\theta$  depende principalmente del factor de fuga y de la profundidad de la cámara presurizada, tal como se resume en la tabla 3. Los patrones de flujo de aire de CRAC son más radiales con cámaras presurizadas más profundas y fugas menores, y más de tipo chorro con cámaras presurizadas menos profundas y mayores fugas.

Tabla 3 - Constante  $\theta$  determinada empíricamente

Fuga	Profundidad de la cámara presurizada (cm (pulgadas))				
	30.48 (12)	45.72 (18)	60.96 (24)	91.44 (36)	121.92 (48)
0	0.86	0.90	0.97	1.00	1.00
0.1	0.83	0.89	0.95	1.00	1.00
0.2	0.80	0.88	0.92	1.00	1.00
0.3	0.79	0.84	0.89	0.99	1.00
0.4	0.78	0.83	0.87	0.95	1.00
0.5	0.74	0.81	0.86	0.91	0.98

Nota:  $\theta=0$ : Chorro       $\theta=1$ : Radial

A continuación se describirá, haciendo referencia a la figura 8, un proceso 800 de acuerdo con una realización para utilizar el método PAB-C explicado anteriormente con el fin de determinar el flujo de aire en una cámara presurizada de suelo elevado. En una primera acción 802 del proceso 800, la información se carga en un sistema configurado para llevar a cabo el proceso 800. El sistema puede ser uno de los sistemas informáticos descritos anteriormente. La información se puede cargar en el sistema desde un medio de almacenamiento, transferirse al sistema sobre una red y/o ser introducida en el sistema por un usuario. En una segunda acción 804, el sistema crea una distribución global de la sala utilizando ocho salas simétricas ficticias, tal como se ha descrito anteriormente. A continuación, en la acción 806, el patrón de flujo de aire bajo el suelo elevado se determina para cada CRAC real y para cada CRAC añadido con fines de simetría. En la acción 808, se determina el flujo de aire global utilizando superposición de flujos de aire desde cada CRAC individual. La presión promedio  $P_{ave}$  de la cámara presurizada se determina a continuación, en la acción 810, utilizando la ecuación (15). En la acción 812, una primera presión relativa  $P_i^*$  se hace igual a  $P_{ave}$ , y se determinan a continuación todos los demás valores de presión relativa. En la acción 814, los primeros valores estimados se ajustan para el valor de corrección de presión constante  $P'$  de cero, y se determina asimismo cada valor de presión absoluta  $P_i$ . En la acción 816, se determina el flujo de aire para cada baldosa perforada utilizando la ecuación (19), y en el bloque de decisión 818 se adopta una determinación sobre si el

balance de masa de la ecuación (18) se cumple dentro de un umbral predefinido. En una realización, el balance de masa de la ecuación (18) está dentro del umbral si la diferencia absoluta entre el lado izquierdo y el lado derecho de la ecuación (18) es menor que el 0,5 % del flujo de aire de baldosas promedio. Si el resultado del bloque 818 es SÍ, entonces los valores del flujo de aire determinados en la acción 816 son los valores finales del flujo de aire y el proceso 800 finaliza. Si el resultado del bloque de decisión 818 es NO, entonces el proceso vuelve a la acción 814, donde se utiliza un nuevo valor de P'. Las acciones 814 a 818 se repiten hasta que el resultado del bloque 818 es SÍ, momento en el que los valores finales del flujo de aire para cada baldosa perforada han sido determinados.

Método de flujo de potencial (PFM)

El método de flujo de potencial es una técnica basada en física utilizada en una realización para calcular el patrón de flujo de aire de la cámara presurizada a partir de primeros principios, sin la necesidad de un "ajuste" empírico del modelo contra casos CFD de referencia, y el método de flujo de potencial maneja de manera natural los límites de paredes de la cámara presurizada sin etapas adicionales ni aproximaciones. Utilizando este método, los cálculos son intensos y pueden ser más lentos que otros métodos descritos en la presente memoria (quizá desde unos pocos segundos hasta un minuto con el hardware informático habitual y las distribuciones habituales), y no hay garantía de con qué rapidez se encontrará una solución "que converja", ni de si se llegará a encontrar. En por lo menos una realización, los cálculos del flujo de aire de la cámara presurizada son bidimensionales; sin embargo, en otras realizaciones, se utilizan simulaciones tridimensionales. Un análisis 3D proporciona una ligera mejora en la precisión, al precio de la velocidad de la solución.

Para un flujo de aire que se puede modelar como incompresible e irrotacional, el patrón de flujo de aire se puede determinar a partir de la ecuación de Poisson que se muestra en la ecuación (20).

$$\nabla^2 \phi = S''' \tag{20}$$

Donde S''' es una fuente de caudal volumétrico por unidad de volumen, y φ es el potencial de velocidad, relacionado con los componentes de velocidad x e y, tal como se muestra en la ecuación (21).

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial y} \tag{21}$$

En ausencia de un término fuente, la ecuación 20 se reduce a la ecuación de Laplace, ∇²φ=0. La hipótesis de "incompresible" es rigurosamente aplicable al flujo de aire de la cámara presurizada; sin embargo, la hipótesis de "irrotacional" es estrictamente una aproximación. Desde el punto de vista del cálculo, en una realización, esta hipótesis reduce las ecuaciones de gobierno de 3 ecuaciones (1 de conservación de masa y 2 de conservación de momento) y 3 incógnitas (u, v y P), a 1 ecuación para 1 incógnita. Dado que las paredes y los flujos de chorro proporcionan un mecanismo mediante el cual el patrón de flujo de aire real se puede hacer rotacional, la ecuación 20 no es estrictamente aplicable en estas áreas; sin embargo, el efecto de fricción a lo largo de las paredes es de importancia menor en la determinación del flujo de aire de la cámara presurizada; el método de flujo potencial predice correctamente que el flujo no puede penetrar en una pared pero, por lo menos en algunas realizaciones, no modela los efectos de fricción a lo largo de la pared. Además, tal como se ha mencionado anteriormente, para los CRAC sin una paleta giratoria, el flujo de aire incide directamente sobre el contrapiso del centro de datos y a continuación se dispersa más o menos homogéneamente en todas las direcciones; este tipo de patrón de flujo de aire es consistente con el flujo potencial en el que las fuentes tienden a "empujar" o "tirar" del flujo de aire uniformemente en todas las direcciones.

La ecuación (20) parece simple; sin embargo, las condiciones de contorno complejas para una aplicación de cámara presurizada real hacen las soluciones analíticas de la ecuación (20) imposibles o muy difíciles, y no muy generales. En una realización, que se describirá a continuación, una solución numérica del problema utiliza un método de diferencias finitas. Siguiendo este método, el espacio físico del problema a analizar se divide en un número de celdas de cuadrícula de tamaño Δx por Δx por d. A continuación se construye una ecuación de diferencias finitas para cada celda de cuadrícula creando un conjunto de n ecuaciones para n incógnitas, donde n es el número de celdas de cuadrícula. La figura 9 muestra una celda de cuadrícula 2-D 900 con celdas de cuadrícula vecinas 902, 904, 906 y 908. El flujo de aire puede entrar a, o salir de cada lado de la celda de cuadrícula; flujo de aire adicional puede añadirse a, o restarse de la celda de cuadrícula mediante el término fuente S''', que puede representar flujo de aire procedente de un CRAC, de una baldosa perforada, flujo de aire de fuga o alguna combinación de flujo de aire de fuga más baldosa o CRAC. El caudal volumétrico neto (por ejemplo, en cfm) que entra en cada celda de cuadrícula tiene que ser igual que el que sale de la celda de cuadrícula, tal como se muestra en las ecuaciones (22) y (23).

$$\Delta x d \left( \frac{\phi_i - \phi_w}{\Delta x} \right) + \Delta x d \left( \frac{\phi_i - \phi_s}{\Delta x} \right) + S''' = \Delta x d \left( \frac{\phi_E - \phi_i}{\Delta x} \right) + \Delta x d \left( \frac{\phi_N - \phi_i}{\Delta x} \right) \tag{22}$$

o,

$$\varphi_i = \frac{1}{4} \left( \varphi_N + \varphi_S + \varphi_E + \varphi_W - \frac{S^{(i)}}{d} \right) \quad (23)$$

La forma de la ecuación 23 cambia algo para celdas de cuadrícula situadas contra una pared sólida o en una esquina; las celdas sólidas adyacentes no aportan potenciales de velocidad a la ecuación y, en un análisis 3D, se pueden incluir explícitamente CRAC y flujos de aire de baldosas en la dirección vertical. El conjunto de n ecuaciones y n incógnitas se resuelve habitualmente de manera iterativa utilizando una técnica estándar, tal como el método de Gauss-Siedel, que se describe en *Advanced Engineering Mathematics*, de E. Kreyszig, séptima edición. 1993. John Wiley & Sons, Nueva York. página 986. En este método, la incógnita asociada con cada celda de cuadrícula se escribe explícitamente en el lado izquierdo de la ecuación, como en la ecuación 23. Se realiza una conjetura inicial para todos los  $\varphi_i$ , y a continuación las conjeturas se mejoran considerando cada ecuación, a su vez, pasando por todas las celdas de cuadrícula. Para cada ecuación, se utilizan siempre los valores calculados más recientemente de todos los  $\varphi_i$ . La herramienta de resolución sigue recorriendo todas las ecuaciones hasta que los  $\varphi_i$  ya no cambian o se ha alcanzado un límite de iteraciones fijo.

Una vez se ha determinado el campo del potencial de velocidad, se calculan las velocidades utilizando la ecuación 21 reescrita como una aproximación de diferencias finitas como la ecuación (24).

$$u_{(i+\frac{1}{2},j)} = \frac{\varphi_{(i+1,j)} - \varphi_{(i,j)}}{\Delta x} \quad v_{(i,j+\frac{1}{2})} = \frac{\varphi_{(i,j+1)} - \varphi_{(i,j)}}{\Delta x} \quad (24)$$

Donde i y j indican la posición en la cuadrícula en las direcciones x e y, respectivamente, y el "1/2" significa la cara de la celda  $\Delta x/2$  alejada del centro de la celda en la dirección positiva.

Igual que con el método PAB-C descrito anteriormente, la distribución de presión de la cámara presurizada se determina en el método de flujo de presión en una realización que utiliza una técnica de "corrección de presión", donde se varía la presión correctora  $p'$  hasta que se consigue un balance de masa entre el flujo de aire de CRAC y el flujo de aire de baldosas y el flujo de aire de fugas. En otra realización, se utiliza la técnica de "corrección de flujo de aire", asimismo tal como se describe en el contexto del método PAB-C. A diferencia del método PAB-C, en por lo menos una realización, el PFM continúa iterativamente con predicciones actualizadas del potencial, y por lo tanto del campo de velocidades. Este proceso se utiliza debido a que el PFM comienza con una conjetura para los caudales de aire de baldosa, y la conjetura cambia cuando se calculan nuevos caudales de aire de baldosa en base al campo de presión calculado. La resolución continúa hasta que el flujo de aire de baldosas es consistente con el campo de presión predicho. Cada nueva solución del campo de velocidades representa una iteración "exterior". Las iteraciones "interiores" son una pasada a través de todas las celdas de cuadrícula durante la resolución para  $\varphi$ . El proceso completo de resolución 1000 se resume en la figura 10.

En una primera acción 1002 del proceso 1000, se carga información en un sistema configurado para ejecutar el proceso 1000. El sistema puede ser uno de los sistemas informáticos descritos anteriormente. La información se puede cargar en el sistema desde un medio de almacenamiento, transferirse al sistema sobre una red y/o ser introducida en el sistema por un usuario. En una segunda acción 1004 del proceso 1000, se determina la presión promedio  $P_{ave}$  utilizando la ecuación (15) que se ha descrito anteriormente. A continuación, en la acción 1006, se estima el flujo de aire a través de cada baldosa a partir de la ecuación (19), donde  $P_i = P_{ave}$ . A continuación, en la acción 1008, se determinan potenciales de velocidad, y después en la acción 1010, se determinan las velocidades utilizando la ecuación (24). Las acciones 1012, 1014, 1016 y 1018 son las mismas que las acciones 812 a 818 del proceso 800 descrito anteriormente. Una vez se cumple el bloque de decisión 1018, el proceso determina en el bloque de decisión 1020 si el cambio máximo de flujo de aire de baldosas es menor que un umbral del 0,01 % del flujo de aire de baldosas promedio. Si el resultado del bloque de decisión 1020 es NO, entonces el proceso finaliza, y los valores del flujo de aire de baldosas son los determinados más recientemente en la acción 1016. Si el resultado del bloque de decisión 1022 es SÍ, el proceso avanza entonces a la acción 1022, donde se actualiza el flujo de aire para cada baldosa. Una vez los flujos de aire se han actualizado en la acción 1022, se repiten entonces las acciones 1008 a 1020 hasta que el resultado del bloque 1020 es NO, a continuación se establecen los últimos valores del flujo de aire como los valores finales del flujo de aire para las baldosas perforadas. Si no se consigue una convergencia aceptable después de un número especificado de iteraciones, se puede presentar al usuario un mensaje de alerta. Este mensaje puede incluir asimismo una indicación de la calidad de la convergencia en términos de un error residual basado en el grado de cumplimiento del balance de masa de la ecuación (18).

Cuando se utiliza el PFM para resolver el flujo de aire de baldosas, el proceso más costoso computacionalmente es resolver los potenciales de velocidad. Una cuadrícula fija de 15,24 cm (6") dentro de una cámara presurizada de 6,09 m (20 pies) por 12,192 m (40 pies) tendría como resultado 3200 celdas de cuadrícula. Para resolver los potenciales de velocidad para este ejemplo pueden ser necesarios varios cientos de iteraciones interiores. Adicionalmente, pueden ser necesarios varios cientos de iteraciones exteriores, en las que se actualizan las

condiciones de contorno de las baldosas. En total, se pueden llevar a cabo cientos de miles o millones de cálculos para resolver flujos de aire de baldosas convergentes. En algunas realizaciones, para eliminar parte de la sobrecarga computacional, se utiliza una cuadrícula fija mayor, pero al precio de la precisión y la flexibilidad para definir características geométricas menores. En una realización que se describirá a continuación, se utiliza una cuadrícula variable y su utilización combina la precisión de celdas de cuadrícula pequeñas con la velocidad de celdas de cuadrícula grandes, para mejorar sensiblemente la eficiencia del algoritmo. En una realización que utiliza una cuadrícula variable, para garantizar la precisión, las celdas de cuadrícula asociadas con los CRAC y las baldosas perforadas se hacen menores, colocándose celdas de cuadrícula mayores en las áreas restantes. Aunque se pueden utilizar otros tamaños de celdas, en una realización se utilizan celdas cuadradas de longitud del lado de 15,24, 30,48 y 60,96 cm (6, 12 y 24 pulgadas).

La figura 11 muestra un ejemplo de una cuadrícula variable 2D 1100 utilizada para analizar un suelo elevado de baldosas perforadas, de acuerdo con una realización. En la cuadrícula variable 2D 1100, las áreas 1102(a), 1102(b) y 1102(c) representan áreas que contienen baldosas perforadas y las áreas 1104(a), 1104(b), 1104(c) y 1104(d) representan CRAC. Para el ejemplo de la figura 11, las áreas asociadas con las baldosas perforadas y los CRAC tienen una cuadrícula menor, de 30,48 centímetros (doce pulgadas), mientras que las otras áreas tienen una cuadrícula mayor, de 60,96 centímetros (veinticuatro pulgadas). El número de celdas de cuadrícula contenidas en la cuadrícula 2D variable 1100 es de 572, comparadas con 4256 para el mismo suelo elevado modelado íntegramente utilizando una cuadrícula fija de 15,24 cm (6"). En por lo menos una realización, en un sistema informático implementado para realizar un análisis de flujo de aire de cámara presurizada, una vez se han introducido en el sistema los parámetros de cámara presurizada de aire y de CRAC, el sistema establecerá automáticamente una cuadrícula variable utilizando una cuadrícula menor en áreas que tienen baldosas perforadas, CRAC y, tal como se describe a continuación, en áreas con obstrucciones. Por consiguiente, el análisis involucrado para analizar el modelo de cuadrícula variable se simplifica enormemente.

Las ecuaciones de diferencias finitas para el potencial de velocidad y otras variables son similares para cuadrículas fijas y variables. Sin embargo, con una cuadrícula variable, puede haber relaciones celda-cara de una a muchas, además de relaciones de una a una. Además, con tamaños de celda variables en el mismo modelo, la separación de nodo a nodo ( $\Delta x$  en la figura 9) es asimismo variable, y la ecuación (23) se modifica en consecuencia.

Tal como se ha descrito anteriormente, la resolución de los potenciales de velocidad es la parte más costosa computacionalmente para resolver el flujo de aire de baldosas. En por lo menos una realización, la velocidad y la fiabilidad de esta parte de la solución se mejoran añadiendo un factor de relajación,  $\omega$ , de tal modo que se calculan nuevos valores del potencial de velocidad utilizando la ecuación (25).

$$\varphi_i = (\omega - 1)\varphi_i^{\text{antiguo}} + \omega\varphi_i^{\text{nuevo}} \quad (25)$$

Donde  $\varphi_i$  es el valor final, ajustado, a utilizar para comenzar la siguiente iteración,  $\varphi_i^{\text{antiguo}}$  es el valor de la iteración anterior y  $\varphi_i^{\text{nuevo}}$  es el valor recién calculado antes del ajuste. Por lo tanto,  $\omega=1$  es ausencia de relajación,  $\omega<1$  es infra-relajación y  $\omega>1$  es sobre-relajación. El concepto de un factor de relajación es común en CFD y en otros análisis numéricos; en la presente solicitud, que se caracteriza por soluciones muy estables, a menudo se puede utilizar sobre-relajación para acelerar las soluciones quizás en un factor 10 y, en muchos casos,  $\omega$  se puede ajustar a un valor tan alto como 1,8. Sin embargo, en algunos casos, cuando se utilizan baldosas de grandes áreas abiertas, se utiliza infra-relajación para garantizar una convergencia fiable. En dichos ejemplos, la velocidad a través de las baldosas puede superar la de los CRAC. Sin infra-relajación (o amortiguación), dichas altas velocidades localizadas pueden hacer que la solución se vuelva inestable. Aunque el factor de relajación se acaba de explicar en el contexto de iteraciones interiores (la solución de potenciales de velocidad), el mismo concepto se aplica en algunas realizaciones a iteraciones exteriores donde se utiliza una ecuación análoga a la ecuación (25) para ajustar los caudales de aire de baldosa.

Tal como se ha explicado anteriormente, el proceso de resolución de PFM incluye una serie de iteraciones interiores y exteriores. En los ejemplos habituales, se realizan muchas iteraciones interiores para cada iteración exterior, y dado que las iteraciones interiores son la parte más costosa computacionalmente de la solución en una realización, el número de iteraciones interiores realizadas se minimiza garantizando al mismo tiempo que los resultados finales son totalmente convergentes. En esta realización, se reconoce que durante las iteraciones exteriores iniciales, demasiadas iteraciones interiores son innecesarias y un derroche dado que los caudales de aire de baldosa se modificarán significativamente en la siguiente iteración exterior en cualquier caso, y por tanto dejarán de ser compatibles con el campo de potencial de velocidad calculado. Después de muchas iteraciones exteriores, los caudales de aire de baldosa cambian mucho menos de una iteración exterior a otra iteración exterior, y son justificables y necesarias muchas más iteraciones interiores para conseguir precisión. Por medio de ensayos empíricos se ha descubierto que aumentar linealmente el número de iteraciones interiores con cada iteración exterior proporciona resultados que convergen bien consistentemente, minimizando al mismo tiempo el número total de iteraciones interiores. Se ha observado asimismo que el número mejorado de iteraciones interiores iniciales y la tasa de aumento dependen principalmente del tamaño de la sala, del tipo o tipos de baldosas perforadas y de su cantidad, así como del número de CRAC. Las salas más grandes con más baldosas abiertas requieren generalmente más iteraciones interiores.

5 Se describirá a continuación un ejemplo de parámetros mejorados de control de solución para una distribución específica haciendo referencia a la figura 12, que muestra un diseño de refrigeración 1200 de suelo elevado que tiene cuatro CRAC 1202 y tres áreas 1204(a), 1204(b) y 1204(c) que contienen baldosas perforadas. En el ejemplo, cada uno de los CRAC suministra un flujo de aire de 10 000 cfm, todas las baldosas perforadas son baldosas de área abierta al 25 %, y la cámara presurizada tiene 30,48 cm (1 pie) de profundidad. Para el ejemplo dado, la tabla 1206 junto a la distribución de la figura 12 muestra parámetros de solución para el número de iteraciones interiores a ejecutar, en función del número de iteraciones exteriores que han sido ejecutadas. Se debe observar que los valores cambiarían, por ejemplo, si se modificaran los tipos de baldosa o incluso si se desactivara un CRAC.

10 El enfoque explicado anteriormente, incluyendo la cuadrícula variable, se extiende, en por lo menos una realización, para proporcionar un análisis completo tridimensional de la cámara presurizada. En esta realización, junto con la representación 3D completa de la cámara presurizada, se incluyen asimismo en el análisis obstrucciones (tales como tuberías de los CRAC y bandejas de cable) en la cámara presurizada. Sin embargo, este enfoque puede aumentar sustancialmente el tiempo de la solución. Para mantener la velocidad y la simplicidad de la técnica 2D, teniendo en cuenta al mismo tiempo las obstrucciones, en una realización, se utiliza una técnica de "damero escalonado". Con este enfoque, una obstrucción sólida, que ocupa solamente una parte de la profundidad de la cámara presurizada, se modela como una parte sólida y una parte de espacio de aire, con la fracción de espacio de aire igual a la fracción no obstruida de la profundidad de la cámara presurizada.

15 El enfoque de damero escalonado se explicará en mayor detalle haciendo referencia al ejemplo mostrado en las figuras 13A, 13B y 13C. La figura 13A muestra una vista superior de una parte de una cámara presurizada 1300 de centro de datos que tiene una obstrucción 1302 contenida en la misma. La figura 13B muestra una vista lateral de la cámara presurizada 1300 y la obstrucción 1302. La obstrucción 1302 no bloquea completamente la profundidad de la cámara presurizada, tal como se muestra en la figura 13B. La figura 13C muestra la cámara presurizada 1300 con la obstrucción 1302 modelada como un damero escalonado 1304 para representar de manera efectiva el objeto 3D en una representación 2D. El modelo 2D de la obstrucción presenta un patrón alterno de espacios abiertos (de aire) y sólidos. Se debe observar que el patrón es escalonado, de tal modo que el aire de "ve" aproximadamente la misma fracción de área abierta desde todas las direcciones. En el modelo de la obstrucción, la fracción del espacio de aire abierto frente a espacio sólido en la dirección horizontal es igual a la fracción de la profundidad de la cámara presurizada no obstruida frente a la profundidad de la cámara presurizada obstruida. En las realizaciones de la invención, la técnica de modelado 2D se puede utilizar de manera efectiva en combinación con la cuadrícula variable explicada anteriormente, siendo refinada localmente la cuadrícula variable según se requiera para proporcionar una granularidad suficiente con la que se pueda especificar la proporción adecuada de espacio sólido frente a espacio de aire. Se puede presentar al usuario el flujo explícito de "damero escalonado" o solamente la velocidad promediada.

Dinámica rápida de fluidos

20 En otra realización, se utiliza una técnica de dinámica rápida de fluidos (FFD) para determinar un flujo de aire a partir de baldosas de suelo perforadas en un centro de datos. La técnica de dinámica rápida de fluidos (FFD) se conoce generalmente para resolver la continuidad dependiente del tiempo y las ecuaciones de Navier-Stokes. Ver el documento "Stable fluids", Proceedings of 26th International conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'99), J. Stam Los Angeles, 1999, páginas 121 a 128. Además, la técnica FFD se utiliza en la industria de juegos y de películas para proporcionar una predicción de campo de flujo transitoria. En una realización que se describirá a continuación, se utiliza un método basado en FFD para predecir el flujo de aire de refrigeración suministrado a través de baldosas perforadas en centros de datos de suelo elevado. En esta realización, tal como se describirá a continuación, el método FFD está adaptado para resolver continuamente el campo de flujo en la cámara presurizada y calcular el flujo de aire de baldosas perforadas para cada paso de tiempo hasta que el campo de flujo alcanza un estado estacionario.

25 La ecuación de Navier-Stokes incompresible se puede escribir tal como se muestra en la ecuación (26).

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} + \nu \nabla^2 \vec{u} \tag{26}$$

Donde

$\vec{u}$  es el vector velocidad

t es el tiempo

30  $\rho$  es la densidad

d es la presión

v de la viscosidad cinemática

Con una aproximación de primer orden para el término transitorio  $\vec{u}$ , la ecuación (24) se puede expresar tal como se muestra en la ecuación (27).

$$\frac{\vec{u}^{n+1} - \vec{u}^n}{\Delta t} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} + \nu \nabla^2 \vec{u} \quad (27)$$

- 5 Es conocido el utilizar un método de proyección para resolver problemas de flujo de fluido incompresible dependientes del tiempo, basado en la descomposición de Helmholtz, que consiste en dos etapas. Ver el documento de Chorin, A.J., 1967, "A numerical method for solving incompressible viscous flow problems", Journal of Computational Physics, 2, 12-26.

En la primera etapa, se calcula una velocidad intermedia  $\vec{u}^*$  ignorando el término de gradiente de presión  $-\frac{1}{\rho} \nabla p$ :

$$\frac{\vec{u}^* - \vec{u}^n}{\Delta t} = -(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} + \nu \nabla^2 \vec{u} \quad (28)$$

10

Donde

$\vec{u}^*$  es la velocidad intermedia

$\vec{u}^n$  es la velocidad en el paso de tiempo n-ésimo

$\Delta t$  es el tamaño del paso de tiempo

- 15 Para resolver la ecuación 28 se puede utilizar un método de división temporal que se describe en los documentos de Stam, J., 2003, "Real-Time Fluid Dynamics for Games", Proceedings of the Game Developer Conference, y de Zuo, W., 2010, "Advanced Simulations of Air Distributions in Buildings", Ph.D. Dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN. Utilizando este método, una ecuación compleja se divide en varias ecuaciones pequeñas, las ecuaciones se resuelven por separado, y las soluciones se integran para producir la solución final para la ecuación original.
- 20

La ecuación (28) se puede dividir en las ecuaciones (29) para difusión y (30) para advección.

$$\frac{\vec{u}^{(1)} - \vec{u}^n}{\Delta t} = \nu \nabla^2 \vec{u} \quad (29)$$

Y

$$\frac{\vec{u}^{(2)} - \vec{u}^{(1)}}{\Delta t} = -(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} \quad (30)$$

- 25 Donde

$\vec{u}^{(1)}$  es la velocidad intermedia después de la difusión

$\vec{u}^{(2)}$  es la velocidad intermedia después de la difusión y la advección

La resolución de las ecuaciones 29 y 30 se aproxima secuencialmente a la resolución de la ecuación 28 directamente. Por lo tanto, la velocidad  $\vec{u}'$  es aproximadamente igual a  $\vec{u}^{(2)}$ . La ecuación 29 se puede discretizar y resolver numéricamente utilizando herramientas de resolución, tal como el método de Gauss-Seidel. La ecuación 30 se puede discretizar y resolver numéricamente utilizando un método semi-lagrangiano. Las etapas de resolución de difusión y advección se llevan a cabo en todas las direcciones (por ejemplo, en las direcciones x e y para un problema 2D).

En la segunda etapa de proyección, se puede conseguir la corrección de la presión utilizando la ecuación (31).

$$\frac{\vec{u}^{n+1} - \vec{u}^{(2)}}{\Delta t} = -\frac{1}{\rho} \nabla \hat{p}^{n+1} \quad (31)$$

10 Donde  $\hat{p}$  es la presión intermedia. La ecuación 31 se puede reordenar y expresar tal como se muestra en la ecuación (32).

$$\vec{u}^{n+1} = \vec{u}^{(2)} - \frac{\Delta t}{\rho} \nabla \hat{p}^{n+1} \quad (32)$$

Tomando la divergencia en ambos lados de la ecuación 32 se tiene como resultado la ecuación (33).

$$\nabla \cdot \vec{u}^{n+1} = \nabla \cdot \vec{u}^{(2)} - \frac{\Delta t}{\rho} \nabla^2 \hat{p}^{n+1} \quad (33)$$

15 El campo de velocidades en el nuevo paso de tiempo deberá cumplir la ecuación de conservación de masa, sustituyendo  $\nabla \cdot \vec{u}^{n+1} = 0$  en la ecuación 33 y reordenando se obtiene la ecuación (34).

$$\nabla^2 \hat{p}^{n+1} = \frac{\rho}{\Delta t} \nabla \cdot \vec{u}^{(2)} \quad (34)$$

20 La ecuación 34 es esencialmente una ecuación de Poisson que se puede discretizar y resolver numéricamente utilizando herramientas de resolución, tales como el método de Gauss-Seidel. El campo de velocidades final en el tiempo n+1 se puede calcular restando el campo de presión obtenido en la ecuación 32.

Igual que con PFM, se puede utilizar análisis FFD tanto 2D como 3D para predecir el flujo de aire de baldosas perforadas. A diferencia de PFM de estado estacionario, la herramienta de resolución FFD acorde con por lo menos una realización calculará continuamente el campo de flujo progresando desde el tiempo 0, simulando el encendido simultáneo de todos los CRAC en la sala, hasta que se alcanzan condiciones de estado estacionario. Las condiciones de contorno del flujo de aire de baldosas perforadas se actualizan asimismo en cada paso de tiempo y se retroalimentan a la herramienta de resolución FFD.

Igual que con PFM, las condiciones de contorno del flujo de aire se pueden modelar como fuentes (o sumideros) localizados en las correspondientes celdas 2D. Estas fuentes o sumideros de flujo de aire pueden tratarse a continuación como la divergencia del campo de velocidades, tal como se muestra en la ecuación (35).

$$\nabla \cdot \vec{u}^{n+1} = \begin{cases} S''' \\ 0 \end{cases} \quad (35)$$

30

Donde  $S'''$  es una fuente de caudal volumétrico por unidad de volumen.

La fuente se añade a continuación como un término adicional en la ecuación 34, tal como se muestra en la ecuación (36).

$$\nabla^2 \hat{p}^{n+1} = \frac{\rho}{\Delta t} \overline{\nabla \cdot \mathbf{u}^{(2)}} - \mathbf{g}^{(n)} \quad (36)$$

La ecuación 36 se puede seguir resolviendo como una ecuación de Poisson dado que el lado derecho es conocido. El resto del cálculo es el mismo que se ha descrito anteriormente: se actualiza el campo de velocidades, se calcula el flujo de aire de baldosas y se repite el proceso hasta que se alcanza el estado estacionario.

Existen varios modos, en diferentes realizaciones, de determinar la distribución de presión de la cámara presurizada en base a un campo de velocidades conocido obtenido mediante la herramienta de resolución FFD.

El primer modo es igual que con los procesos PAB-C o PFM descritos anteriormente, estimando el campo de presión relativa  $p^*$  utilizando la ecuación de Bernoulli. Este método es de implementación simple; sin embargo, la utilización de la ecuación de Bernoulli con sus hipótesis inherentes de "flujo idealizado" limita un tanto las ventajas asociadas con la física de flujos más compleja predicha por el método FFD.

Una segunda manera de estimar la presión es utilizar el gradiente de presión intermedia  $\nabla \hat{p}^{n+1}$  utilizando directamente una de las celdas (por ejemplo, la celda de la esquina superior izquierda) como punto de referencia. Cabe señalar que se puede demostrar que  $\nabla \hat{p}$  es el gradiente de presión real en estado estacionario.

La tercera manera de calcular la presión es utilizando directamente la ecuación de Navier-Stokes, ecuación 26, con un campo de velocidades conocido sustituido. A continuación se puede obtener el campo de presión relativa  $p^*$  suponiendo, de nuevo, una presión conocida en un punto de referencia. Una vez se obtiene el campo de presión relativa  $p^*$  utilizando cualquiera de las técnicas mencionadas anteriormente, la herramienta de resolución FFD puede utilizar a continuación la técnica de "corrección de presión" (explicada anteriormente), donde se varía la presión del corrector  $p'$  hasta que se alcanza un balance de masa entre el CRAC y el flujo de aire de baldosas y fugas.

A continuación se describirá una realización de un proceso 1400 para determinar flujos de aire de baldosas perforadas para una cámara presurizada utilizando un método basado en FFD, haciendo referencia a la figura 14. En una primera acción 1402 del proceso 1400, la información se carga en un sistema configurado para llevar a cabo el proceso 1400. El sistema puede ser uno de los sistemas informáticos descritos anteriormente. La información se puede cargar en el sistema desde un medio de almacenamiento, transferirse al sistema sobre una red y/o ser introducida en el sistema por un usuario. En las acciones 1404 y 1406, las ecuaciones de difusión y advección descritas anteriormente se utilizan para obtener campos de velocidades  $u^{(1)}$  y  $u^{(2)}$ . A continuación, en la acción 1408, se determina un campo de presión intermedia y se actualiza el campo de velocidades. En la acción 1410, se determina el campo de presión en la cámara presurizada. En la acción 1412, se determina el flujo de aire para cada baldosa, y en el bloque de decisión 1414, se realiza una determinación sobre si se ha alcanzado el estado estacionario. Si el resultado del bloque de decisión 1414 es SÍ, el proceso finaliza, y finalmente los valores del flujo de aire de baldosas determinados en la acción 1412 son los valores finales del flujo de aire. Si el resultado del bloque de decisión 1414 es NO, entonces, en la acción 1416, los valores del flujo de aire se ajustan a los valores de la última iteración, y se repiten las acciones 1404 a 1414 hasta que se alcanza el estado estacionario y se determinan los valores finales del flujo de aire. En una realización, se puede mostrar en tiempo real una representación 2D del campo de flujo de aire, durante el proceso de resolución de cada etapa.

#### Método híbrido

En otra realización más, se utiliza un método híbrido para determinar flujos de aire de baldosas perforadas para una cámara presurizada. El método híbrido combina el método PAB-C con cualquiera del método PFM o el método FFD. Los resultados finales son equivalentes a PFM o FFD, respectivamente; sin embargo, el tiempo de resolución se puede reducir empezando con una "conjetura mejor" del campo de velocidades predicho por el PAB-C. La mejora de velocidad depende principalmente de la distribución específica y del sistema de cuadrícula que se esté utilizando. Las "mejores" distribuciones desde el punto de vista de la mejora en la velocidad son aquellas para las que la PAB-C es más precisa, como son las que tienen una geometría característica regular, repetida, sin formas en "L" u otros recortes y baldosas perforadas de áreas abiertas menores. El sistema de cuadrícula utilizado por PFM o FFD afecta asimismo a la mejora en la velocidad debido a que, como dichas cuadrículas se hacen muy eficientes, ejecutar simplemente más iteraciones puede ser menos costoso computacionalmente que ejecutar la herramienta de resolución PAB-C. La reducción global en el tiempo de resolución puede ser de hasta aproximadamente un 20 % para salas buenas para PAB-C con una separación de cuadrícula uniforme de 15,24 cm (6 pulgadas). A continuación se describirá un proceso 1500 para determinar flujos de aire de baldosas utilizando un método híbrido de acuerdo con una realización, haciendo referencia a la figura 15.

En una primera acción 1502 del proceso 1500, la información se carga en un sistema configurado para ejecutar el proceso 1500. El sistema puede ser uno de los sistemas informáticos descritos anteriormente. La información se puede cargar en el sistema desde un medio de almacenamiento, transferirse al sistema sobre una red y/o ser

introducida en el sistema por un usuario. En la acción 1504, se determina la distribución de velocidades y los flujos de aire de baldosas utilizando el método PAB-C descrito anteriormente. En la acción 1506, los flujos de aire de baldosas y las velocidades de cámara presurizada iniciales se basan en el resultado de la acción 1504. En la acción 1508, se determinan flujos de aire de baldosas finales utilizando uno de los procesos PFM o FFD descritos anteriormente.

Las realizaciones descritas anteriormente dan a conocer modelos para estimar flujos de aire de baldosas perforadas en una cámara presurizada, que pueden ser utilizados en sistemas independientes o incluidos en un sistema más completo de análisis y gestión de centros de datos. Los diferentes modelos proporcionan un rango de precisión de las soluciones y de velocidad de las soluciones. Para aplicaciones en las que no son obligatorios resultados instantáneos, PFM y FFD (y sus opciones híbridas relacionadas) proporcionan el mayor valor. Si la velocidad de la solución tiene que ser esencialmente instantánea, FNM o PAB-C podrían ser la primera opción.

Las realizaciones descritas en la presente memoria dan a conocer métodos y sistemas nuevos para determinar el flujo de aire desde baldosas perforadas de una cámara presurizada bajo el suelo en un centro de datos. La capacidad de predecir con precisión el flujo de aire en una herramienta de diseño o gestión de centros de datos en las realizaciones de la invención facilita el diseño de sistemas de cámara presurizada robustos que presentan una buena uniformidad del flujo de aire bajo diferentes configuraciones de distribución de baldosas perforadas. Además, las realizaciones permiten evitar costosas soluciones de ensayo y error en una instalación, en intentos de conseguir caudales de baldosas. Aún más, la mejor precisión en las predicciones de flujos de aire de baldosas tiene como resultado un mejor análisis global de refrigeración del centro de datos y puede proporcionar una solución de refrigeración más eficiente energéticamente. Por lo menos en algunas realizaciones descritas en la presente memoria, el flujo de aire en una cámara presurizada se describe siendo generado por un CRAC. Los sistemas y métodos descritos en la presente memoria pueden ser utilizados con otros tipos de fuentes de aire en cámaras presurizadas, incluyendo otros tipos de dispositivos de refrigeración y ventiladores. Por lo menos en algunas realizaciones, se describen métodos que determinan flujos de aire específicos. Por lo menos en algunas realizaciones, la determinación es una predicción o estimación de flujos de aire reales.

Por lo menos en algunas realizaciones de la invención explicada en la presente memoria, el desempeño de las evaluaciones y los cálculos en tiempo real se refiere a procesos que se completan en cuestión de unos pocos segundos o menos, en lugar de varios minutos o más, tal como ocurre con cálculos complejos, tales como los que involucran los típicos cálculos CFD.

Por lo menos en algunas realizaciones descritas anteriormente, el diseño de un centro de datos y/o los parámetros reales en un centro de datos se modifican basándose en el flujo de aire de baldosas perforadas predicho de un centro de datos. Las alteraciones se pueden implementar para mejorar el rendimiento de refrigeración y/o se pueden implementar para proporcionar ahorros en costes y/o energía cuando se encuentra que el rendimiento está dentro de especificaciones predeterminadas. Por ejemplo, se puede modificar la localización de las baldosas perforadas y/o se pueden modificar los tipos de baldosas. Además, en base a valores del flujo de aire determinados, un sistema de gestión de datos acorde con una realización puede controlar uno o varios CRAC para ajustar el flujo de aire y, además, uno o varios bastidores de equipos se pueden controlar para reducir la potencia si el flujo de aire procedente de las baldosas perforadas no es adecuado para proporcionar suficiente refrigeración.

Por lo menos en algunas realizaciones descritas anteriormente, se dan a conocer herramientas y procesos para determinar el flujo de aire de baldosas perforadas en un centro de datos. En otras realizaciones, las herramientas y los procesos se pueden utilizar en otros tipos de instalaciones, y se pueden utilizar asimismo en aplicaciones móviles, incluyendo centros de datos móviles. Además, los procesos y sistemas acordes con las realizaciones descritas en la presente memoria se pueden utilizar en cámaras presurizadas de aire superiores, y en otros tipos de cámaras presurizadas de aire. Aún más, aunque las realizaciones se describen siendo utilizadas con cámaras presurizadas que tienen baldosas perforadas, otras realizaciones acordes con la invención se pueden utilizar con otros tipos de aberturas o respiraderos en una cámara presurizada, para distribuir aire desde la cámara presurizada. El término abertura tal como se utiliza en la presente memoria puede incluir un único área abierta de una cámara presurizada tal como un respiradero, un grupo de respiraderos muy poco separados entre sí para actuar de manera efectiva como una abertura, o una única baldosa perforada con muchas áreas abiertas individuales.

Una vez descritos diversos aspectos de por lo menos una realización de esta invención, se debe apreciar que se ocurrirán fácilmente alteraciones, modificaciones y mejoras a los expertos en la materia. Se prevé que dichas alteraciones, modificaciones y mejoras forman parte de esta invención.

Por consiguiente, la descripción y los dibujos anteriores son tan sólo a modo de ejemplo.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método implementado por ordenador para predecir un flujo de aire desde una serie de aberturas en una cámara presurizada, comprendiendo el método:
- 5 (A) recibir datos de entrada desde un dispositivo de almacenamiento, incluyendo los datos de entrada datos relacionados con la cámara presurizada;
  - (B) determinar una presión promedio del aire en la cámara presurizada;
  - (C) determinar un valor del flujo de aire para cada una de las aberturas en base a la presión promedio del aire;
  - (D) dividir la cámara presurizada en una serie de celdas de cuadrícula;
  - 10 (E) utilizando un primer método iterativo, determinar un valor para la velocidad del flujo de aire para cada una de las celdas de cuadrícula;
  - (F) determinar un valor de la presión del aire en cada una de las aberturas en base a la velocidad del flujo de aire;
  - (G) utilizando un segundo método iterativo, determinar un nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas en base al valor de la presión del aire en dicha una de las aberturas;
  - 15 (H) determinar si la diferencia entre los nuevos valores del flujo de aire y los valores del flujo de aire anteriores es mayor que un umbral;
  - (I) repetir las acciones (E) a (H) hasta que la diferencia no sea mayor que el umbral, y almacenar a continuación el nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas como el valor final del flujo de aire; y
  - 20 (J) controlar por lo menos un dispositivo de refrigeración y un bastidor de equipos en un centro de datos en base a, por lo menos, un valor final del flujo de aire.
2. El método implementado por ordenador según la reivindicación 1, en el que
- (a) el método comprende además visualizar el valor final del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas; o
  - 25 (b) la acción (D) incluye ajustar automáticamente un tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula, de tal modo que por lo menos una celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula tiene un tamaño diferente del tamaño de otras celdas de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula; o
  - (c) la acción (E) incluye ajustar un factor de relajación para el primer método iterativo, y utilizar el factor de relajación en el primer método iterativo; o
  - 30 (d) la acción (G) incluye determinar si los flujos de aire en la cámara presurizada cumplen una ecuación de balance de masa.
3. El método implementado por ordenador según la reivindicación 2, en el que ajustar automáticamente un tamaño incluye determinar un tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula en base a características de la cámara presurizada.
4. El método implementado por ordenador según la reivindicación 2, que comprende además ajustar un límite para una serie de iteraciones del primer método iterativo en base al número completado de iteraciones del segundo método iterativo.
5. El método implementado por ordenador según la reivindicación 4, que comprende además aumentar el límite en base a un aumento en el número completado de iteraciones del segundo método iterativo.
6. El método implementado por ordenador según la reivindicación 2, en el que la acción (D) incluye crear un modelo bidimensional de una obstrucción en la cámara presurizada.
7. El método de ordenador según la reivindicación 2, que comprende además corregir un valor de la presión del aire o un valor del flujo de aire directamente en cada una de las aberturas, si no se cumple la ecuación de balance de masa.
8. Un sistema para evaluar un flujo de aire en una cámara presurizada de un centro de datos, teniendo la cámara presurizada una serie de aberturas, comprendiendo el sistema:
- 45 un dispositivo de almacenamiento;

- un visualizador;
- un controlador acoplado al dispositivo de almacenamiento y al visualizador, y configurado para:
- recibir datos de entrada desde el dispositivo de almacenamiento, incluyendo los datos de entrada datos relacionados con la cámara presurizada;
- 5 determinar una presión promedio del aire en la cámara presurizada;
- determinar un valor del flujo de aire para cada una de las aberturas en base a la presión promedio del aire;
- dividir la cámara presurizada en una serie de celdas de cuadrícula;
- 10 utilizar un primer método iterativo para determinar un valor para la velocidad del flujo de aire para cada una de las celdas de cuadrícula, y un valor de la presión del aire en cada una de las aberturas en base a la velocidad del flujo de aire;
- utilizar un segundo método iterativo para determinar un nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas en base al valor de la presión del aire en dicha una de las aberturas;
- determinar si la diferencia entre los nuevos valores del flujo de aire y los valores del flujo de aire anteriores es mayor que un umbral;
- 15 utilizar repetidamente el primer método iterativo y el segundo método iterativo hasta que la diferencia no sea mayor que el umbral, y a continuación almacenar en el dispositivo de almacenamiento el nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas como un valor final del flujo de aire; y
- controlar por lo menos uno de un dispositivo de refrigeración y un bastidor de equipos en el centro de datos en base a, por lo menos, un valor final del flujo de aire.
- 20 9. El sistema según la reivindicación 8, en el que
- (a) el controlador está configurado además para controlar el visualizador para visualizar el valor final del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas; o
- (b) el controlador está configurado para ajustar el tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula, de tal modo que por lo menos una celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula tiene un tamaño diferente del tamaño de otra celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula, donde el tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula está basado en las características de la cámara presurizada; o
- 25 (c) el controlador está configurado además para ajustar un factor de relajación para el primer método iterativo, y utilizar el factor de relajación en el primer método iterativo; o
- (d) el controlador está configurado además para crear un modelo bidimensional de una obstrucción en la cámara presurizada.
- 30 10. El sistema según la reivindicación 9, en el que el controlador está configurado además para ajustar un límite para una serie de iteraciones del primer método iterativo en base a un número completado de iteraciones del segundo método iterativo, y el controlador está configurado además para aumentar el límite en base a un aumento en el número completado de iteraciones del segundo método iterativo.
- 35 11. Un programa informático para instruir a un ordenador para llevar a cabo el método de predicción del flujo de aire procedente de una serie de aberturas en una cámara presurizada, comprendiendo el método:
- recibir datos de entrada desde un dispositivo de almacenamiento, incluyendo los datos de entrada datos relacionados con la cámara presurizada;
- determinar una presión promedio del aire en la cámara presurizada;
- 40 determinar un valor del flujo de aire para cada una de las aberturas en base a la presión promedio del aire;
- dividir la cámara presurizada en una serie de celdas de cuadrícula;
- utilizar un primer método iterativo para determinar un valor para la velocidad del flujo de aire para cada una de las celdas de cuadrícula, y un valor de la presión del aire en cada una de las aberturas en base a la velocidad del flujo de aire;
- 45 utilizar un segundo método iterativo para determinar un nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas en base al valor de la presión del aire en dicha una de las aberturas;

determinar si la diferencia entre los nuevos valores del flujo de aire y los valores del flujo de aire anteriores es mayor que un umbral;

5 utilizar repetidamente el primer método iterativo y el segundo método iterativo hasta que la diferencia no sea mayor que el umbral, y almacenar en el dispositivo de almacenamiento el nuevo valor del flujo de aire para cada una de la serie de aberturas como un valor final del flujo de aire; y

controlar por lo menos uno de un dispositivo de refrigeración y un bastidor de equipos en base a, por lo menos, un valor final del flujo de aire.

10 12. El producto de programa según la reivindicación 11, en el que el método comprende además ajustar un tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula de tal modo que por lo menos una celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula tiene un tamaño diferente del tamaño de otra celda de cuadrícula de la serie de celdas de cuadrícula, donde el tamaño de cada una de la serie de celdas de cuadrícula se basa en las características de la cámara presurizada.

100  
SISTEMA  
DISTRIBUIDO

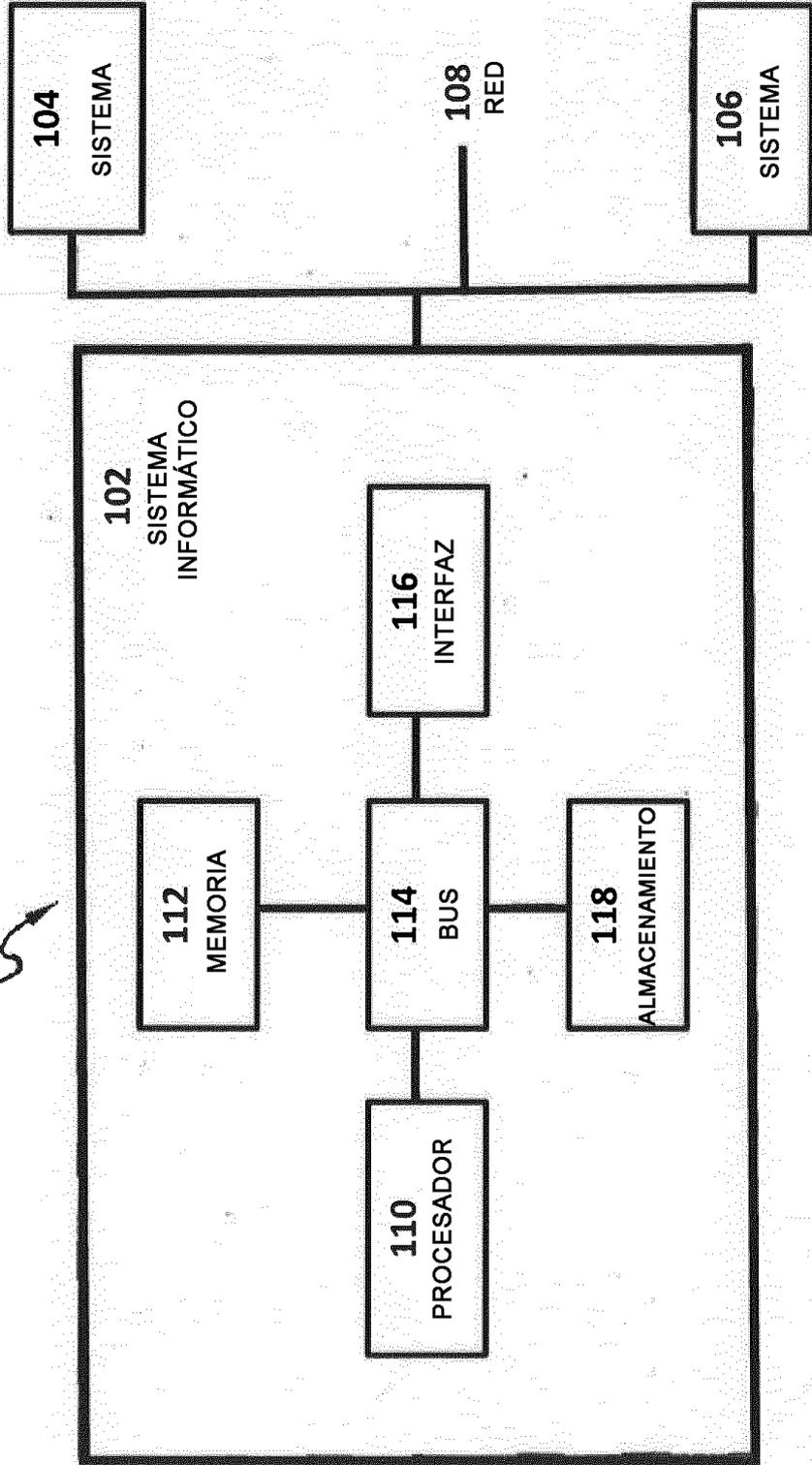


Figura 1

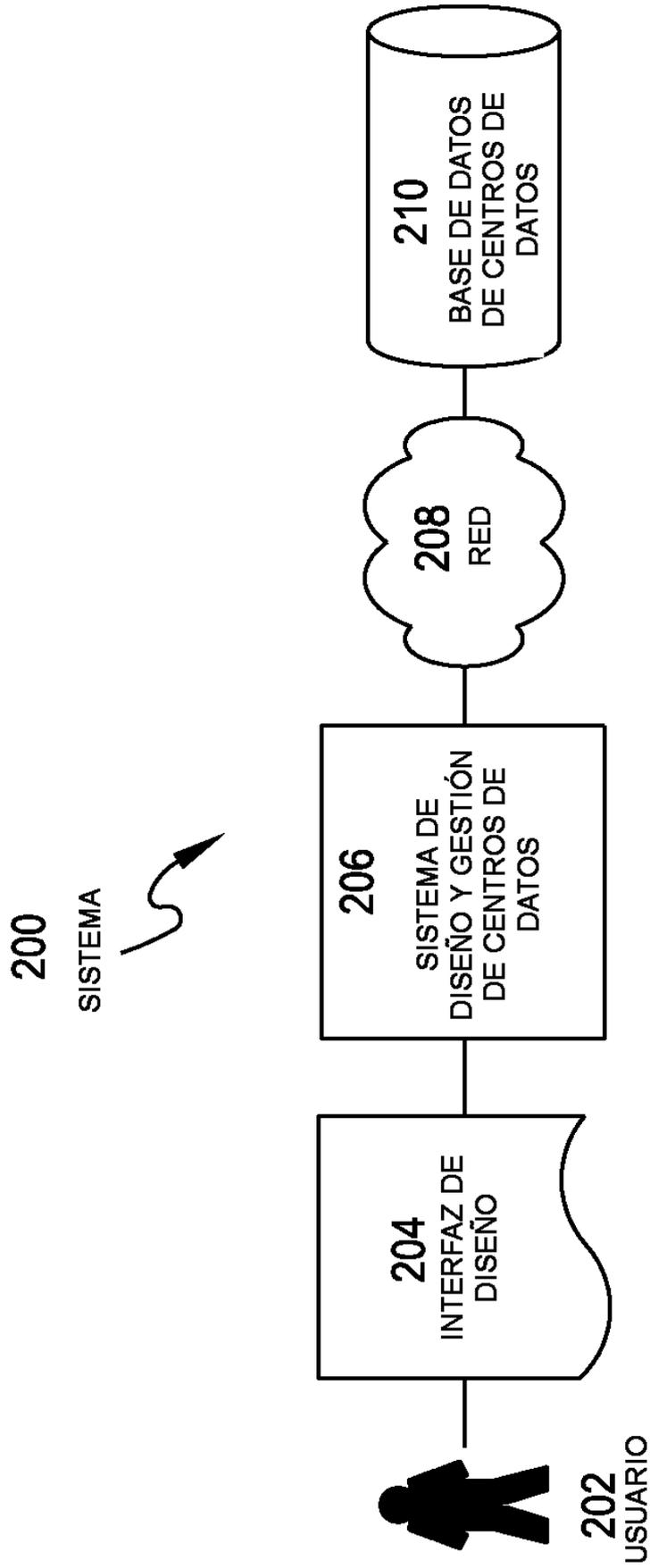


FIG. 2

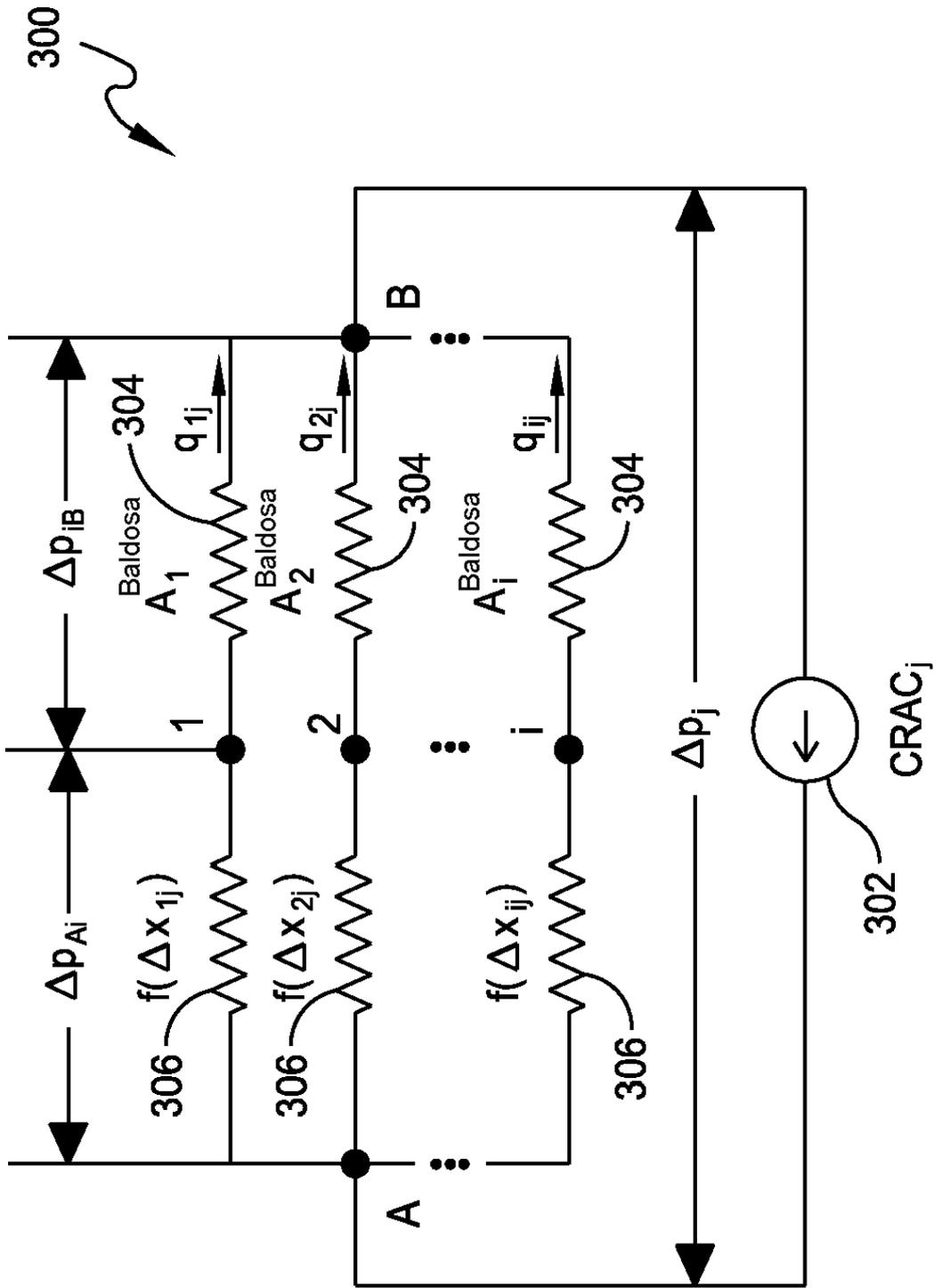


FIG. 3

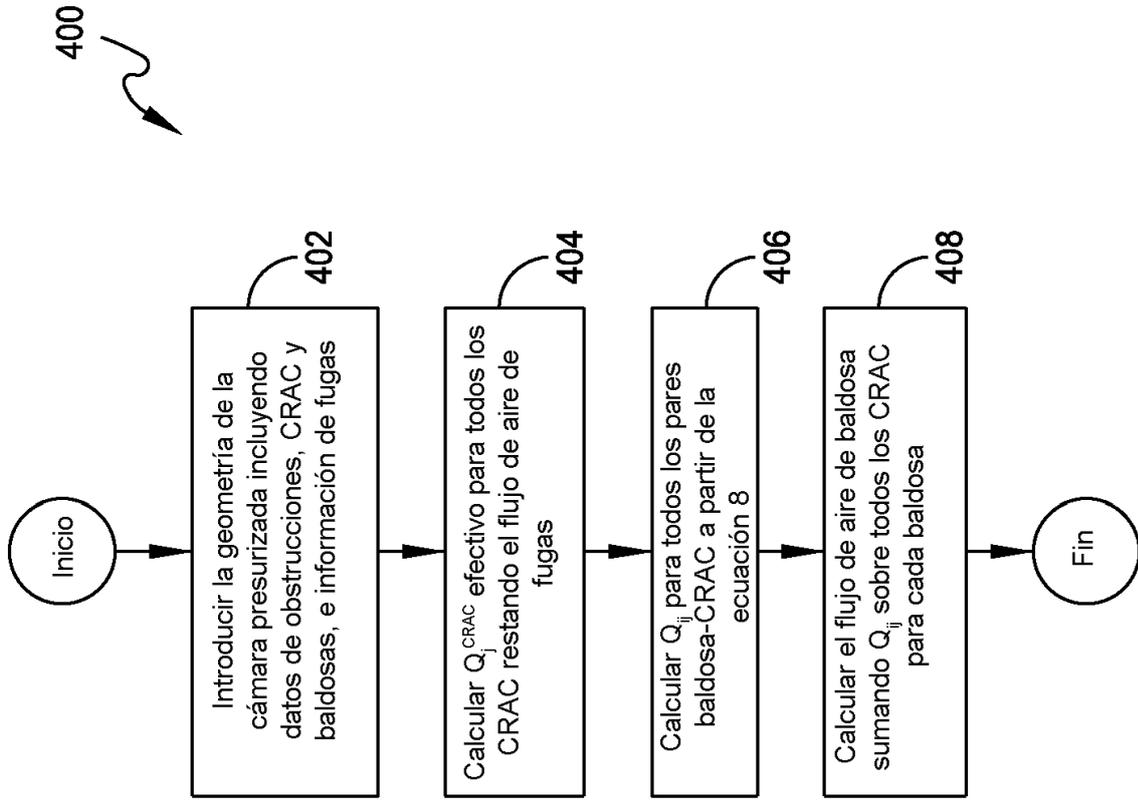


FIG. 4

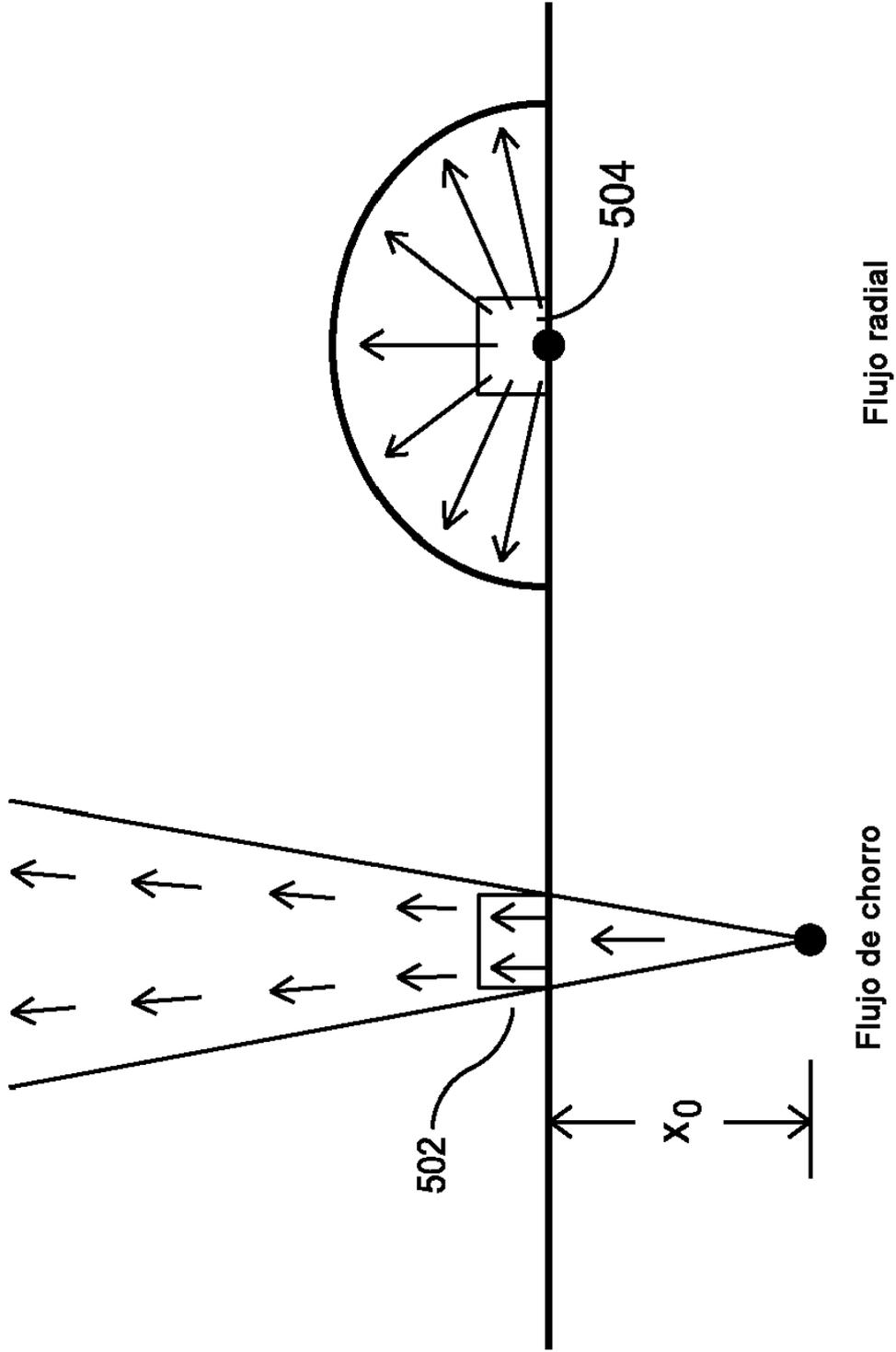


FIG. 5

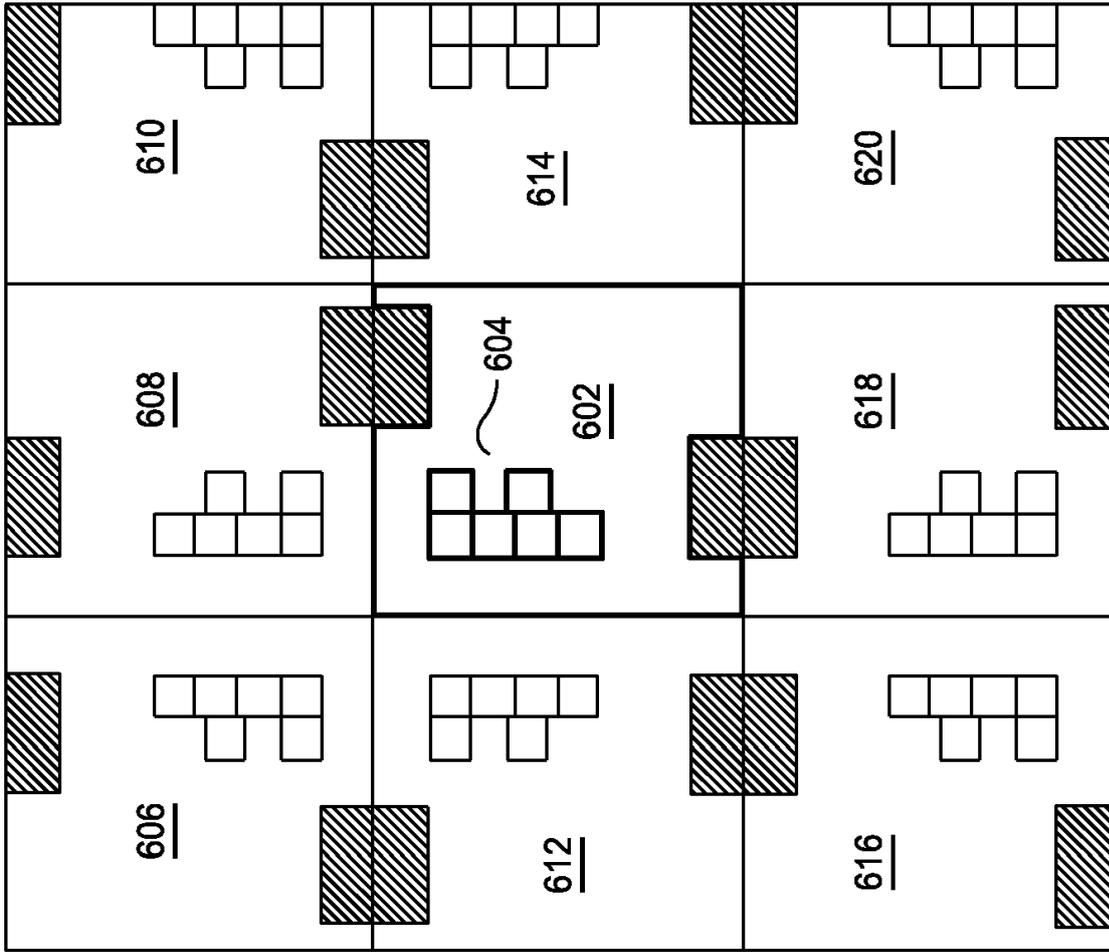


FIG. 6

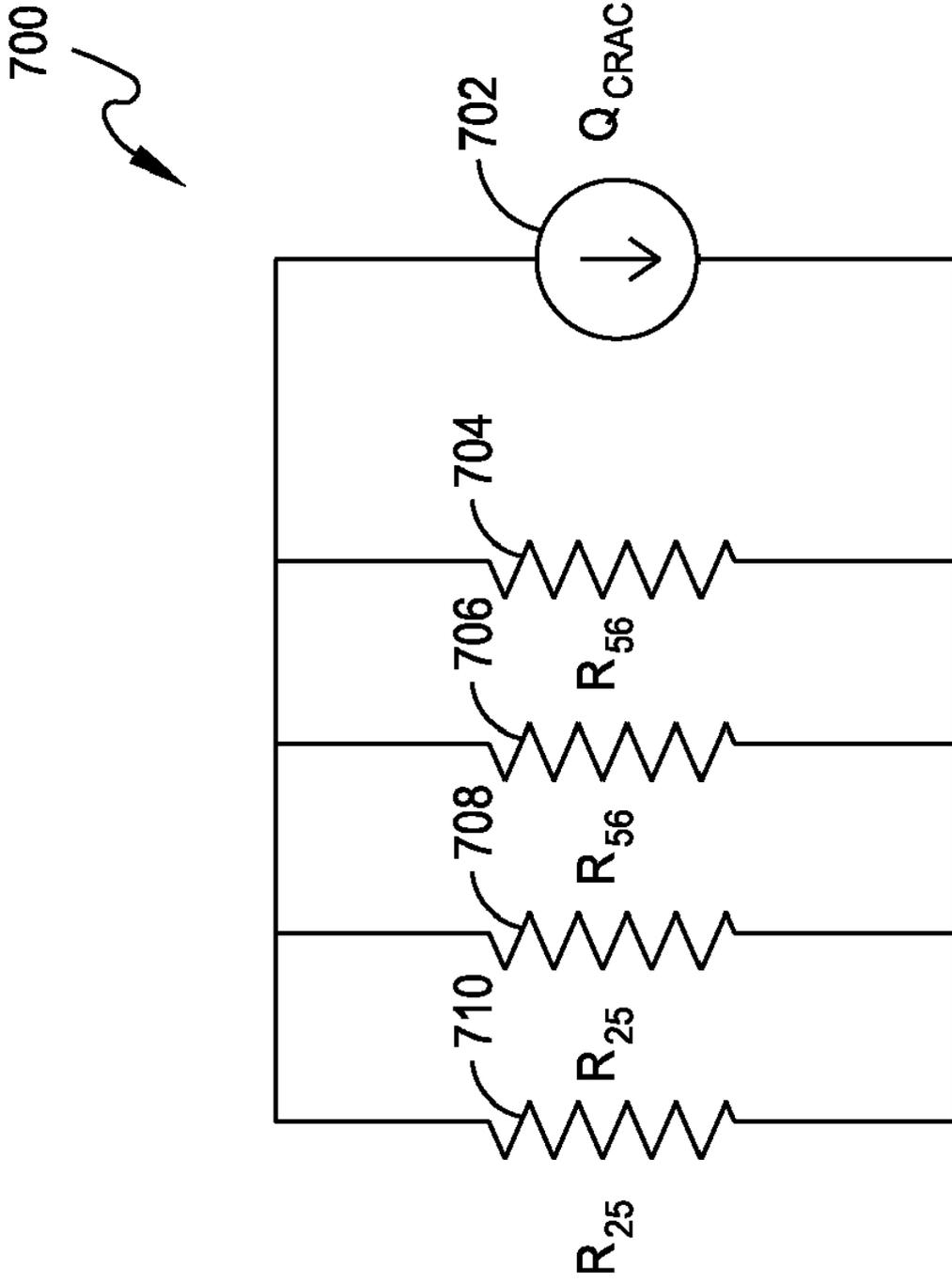


FIG. 7

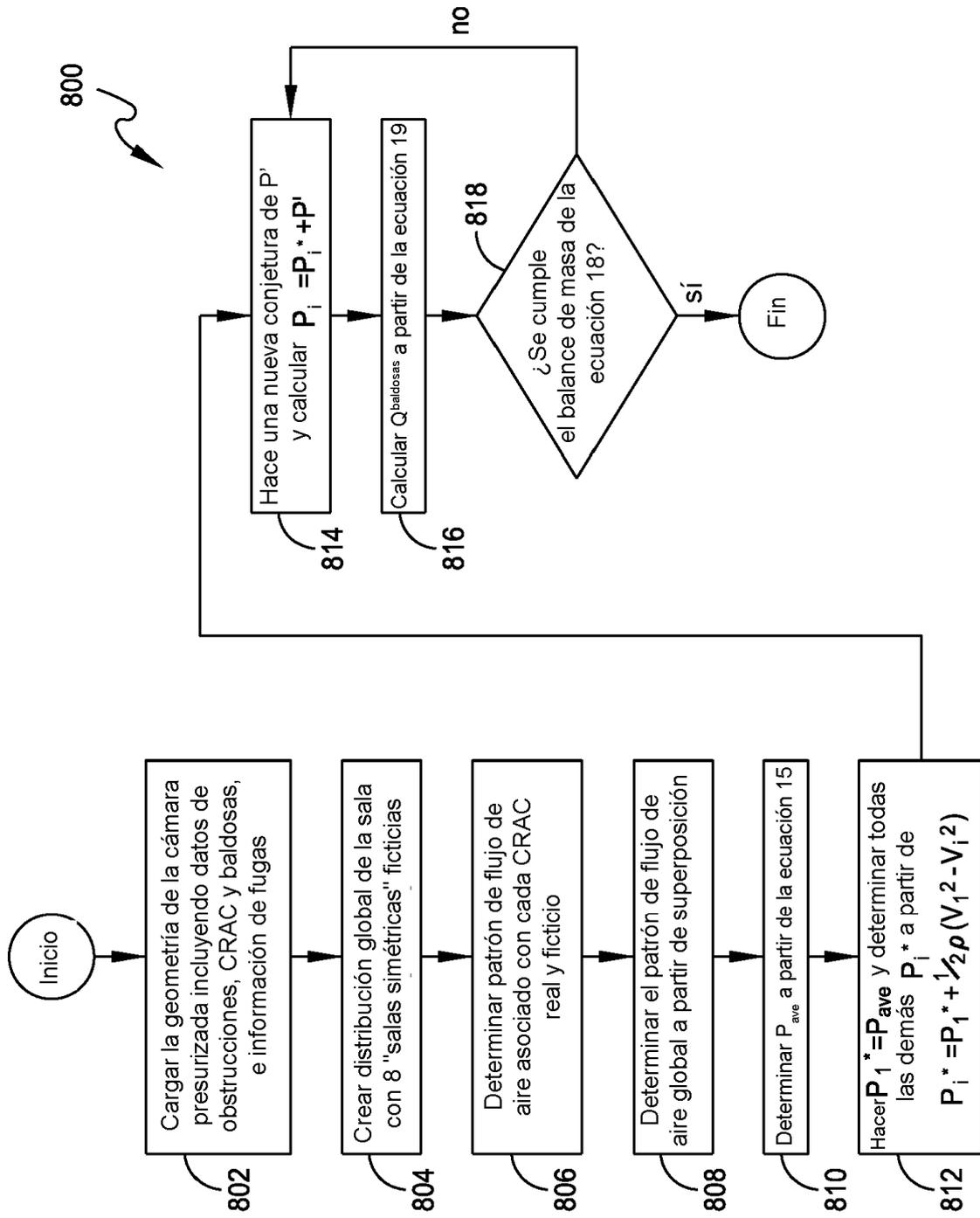


FIG. 8

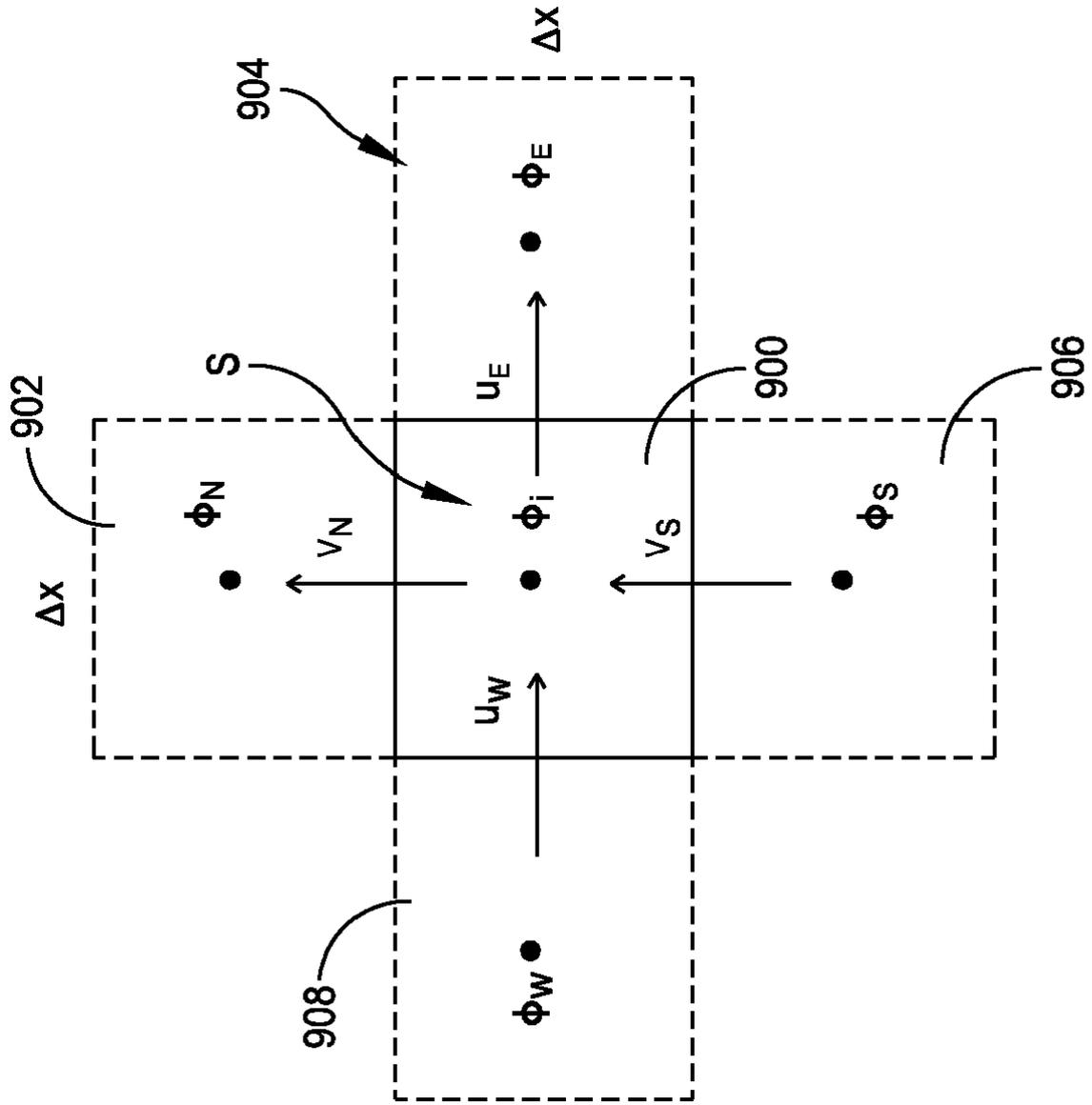


FIG. 9

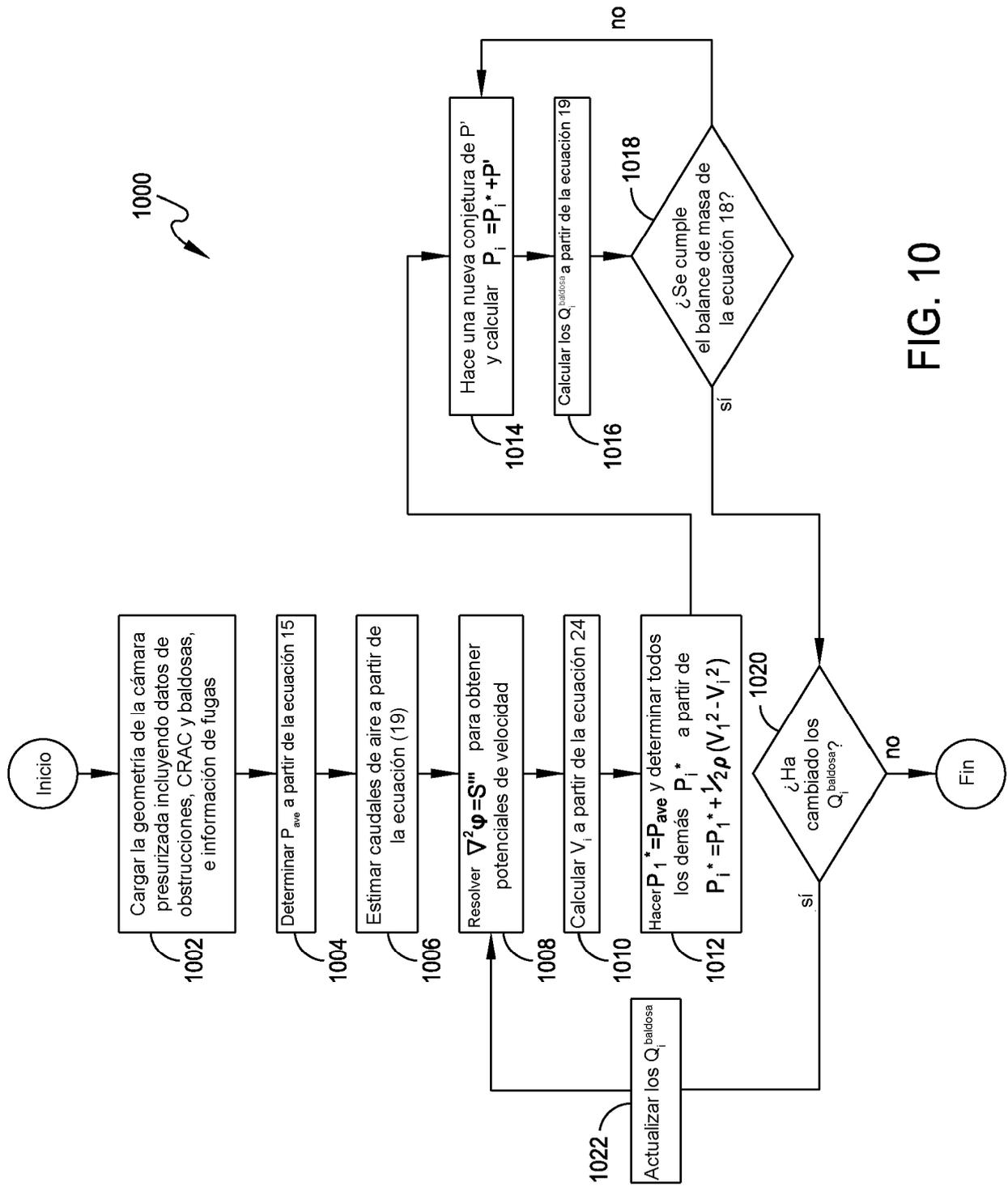


FIG. 10

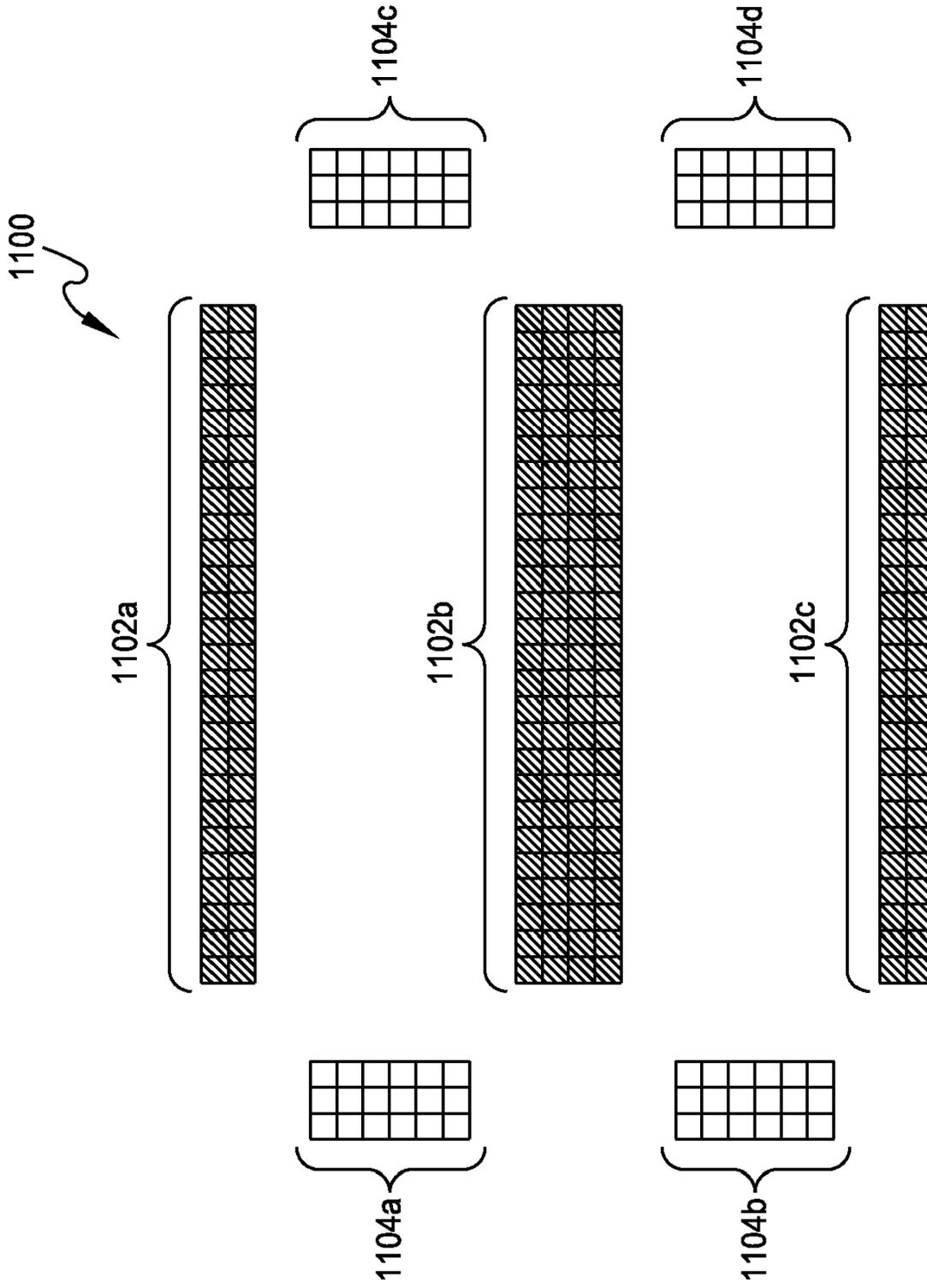


FIG. 11

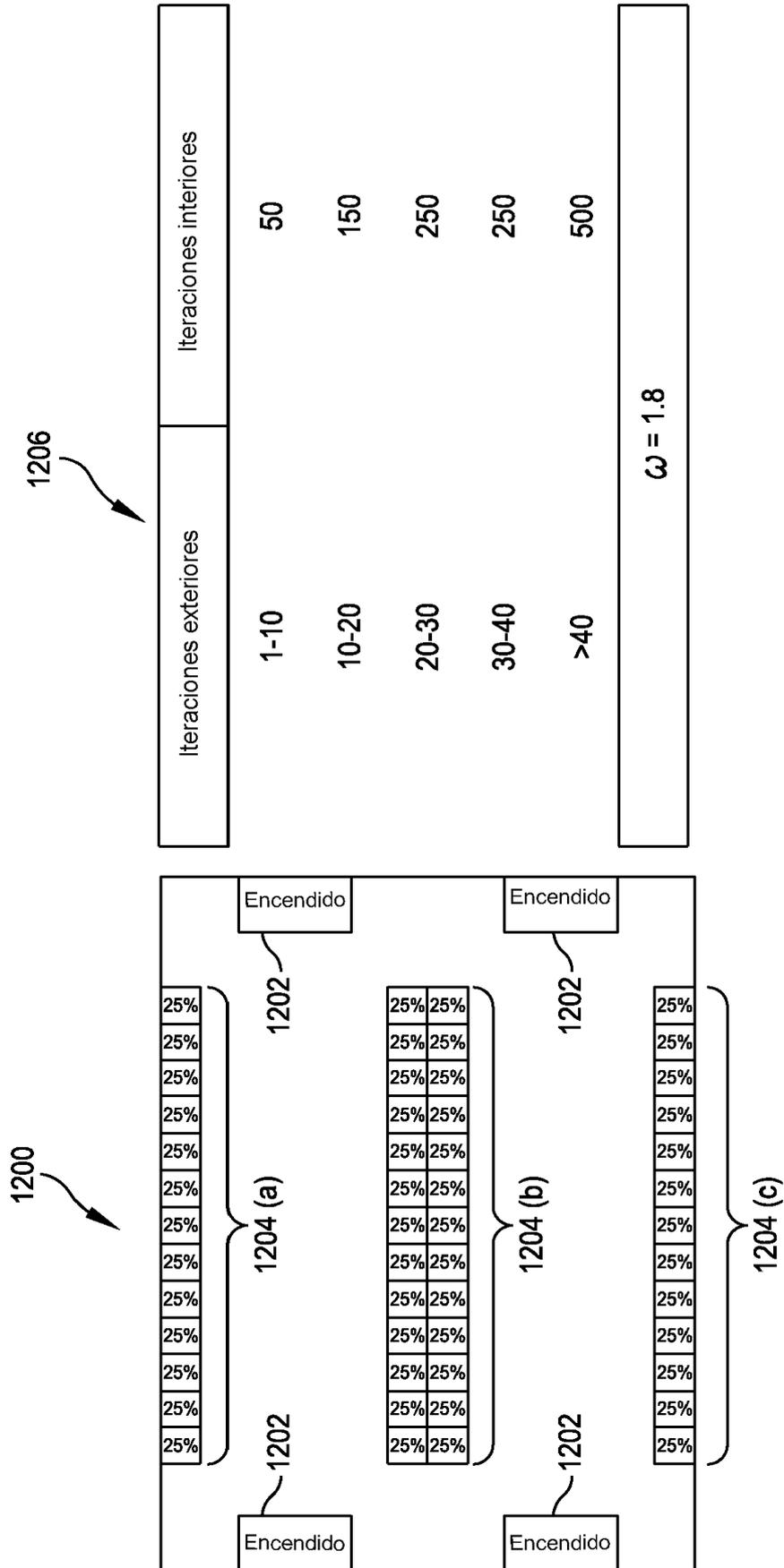


FIG. 12

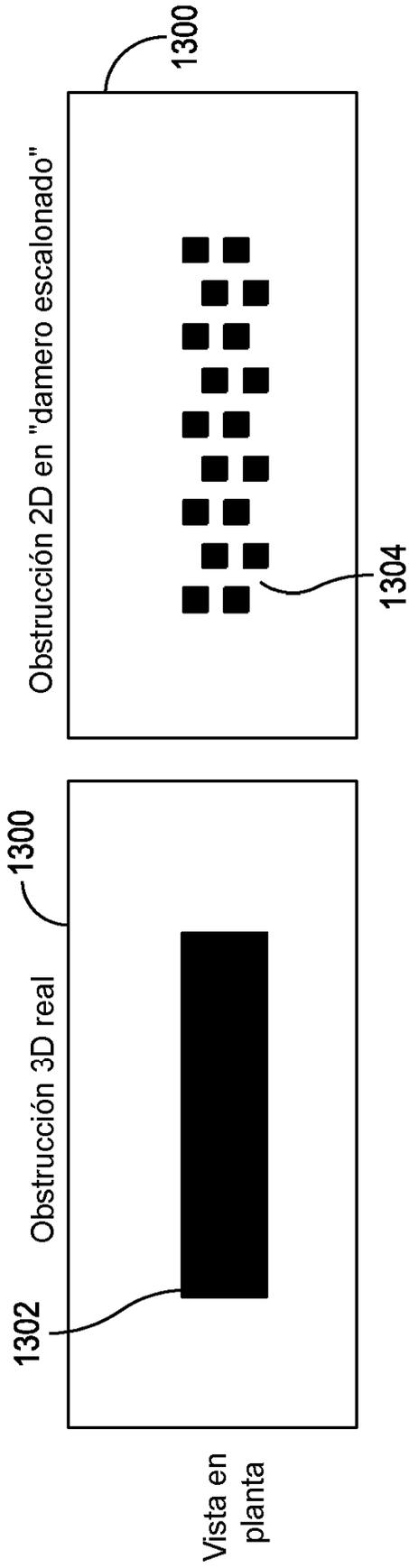


FIG. 13A

FIG. 13C

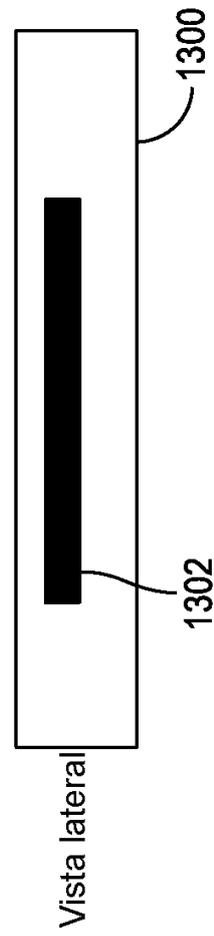


FIG. 13B

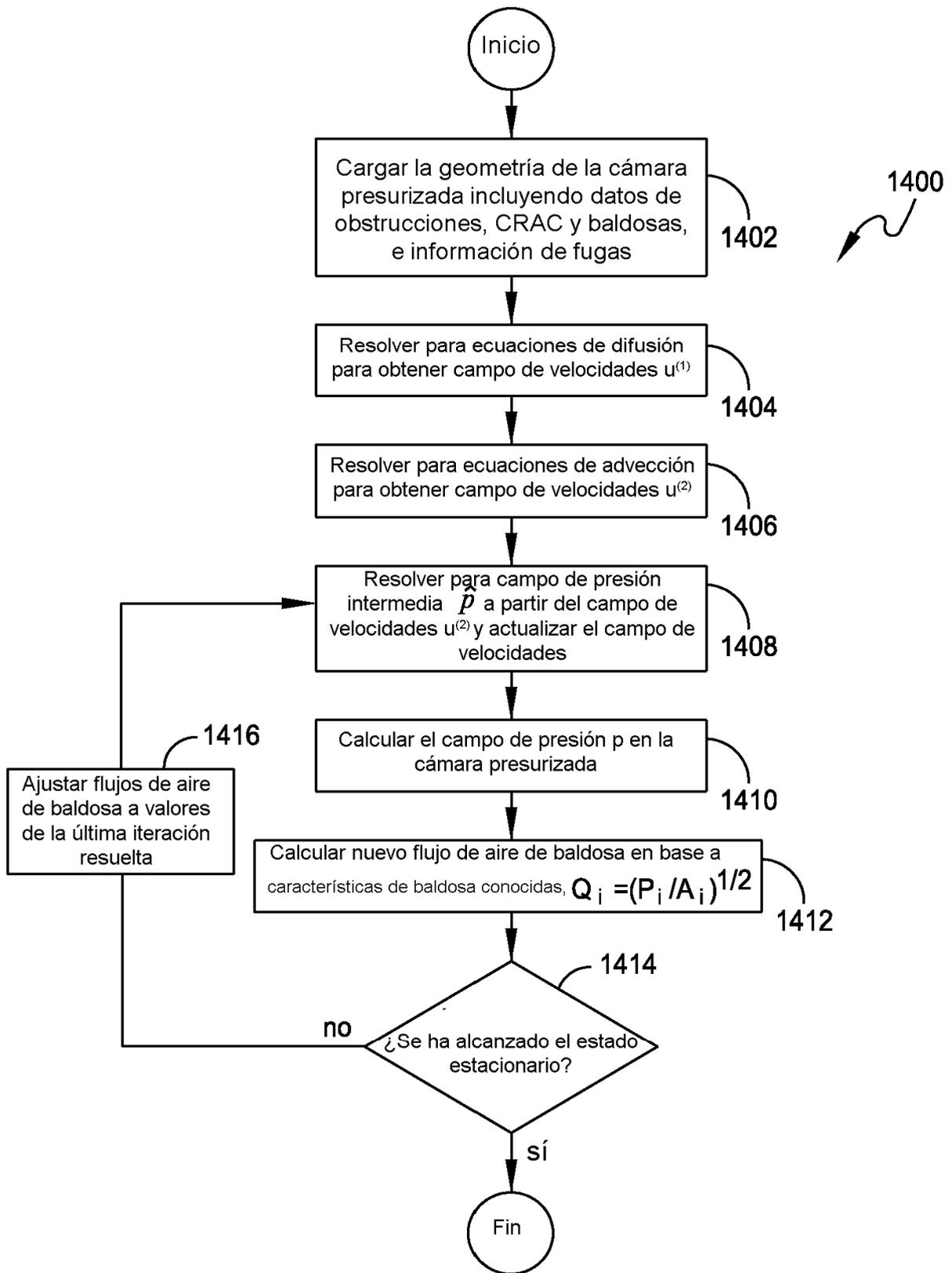


FIG. 14

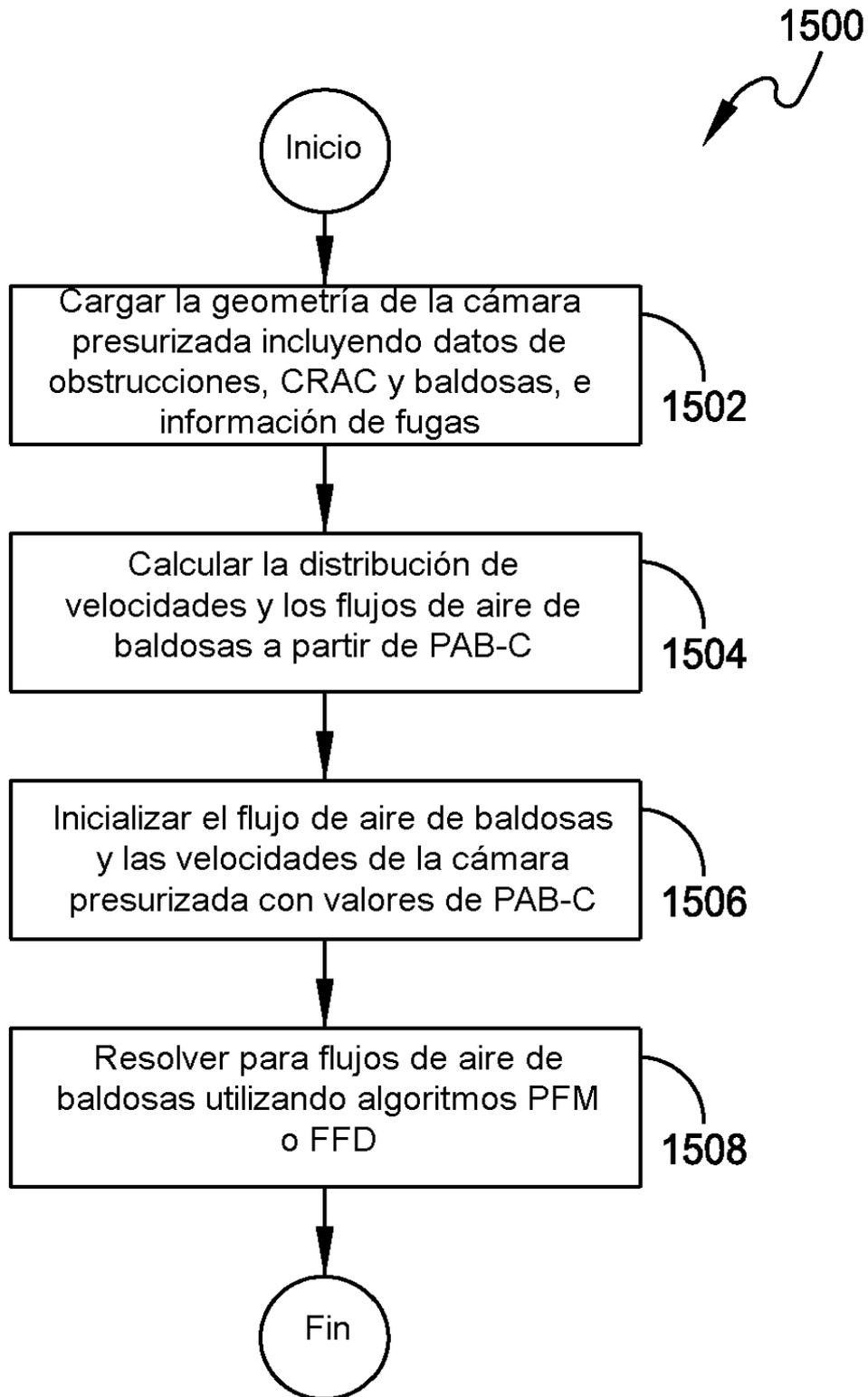


FIG. 15