

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 604 783**

51 Int. Cl.:

H05K 7/20

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.01.2008 PCT/US2008/051908**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.07.2008 WO08092001**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2008 E 08728209 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.09.2016 EP 2123140**

54 Título: **Sistema y método para evaluar el rendimiento de enfriamiento de bastidores de equipos**

30 Prioridad:

24.01.2007 US 897076 P
15.05.2007 US 938034 P

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

09.03.2017

73 Titular/es:

SCHNEIDER ELECTRIC IT CORPORATION
(100.0%)
132 Fairgrounds Road
West Kingston, RI 02892, US

72 Inventor/es:

VANGILDER, JAMES W.;
SHRIVASTAVA, SAURABH K. y
ZHANG, XUANHANG

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 604 783 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 evaluar el rendimiento de enfriamiento de bastidores de equipos

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

- 5 Al menos una realización de la invención se refiere de manera general a métodos y sistemas para analizar y gestionar energía y enfriamiento de una instalación.

Discusión de la tecnología relacionada

10 Los centros de datos centralizados para ordenadores, comunicaciones y otro equipos electrónicos han estado en uso durante un número de años y más recientemente con el aumento de uso de Internet, los centros de datos a gran escala que proporcionan servicios de alojamiento para Proveedores de Servicios de Internet (ISP), Proveedores de Servicios de Aplicaciones (ASP) y proveedores de contenidos de Internet están llegando a ser más frecuentes. Los centros de datos centralizados típicos contienen numerosos bastidores de equipos que requieren potencia, enfriamiento y conexiones a instalaciones de comunicaciones externas. En los centros de datos y salas de red modernos, el aumento de la densidad de equipos informáticos usados en estas instalaciones ha sometido tensiones en los sistemas de enfriamiento y potencia de las instalaciones. En el pasado, el consumo de potencia típico para cada envolvente de equipos en una instalación de datos era del orden de 1kW. Con el uso de tarjetas de servidores y otros equipos de alta densidad de potencia en los bastidores de equipos, no es poco común para un bastidor de equipos tener un consumo de potencia de 10kW o incluso tan alto como 25kW.

20 Típicamente, la potencia consumida por equipos informáticos se convierte en calor y los requisitos de enfriamiento de una instalación se determinan en base a los requisitos de potencia de la instalación. Los centros de datos típicos utilizan cámaras de aire bajo suelos elevados para distribuir aire de enfriamiento a través de un centro de datos. Uno o más acondicionadores de aire de sala informática (CRAC) o manipuladores de aire de sala informática (CRAH) se distribuyen típicamente a lo largo de la periferia de la sala de datos y estas unidades extraen aire de retorno de la sala o una cámara de techo y distribuyen aire de enfriamiento debajo del suelo elevado. Se pueden colocar baldosas perforadas en frente o debajo de los bastidores de equipos para ser enfriados para permitir que el aire de enfriamiento de debajo del suelo enfríe los equipos dentro de los bastidores. Más recientemente, se han usado enfriadores en fila para extraer aire caliente de un pasillo caliente en un centro de datos y devolver aire fresco a un pasillo frío en el centro de datos.

30 Con los requisitos de enfriamiento y potencia en aumento de los equipos informáticos, es necesario para un gestor de centro de datos determinar si hay potencia y enfriamiento adecuados disponibles en la instalación cuando se diseña por primera vez una instalación y antes de que se puedan añadir nuevos equipos o de sustitución. Típicamente, un gestor de centro de datos puede conocer o puede determinar, si la capacidad de enfriamiento total del centro de datos es suficiente para la extracción total de potencia. No obstante, pueden desarrollarse puntos calientes en una instalación, particularmente donde se usan equipos de alta densidad de potencia y puede no ser suficiente analizar meramente la capacidad de enfriamiento a nivel de instalación. Para intentar identificar los puntos calientes, un gestor de centro de datos puede recurrir a mediciones manuales de temperatura en toda una instalación e intentar implementar correcciones para corregir los puntos calientes. Tales correcciones pueden implicar una reasignación o recolocación de paneles de suelo perforados, una reasignación de envolventes y/o añadir capacidad de enfriamiento. En cualquier caso, estas correcciones se hacen típicamente de una forma por ensayo y error y mientras que algunos puntos calientes se pueden eliminar, las correcciones pueden hacer que otros puntos calientes surjan debido a una redirección del aire de enfriamiento en la instalación. Este planteamiento de ensayo y error puede conducir a fallos inesperados de equipos, lo cual es inaceptable en centros de datos críticos. Para evitar tales fallos, los gestores de centros de datos típicamente sobredimensionan las instalaciones y dejan de usar las instalaciones a su plena capacidad.

45 El documento WO2006/119248 A describe un método de determinación de la características de enfriamiento de un centro de datos (páginas 4-5) que comprende: recibir datos relacionados con una configuración de equipos en el centro de datos (páginas 25-26); identificar las agrupaciones de bastidores en la configuración de equipos (página 22) y para cada agrupación de bastidores determinar si la agrupación de bastidores es una agrupación de pasillo caliente o una agrupación de pasillo frío (páginas 10-11, 18-19); y determinar un índice de captura para al menos un bastidor de equipos en al menos una agrupación de bastidores en base a la identificación de la al menos una agrupación de bastidores como una agrupación de pasillo caliente o una agrupación de pasillo frío (páginas 10-11).

Compendio de la invención

55 El índice de captura (CI) adimensional es una métrica de rendimiento de enfriamiento usada en al menos una realización y se basa en los patrones de flujo de aire asociados con el suministro de aire fresco a o la retirada de aire caliente de un bastidor. El índice de captura es típicamente una métrica bastidor por bastidor con valores entre cero y 100%; los valores más altos generalmente implican buen rendimiento de enfriamiento y escalabilidad de una arquitectura de enfriamiento. En algunas realizaciones, el índice de captura proporciona información adicional

relativa a las temperaturas de entrada de bastidor y otros índices de enfriamiento. Se pueden usar dos variantes del índice de captura en al menos una realización, una para análisis de pasillo frío y otra para análisis de pasillo caliente.

Un aspecto de la invención se dirige a un método de determinación de las características de enfriamiento de un centro de datos según la reivindicación 1.

5 En el método, recibir datos puede incluir además recibir información relacionada con el flujo de aire y la potencia asociados con los equipos, incluyendo el flujo de aire de enfriamiento disponible para la al menos una agrupación de bastidores y la temperatura del aire de enfriamiento. Además, la información relacionada con el flujo de aire puede incluir el flujo de aire del escape de aire caliente del bastidor extraído por los enfriadores y puede incluir la temperatura del escape de aire caliente del bastidor. El método puede incluir además seleccionar un modelo de cálculo seleccionado para determinar el índice de captura en base al menos en parte a la configuración del equipo y calcular el índice de captura usando el modelo de cálculo seleccionado. El modelo de cálculo seleccionado puede ser un modelo algebraico. En una versión, el modelo algebraico calcula el índice de captura de un bastidor en una agrupación de pasillo caliente en base a una relación del flujo de aire total capturado al flujo de aire total suministrado en el bastidor, el flujo de aire total capturado se calcula en base al flujo de aire de todos los enfriadores en la agrupación de pasillo caliente y las distancias horizontales desde los enfriadores al bastidor y el flujo de aire total suministrado se calcula en base al flujo de aire del bastidor, el flujo de aire de bastidores colindantes y las distancias horizontales de los bastidores colindantes desde el bastidor. El flujo de aire total suministrado y el flujo de aire total capturado se pueden calcular además usando un coeficiente de acoplamiento para ponderar el flujo de aire calculado de los bastidores en una fila opuesta al bastidor.

20 En otra versión del método, el modelo algebraico calcula el índice de captura de un bastidor en una agrupación de pasillo frío que tiene un suelo elevado en base a una relación del flujo de aire total suministrado al flujo de aire total capturado en el bastidor, el flujo de aire total capturado se calcula en base al flujo de aire del bastidor, el flujo de aire de bastidores colindantes y las distancias horizontales de los bastidores colindantes desde el bastidor y el flujo de aire total suministrado se calcula en base al flujo de aire suministrado en el bastidor asociado con el flujo de aire de las baldosas del suelo elevado y las distancias geométricas de las baldosas desde el bastidor. El flujo de aire total capturado se puede calcular usando un coeficiente de acoplamiento para ponderar el flujo de aire calculado de los bastidores en una fila opuesta al bastidor.

25 En otra versión, el modelo algebraico calcula el índice de captura de un bastidor en una agrupación de pasillo frío que tiene tanto un suelo elevado como al menos un enfriador en base a una relación del flujo de aire total suministrado al flujo de aire total capturado en el bastidor, en donde el flujo de aire total capturado se calcula en base al flujo de aire del bastidor, el flujo de aire de bastidores colindantes y las distancias horizontales de los bastidores colindantes desde el bastidor y en donde el flujo de aire total suministrado se calcula en base a (1) el flujo de aire suministrado en el bastidor asociado con el flujo de aire de las baldosas del suelo elevado y las distancias geométricas de las baldosas desde el bastidor y (2) el flujo de aire de los enfriadores en la agrupación de pasillo frío, el camino de flujo de aire de los enfriadores y las distancias horizontales de los enfriadores desde el bastidor.

30 En otras versiones del método, el modelo de cálculo seleccionado puede ser un modelo de dinámica de fluidos computacional, un modelo de red neuronal o un modelo PDA-CFD.

35 En el método, el centro de datos puede incluir al menos una unidad de enfriamiento en fila dispuesta en una fila de bastidores de equipos y el método además puede incluir determinar la temperatura del aire de retorno a la al menos una unidad de enfriamiento en fila en base al índice de captura para cada bastidor dentro de una agrupación asociada con la unidad de enfriamiento en fila. El método además puede incluir determinar la potencia total escapada para al menos una agrupación de bastidores y proporcionar una indicación de la potencia total escapada. El método también puede incluir comparar el índice de captura con un umbral y proporcionar una indicación si el índice de captura está por debajo del umbral. El método puede incluir optimizar una disposición de al menos una agrupación en base a una indicación de un bastidor de la al menos una agrupación que tiene un índice de captura menor que el umbral y proporcionar una disposición optimizada.

Otro aspecto se dirige a un sistema de gestión de centro de datos según la reivindicación 17.

40 En el sistema, el controlador se puede configurar para recibir información relacionada con el flujo de aire y la potencia asociada con el equipo y se puede configurar para determinar el índice de captura en base al flujo de aire de aire de enfriamiento disponible para la al menos una agrupación de bastidores. El controlador se puede configurar para determinar el índice de captura en base a la temperatura del aire de enfriamiento, el flujo de aire del escape de aire caliente del bastidor extraído por los enfriadores y la temperatura del escape de aire caliente del bastidor. El controlador también se puede configurar para determinar el índice de captura para al menos un bastidor de una agrupación de pasillo caliente que tiene un enfriador en fila y configurar para determinar el índice de captura para al menos un bastidor de una agrupación de pasillo frío que recibe aire de enfriamiento desde una baldosa perforada de un suelo elevado. El controlador se puede configurar además para determinar la temperatura del aire de retorno para al menos una unidad de enfriamiento en fila en base al índice de captura para cada bastidor dentro de una agrupación asociada con la unidad de enfriamiento en fila. El controlador se puede configurar además para determinar la potencia total escapada para al menos una agrupación de bastidores y proporcionar una indicación de

la potencia total escapada. El controlador se puede configurar además para comparar el índice de captura con un umbral y proporcionar una indicación si el índice de captura está por debajo del umbral. El controlador se puede configurar además para optimizar una disposición de al menos una agrupación en base a una indicación de un bastidor de la al menos una agrupación que tiene un índice de captura menor que el umbral y proporcionar una disposición optimizada. El sistema puede incluir además un dispositivo de salida gráfica acoplado al controlador y el controlador se puede configurar para proporcionar una salida gráfica de una disposición de al menos una agrupación de bastidores al dispositivo de salida gráfica.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos anexos no se pretende que estén dibujados a escala, en los dibujos, cada componente idéntico o casi idéntico que se ilustra en diversas figuras se representa por un número igual. Por propósitos de claridad, no todos los componentes pueden estar etiquetados en cada dibujo. En los dibujos:

- la Figura 1a muestra una agrupación de bastidores que rodean un pasillo frío en un centro de datos;
- la Figura 1b muestra una agrupación de bastidores que rodean un pasillo caliente en un centro de datos;
- la Figura 2 muestra un diagrama de flujo de un proceso de una realización;
- la Figura 3a muestra un ejemplo de cálculo del índice de captura según una realización;
- la Figura 3b muestra un ejemplo de cálculo del índice de captura en una segunda realización;
- la Figura 4a muestra un ejemplo de una agrupación de bastidores que rodean un pasillo frío usado según un cálculo de CFD en una realización;
- la Figura 4b muestra un ejemplo de una agrupación de bastidores que rodean un pasillo caliente usado según un cálculo de CFD en una realización;
- las Figuras 5a y 5b demuestran los cálculos de métricas de rendimiento de toda la agrupación según una realización;
- la Figura 6a muestra una vista en planta de una agrupación de bastidores usada en los cálculos de rendimiento de enfriamiento en una realización;
- la Figura 6b muestra una vista en planta de la agrupación de bastidores de la Figura 6a optimizada para rendimiento de enfriamiento;
- la Figura 7 muestra un diagrama usado en la determinación del índice de captura según un método algébrico de una realización;
- las Figuras 8a y 8b demuestran condiciones límite PDA usadas según al menos una realización;
- la Figura 9a muestra una disposición de un centro de datos que se puede analizar según al menos una realización;
- la Figura 9b muestra los resultados de un análisis realizado según una realización en una parte de la disposición del centro de datos de la Figura 9a;
- la Figura 10a muestra una disposición de un centro de datos que se puede analizar según al menos una realización;
- la Figura 10b muestra los resultados de un análisis realizado según una realización en una parte de la disposición del centro de datos de la Figura 10a;
- las Figuras 11a y 11b muestran comparaciones de métodos de cálculo de CI de la presente invención para dos agrupaciones de bastidores diferentes;
- las Figuras 12a y 12b muestran disposiciones optimizadas de las agrupaciones de bastidores de las Figuras 11a y 11b;
- la Figura 13 es un diagrama de bloques funcional de un sistema informático que se puede usar en realizaciones de la invención; y
- la Figura 14 es un diagrama de bloques funcional de un sistema de almacenamiento que se puede usar con el sistema informático de la Figura 13.

Descripción detallada

Dentro de un centro de datos, los bastidores de equipos electrónicos se disponen típicamente en filas con aire de enfriamiento suministrado a través de un suelo elevado a través de baldosas de suelo perforadas. El aire caliente se devuelve típicamente al ambiente de la sala y en última instancia a unidades de enfriamiento situadas alrededor del perímetro de la sala. Otra opción es situar unidades de enfriamiento directamente dentro o alrededor de las filas de bastidores para proporcionar una estrecha adaptación entre la carga del bastidor y los recursos de enfriamiento y debido a que todo el enfriamiento requerido se suministra localmente, tal diseño es escalable inherentemente. Con cualquiera de las dos arquitecturas, los equipos a menudo se disponen en pasillos fríos y calientes alternos para fomentar mayor separación de los flujos de suministro de frío y de retorno caliente. Mientras que tal disposición de equipos se puede usar para proporcionar enfriamiento más eficientemente para equipos del centro de datos, la incapacidad de un gestor de centro de datos para determinar con precisión el rendimiento de enfriamiento de un centro de datos, aún puede conducir al sobrediseño costoso del centro de datos y conducir potencialmente a fallos de equipos debido al sobrecalentamiento. La Solicitud de Patente de EE.UU. 11/342.300, titulada *Methods and Systems for Managing Facility Power and Cooling*, presentada el 27 de enero de 2006, describe sistemas y métodos para analizar el rendimiento de enfriamiento de un centro de datos que tiene filas de bastidores de equipos. En la solicitud referenciada, se usa análisis de flujo de aire para evaluar el rendimiento de enfriamiento de un centro de datos, usando un número de métricas diferentes incluyendo el índice de captura (CI). Otras métricas tratadas en la presente memoria incluyen el índice de recirculación (RI), Índice de Calor de Suministro (SHI), Índice de Calor de Retorno (RHI) e Índice de Enfriamiento de Bastidor (RCI). El índice de calor de retorno (RHI) y el índice de calor de suministro (SHI) miden el grado de separación de los flujos de suministro de frío y de retorno de calor sobre una base de entalpía y, por lo tanto, se basan en las temperaturas. El índice de enfriamiento de bastidor (RCI) es una medida del grado al que múltiples bastidores de un centro de datos se mantienen dentro de algún intervalo de temperatura de entrada recomendado. En la solicitud referenciada, el índice de captura para un bastidor se define como el porcentaje de aire liberado por el bastidor a un pasillo caliente, que se captura por las unidades de enfriamiento que delimitan el pasillo caliente. Al menos una realización tratada en la presente memoria se dirige a un sistema y/o método para analizar y optimizar el rendimiento de enfriamiento de un centro de datos usando la métrica de índice de captura tanto para pasillos calientes como pasillos fríos. El índice de captura de pasillo frío para un bastidor se define en una realización como la fracción de aire ingerido por el bastidor que se origina a partir de recursos de enfriamiento locales (por ejemplo, baldosas de suelo perforadas o enfriadores locales), mientras que el índice de captura de pasillo caliente se define en una realización como la fracción de aire escapado por un bastidor que se captura por extractos locales (por ejemplo, enfriadores locales o respiraderos de retorno).

La Figura 1a muestra una agrupación de pasillo frío simple 102 en un entorno de suelo elevado. La agrupación 102 incluye bastidores de equipos 104a dispuestos en una primera fila y bastidores de equipos 104b dispuestos en una segunda fila con el frontal de los bastidores de equipos 104a que se enfrenta al frontal de los bastidores de equipos 104b. Un pasillo frío 106 separa la primera fila de la segunda fila y el pasillo frío incluye baldosas perforadas 108 de un suelo elevado que proporcionan aire fresco para los equipos en los bastidores. Los bastidores de equipos 104a y 104b se configuran para recibir aire fresco para equipos en los frontales de los bastidores y escapar aire caliente fuera de las partes traseras de los bastidores. En al menos una realización descrita en la presente memoria, es una meta de diseño asegurar que todas las temperaturas de entrada de bastidor se mantienen dentro de un intervalo especificado. La estrategia usada es asegurar que los bastidores ingieren ante todo el flujo de aire de enfriamiento de las baldosas perforadas antes que aire recirculado caliente que ya se ha calentado por los equipos electrónicos. Los bastidores pueden tener requisitos de flujo de aire muy diferentes y pueden competir unos con otros por el flujo de aire de enfriamiento suministrado por todas las baldosas perforadas en las inmediaciones, que pueden incluir el pasillo frío entero. De esta manera, es la dinámica del flujo de aire dentro y alrededor del pasillo frío – junto con el suministro y las temperaturas de la sala circundantes la que determina el rendimiento de enfriamiento y una agrupación de pasillo frío es una unidad de diseño y análisis particularmente útil usada en realizaciones particulares.

La Figura 1b muestra una agrupación de pasillo caliente simple 112 en un entorno de suelo duro con enfriadores en fila locales 120. La agrupación 112 incluye bastidores de equipos 114a dispuestos en una primera fila y bastidores de equipos 114b dispuestos en una segunda fila con las partes traseras de los bastidores de equipos 114a que enfrentan las partes traseras de los bastidores de equipos 114b. Los bastidores de equipos 114a y 114b se configuran para recibir aire fresco para equipos en el frontal de los bastidores y escapar aire caliente al pasillo caliente fuera de las partes traseras de los bastidores. Cada enfriador en fila 120 en la figura es una unidad de enfriamiento de anchura de medio bastidor que extrae aire caliente del pasillo caliente y proporciona aire fresco a los frontales de los bastidores 114a así como los bastidores 114b y otros bastidores colindantes (no mostrados). En realizaciones particulares, cuando el aire de escape de bastidor caliente se captura localmente, como en la Figura 1b, se puede emplear una estrategia de diseño de “sala neutra” en donde los enfriadores locales (o respiraderos de retorno) se configuran para capturar la mayoría del flujo de aire de escape de bastidor caliente al tiempo que se suministra aire de enfriamiento a un pasillo fresco a o cerca de la temperatura ambiente. Si se logra la meta de sala neutra, muchas de tales agrupaciones se pueden desplegar en todo un centro de datos sin o con poco calentamiento neto del ambiente de sala en general y todas las entradas de equipos recibirán aire acondicionado uniformemente. Por lo tanto, el diseño de enfriamiento es “escalable”. En al menos algunas realizaciones que usan una estrategia de diseño de sala neutra el pasillo caliente se cierra físicamente, aislándolo por ello del ambiente del centro de datos circundante. De esta manera, es la dinámica de flujo de aire dentro y alrededor del pasillo caliente la que determina el éxito de la estrategia de diseño de sala neutra y, por lo tanto, una agrupación de pasillo caliente es una unidad de diseño y análisis particularmente útil en al menos algunas realizaciones de la invención.

Dado que el índice de captura para cada bastidor se define en al menos algunas realizaciones con referencia a recursos de enfriamiento locales (por ejemplo, el flujo de aire de baldosa perforada o el flujo de aire de extracto de enfriador en las inmediaciones del bastidor), la discusión y los ejemplos en la presente memoria se centran en las agrupaciones individuales. No obstante, el uso del índice de captura en las realizaciones no está restringido a los tipos de agrupaciones mostrados en las Figuras 1a y 1b; una agrupación de pasillo frío se podría definir, por ejemplo, como una única fila de bastidores servidos por un número de baldosas perforadas que incluso no necesitan ser inmediatamente adyacentes a los bastidores.

Como se trató anteriormente, el índice de captura de pasillo frío para un bastidor se define en al menos algunas realizaciones como la fracción de aire ingerido por el bastidor que se origina desde los recursos de enfriamiento locales (por ejemplo, baldosas de suelo perforadas o enfriadores locales). El índice de captura de pasillo caliente se define como la fracción de aire escapado por un bastidor que se captura mediante los extractos locales (por ejemplo, enfriadores locales y respiraderos de retorno). El CI por lo tanto varía entre 0 y 100% con mejor rendimiento de enfriamiento indicado de manera general por los valores de CI mayores. En un análisis de pasillo frío, los CI altos aseguran que la mayor parte del aire ingerido por un bastidor llega desde recursos de enfriamiento locales antes que ser extraído desde el ambiente de sala o desde el aire que puede haber sido ya calentado por equipos electrónicos. En este caso, las temperaturas de entrada de bastidor harán el seguimiento estrechamente de las temperaturas de flujo de aire de baldosa perforada y, suponiendo que estas temperaturas están dentro del intervalo deseado, se logrará un enfriamiento aceptable. En un análisis de pasillo caliente, los CI altos aseguran que el escape de bastidor se captura localmente y hay poco calentamiento del ambiente de sala circundante.

Aunque los valores de CI buenos (altos) típicamente implican buen rendimiento de enfriamiento; los valores de CI bajos no implican necesariamente rendimiento de enfriamiento inaceptable. Por ejemplo, en un bastidor en un entorno de suelo elevado que extrae la mayoría de su flujo de aire del ambiente de sala circundante antes que de las baldosas perforadas, el CI de pasillo frío del bastidor será bajo; no obstante, si el ambiente de sala circundante es suficientemente fresco, la temperatura de entrada del bastidor puede ser aún aceptable. En este caso, las necesidades de enfriamiento del bastidor se cumplen por el ambiente de sala externa antes que las baldosas perforadas dentro de la agrupación de bastidores. Si este proceso se repite muchas veces a través del centro de datos, el enfriamiento de la instalación será complejo y puede ser impredecible. Los valores de CI altos conducen a disposiciones de agrupaciones escalables inherentemente y ambientes de sala más predecibles.

En las realizaciones anteriores, el CI se ha definido como una cantidad a nivel de bastidor relativa a recursos de enfriamiento locales. En otras realizaciones, la definición de CI se podría extender a cualquier agrupación de entradas y salidas, por ejemplo, un único servidor con referencia a una única baldosa perforada. En este caso, la métrica indicaría la fracción de flujo de aire ingerido por el servidor que se originó desde la única baldosa perforada.

El índice de captura en al menos algunas realizaciones cuantifica “desde dónde se originó el flujo de aire de entrada de bastidor” (CI de pasillo frío) o “a dónde viajó en última instancia el flujo de aire de escape” (CI de pasillo caliente). En al menos algunas realizaciones, los CI se calculan para cada bastidor respecto a los recursos de enfriamiento locales y, por lo tanto, cuantifican la ruptura entre enfriamiento suministrado localmente y el enfriamiento extraído desde el ambiente de sala circundante. Por ejemplo (Figura 3A) un bastidor en una agrupación de suelo elevado de pasillo frío con un CI del 65% recibe un 65% de su flujo de aire de enfriamiento desde su propio pasillo frío y el 35% restante del ambiente de sala. De esta manera, el CI es una medida bastidor por bastidor de la independencia de sala y escalabilidad de una solución de enfriamiento.

En al menos una realización, la métrica de índice de captura se usa dentro de una aplicación de gestión de centro de datos para evaluar el rendimiento de enfriamiento de un centro de datos y para optimizar el rendimiento de enfriamiento. La evaluación y optimización se pueden hacer como parte de un diseño inicial de un centro de datos, como parte de una reconversión de un centro de datos o periódicamente en un centro de datos existente. Además, en al menos algunas realizaciones, la temperatura de retorno de los enfriadores en fila se puede determinar como parte del análisis y usar para optimizar el rendimiento de enfriamiento de un centro de datos y asegurar que los enfriadores se operan eficientemente. La aplicación de gestión de centro de datos se pueden situar conjuntamente con otras aplicaciones en un servidor en el centro de datos, se puede operar en un servidor dedicado y/o se puede incorporar en una solución de gestión de centro de datos existente, tal como la InfraStruXure Central e InfraStruXure Manager disponible en American Power Conversion Corporation de West Kingston, RI.

Un proceso 200 para diseñar y analizar un centro de datos usando la aplicación de gestión de centro de datos según al menos una realización se describirá ahora con referencia a la Figura 2 que muestra un diagrama de flujo del proceso 200. En una primera etapa 202 del proceso, se determina una disposición inicial del centro de datos. La disposición puede ser para un nuevo centro de datos, para un centro de datos existente o para un centro de datos a ser actualizado. En una realización, la disposición se puede proporcionar a la aplicación usando por ejemplo, información CAD existente, mientras que en otras realizaciones, la disposición se puede determinar automáticamente por la aplicación como se describe además en la Solicitud de Patente de EE.UU. N° 11/342.300, referenciada anteriormente.

En una siguiente etapa 204 del proceso, las agrupaciones de bastidores se identifican en la disposición donde las agrupaciones típicamente constan de dos filas paralelas de equipos que son aproximadamente iguales en longitud y

separadas unas de otras por un pasillo frío o caliente. Las agrupaciones de pasillo caliente, las agrupaciones de pasillo frío y las agrupaciones de modo mixto están identificadas. Las agrupaciones de pasillo frío se usan típicamente en el análisis de agrupaciones que usan enfriamiento de suelo elevado y agrupaciones de pasillo caliente se usan típicamente en el análisis de agrupaciones que utilizan enfriadores en fila. Además de agrupaciones de pasillo caliente y agrupaciones de pasillo frío, una agrupación particular de bastidores se puede identificar como una agrupación de modo mixto cuando se usan tanto enfriadores en fila como enfriamiento de baldosas perforadas. Para agrupaciones de modo mixto, en al menos una realización, se usa un análisis de CI de pasillo frío. En una realización, los bastidores pueden estar contenidos en más de una agrupación y el CI para los bastidores se puede ejecutar para tales bastidores para cada agrupación. Cuando se determinan múltiples valores de CI para un bastidor, el CI más alto se selecciona en el análisis como el CI para el bastidor, no obstante, en otras realizaciones, se puede usar el CI inferior, ambos se pueden usar o se pueden usar una media o alguna otra combinación matemática de los valores de CI.

En una siguiente etapa 206 del proceso se selecciona una agrupación y en la etapa 208 se ejecuta un análisis de índice de captura para una agrupación seleccionada y se determina un índice de captura para cada bastidor en la agrupación. Se proporcionan además más adelante detalles sobre la realización del análisis. Como se trata más adelante, en las realizaciones de la invención, se puede usar un número de métodos computacionales diferentes para determinar un índice de captura.

En la etapa 210 del proceso, el CI para cada bastidor de la agrupación se compara con un valor umbral que puede depender de la diferencia de temperatura entre la temperatura de entrada de bastidor objetivo máxima y la temperatura de flujo de aire de suministro que incluye flujo de aire de enfriamiento suministrado por baldosas perforadas y enfriadores. A medida que se reduce la diferencia entre las temperaturas objetivo y de suministro, aumenta el umbral de CI para un rendimiento de enfriamiento "bueno". En una realización, la aplicación de gestión de centro de datos proporcionará los resultados de CI para la agrupación en una pantalla de visualización. En la pantalla, los valores calculados para el CI se pueden visualizar junto con un código de colores, tal como verde, amarillo y rojo, para indicar que el CI para el bastidor es satisfactorio (verde), insatisfactorio (rojo) o marginal (amarillo). Si cada uno de los bastidores en una agrupación tiene un resultado satisfactorio, entonces el proceso determina en la etapa 212 si hay más agrupaciones a ser analizadas. Si el resultado de la etapa 212 es SÍ, el proceso vuelve a la etapa 206 donde se selecciona y analiza una siguiente agrupación. Si el resultado de la etapa 212 es NO, entonces el proceso finaliza en la etapa 214. Si el resultado de la etapa 210 es NO, entonces el proceso pasa a una etapa de optimización 216 donde la disposición de la agrupación se optimiza para mejorar el rendimiento. Después de la optimización, el proceso vuelve a la etapa 206, para la determinación de los CI para la disposición optimizada.

Durante el proceso de optimización, las posiciones de los bastidores y enfriadores en la agrupación, los tipos de enfriadores usados, la ubicación de paneles de perforación y otras variables se pueden optimizar hasta que el CI para cada bastidor en la agrupación es mayor que el umbral. En al menos una realización, el proceso de optimización se puede automatizar y realizar por la aplicación de gestión de centro de datos, mientras que en otras realizaciones, se puede requerir a un usuario modificar el diseño de centro de datos para optimizar el rendimiento de enfriamiento. Aún en otras realizaciones, el proceso de optimización puede incluir una combinación de optimización automática y entrada de usuario. Los detalles del proceso de optimización se proporcionan además más adelante.

Usando el proceso 200 descrito anteriormente, la métrica de índice de captura se puede usar para producir una disposición de centro de datos que tiene un rendimiento de enfriamiento satisfactorio. Ejemplos particulares y detalles adicionales del uso del CI en la realización de la invención se describirán ahora en mayor detalle. Como se trató anteriormente, la métrica de CI se puede usar para optimizar la colocación de los bastidores y enfriadores en una agrupación de pasillo caliente con enfriadores locales como la mostrada en la Figura 1b. La meta de diseño para la agrupación en al menos una realización es asegurar que todo el escape del bastidor se captura por los enfriadores de manera que no hay calentamiento neto de la sala. En este caso, los valores de CI bastidor por bastidor muestran explícitamente cuánto del flujo de aire de cada bastidor se captura de manera que se pueden implementar cambios de diseño adecuados hasta que se encuentra una solución aceptable (u óptima). En este caso, las temperaturas de entrada de bastidor y los índices basados en la temperatura solamente indican los síntomas de la captura incompleta de escape de bastidor caliente mientras que los valores de CI identifican los bastidores que causan las temperaturas elevadas de entrada de bastidor. Con los bastidores con los problemas identificados, encontrar una solución de diseño es típicamente un proceso bastante sencillo. Por ejemplo, se pueden mover equipos electrónicos o cargas informáticas, se pueden añadir enfriadores o se puede contener físicamente el escape de bastidores individuales o pasillos calientes enteros. Se proporciona más adelante un ejemplo que ilustra el uso de valores de CI para optimizar la disposición de una agrupación de pasillo caliente en un entorno de enfriador local.

Con un entorno de suelo elevado, una estrategia de diseño de sala neutra típicamente no se puede emplear debido a que el aire de escape de bastidor caliente se devuelve a las unidades de enfriamiento "a través de la sala". En este caso, el foco del análisis del CI está en el flujo de aire y las temperaturas dentro y alrededor del pasillo frío antes que el pasillo caliente y las temperaturas de entrada de bastidor identifican explícitamente los bastidores con problemas de manera que se puedan implementar cambios de diseño adecuados hasta que se encuentre una solución aceptable (u óptima). Por ejemplo, se pueden mover los equipos electrónicos o las cargas informáticas, se pueden cambiar los tipos de baldosas perforadas y las ubicaciones o se pueden añadir unidades de enfriamiento

adicionales. Con un entorno de suelo elevado (u otro entorno en el cual un pasillo frío es el foco de diseño), hay dos razones primarias por qué los valores de CI son útiles además de o en lugar de las temperaturas de entrada de bastidor. En primer lugar, como se trató anteriormente, los valores de CI indican desde dónde se suministran los recursos de enfriamiento y de esta manera medir la independencia de la sala y la escalabilidad de un diseño.

5 Aunque puede haber múltiples formas de disponer un conjunto fijo de equipos todos de los cuales producen aceptables o incluso ideales, temperaturas de entrada de bastidor, la mejor disposición puede ser la que tiene menos impacto en el ambiente de sala. El efecto general de una agrupación en el ambiente de sala se puede determinar a partir de la potencia total escapada, una métrica a lo largo de la agrupación basada en el CI que se trata más adelante. En segundo lugar, en algunas aplicaciones, los patrones de flujo de aire se pueden predecir con algún grado de precisión incluso cuando la temperatura no se pueda.

10 En al menos una realización, el CI para cada bastidor se calcula en base a dinámica de fluidos computacional (CFD) o simulaciones similares. Para calcular el CI, se determina cuantitativamente el origen del flujo de aire que se ingiere por los bastidores en un pasillo frío o por los enfriadores en un análisis de pasillo caliente. Esto se puede lograr introduciendo estratégicamente una o más especies de concentración pasiva en un modelo numérico donde la concentración de especies i en cualquier punto en el fluido se define como

$$C^i = \frac{\text{masa de especies } i}{\text{masa total de fluido}} \quad (1)$$

20 donde “fluido” aquí se refiere al aire y todas las especies de concentración. A cada especie de concentración se le asignan propiedades físicas idénticas al aire de centro de datos; su propósito es únicamente actuar como un trazador pasivo. Típicamente las especies de concentración en el suministro de aire de enfriamiento o escapes de bastidor se prescriben con el valor “1” en el modelo numérico – en otras palabras el flujo de enfriamiento o de escape de bastidor se hace que conste enteramente de la concentración de trazador pasivo. A medida que las especies de concentración viajan dentro y alrededor del pasillo frío o caliente, se mezclan con otros fluidos; la cantidad de disolución de la especie de concentración calculada en las entradas del bastidor o enfriador se puede usar entonces para calcular el índice de captura.

25 La técnica perfilada anteriormente se implementa a través de análisis CFD en el que las ecuaciones de conservación de especies se pueden resolver simultáneamente junto con otras ecuaciones de conservación que gobiernan el flujo de aire. Alternativamente, dado que las especies de concentración pasivas no afectan a los patrones de flujo de aire, las distribuciones de concentración se pueden determinar separadamente a partir de flujos de aire conocidos; por ejemplo, como un paso de procesamiento posterior.

30 El CI para cada bastidor en una agrupación de pasillo frío se calcula como la fracción del flujo de aire del bastidor que llega directamente desde las baldosas de suelo perforadas o enfriadores colocados dentro de la agrupación. Por lo tanto, solamente una especie de concentración, (C^1 o simplemente, C) necesita ser definida y se usa para identificar el aire que emerge desde todas las baldosas perforadas o enfriadores locales. A todo el flujo de aire de enfriamiento que entra en la agrupación se le asigna generalmente la concentración $C_{\text{enfriamiento}}$ y el índice de captura en cada bastidor i se puede calcular como

$$CI_i = \frac{C_i}{C_{\text{enfriamiento}}} \quad (2)$$

35 donde C_i es la concentración a la entrada del bastidor i . Dado que el valor de $C_{\text{enfriamiento}}$ es arbitrario, es conveniente fijar $C_{\text{enfriamiento}} = 1$ en el análisis numérico haciendo el índice de captura igual numéricamente a la concentración de entrada calculada en cada bastidor:

$$40 \quad CI_i = C_i \quad (3)$$

Señalar que no necesita ser asignado un valor de $C_{\text{enfriamiento}}$ a todos los recursos locales de flujo de aire de enfriamiento. Si, por ejemplo, el flujo de aire desde solamente una baldosa perforada se “etiqueta” con $C_{\text{enfriamiento}}$, el índice de captura calculado indicará cuánto del flujo de aire del bastidor se originó desde esa baldosa perforada.

45 La Figura 3a muestra un ejemplo simple de cálculo del índice de captura de pasillo frío para un bastidor 230 en un entorno de suelo elevado. Una concentración de $C=1$ se prescribe para el flujo de aire de la baldosa perforada. Una parte del flujo de aire del bastidor llega directamente desde las baldosas perforadas y el resto consta de aire extraído desde el ambiente de sala o los escapes de bastidores. Los dos flujos se mezclan y el análisis numérico muestra que la concentración a la entrada del bastidor es $C=0,75$ y el índice de captura es 75% en base a la Ecuación 3. Coherente con la definición del índice de captura de pasillo frío, la Figura 3a muestra que el 75% del flujo de aire del bastidor llegó directamente de las baldosas perforadas: $CI=675/900=0,75$.

El CI para cada bastidor en una agrupación de pasillo caliente se puede calcular como la fracción del flujo de aire del bastidor que se captura por todos los enfriadores dentro de la agrupación de bastidores. Para hacer el seguimiento del flujo de aire de cada bastidor, se usa una especie de concentración C^i para identificar individualmente el aire de escape de cada bastidor. (Un planteamiento alternativo sería usar una única concentración de especies y, en su lugar, calcular el CI solamente para un bastidor en un momento realizando el cálculo tantas veces como se necesite para cubrir todos los bastidores en la agrupación). La fracción de aire escapado desde el bastidor i que se captura por el enfriador (o extracto local) j es

$$f_{ij} = \frac{C_j^i Q_j}{C_i^i Q_i} \quad (4)$$

donde

- 10 C_i^i es la concentración de especies i prescrita en el escape o bastidor i
- C_j^i es la concentración de especies i calculada a la entrada del enfriador j
- Q_i es la tasa de flujo de aire volumétrico a través del bastidor i
- Q_j es la tasa de flujo de aire volumétrico a través del enfriador j

15 Por comodidad, la concentración y los índices de bastidor se corresponden. Por ejemplo, la especie de concentración 1 se asignan al escape del bastidor 1, la especie de concentración 2 se asignan al escape del bastidor 2, etc. La f_{ij} de la Ecuación 4 puede ser útil por sí misma en realizaciones de la invención ya que cuantifica exactamente cuánto flujo de aire de cada bastidor se captura por cada enfriador específico en la agrupación local. El índice de captura es la suma de las fracciones de aire escapado del rack i que se captura por el enfriador j sumadas sobre todos los N enfriadores locales:

$$CI_i = \sum_{j=1}^N \frac{C_j^i Q_j}{C_i^i Q_i} \quad (5)$$

Dado que el valor numérico de C_j^i es arbitrario, es conveniente fijar $C_j^i=1$ en el análisis numérico, haciendo el índice de captura:

$$CI_i = \sum_{j=1}^N \frac{C_j^i Q_j}{Q_i} \quad (6)$$

25 A diferencia del índice de captura de pasillo frío, el cálculo del índice de captura de pasillo caliente depende de las tasas de flujo de aire de bastidor (y enfriador). La diferencia surge debido a que mientras que ambas variantes de CI se definen con respecto a las tasas de flujo de aire de bastidor, los valores de interés calculados en el análisis de pasillo frío son concentraciones de entrada de bastidor mientras que las de análisis de pasillo caliente son concentraciones de entrada de enfriador.

30 En la discusión anterior, el índice de captura se calcula con referencia a los enfriadores locales. El mismo procedimiento se podría seguir para determinar cuánto flujo de aire de cada bastidor viaja en última instancia a cualquier extracto tal como una unidad de enfriamiento tradicional situada cerca del perímetro de la sala o los enfriadores locales en una agrupación colindante de bastidores.

35 La Figura 3b muestra un ejemplo simple de cálculo del índice de captura de pasillo caliente para un bastidor 240 en un entorno de enfriador local que tiene un enfriador en fila 250. Una concentración de $C=1$ (un superíndice para identificar la especie de concentración es innecesario dado que hay solamente un bastidor y de esta manera una especie de concentración de interés en el ejemplo) se prescribe en el escape de bastidor. Una parte del escape de bastidor se captura por el enfriador 250 mientras que el resto escapa al ambiente de sala. El enfriador extrae el flujo de aire desde el bastidor de interés y desde otros bastidores o desde el ambiente de sala. El análisis numérico muestra que la concentración en el extracto del enfriador 250 es $C=0,35$ y, como se muestra en la Figura 3b, $CI=0,78$ que se calcula en base a la Ecuación 6. Coherente con la definición del índice de captura de pasillo caliente, la Figura 3b muestra que el 78% del flujo de aire del bastidor se captura por el enfriador: $CI=702/900=0,78$. Dado que CI es siempre un número entre 0 y 1, la Ecuación 6 limita las concentraciones de entrada de enfriador físicamente posibles asociadas con cada bastidor en la agrupación.

45 Las agrupaciones de las Figuras 1a y 1b se analizarán ahora mediante un análisis CFD a fin de demostrar el cálculo y la interpretación física de los índices de captura de pasillo frío y de pasillo caliente. Los programas software CFD están disponibles en un número de fuentes y, en una realización, los análisis CFD se realizan usando Flovent

5 Software v 6.1, disponible en Flomerics Group PLC, Surrey, UK. Se supone un ambiente de sala sellado pequeño en ambos casos con la excepción de que el flujo de aire se escapa uniformemente a través del techo en el ejemplo de pasillo frío. Alternativamente, se podría simular el centro de datos circundante entero, incluyendo la cámara de suelo elevado, en el ejemplo de pasillo frío. Los patrones de flujo de aire en y alrededor de los pasillos frío y caliente y de esta manera los CI calculados serían algo diferentes; no obstante, la técnica de cálculo y la interpretación física de los CI sería la misma.

10 Las Figuras 4a y 4b muestran los valores de potencia y las etiquetas de identificación asignados a cada uno de los bastidores 104a, 104b, 114a y 114b. Por simplicidad en este análisis, el flujo de aire de bastidor se toma en base a una elevación de temperatura de 20°F (-6,67°C) ficticia a través de cada bastidor. Los bastidores se modelan como simples “cajas negras” con flujo de aire de delante a atrás. Las baldosas de suelo perforadas en el ejemplo de pasillo frío entregan 350 cfm uniformes por baldosa; los enfriadores de anchura de medio bastidor en el ejemplo de pasillo caliente se modelan como cajas negras con el flujo de aire de delante a atrás de 2900 cfm cada uno en la dirección opuesta respecto al flujo de aire del bastidor. En diferentes realizaciones, estas suposiciones se pueden cambiar para acomodar los parámetros de sala, bastidor y equipo específicos.

15 En el ejemplo de pasillo frío, Figura 4(a), C=1 se asigna al flujo de aire que emerge desde las baldosas de suelo perforadas. Las concentraciones de entrada de bastidor calculadas en la simulación CFD son iguales numéricamente a los valores de CI deseados. Los resultados se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1 – Resumen de ejemplo de pasillo frío

Bastidor	Potencia (kW)	Flujo de aire (cfm)	C en Entrada de Bastidor	CI
A1	3	480	0,49	49%
A2	7	1120	0,84	84%
A3	2	320	0,67	67%
B1	5	800	0,26	26%
B2	2	320	0,67	67%
B3	4	640	0,28	28%

20 Con un valor de CI muy bajo, el bastidor B1, recibe poco flujo de aire directamente desde las baldosas perforadas. Por el contrario, el bastidor A2, con un valor de CI mucho más grande, recibe la mayoría de su flujo de aire directamente desde las baldosas de suelo perforadas. Está claro a partir de los valores de CI bajos (y la Figura 4a) que el rendimiento de enfriamiento es probablemente inaceptable y la disposición de la agrupación no representa una solución escalable.

25 En el ejemplo de pasillo caliente de la Figura 4b, se usan 5 especies de concentración con una asignada a cada bastidor en la agrupación. La concentración $C^1_{1=1}$ se asigna al escape del bastidor A1, $C^2_{2=1}$ se asigna al escape del bastidor A2, etc., hasta el bastidor B3 que se le asigna $C^5_5=1$. Las concentraciones de entrada de enfriador se obtienen usando simulación CFD y los valores de CI se calculan según la Ecuación 6. Por ejemplo, el CI asociado con el bastidor B1 se calcula como sigue con referencia a la Tabla 2:

30
$$CI = \left(\frac{2900}{320} \right) (0,089 + 0,012) = 0,91 \tag{7}$$

Tabla 2 – Resumen de ejemplo de pasillo caliente

Bastidor	Potencia (kW)	Flujo de aire (cfm)	C en Extracto de Enfriador		CI
			Enfriador A1	Enfriador A2	
A1	8	1280	0,426	0,010	99%
A2	5	800	0,008	0,215	81%
B1	2	320	0,089	0,012	91%
B2	12	1920	0,244	0,405	98%

Bastidor	Potencia (kW)	Flujo de aire (cfm)	C en Extracto de Enfriador		CI
			Enfriador A1	Enfriador A2	
B3	9	1440	0,031	0,299	66%

Con un valor de CI del 66%, el 34% del flujo de aire desde el bastidor B3 no se captura por los enfriadores y escapa al pasillo caliente. Además, la mayoría del flujo de aire que sale del bastidor A1 se captura por los enfriadores (97% por el enfriador A1 y el 2% por el enfriador A2 que se calcula por la Ecuación 6). Mientras que el rendimiento de enfriamiento de la agrupación de pasillo caliente puede ser mejor que el de la agrupación de pasillo frío, los valores de CI bajos indican que el rendimiento de enfriamiento aún puede ser inaceptable y la agrupación probablemente no es una solución escalable.

Como se trató anteriormente, el índice de captura a nivel de bastidor mide la fracción de los recursos de enfriamiento del bastidor que se suministran localmente. No obstante, para comparar el rendimiento general y la escalabilidad de una agrupación entera respecto a otra, se puede usar en las realizaciones de la invención una métrica a lo largo del bastidor. En al menos una realización de la invención, a la terminación del proceso 200, una aplicación de gestión determina la potencia total escapada desde una agrupación de bastidores y puede optimizar la disposición de la agrupación para reducir aún más la potencia total escapada para la agrupación al tiempo que se mantiene un índice de captura favorable para cada bastidor de la agrupación.

La potencia total escapada se tratará aún más con referencia a una agrupación de pasillo frío de enfriador local simple 260 y una agrupación de pasillo caliente simple 280 mostradas en las Figuras 5a y 5b. En el análisis de pasillo frío "otro aire de enfriamiento" representa el flujo de aire de enfriamiento no capturado que se pierde al ambiente de sala mientras que "otro aire calentado" en el análisis de pasillo caliente representa el aire caliente de otros bastidores y el ambiente de sala. Las temperaturas indicadas se supone que son valores medios tomados sobre la entrada y escape del bastidor entero y extracto de enfriador y suministro. Para cualquier de los dos análisis, el flujo de aire del bastidor se puede separar en dos partes: el producto de CI y Q_r , es la parte "deseable" del flujo de aire del bastidor, el resto, $(1-CI)Q_r$, es la parte "indeseable".

En el caso del análisis de pasillo caliente, la meta es minimizar el calentamiento del entorno de centro de datos externo. Con referencia a la Figura 5b, esta potencia escapada es equivalente a la elevación de entalpía de la parte del flujo de aire de escape del bastidor que abandona la agrupación:

$$P_{escapada} = (1 - CI) \rho Q_r c_p (T_{r,esc} - T_{r,m}) = (1 - CI) P \tag{8}$$

donde

ρ es la densidad de aire

Q_r es la tasa de flujo de aire volumétrico del bastidor

c_p es el calor específico de aire a presión constante

$T_{r,esc}$ es la temperatura de escape del bastidor

$T_{r,m}$ es la temperatura de entrada del bastidor

P es la potencia total del bastidor

La potencia total que escapa de la agrupación es la suma de la Ecuación 8 sobre todos los n bastidores

$$P_{total\ escapada} = \sum_{i=1}^n (1 - CI_i) P_i \tag{9}$$

En el caso de la agrupación de pasillo frío es deseable minimizar la cantidad de enfriamiento suministrado por el ambiente de sala externo a la agrupación. Con referencia a la Figura 5a, esta potencia de enfriamiento es equivalente a la elevación de entalpía de la parte de flujo de aire de bastidor extraída del ambiente de sala externo que se puede calcular como

$$P_{enfriamiento\ externo} = (1 - CI) \rho Q_r c_p (T_{r,esc} - T_{r,m}) = (1 - CI) P \tag{10}$$

La potencia total de enfriamiento externo suministrada por la sala es la suma de la Ecuación 10 sobre todos los bastidores:

$$P_{\text{enfriamiento externo total}} = \sum_{i=1}^n (1 - CI_i) P_i \quad (11)$$

De esta manera, para análisis o bien de pasillo frío o bien caliente, la disposición que tiene el menor efecto de calentamiento/enfriamiento neto en el ambiente de centro de datos como un todo se puede encontrar minimizando

$$\sum_{i=1}^n (1 - CI_i) P_i$$

que, por simplicidad, se referirá en la presente memoria para al menos algunas realizaciones como la potencia total escapada tanto para aplicaciones de pasillo frío como caliente.

Por supuesto, siempre es posible sobresuministrar enfriamiento de manera que la potencia total escapada sea igual a cero y tales disposiciones pueden no ser óptimas desde una perspectiva de eficiencia energética; en el caso ideal, el flujo de aire total de enfriador coincidiría con el flujo de aire total del bastidor mientras que la potencia total escapada sería cero. Adicionalmente, dado que el CI se basa únicamente en el flujo de aire, minimizar la potencia total escapada no implica necesariamente que las temperaturas de entrada de bastidor se minimicen o, ciertamente, incluso dentro del intervalo de operación deseado. Este sería el caso, por ejemplo, si los recursos de enfriamiento fueran sustancialmente infraproporcionados. La métrica de potencia total escapada permite que una agrupación entera sea comparada con otra en términos de su efecto de calentamiento/enfriamiento neto en el ambiente de sala y es particularmente útil para optimizar la disposición de una agrupación. Por ejemplo, varias disposiciones alternativas pueden ser aceptables sobre una base de temperatura de entrada (de hecho, todas las temperaturas de entrada podrían estar a algún nivel ideal, por ejemplo, 72°F (22,22°C)); no obstante, aún es posible identificar la mejor disposición en base a la potencia total escapada.

Se describirá ahora un ejemplo de uso de la métrica de potencia total escapada en combinación con el índice de captura para optimizar una disposición de agrupación según una realización. Las Figuras 6a y 6b muestran dos disposiciones alternativas de una población de bastidores y enfriadores fija que comprende una agrupación de pasillo caliente. La Figura 6a muestra la disposición inicial mientras que la Figura 6b muestra una disposición optimizada que, como se trata más adelante, se puede identificar con la ayuda del CI y la potencia total escapada. Aunque el ambiente circundante no se muestra en las figuras, la agrupación de enfriador local es el único equipo situado en una única sala que tiene 22 ft (6,70 m) de ancho, 18 ft (5,49 m) de profundo y 12 ft (3,66 m) de alto. (Señalar que un centro de datos completo se podría considerar de la misma manera sin pérdida de generalidad). Los enfriadores suministran aire a 68°F (20°C) a la tasa de 2720 cfm; la potencia del bastidor se indica en la figura y las tasas de flujo de aire se basan en una elevación de temperatura de 20°F (-6,67°C) a través de los bastidores. La relación de enfriamiento total a flujo de aire de bastidor es aproximadamente 1,4 para la agrupación. Las temperaturas de entrada de bastidor se desea que estén en el intervalo de 68°F-77°F (20°C-25°C) como se desea de acuerdo con ASHRAE (2004) para equipos de Clase 1. Debido a que los enfriadores suministran flujo de aire a 68°F (20°C), necesitamos considerar solamente el rendimiento respecto al límite de temperatura superior. Los flujos de aire y las temperaturas se determinaron a partir de simulaciones CFD y se calcularon métricas a nivel de bastidor (SHI, temperatura de entrada de bastidor máxima y CI) y de agrupación (potencia neta escapada, SHI y RCI_{Hi}) se muestran en las figuras.

La Figura 6a muestra la disposición inicial que representa una disposición arbitraria pero realista de bastidores y enfriadores. El rendimiento de enfriamiento está cerca del cumplimiento con ASHRAE (2004), como se indica por un RCI_{Hi} del 98%, con sólo dos bastidores ligeramente por encima de la temperatura máxima recomendada de 77°F (25°C). Las temperaturas de entrada calculadas muestran qué bastidores están "fuera de cumplimiento" pero no revelan qué hizo a estos dos bastidores recibir aire excesivamente caliente. Para entender la causa de las temperaturas excesivas, consideremos los valores de CI. Los valores de CI para los dos bastidores fuera de especificación son bastante altos, de esta manera, las temperaturas de entrada excesivas no son probablemente un resultado de su propio escape. Más probablemente, el aire caliente problemático se origina a partir de los bastidores en la fila opuesta (inferior) que tienen valores de CI relativamente bajos – en el intervalo de 82-84%. Una medida del calentamiento general del ambiente de sala circundante se proporciona por la potencia total escapada que es 6,6 kW para la disposición inicial. La agrupación ejemplo está en un ambiente sellado, por lo tanto, hay un equilibrio entre la potencia total del bastidor y del enfriador para las condiciones de estado estable consideradas. Por el contrario, la potencia total escapada cuantifica el efecto de calentamiento del aire caliente que no se captura directamente por los enfriadores; para este ejemplo, el aire caliente que no se captura directamente por los enfriadores se recircula a través de los bastidores. Si fue considerado un centro de datos entero, el aire caliente no capturado podría afectar a los bastidores colindantes o cualquier otra parte del centro de datos.

Dado que el CI muestra explícitamente el grado al cual se captura cada escape de bastidor se alinea más estrechamente a la estrategia de diseño que la temperatura de entrada o SHI para los propósitos de optimización de la disposición. Por ejemplo, se puede ver a partir de los CI calculados – aunque no obvios a partir de las temperaturas – en la disposición inicial que hay suficiente, quizás excesivo, enfriamiento, en el lado izquierdo de la agrupación y enfriamiento insuficiente en el lado derecho de la agrupación. Si fuese considerado un centro de datos

entero, la vinculación entre las temperaturas de entrada y la captura de escape de bastidor incompleta sería incluso más compleja e indirecta. Con esta información, se puede encontrar una disposición optimizada mediante ensayo y error o alguna técnica de optimización formal. La Figura 6b muestra una disposición optimizada. Todas las métricas indican mucho rendimiento mejorado con una temperatura máxima de entrada de 69°F (20,55°C). Mientras que los SHI a nivel de bastidor hacen el seguimiento más estrecho de la temperatura de entrada que los CI, el SHI a nivel de la agrupación hace el seguimiento bien con la potencia total escapada; las dos últimas cantidades cada una mejorada en un orden de magnitud a partir de la inicial a la disposición optimizada. El $RC_{I_{HI}}$ mejorado en solamente dos puntos de porcentaje, desde el 98% al 100%, reflejando el hecho de que el cumplimiento con la especificación ASHRAE (2004) fue razonablemente bueno para empezar con él.

En las realizaciones descritas anteriormente, una aplicación de gestión de centro de datos utiliza la métrica de índice de captura para analizar y optimizar el rendimiento de enfriamiento de una agrupación de bastidores en un centro de datos. Mientras que se puede usar software CFD para determinar los índices de captura, el rendimiento de un análisis CFD puede ser complicado y computacionalmente intensivo y dependiendo de la simulación que se ejecuta y el hardware de ordenador que se usa, puede requerir de varios minutos a posiblemente horas ejecutar una simulación. El tiempo requerido para ejecutar las simulaciones CFD llega a ser particularmente problemático durante las rutinas de optimización, cuando es deseable determinar rápidamente los CI para numerosas disposiciones posibles de bastidores en una agrupación. Para reducir el tiempo de cálculo en las realizaciones de la invención, se usan otras técnicas de análisis casi en tiempo real para determinar el CI para bastidores en una agrupación. Estas técnicas incluyen una técnica algebraica, una técnica de red neuronal y una técnica de (PDA) CFD de pasillo parcialmente desacoplado.

En la técnica algebraica, un esquema de cálculo separado se usa para una configuración de pasillo caliente y una configuración de pasillo frío. La técnica algebraica para una configuración de pasillo caliente se basa en la suposición de que las interacciones de enfriador de bastidor dependen ante todo de la magnitud del flujo de aire asociado con los bastidores y los enfriadores y sus posiciones geométricas relativas. Un bastidor en cada ubicación (o segmento más estrecho a lo largo de la fila) se puede considerar como que tiene un cierto potencial para suministrar un flujo de aire a otras ubicaciones. Este potencial varía inversamente con la distancia de separación. Además, la cantidad de flujo de aire que un bastidor puede suministrar a otras ubicaciones aumenta a medida que aumenta su propio flujo de aire total. Se encuentra que el flujo de aire neto, que se puede suministrar a una ubicación particular A (que puede representar un segmento o "espacio" de 6 pulgadas (15,24 cm) a lo largo de la fila A), se puede representar adecuadamente como sigue:

$$(Q_{Ai})_{\text{sum neto}} = (Q_{Ai})_{\text{sum auto}} + \sum_{\text{todo } j \neq i} (Q_{Aj})_{\text{sum auto}} Ee^{-F\Delta x} + D\{(Q_{Bi})_{\text{sum auto}} + \sum_{\text{todo } j \neq i} (Q_{Bj})_{\text{sum auto}} Ee^{-F\Delta x}\} \quad (12)$$

donde,

$(Q_{Ai})_{\text{sum neto}}$ = El flujo de aire máximo neto que se puede suministrar a la ubicación A_i incluyendo las contribuciones de todos los bastidores

$(Q_{Ai})_{\text{sum auto}}$ = El flujo de aire suministrado por el bastidor en la ubicación A_i

$(Q_{Bi})_{\text{sum auto}}$ = El flujo de aire suministrado por el bastidor en la ubicación B_i

Δx = distancia horizontal entre las ubicaciones (espacios) i y j

E, F son constantes empíricas

D = constante de "acoplamiento" empírica que cuenta para efectos de la fila opuesta

Las constantes D, E y F se pueden determinar comparando los resultados del modelo algebraico para valores reales o conocidos que, en teoría, se pueden determinar a partir de la medición experimental; no obstante, el modelo CFD proporciona un medio más práctico de generación de datos para un número grande de disposiciones potenciales. Las constantes pueden tomar diferentes valores dependiendo de los detalles de la aplicación tales como el tipo de bastidores, escape de bastidor y temperaturas ambiente circundantes, etc.

El flujo de aire máximo neto que se puede suministrar a diversas ubicaciones en la fila B se calcula de una manera analógica.

Finalmente, la Ecuación (13) que tiene la misma forma física que la Ecuación (12), se aplica a los enfriadores antes que a los bastidores para calcular el flujo de aire máximo neto, que se puede calcular en cualquier ubicación.

$$(Q_{Ai})_{\text{cap neto}} = (Q_{Ai})_{\text{cap auto}} + \sum_{\text{todo } j \neq i} (Q_{Aj})_{\text{cap auto}} Ae^{-B\Delta x} + C\{(Q_{Bi})_{\text{cap auto}} + \sum_{\text{todo } j \neq i} (Q_{Bj})_{\text{cap auto}} Ae^{-B\Delta x}\} \quad (13)$$

donde

$(Q_{Ai})_{\text{cap neto}}$ =El flujo de aire máximo neto que se puede capturar en la ubicación A_i incluyendo las contribuciones de todos los enfriadores

$(Q_{Aj})_{\text{cap auto}}$ =El flujo de aire capturado por el enfriador en la ubicación A_j

$(Q_{Bj})_{\text{cap auto}}$ =El flujo de aire capturado por el enfriador en la ubicación B_j

5 Δx =distancia horizontal entre las ubicaciones (espacios) i y j

A, B son constantes empíricas

C =constante de “acoplamiento” empírica que cuenta para efectos de la fila opuesta

10 Las constantes A, B y C se pueden determinar a partir de medición experimental o CFD como se trató anteriormente. Las constantes pueden tomar diferentes valores dependiendo de los detalles de la aplicación tales como el tipo de enfriadores, escape de bastidor y temperaturas ambiente circundantes, etc.

Las constantes A, B, E y F se encuentra que son típicamente independientes de la anchura del pasillo caliente mientras que C y D pueden depender de la anchura del pasillo.

El CI entonces se estima como la relación del flujo de aire neto capturado y el flujo de aire neto suministrado en cualquier ubicación expresada como un porcentaje con valores limitados al 100%.

15 Los cálculos por la Ecuación 12 y 13 se realizan particularmente para cada espacio de 6 pulgadas (15,24 cm) a lo largo de ambas filas de manera que el código puede ser aplicable a todos los equipos de anchura estándar; los resultados se promedian sobre la anchura de bastidor entero real antes de que se presenten.

20 La técnica algebraica para una configuración de pasillo frío se calcula de una manera similar a la usada para un pasillo caliente. No obstante, en un pasillo frío los bastidores de análisis “capturan” el flujo de aire mientras que los enfriadores “suministran” el flujo de aire. Además, el aire de enfriamiento se puede suministrar por cualquier combinación de baldosas de suelo perforadas y enfriadores. Cada ubicación de equipos se considera que tiene un cierto potencial para capturar el flujo de aire de otras ubicaciones. Esta potencial varía inversamente con la distancia de separación. Además, la cantidad de flujo de aire que puede capturar un bastidor aumenta a medida que aumenta su propio flujo de aire. Se encuentra que el flujo de aire neto, que se puede capturar en una ubicación A_i particular (que puede representar cualquier espacio a lo largo de la fila A), se puede representar adecuadamente como sigue:

$$(Q_{Ai})_{\text{cap neto}} = (Q_{Ai})_{\text{cap auto}} + \sum_{\text{todo } j \neq i} (Q_{Aj})_{\text{cap auto}} Ae^{-B\Delta x} + C\{(Q_{Bi})_{\text{cap auto}} + \sum_{\text{todo } j \neq i} (Q_{Bj})_{\text{cap auto}} Ae^{-B\Delta x}\} \quad (14)$$

donde

$(Q_{Ai})_{\text{cap neto}}$ =El flujo de aire máximo neto que se puede capturar en la ubicación A_i incluyendo las contribuciones de todos los otros bastidores

30 $(Q_{Aj})_{\text{cap auto}}$ =El flujo de aire capturado por el bastidor en la ubicación A_j

$(Q_{Bj})_{\text{cap auto}}$ =El flujo de aire capturado por el bastidor en la ubicación B_j

Δx =distancia horizontal entre las ubicaciones (espacios) i y j

A, B son constantes empíricas

C es una constante de “acoplamiento” empírica que cuenta para efectos de la fila opuesta

35 Las constantes A y B son fijas para un intervalo de parámetros de diseño típicos mientras que C típicamente varía con la anchura de pasillo.

El flujo de aire máximo neto que se puede capturar por diversas ubicaciones en la fila B se calcula de una manera análoga.

40 Cuando se calcula el potencial de las baldosas perforadas para suministrar el flujo de aire a cualquier ubicación de equipos, cada tira de 6” (15,24 cm) de baldosa perforada (espacio de baldosa) se puede considerar como que tiene un cierto potencial para suministrar flujo de aire a todas las ubicaciones de equipos. El modelo tratado más adelante supone que hay tres baldosas perforadas a través de la anchura del pasillo frío. Las filas de baldosas perforadas se refieren por el índice k que puede tomar los valores de 1, 2 ó 3; las filas de baldosas $k=1$ y $k=3$ son adyacentes a las filas de equipos A y B respectivamente mientras que $k=2$ se refiere a la fila intermedia de baldosas perforadas. El modelo se puede generalizar para manejar cualquier número de filas de baldosas perforadas.

El potencial de las baldosas para suministrar flujo de aire a cualquier posición de equipos varía inversamente con la distancia de la separación y la cantidad de flujo de aire que la baldosa puede suministrar aumenta a medida que aumenta su propio flujo de aire total. Se encuentra que el flujo de aire neto, que se puede suministrar a una ubicación de bastidor particular A_i por todos los espacios de baldosa, se puede representar adecuadamente como sigue:

5

$$(Q_{Ai})_{\text{sum neto}} = (Q_{Ai})_{\text{sum auto}} + \sum_{\text{todo } k} \left\{ \sum_{\substack{\text{todas las otras ubicaciones} \\ \text{de espacio de baldosa}}} (Q_{kj})_{\text{sum auto}} E e^{-F \cdot \text{Distancia } (i,j,k)} \right\} \quad (15)$$

donde

$(Q_{Ai})_{\text{sum neto}}$ = El flujo de aire máximo neto que se puede suministrar a la ubicación A_i incluyendo las contribuciones de todas las baldosas

10 $(Q_{Ai})_{\text{sum auto}}$ = El flujo de aire suministrado por el espacio de baldosa inmediatamente adyacente a la ubicación de equipos A_i . (Este es el espacio de baldosa en la ubicación i , fila $k=1$ para la posición de equipo A_i)

$(Q_{kj})_{\text{sum auto}}$ = El flujo de aire suministrado por el espacio de baldosa en la fila k , ubicación j

15 El "todas las otras ubicaciones de espacio de baldosa" en el sumatorio anterior incluye todas las ubicaciones de espacio de baldosa excepto el espacio de baldosa inmediatamente adyacente a la ubicación de los equipos – que se captura por el término $(Q_{Ai})_{\text{sum auto}}$.

20 E y F son fijos para un intervalo de parámetros de diseño típicos, Distancia (i, j, k) es la distancia entre el bastidor A_i y el espacio de baldosa (k, j) (en la fila k , ubicación j). El cálculo de la distancia (i, j, k) se muestra más adelante con unidades de pies usadas en todas las ecuaciones. Las distancias entre ubicaciones de equipos y los espacios de baldosas se toman con respecto al medio del espacio de equipos que limita el pasillo frío y el centro del espacio de baldosa como se ilustra en la Figura 7.

- La distancia entre la ubicación de equipos A_i y el espacio de baldosa en la fila $k=1$ y la ubicación j a lo largo de la fila

$$\text{Distancia} = \sqrt{\frac{(i-j)^2}{4} + 1}$$

- 25
- La distancia entre la ubicación de equipos A_i y el espacio de baldosa en la fila $k=2$ y la ubicación j a lo largo de la fila

$$\text{Distancia} = \sqrt{\frac{(i-j)^2}{4} + 9}$$

- La distancia entre la ubicación de equipos A_i y el espacio de baldosa en la fila $k=3$ y la ubicación j a lo largo de la fila

$$\text{Distancia} = \sqrt{\frac{(i-j)^2}{4} + 25}$$

30 El flujo de aire máximo neto que se puede suministrar a diversas ubicaciones en la fila B se calcula de una manera análoga.

35 Para las agrupaciones de pasillo frío que incluyen al menos un enfriador, cada enfriador se puede considerar como que tiene un potencial para suministrar flujo de aire a todas las ubicaciones de equipos. El bastidor directamente opuesto al enfriador recibe la mayoría de flujo de aire directo desde el enfriador. La cantidad de flujo de aire suministrado a cada ubicación de equipos varía según el camino del flujo de aire de enfriador, el cual forma circulaciones dentro de un cierto intervalo eficaz. Se encuentra que el flujo de aire neto, que se puede suministrar a una ubicación de bastidor particular A_i por todos los enfriadores, se puede representar adecuadamente como sigue:

$$\begin{aligned}
 (Q_{Ai})_{\text{enfriador neto}} = & (Q_{Ai})_{\text{enfriador auto}} + \sum_{\text{todo } j \neq i} (Q_{Aj})_{\text{enfriador auto}} Ge^{-H(2 \cdot EfDis - \Delta x)} \\
 & + D \left((Q_{Bi})_{\text{enfriador auto}} + \sum_{\text{todo } j \neq i} (Q_{Bj})_{\text{enfriador auto}} Ge^{-H\Delta x} \right)
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

donde

$(Q_{Ai})_{\text{enfriador neto}}$ = El flujo de aire máximo neto que se puede suministrar a la ubicación A_i por todos los enfriadores

$(Q_{Ai})_{\text{enfriador auto}}$ = El flujo de aire suministrado por el enfriador en la ubicación A_i

5 $(Q_{Bi})_{\text{enfriador auto}}$ = El flujo de aire suministrado por el enfriador en la ubicación B_i

G y H son constantes empíricas fijas para un intervalo de parámetros de diseño típicos

D es una constante de "acoplamiento" empírica que cuenta para efectos de la fila opuesta

10 $EfDis$ es una constante empírica que representa la distancia eficaz a lo largo de la fila sobre la cual los patrones de flujo de aire de enfriador pueden afectar a las ubicaciones de equipos. Puede depender del tipo del enfriador, anchura de pasillo y otros parámetros de diseño.

Δx se define como la distancia a lo largo de las filas de equipos entre la ubicación i y j:

$$\Delta x = \begin{cases} |i - j| & \text{(cuando } |i - j| \leq EfDis) \\ EfDis & \text{(cuando } |i - j| > EfDis) \end{cases}$$

El CI se estima entonces como la relación del flujo de aire neto suministrado y el flujo de aire neto capturado en cualquier ubicación expresada como un porcentaje con valores limitados al 100%.

15 Los cálculos por las ecuaciones (14)-(16) se realizan típicamente para cada espacio de 6 pulgadas (15,24 cm) a lo largo de ambas filas de manera que el código será aplicable a todos los equipos de anchura estándar; los resultados se promedian sobre la anchura del bastidor entero real antes de ser presentados.

20 En al menos una realización, se usa un análisis (PDA) CFD de pasillo parcialmente desacoplado para determinar el índice de captura. En el método de pasillo parcialmente desacoplado, un pasillo frío o caliente único se analiza en un momento como si estuviera "desacoplado" del ambiente de centro de datos circundante. El efecto del ambiente circundante se cuenta "parcialmente" en las condiciones límite seleccionadas para el análisis de pasillo aislado. Los patrones de flujo de aire dentro del pasillo aislado se determinan directamente a partir de CFD. Con los patrones de flujo de aire conocidos, se pueden calcular fácilmente las métricas de rendimiento tales como los Índices de Captura (CI) y las temperaturas bastidor por bastidor.

25 En al menos una realización, el método PDA se aplica a las agrupaciones de equipos formadas por dos filas de longitud sustancialmente igual de bastidores y, opcionalmente, enfriadores locales situados a través de un pasillo frío o caliente una de otra. Tales agrupaciones de equipos son naturalmente una disposición preferida debido a que la separación inherente del flujo de aire de entrada de bastidor fresco y de escape de bastidor caliente. Todos los bastidores en el centro de datos que son miembros de tales agrupaciones se pueden analizar mediante la aplicación repetida de la herramienta basada en PDA. El método PDA también puede servir como el motor para una herramienta de optimización de disposición o ser usado para crear rápidamente "datos de entrenamiento" que se pueden usar para desarrollar herramientas de diseño y análisis incluso más rápidas.

35 El método PDA se describe en la Solicitud de Patente de EE.UU. Nº 11/342.300, referenciada anteriormente. Como se describe en la solicitud referenciada, el método PDA se puede usar para analizar agrupaciones de bastidores alrededor de un pasillo frío en un entorno de suelo elevado. El flujo de aire en el pasillo frío se puede modelar suficientemente como "ideal", uno de los beneficios del cual es que el patrón de flujo de aire de pasillo frío completo se puede determinar añadiendo simplemente los patrones de flujo de aire que estarían presentes si cada bastidor fuera el único bastidor que extrajese flujo de aire. Los flujos de aire de bastidor "elementales" a su vez se pueden determinar (fuera de línea) a partir del análisis CFD y almacenar en modelos empíricos. Las métricas de enfriamiento entonces se pueden calcular en base a los patrones de flujo de aire resultantes finales. En la solicitud referenciada, se usa PDA en conjunto con un método de superposición para determinar los flujos de aire. La superposición PDA se puede usar con las realizaciones de las invenciones tratadas en la presente memoria, no

obstante, cuando están presentes los enfriadores locales, este método se puede restringir al análisis de pasillos fríos de suelo elevado tradicionales y puede ser difícil extenderse a disposiciones de baldosa perforada no uniforme. El método PDA-CFD usado en las realizaciones de la invención descritas en la presente memoria tiene funcionalidad mejorada sobre el método de superposición PDA.

- 5 En una realización, el método PDA-CFD es aplicable para uso con una única agrupación de equipos que consta de dos filas de longitud igual de equipos tales como las mostradas en las Figuras 1a y 1b. En la práctica, si hay un desajuste pequeño en la longitud de la fila o desplazamiento relativo, se pueden añadir “equipos de flujo de aire cero” ficticios para lograr el requisito de igual longitud. El pasillo (o dominio computacional) a ser analizado entonces es de forma rectangular simple cuando “se separa” del entorno más grande; las superficies para las cuales se deben
10 determinar las condiciones límite son de tamaño mínimo y definidas simplemente.

Las Condiciones Límite (BC) a lo largo de las caras de suelo y equipos se suponen conocidas. El suelo puede tener partes de flujo inducido prescrito a una temperatura conocida que representa el flujo de aire de baldosa perforada y es de otro modo una superficie sólida. A lo largo de las caras de los equipos, la tasa de flujo es conocida – los flujos de salida para los bastidores en un análisis de pasillo frío o enfriadores en un análisis de pasillo caliente o flujo inducido a una temperatura conocida para bastidores en un análisis de pasillo caliente o enfriadores un análisis de pasillo frío. La tasa de flujo de aire de baldosa perforada o bien es conocida a partir de una medición o bien es
15 estimada.

Si fueran conocidas las condiciones límite correctas y detalladas para la parte superior y los extremos, los resultados del análisis de pasillo aislado también serían rigurosamente correctos. En las realizaciones de la invención, la elección de las condiciones límite para la parte superior y los extremos que son suficientemente precisas y aún prácticas permiten que el método PDA-CFD sea usado para estimar el índice de captura. Un planteamiento para determinar las condiciones límite es dejar la parte superior y los extremos “abiertos” (una condición límite de presión uniforme) de manera que el flujo de aire puede entrar o salir como se dicta por la física del flujo de aire dentro del pasillo. Este planteamiento no tiene en consideración los efectos del ambiente de sala circundante y no produce resultados aceptables para aplicaciones típicas. No obstante, es deseable dejar alguna parte de los límites “abiertos”; y en otro planteamiento según una realización, la parte superior se especifica como un límite “abierto” más que los extremos. El límite de la parte superior puede ser bastante grande y puede tener muchas regiones tanto de flujo inducido como de flujo de salida; puede ser poco práctico de determinar y almacenar como un modelo empírico, las condiciones límite de velocidad prescrita adecuadas para la parte superior. Con la parte superior
20 dejada “abierta”, se especifican las velocidades a lo largo de los extremos para construir algún efecto del ambiente de sala. Aunque el flujo de aire de extremo puede ser bastante complejo en general, solamente es necesario para prescribir un flujo de aire bastante uniforme sobre grandes partes del límite para lograr aproximaciones adecuadas. En un planteamiento, cada extremo del pasillo está dividido en dos tiras verticales de igual anchura sobre las cuales se asigna un flujo inducido o flujo de salida complejo. En al menos una realización, las temperaturas a lo largo de la parte superior del pasillo y a lo largo de los extremos siempre que el flujo de aire de extremo esté en la dirección hacia dentro son entradas al análisis. Típicamente, estas temperaturas se pueden estimar adecuadamente entre los extremos de temperatura en el problema en cuestión y los errores solamente tienen un efecto secundario en los patrones de flujo de aire en que se afectan algo las fuerzas de empuje. Las Figuras 8a y 8b muestran las condiciones límite PDA para los ejemplos de las Figuras 1a y 1b.
25

40 Hay muchas formas de modelar los flujos de aire de extremo y una combinación infinita de ambientes de sala que se pueden considerar. El método PDA según al menos algunas realizaciones proporciona una aproximación tosca de los flujos de aire de la parte superior y de los extremos; recordar que la parte superior del pasillo se deja “abierta” y los extremos están divididos cada uno en dos condiciones límite de flujo especificado solamente. En agrupaciones más largas, el flujo de aire hacia el medio del pasillo no será afectado por los flujos de aire de extremos.

45 El flujo de aire de extremo está afectado por los detalles de la agrupación y el ambiente de sala. El primero incluye la geometría de la agrupación así como los detalles de todos los bastidores, enfriadores y baldosas perforadas que pueden estar presentes. Este último incluye la geometría de la sala circundante, detalles del equipo colindante; en resumen, todo en la sala responsable o que impacta el flujo de aire y las temperaturas que rodean inmediatamente la agrupación. Los bastidores, enfriadores y baldosas perforadas más cercanos a los extremos de la fila generalmente tienen el mayor impacto en el flujo de aire de extremo.
50

La diferencia de temperatura entre el flujo de aire de baldosa perforada y el ambiente inmediatamente alrededor de la agrupación (es decir, el empuje) es el “efecto de sala” más significativo en muchos casos prácticos. Para contar el efecto de la posición del bastidor y el flujo de aire, se realizaron muchos miles de simulaciones CFD de sala completa con disposiciones de equipos variables. En última instancia, se determinó que se pueden representar los
55 (cada uno de los cuatro) flujos de aire de extremo de pasillo frío, de forma adimensional, mediante el siguiente modelo de regresión polinómico.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{extremo}}^* = & a_0 + a_{A1} Q_{A1}^* + a_{A2} Q_{A2}^* + \dots + a_{An} Q_{An}^* + \\
 & a_{B1} Q_{B1}^* + a_{B2} Q_{B2}^* + \dots + a_{Bn} Q_{Bn}^* + \\
 & a_1 AR + a_2 AR^2 + a_3 AR^3 + a_4 AR^4 + \Delta T^*
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

5 donde los Q_{Ai}^* y Q_{Bi}^* son las tasas de flujo de aire adimensionales de los bastidores en la posición i desde el extremo en las filas A y B respectivamente, las a son coeficientes de regresión polinómicos, AR es la relación del flujo de aire de enfriamiento total al flujo de aire de bastidor total, ΔT^* es la diferencia de temperatura adimensional y n es el número de bastidores por fila. Los flujos de aire adimensionales se forman dividiendo la cantidad dimensional correspondiente por la tasa de flujo de aire por baldosa. La diferencia de temperatura adimensional se define como la diferencia de temperatura entre el flujo de aire de suministro y el ambiente de sala circundante dividido por la escala de diferencia de temperatura típica de 20°F (11°C). Dado que los bastidores más cercanos al extremo de la fila tienen el efecto más grande en el flujo de aire de extremo, los coeficientes a_{Ai} y a_{Bi} disminuyen en magnitud de izquierda a derecha en la Ecuación (17). Dado que solamente el parámetro de ambiente de sala en la Ecuación (17) es ΔT^* , otros efectos de sala (por ejemplo, altura de techo, proximidad de paredes y otros equipos, etc.) se tienen en cuenta creando un conjunto único de coeficientes de regresión para cada variante de interés tal. Como se expuso anteriormente no obstante, ΔT es el parámetro de ambiente de sala dominante y, en tanto en cuanto este parámetro se estime razonablemente bien, se pueden hacer buenas estimaciones de flujo de aire de extremo en las realizaciones de la invención para una variedad de ambientes de sala.

15 Los flujos de aire de extremo para una aplicación de pasillo caliente de enfriador local se pueden calcular de la misma manera general. No obstante, en estas aplicaciones, las fuerzas de momento asociadas con el flujo de aire de bastidor y enfriador dominan y el empuje tiene poco efecto en el flujo de aire de extremo. Adicionalmente, un modelo general necesita ser capaz de manejar cualquier disposición arbitraria de bastidores y enfriadores. Además, los enfriadores locales pueden ser o bien de 1 ft (300 mm) o bien 2 ft (600 mm) de ancho mientras que los bastidores pueden ser de 2 ft (600 mm) o 2,5 ft (750 mm) de ancho. Los flujos de aire de extremo de pasillo caliente se pueden representar, en forma dimensional esta vez, mediante el siguiente modelo de regresión lineal múltiple:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{extremo}} = & a_0 + a_{A1} Q_{A1} + a_{A2} Q_{A2} + \dots + a_{An} Q_{An} + \\
 & a_{B1} Q_{B1} + a_{B2} Q_{B2} + \dots + a_{Bn} Q_{Bn}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

25 donde las Q_{Ai} y las Q_{Bi} son las tasas de flujo de aire dimensional de los bastidores o enfriadores en la posición i desde el extremo en las filas A y B respectivamente, las a son coeficientes de regresión lineal y n es el número de "espacios" por fila. Los flujos de aire dimensionales son típicamente más fáciles de trabajar con ellos en este caso debido a que no hay escala de flujo de aire coherente con la cual se pueda realizar una no dimensionalización. Los flujos de aire de bastidor se dirigen al pasillo caliente y tienen un signo positivo. Los flujos de aire de enfriador se dirigen fuera del pasillo caliente y tiene un signo negativo. Cada índice i representa un segmento de 0,5 ft (150 mm) de la agrupación o "espacio" antes que un objeto entero donde 0,5 ft (150 mm) es el denominador común más grande entre las anchuras de objeto que van a ser manejadas en el modelo. (Por supuesto, el modelo de pasillo frío de suelo elevado se podría formular de la misma manera para contar también para anchuras de bastidor generales). Como antes, los bastidores y enfriadores más cercanos al extremo de la fila tienen el efecto más grande sobre el flujo de aire de extremo y los coeficientes a_{Ai} y a_{Bi} disminuyen generalmente de magnitud de izquierda a derecha en la Ecuación (18). La Ecuación (18) no contiene ningún parámetro de ambiente de sala, de manera que se determina un nuevo conjunto único de coeficientes de regresión para cada ambiente de sala de interés. En la práctica, el flujo de aire de extremo de pasillo caliente de enfriador local tiende a ser dominado por el bastidor y, en particular, el flujo de aire de enfriador (que es comparativamente alto) de manera que un modelo de flujo de aire de extremo determinado para algún ambiente de sala razonable (por ejemplo, una disposición simétrica de agrupaciones en un centro de datos) proporciona una estimación razonable para un intervalo de ambientes de sala reales y se usa en al menos algunas realizaciones de la invención.

40 En general, modelos de regresión simples producen predicciones algo mejores de flujo de aire de extremo para aplicaciones de suelo elevado antes que para aplicaciones de enfriador local como se evidencia por coeficientes de determinación (R^2) mayores. Esto es debido al hecho de que algunos coeficientes de regresión se usan tanto para bastidores como enfriadores en esta última aplicación. Además, los patrones de flujo de aire son simplemente más complejos cuando están presentes enfriadores locales.

50 Finalmente, los modelos de flujo de aire de extremo se pueden desarrollar en realizaciones de la invención que siguen un planteamiento similar para otras aplicaciones que incluyen aplicaciones de pasillo frío de enfriador local y de enfriador local y baldosa perforada mixtos. El método PDA se usa en al menos algunas realizaciones para desarrollar calculadores de rendimiento de enfriamiento en tiempo real y casi en tiempo real para centros de datos.

Tales herramientas facilitan un análisis científico y optimización de disposición sin requerir una simulación CPD completa del centro de datos, la cual puede llevar mucho tiempo. El calculador PDA-CFD de al menos algunas realizaciones no se describirá ahora en mayor detalle con referencia a ejemplos específicos.

5 La Figura 9a muestra una parte de un centro de datos de suelo elevado que contiene cuatro filas de bastidores 302, 304, 306 y 308 y cuatro unidades CRAC 312, 314, 316 y 318. Este es un diseño estándar que usa pasillos fríos y calientes alternos que se repiten en un paso de 7 baldosas con las unidades CRAC situadas en los extremos del pasillo caliente. El techo se sitúa a 12 ft (3,7 m) por encima del suelo elevado. Las tasas de potencia y flujo de aire de los bastidores se muestran en la Figura 9b; el flujo de aire CRAC es 4200 cfm (2000 l/s) cada uno de manera que la relación total de flujo de aire de CRAC al bastidor es 0,9. El flujo de aire a través de las baldosas perforadas se
10 supone uniforme de 420 cfm (200 l/s) por baldosa perforada.

Los índices de captura para la agrupación media de bastidores, incluyendo las filas 304 y 306, que limitan el pasillo frío central se calcularon en base a un CFD de sala completa del ambiente mostrado en la Figura 9a y también usando una herramienta basada en PDA-CFD según realizaciones de la presente invención. Esta última emplea un modelo de flujo de aire de extremo que se creó en base a un entorno bastante grande, abierto. Incluso aunque el presente ejemplo, con CRAC que extraen el flujo de aire cerca de los extremos del pasillo frío, presenta un ambiente de sala muy diferente, los resultados comparan favorablemente como se muestra en la Figura 9b. Las tendencias del índice de captura se capturan bien y todas las predicciones concuerdan dentro de alrededor del 7%.

La Figura 10a muestra un centro de datos de suelo duro completo que utiliza enfriadores locales e incluye las filas 320, 322, 324, 326, 328 y 330. La altura del techo es 12 ft (3,7 m). La agrupación de pasillo caliente intermedia (filas 324 y 326) constan de 12 bastidores y cuatro enfriadores locales. La relación de enfriador total a flujo de aire de bastidor es 1,3. La Figura 10b muestra la comparación de los índices de captura calculados por las herramientas basadas en CFD completo y PDA-CFD por la agrupación de pasillo caliente intermedia. Esta última emplea un modelo de flujo de aire de extremo que se creó en base a un ambiente en el que se supone que existen límites de simetría alrededor del perímetro de la agrupación. De nuevo, incluso aunque el ambiente de sala real es muy diferente, las predicciones de índice de captura en general comparan favorablemente como se muestra en la Figura 9b. Las tendencias del índice de captura se capturan bien y todas las predicciones concuerdan dentro de alrededor del 10%.

Las comparaciones entre los resultados de CFD completo y PDA-CFD se mostraron anteriormente para dos ejemplos específicos, prácticos. En estos ejemplos, una parte del error en los resultados PDA-CFD puede ser debida al modelo de flujo de aire de extremo (es decir, se pueden haber asignado valores de flujo de aire medios erróneos) y otra parte puede ser debida al error intrínseco a las suposiciones PDA básicas de condiciones límite de flujo de aire de parte superior “abierta” y de extremo casi uniforme. En las realizaciones de la invención, las herramientas basadas en PDA, incluyendo PDA-CFD, proporcionan estimaciones razonables del rendimiento de enfriamiento que tienden generalmente en la dirección correcta a medida que se consideran diversas alternativas de diseño.

35 En el análisis de centros de datos en las realizaciones de la invención usando el calculador PDA-CFD, generalmente, las agrupaciones de pasillo caliente son la unidad de análisis preferida si el diseño de centro de datos incluye enfriadores locales o respiraderos de retorno. En este caso, se puede adoptar la estrategia de “sala neutra”. Para otras aplicaciones, incluyendo entornos de suelo elevado (sin respiraderos de retorno locales) y de suelo elevado y enfriador local mixtos, se pueden analizar las agrupaciones de pasillo frío. También, el planteamiento PDA-CFD se puede utilizar indirectamente, como el motor de enfriamiento de una herramienta de optimización más amplia o para crear rápidamente grandes cantidades de datos para entrenamiento de un calculador empírico.

En al menos algunas realizaciones, cuando se conduce un análisis CFD o PDA-CFD, se usa una cuadrícula computacional que usa celdas de 6” x 6” x 6” (15,24 cm x 15,24 cm x 15,24 cm) uniformes. El uso de celdas de este tamaño, refina el pasillo sin crear un número de celdas excesivo, lo cual proporciona un equilibrio satisfactorio entre velocidad y precisión. Además, el uso de celdas de este tamaño, se alinea bien con los límites de los equipos y las anchuras de los pasillos. Los bastidores y enfriadores típicos tienen anchuras de 1 ft, 2 ft o 2,5 ft (305 mm, 610 mm y 762 mm), mientras que los pasillos están típicamente en el intervalo de 3 ft a 6 ft (915 mm a 1830 mm) en incrementos de 6” (15,24 cm).

50 En al menos algunas realizaciones, como se describirá ahora, redes neuronales artificiales, referidas comúnmente sólo como redes neuronales (NN), se pueden usar para analizar los flujos de aire y generar el índice de captura para cada bastidor o una agrupación de bastidores. En general, las redes neuronales son bien conocidas. Típicamente, una NN consta de una capa de entrada, capas ocultas y una capa de salida. Cada capa consta de un número de neuronas. Las neuronas ocultas y de capa de salida se enlazan cada una a las neuronas en la capa previa. Los otros elementos clave de la NN incluyen las ponderaciones asociadas con cada enlace, un término de sesgo opcional y funciones de activación y transferencia. El “conocimiento” de NN se almacena como las ponderaciones de conexión. Las no linealidades y complejidades del modelo se capturan por las funciones de activación y transferencia y por el número de neuronas en las capas ocultas, respectivamente.

El Perceptrón Multicapa (MLP) que usa un algoritmo de entrenamiento de propagación hacia atrás es el más común de todos los modelos de red neuronal y se usa en al menos algunas realizaciones de la presente invención. La

función de activación sigmoide binaria también es muy adecuada para las realizaciones de la presente invención. Como el índice de captura, esta función tiene un intervalo de cero a uno y tiene la siguiente forma:

$$f(x) = \frac{1}{(1 + e^{-x})} \tag{19}$$

5 La salida de cualquier capa llega a ser la entrada a la siguiente capa. La siguiente ecuación se refiere a la salida de una capa y las ponderaciones de interconexión entre las dos capas:

$$A_j = f\left(\sum_{i=1}^n W_{ij} A_i + b_j\right) \tag{20}$$

10 Aquí A_i es la unidad de entrada en la primera capa que difunde la señal a todas las unidades en la segunda capa. A_j es la salida de la neurona de orden j en la segunda capa, W_{ij} representa las ponderaciones de conexión entre las dos capas, b_j es el sesgo en la unidad j y n es el número de unidades en la primera capa. La función de activación, f , proporciona una ganancia no lineal a la neurona artificial. Las ponderaciones se determinan por iteración para producir un valor mínimo de la métrica aplicable, por ejemplo, el error cuadrático medio (MSE):

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_i^N (CI_{deseado} - CI_{predicho})^2 \tag{21}$$

donde N es el número total de casos de entrenamiento y $CI_{deseado}$ y $CI_{predicho}$ son los valores conocidos predichos, por ejemplo, mediante CFD o PDA-CFD y el modelo de Red Neuronal, respectivamente.

15 Las ponderaciones iniciales se fijan a valores aleatorios pequeños, el algoritmo de propagación hacia atrás actualiza las ponderaciones después de que se presenta cada patrón de entrenamiento y las mejores ponderaciones se guardan durante el proceso de entrenamiento.

20 Una ventaja del uso de NN en las realizaciones de la presente invención reside en su capacidad de establecer relaciones no lineales entre los detalles de la disposición de agrupación (vector de entrada) y los índices de captura de bastidor resultantes (vector de salida). El primero incluye la disposición física de bastidores y enfriadores, potencia de bastidor y flujo de aire y flujo de aire de enfriador. En al menos algunas realizaciones, se diseñan miles de disposiciones de agrupaciones hipotéticas pero realistas y entonces los valores de CI de pasillo caliente se calculan usando Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para cada disposición. Finalmente, el modelo de NN se entrena para "aprender" la relación entre los vectores de entrada y salida. Mientras que los datos de entrenamiento se pueden producir por un análisis CFD tradicional, se pueden lograr ahorros de tiempo considerables usando las técnicas PDA-CFD tratadas anteriormente. Dando datos de entrenamiento suficientes, se pueden aplicar las Redes Neuronales virtualmente a cualquier aplicación de enfriamiento de centro de datos. No obstante, como ejemplo, se describirá ahora la predicción de valores de CI para una agrupación de bastidores y enfriadores de 14 ft (4,27 m) de largo que limita un pasillo caliente como se muestra en la Figura 11. Una metodología similar se puede adoptar para diseñar modelos de NN para otras longitudes de agrupación.

30 Por ejemplo, el calculador PDA-CFD descrito anteriormente se usa para crear datos de entrenamiento considerados aquí. En cada simulación, la condición límite de la parte superior está "abierta" para que el flujo de aire entre o salga del pasillo (0 presión manométrica, 68°F (20°C)). Las condiciones límite de flujo de aire y temperatura fijos (en el caso de "flujo inducido") se prescriben en los extremos del pasillo. El motor CFD Flovent tratado anteriormente se usa para calcular el patrón de flujo de aire y los valores de CI en el pasillo caliente parcialmente desacoplado. Un tamaño de cuadrícula de 6 pulgadas (15,24 cm) se usa en base a un análisis de sensibilidad de cuadrícula y se emplea el modelo de turbulencia $\kappa - \epsilon$.

35 Para desarrollar una correlación eficaz entre los datos de entrada y salida, el modelo de NN se entrena usando escenarios realistas. Una herramienta software se creó usando Excel y VBA para diseñar las disposiciones de agrupación representativa para el entrenamiento de la NN. Cada disposición de agrupación diseñada contiene toda la información acerca de los bastidores y enfriadores y sus posiciones relativas en la agrupación. En este ejemplo, el modelo de red neuronal está diseñado para aceptar bastidores de 2 ft (610 mm) o 2,5 ft (762,5 mm) de ancho y enfriadores locales de 1 ft (305 mm) de ancho como entrada. Dado que 0,5 ft (152,5 mm) es el denominador común más grande entre las anchuras de objetos, el modelo de NN se basa en segmentos de 0,5 ft (152,5 mm) de la agrupación o los "espacios". Por ejemplo, un bastidor de 2 ft (610 mm) de ancho de 2 kW de potencia y 320 cfm (0,15 m³/s) de flujo de aire se modela en realidad como 4 objetos separados cada uno de 0,5 ft (152,5 mm) de anchura con 0,5 kW de potencia y 80 cfm (0,038 m³/s) de flujo de aire. Los índices de captura se calculan entonces para cada uno de los 4 espacios del bastidor y entonces se promedian antes de presentados al usuario de la

herramienta de calculador de enfriamiento. Este planteamiento aumenta sustancialmente el número de variables que se deben modelar pero simplifica enormemente la generación de la disposición, la creación de casos de entrenamiento mediante PDA-CFD y la creación del modelo de NN.

5 En el ejemplo, los casos de entrenamiento incluyen enfriadores de 1 ft (305 mm) de ancho que extraen 2900 cfm de aire caliente desde el pasillo caliente. El flujo de aire del bastidor se vincula a la potencia de bastidor especificada a la tasa de 160 cfm/kW (0,076 m³/s por kW); esto es equivalente a suponer una elevación de la temperatura de 20°F (11°C) a través del bastidor. Se crearon dos mil disposiciones (escenarios) de agrupaciones representativas, todas de 14 ft (4,27 m) de largo con igual longitud de fila. Una descripción completa de cada escenario incluye el valor de potencia espacio por espacio para ambas filas de equipos. Para bastidores, la potencia de espacio se representa como un número positivo. Para enfriadores, la potencia de espacio se basa en la “potencia eficaz” definida como la tasa de flujo de aire de enfriador dividida por 160 cfm/kW (0,076 m³/s por kW) y especificada con un signo negativo. Por ejemplo, si los dos primeros objetos en una fila son un bastidor de 4kW de 2 ft (610 mm) de ancho y un enfriador de 2900 cfm (1,38 m³/s) de 1 ft (305 mm) de ancho respectivamente, los datos de entrada para los primeros 6 espacios serían como sigue: 1 kW, 1 kW, 1 kW, 1 kW, -9,0625 kW y -9,0625 kW.

15 Para cada escenario de entrenamiento, las potencias de los bastidores se seleccionan a partir de un grupo de valores de potencia posibles en el intervalo de 0 a 10 kW y el número de enfriadores se selecciona de manera que la relación de aire de la agrupación en general (relación del flujo de aire total de enfriador a total de bastidor) esté en el intervalo (realista) de 1 a 4. Mientras que aquí se considera una agrupación de 14 ft (4,27 m) de largo, hay, en general, 4*L número de espacios, donde L es la longitud de la agrupación. Las posiciones de los espacios se etiquetan con RA₁, RA₂,..., RA₂₈ y RB₁, RB₂,..., RB₂₈ en la Figura 11a y la Figura 11b.

20 Un CI se calcula para cada espacio de bastidor de cada escenario en base a PDA-CFD y una herramienta software se creó usando Excel y VBA para automatizar este proceso. La potencia de espacio eficaz junto con los valores de CI correspondientes en todos los espacios comprende el conjunto de datos de entrenamiento para la Red Neuronal. La potencia de bastidor, potencia de enfriador eficaz y la relación de aire de la agrupación en general son entradas al modelo de NN mientras que los valores de CI en cada espacio se presentan al modelo de NN como salida deseada.

25 En al menos un ejemplo, cada agrupación es simétrica geoméricamente alrededor de tanto los planos medios axial como longitudinal y se pueden obtener tres disposiciones de entrenamiento adicionales para cada disposición (asimétrica) analizada mediante PDA-CFD. Estas nuevas disposiciones tienen el mismo inventario de equipos y de esta manera la misma relación de aire, que la disposición original, calculada; no obstante, el orden de los equipos es diferente. De esta manera, solamente un cuarto de las disposiciones de entrenamiento necesitan ser calculadas en realidad mediante PDA-CFD. Usando esta técnica, 2.000 disposiciones calculadas mediante PDA-CFD generan un total de 8.000 disposiciones de entrenamiento.

30 La herramienta basada en Excel y VBA, tratada anteriormente, se usa para entrenar la Red Neuronal. Un cuarto de las disposiciones de la agrupación se selecciona aleatoriamente a partir del conjunto de entrenamiento y fija al lado para monitorizar el sobreentrenamiento y la predictibilidad del modelo de NN. La NN se entrena para un único espacio en un momento y los parámetros de entrenamiento se ajustan para acelerar el proceso de aprendizaje. Durante el proceso de entrenamiento de la Red Neuronal, la potencia eficaz en cada espacio (RA₁, RA₂,..., RA₂₈ y RB₁, RB₂,..., RB₂₈) y AR se presentan repetidamente a la red para predecir el valor de CI en cada espacio. El error entre el valor de CI predicho y deseado se calcula y entonces se realimenta a la red (la propagación hacia atrás del error asociado). Las ponderaciones se ajustan entonces para hacer a los valores de CI predichos por la red coincidir con los de PDA-CFD. Las ponderaciones que crean la mejor coincidencia se guardan y luego se pueden usar para predecir los valores de CI para cualquier nuevo conjunto de datos de entrada de agrupación.

35 De nuevo, debido a la simetría geométrica de la agrupación, solamente se entrenan los espacios que cubren alrededor de la mitad de la longitud de una fila: los primeros L espacios si 2*L es par y los primeros L+1 espacios si 2*L es impar. Los valores de CI en los espacios restantes se pueden determinar directamente mediante una reinterpretación adecuada de los resultados para los resultados de la mitad de la agrupación. Además para ser eficiente, este uso de simetría fuerza a la salida de la NN a ser perfectamente simétrica.

40 Como se trató anteriormente, una herramienta software basada en Excel y VBA se puede usar para calcular los valores de CI para una disposición de agrupación especificada. Un proceso para este cálculo se describirá ahora aún más. El usuario de la herramienta interactúa con la entrada y observa la salida de la red a través de una interfaz gráfica de usuario simple que muestra una vista en planta de la agrupación similar a la mostrada en las Figuras 11a y 11b.

45 En una primera etapa del proceso, el usuario introduce gráficamente la información de la disposición de la agrupación. Se definen las ubicaciones de los bastidores y enfriadores así como la potencia de cada bastidor y el flujo de aire de cada enfriador. (Se puede introducir información adicional para describir aún más el ambiente de sala circundante si están disponibles modelos de NN aplicables). La relación de aire se calcula en base a la disposición especificada.

En una segunda etapa, la información de bastidor y enfriador se traduce a potencia eficaz en cada espacio – valores positivos para bastidores, valores negativos para enfriadores. Y estos valores de entrada además quedan escalados. Los valores de entrada escalados entonces se multiplican por las ponderaciones de conexión entre las capas de entrada y ocultas. Los valores resultantes se suman y procesan usando la función de activación (sigmoide). Los valores resultantes se multiplican por las ponderaciones entre la capa oculta y de salida y se suman y procesan por la función de activación (sigmoide) y escalan de nuevo para dar los valores de CI de red neuronal. Los valores de CI en los espacios entonces se promedian finalmente sobre las anchuras de objetos reales para producir los valores de CI finales.

El ejemplo anterior aborda una agrupación de bastidores bien definida y solamente se predicen los valores de CI. No obstante, el modelo de NN también se puede entrenar para manejar otras aplicaciones y para predecir otras métricas de rendimiento de enfriamiento relacionadas con el centro de datos tales como el Índice de Recirculación (RI), el Índice de Calor de Suministro (SHI) y el Índice de Calor de Retorno (RHI), el Índice de Enfriamiento de Bastidor (RCI) o, directamente, las temperaturas de entrada de los equipos.

Dado que los cálculos del calculador de NN son muy rápidos, se usa en algunas realizaciones como un “motor de predicción de enfriamiento” sobre el cual se puede construir la funcionalidad de optimización.

En las realizaciones de la invención, además de usar las métricas índice de captura y potencia total escapada para caracterizar el rendimiento de enfriamiento en una agrupación de bastidores, se puede usar la temperatura de retorno de aire a los enfriadores en un pasillo caliente para caracterizar y optimizar el rendimiento de una agrupación. Cuando se usa el calculador PDA-CFD para determinar el índice de captura, las temperaturas de retorno se calculan como parte del análisis y están disponibles como salidas. Cuando las temperaturas de retorno no se calculan directamente, se pueden estimar en base a los valores de CI según una realización de la invención que se describirá ahora.

En el calculador de temperatura de retorno, la temperatura de retorno media sobre todos los enfriadores se estima primero en base a valores de CI conocidos que gobiernan la cantidad de flujo de aire de bastidor capturada por los enfriadores:

$$T_{med}^c = \beta T_{med}^R + (1 - \beta) T_{amb} \quad (22)$$

donde,

T_{med}^c = temperatura media global de retorno del enfriador

T_{amb} = temperatura ambiente

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n CI_i Q_i^R}{\sum_{i=1}^N Q_i^C}$$

β = la fracción de flujo de aire de enfriador que llega directamente desde los bastidores. ($0 \leq \beta \leq 1$)

$$T_{med}^R = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^R T_i^R}{\sum_{i=1}^n Q_i^R}$$

= la temperatura media de escape del bastidor

n = el número de bastidores

N = el número de enfriadores

En algunas realizaciones, la temperatura media global de retorno del enfriador se puede usar como una estimación de la temperatura de retorno para cada enfriador en la agrupación. No obstante, cualquier enfriador individual puede tener una temperatura de retorno por debajo o por encima de este valor medio en base ante todo a los CI y las temperaturas de escape del bastidor en las inmediaciones del enfriador de interés. En al menos algunas realizaciones, las temperaturas de retorno de enfriador individual se estiman en base al siguiente modelo. La estrategia general en este planteamiento es contar primero las variaciones de la temperatura de retorno enfriador por enfriador sin considerar la temperatura absoluta correcta y luego escalar todos los valores de manera que las temperaturas de retorno sean coherentes con la media global que se trató anteriormente.

La temperatura de retorno para cualquier enfriador se puede estimar como:

$$T_j^C = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ij} Q_i^R T_i^R}{\sum_{i=1}^n f_{ij} Q_i^R} \quad (23)$$

donde f_{ij} es la fracción de flujo de aire desde el bastidor i que se captura por el enfriador j . Dado que solamente se estiman los CI por los calculadores (y no las f_{ij}) la tarea principal en la estimación de la variación de la temperatura de retorno enfriador por enfriador es estimar las f_{ij} empíricamente. Sabemos lo siguiente acerca de f_{ij} :

- 5 • f_{ij} debería aumentar a medida que aumenta el flujo de aire del enfriador Q_j^C
- f_{ij} debería disminuir a medida que aumenta Q_i^R
- $0 \leq f_{ij} \leq CI_j$
- f_{ij} disminuye con el aumento de la distancia Δx entre el bastidor y el enfriador

La siguiente estimación empírica para f_{ij} usada por el calculador satisface las condiciones anteriores:

$$f_{ij} = CI_j e^{\frac{-\alpha \Delta x Q_i^R}{Q_j^C}} \quad \text{donde } \sum_{j=1}^N e^{\frac{-\alpha \Delta x Q_i^R}{Q_j^C}} = 1, \alpha \text{ es una constante determinada empíricamente, típicamente mediante la comparación de las predicciones del modelo con las predicciones CFD correspondientes y se fija para un intervalo de parámetros de diseño típicos. } \Delta x \text{ se calcula como la distancia desde el centro del escape del bastidor al centro del extracto de enfriador para todas las parejas bastidor-enfriador – o bien en la misma o bien en filas opuestas.}$$

Una vez que se calculan las f_{ij} , las temperaturas de retorno de enfriador se pueden calcular a partir de la ecuación (23). Finalmente, todas las temperaturas de retorno de enfriador se escalan en base a la temperatura media global de retorno:

$$\left(T_j^C\right)_{nueva} = \frac{T_j^C T_{med}^C}{\left(T_{med}^C\right)_{no\ escalada}} \quad (24)$$

donde T_{med}^C es la temperatura media global de retorno que se trató en la sección precedente y $\left(T_{med}^C\right)_{no\ escalada}$ es la temperatura media de retorno de enfriador que se calculó en base a los valores T_j^C no escalados.

La temperatura de retorno se puede usar en las realizaciones de la invención para determinar la capacidad de los enfriadores usados en las agrupaciones, la cual depende fuertemente de esta cantidad. La capacidad de estimar la capacidad del enfriador con precisión, a su vez, permite una predicción precisa del número de enfriadores requeridos para satisfacer las metas de diseño que pueden incluir proporcionar redundancia de enfriamiento. La temperatura de retorno entonces, así como las predicciones de CI, puede afectar al diseño de la disposición como determinada manualmente o a través de algoritmos de optimización.

En las realizaciones de la invención, además de determinar las características de enfriamiento de una agrupación de bastidores, también es deseable y posible optimizar el rendimiento de enfriamiento. Ejemplos de optimización incluyen:

- 30 1) Determinar la mejor disposición de bastidores de equipos IT dadas las restricciones de espacio físico y las metas de redundancia de enfriamiento y de potencia. Esto puede incluir una determinación del número de enfriadores así como de UPS, PDU y otros equipos de distribución de potencia requeridos para cumplir las metas especificadas y entonces determinar la mejor disposición de todos estos equipos con respecto a una o más metas de diseño tal como minimizando la potencia total escapada.
- 35 2) Minimizar la cantidad de flujo de aire de enfriamiento requerida para una agrupación de equipos especificada disminuyendo el flujo de aire de uno o más enfriadores hasta que todos los bastidores alcanzan justo el umbral de CI de diseño.
- 40 3) Redistribuir las cargas de calor del bastidor en una agrupación de equipos especificada para, por ejemplo, minimizar la potencia total escapada al tiempo que se satisface un requisito de CI mínimo para todos los bastidores. Este ejemplo es aplicable a virtualización de servidores donde es posible mover la carga de trabajo de ordenador y por lo tanto el calor.

4) Identificar la mejor ubicación para colocar una carga de calor adicional (por ejemplo, instalar un servidor) con respecto a la potencia total escapada u otras metas de diseño.

En al menos algunas realizaciones, los cálculos del calculador de NN son muy rápidos y el calculador de NN se usa como un motor de predicción de enfriamiento sobre el cual se construye una funcionalidad de optimización. No obstante, en otras realizaciones, los otros calculadores descritos en la presente memoria también se pueden usar en un proceso de optimización. En una realización, la herramienta de NN se combina con una herramienta de optimización comercial. En una realización, la herramienta de optimización usa un algoritmo genético y se puede implementar usando, por ejemplo, el Risk Optimizer disponible en Palisade Corporation de Ithaca, NY para crear una herramienta integrada que sugiere automáticamente la mejor disposición de agrupación entre diversas disposiciones de agrupaciones posibles.

Por ejemplo, consideremos el problema de reasignar los equipos en las agrupaciones de las Figuras 11a y 11b en disposiciones óptimas – disposiciones en las cuales la potencia total escapada se minimiza sujeto a la restricción de que las CI de todos bastidores son mayores que el 85%. Las Figuras 12a y 12b muestran las disposiciones optimizadas resultantes junto con los valores calculados a partir de PDA-CFD por comparación. Determinar la disposición óptima para la disposición simétrica de la Figura 11a es comparativamente simple. No obstante, las disposiciones de agrupación tales como en la Figura 11b, con un número grande de disposiciones posibles únicas, plantean un mayor reto. Para estos problemas, la herramienta de optimización junto con el modelo de NN es una herramienta particularmente valiosa. Esta herramienta combinada puede ayudar también a cumplir otros retos de diseño de centros de datos complejos tales como determinar la carga (equipo) de calor adicional máxima que se puede instalar en la agrupación sujeto a ciertos requisitos de enfriamiento o la cantidad de enfriamiento adicional requerido para lograr un objetivo de enfriamiento especificado. Las herramientas de optimización usadas en las realizaciones también se pueden usar para optimizar equipos de distribución de potencia en una disposición de centro de datos en combinación con equipos de enfriamiento para optimizar una disposición desde una perspectiva de potencia y enfriamiento y para proporcionar niveles de redundancia deseados.

En el calculador de red neuronal tratado anteriormente, los modelos de red neuronal se desarrollan para agrupaciones de bastidores de diversas disposiciones y longitudes. En al menos una realización, el análisis de red neuronal implica segmentos de 0,5 pies (152,5 mm) de las agrupaciones o espacios. En una realización, el calculador de red neuronal se configura de manera que las agrupaciones largas (por ejemplo, mayores que 30 pies (9,150 metros)) se pueden analizar sin desarrollar modelos específicos para estas agrupaciones. Dentro de un pasillo largo, la influencia de los bastidores o enfriadores disminuye con el aumento de la distancia y, a alguna distancia, la influencia de los bastidores y enfriadores llega a ser menos significativa y no necesita ser considerada en el análisis de red neuronal. El análisis empírico ha encontrado que después de una distancia de 15 pies (4,575 metros), en agrupaciones típicas, los espacios no afectan entre sí. En esta realización, los cálculos de la red neuronal para agrupaciones de hasta 30 pies (9,150 metros) de longitud se realizan como se describió anteriormente. Para agrupaciones mayores de 30 pies (9,150 metros), el valor de CI en una posición de espacio se calcula en base al efecto de los espacios en un intervalo de 30 pies (9,150 metros). Como ejemplo, para una agrupación de 34 pies (10,370 metros) de largo, el análisis puede comenzar desde la esquina izquierda y la primera fila de la agrupación. Los valores de CI se determinan para espacios que cubren los primeros 15 pies (4,575 metros) de longitud y se calculan como si fuera para una agrupación de 30 pies (9,150 metros) de largo, al tiempo que no se asume ningún efecto de los espacios correspondientes a la longitud de 4 pies (1,220 metros) en el lado derecho alejado de la agrupación. Los valores de CI para espacios intermedios (después de los primeros 15 pies (4,575 metros) se calculan considerando la primera distancia de 15 pies (4,575 metros) tanto en el lado izquierdo como derecho del espacio relevante. De una manera similar, se usa la simetría para calcular los valores de CI que comienzan desde otros extremos de la agrupación.

Diversas realizaciones según la invención se pueden implementar en uno o más sistemas informáticos como se trató anteriormente. Por ejemplo, una aplicación de gestor de datos que contiene las herramientas de cálculo y análisis descritas en la presente memoria se puede implementar en un sistema informático único o en múltiples sistemas informáticos. Estos sistemas informáticos pueden ser, por ejemplo, ordenadores de propósito general tales como aquellos basados en procesador de tipo Intel PENTIUM, los procesadores Motorola PowerPC, Sun UltraSPARC, Hewlett-Packard PA-RISC o cualquier otro tipo de procesador.

Por ejemplo, diversos aspectos de la invención se pueden implementar como software especializado que se ejecuta en un sistema informático de propósito general 900 tal como el mostrado en la Figura 13. El sistema informático 900 puede incluir un procesador 903 conectado a uno o más dispositivos de memoria 904, tales como una unidad de disco, memoria u otro dispositivo para almacenar datos. La memoria 904 se usa típicamente para almacenar programas y datos durante la operación del sistema informático 900. El sistema informático 900 también puede incluir un sistema de almacenamiento 906 que proporciona capacidad de almacenamiento adicional. Los componentes del sistema informático 900 se pueden acoplar por un mecanismo de interconexión 905, que puede incluir uno o más buses (por ejemplo, entre componentes que se integran dentro de una misma máquina) y/o una red (por ejemplo, entre componentes que residen en máquinas discretas separadas). El mecanismo de interconexión 905 permite que las comunicaciones (por ejemplo, datos, instrucciones) sean intercambiadas entre componentes de sistema del sistema 900.

El sistema informático 900 también incluye uno o más dispositivos de entrada 902, por ejemplo, un teclado, ratón, bola de apuntamiento, micrófono, pantalla táctil y uno o más dispositivos de salida 907, por ejemplo, un dispositivo de impresión, pantalla de visualización, altavoz. Además el sistema informático 900 puede contener una o más interfaces (no mostradas) que conectan el sistema informático 900 a una red de comunicación (además o como alternativa al mecanismo de interconexión 905).

El sistema de almacenamiento 906, mostrado en mayor detalle en la Figura 14, típicamente incluye un medio de grabación no volátil legible o escribible por ordenador 911 en el que se almacenan señales que definen un programa a ser ejecutado por el procesador o información almacenada en o dentro del medio 911 a ser procesada por el programa para realizar una o más funciones asociadas con las realizaciones descritas en la presente memoria. El medio puede, por ejemplo, ser un disco o una memoria rápida. Típicamente, en operación, el procesador hace que los datos sean leídos desde el medio de grabación no volátil 911 a otra memoria 912 que permite un acceso más rápido a la información por el procesador que lo que lo hace el medio 911. Esta memoria 912 es típicamente una memoria volátil, de acceso aleatorio tal como una memoria de acceso aleatorio dinámica (DRAM) o memoria estática (SRAM). Puede estar situada en el sistema de almacenamiento 906, como se muestra o en el sistema de memoria 904. El procesador 903 generalmente manipula los datos dentro de la memoria de circuito integrado 904, 912 y entonces copia los datos al medio 911 después de que se completa el procesamiento. Se conoce una variedad de mecanismos para manejar el movimiento de datos entre el medio 911 y el elemento de memoria de circuito integrado 904, 912 y la invención no está limitada a los mismos. La invención no está limitada a un sistema de memoria particular 904 o sistema de almacenamiento 906.

El sistema informático puede incluir hardware programado especialmente, de propósito especial, por ejemplo, un circuito integrado de aplicaciones específicas (ASIC). Los aspectos de la invención se pueden implementar en software, hardware o microprogramas o cualquier combinación de los mismos. Además, tales métodos, acciones, sistemas, elementos de sistemas y componentes de los mismos se pueden implementar como parte del sistema informático descrito anteriormente o como un componente independiente.

Aunque el sistema informático 900 se muestra a modo de ejemplo como un tipo de sistema informático sobre el cual se pueden poner en práctica diversos aspectos de la invención, se debería apreciar que los aspectos de la invención no están limitados a ser implementados en el sistema informático que se muestra en la FIG. 13. Diversos aspectos de la invención se pueden poner en práctica en uno o más ordenadores que tengan una arquitectura o componentes diferentes a los mostrados en la FIG. 13. Además, donde las funciones o procesos de las realizaciones de la invención se describen en la presente memoria (o en las reivindicaciones) como que se realizan en un procesador o controlador, tal descripción se pretende que incluya sistemas que usan más de un procesador o controlador para realizar las funciones.

El sistema informático 900 puede ser un sistema informático de propósito general que es programable usando un lenguaje de programación informático de alto nivel. El sistema informático 900 también se puede implementar usando hardware programado especialmente, de propósito especial. En el sistema informático 900, el procesador 903 es típicamente un procesador disponible comercialmente tal como el procesador de clase Pentium bien conocido disponible en Intel Corporation. Están disponibles otros muchos procesadores. Tal procesador normalmente ejecuta un sistema operativo que puede ser, por ejemplo, los sistemas operativos Windows 95, Windows 98, Windows NT, Windows 2000 (Windows ME) o Windows XP disponibles en Microsoft Corporation, el sistema operativo MAC OS System X disponible en Apple Computer, el sistema operativo Solaris disponible en Sun Microsystems o sistemas operativos UNIX disponibles en diversas fuentes. Se pueden usar muchos otros sistemas operativos.

El procesador y sistema operativo juntos definen una plataforma informática para la cual se escriben programas de aplicaciones en lenguajes de programación de alto nivel. Se debería entender que las realizaciones de la invención no están limitadas a una plataforma de sistema informático, procesador, sistema operativo o red particular. También, debería ser evidente para los expertos en la técnica que la presente invención no está limitada a un lenguaje de programación o sistema informático específico. Además, se debería apreciar que también se podrían usar otros lenguajes de programación adecuados y otros sistemas informáticos adecuados.

Una o más partes del sistema informático se pueden distribuir a través de uno o más sistemas informáticos acoplados a una red de comunicación. Por ejemplo, un sistema informático que realiza las funciones de construcción o diseño de un centro de datos se puede situar remotamente de un gestor de sistema que monitoriza y gestiona componentes de un centro de datos. Estos sistemas informáticos también pueden ser sistemas informáticos de propósito general. Por ejemplo, diversos aspectos de la invención se pueden distribuir entre uno o más sistemas informáticos configurados para proporcionar un servicio (por ejemplo, servidores) a uno o más ordenadores cliente o para realizar una tarea general como parte de un sistema distribuido. Por ejemplo, diversos aspectos de la invención se pueden realizar en un sistema cliente-servidor o multinivel que incluye componentes distribuidos entre uno o más sistemas de servidores que realizan diversas funciones según diversas realizaciones de la invención. Estos componentes pueden ser ejecutables, código intermedio (por ejemplo, IL) o interpretado (por ejemplo, Java) que comunican sobre una red de comunicación (por ejemplo, Internet) usando un protocolo de comunicación (por ejemplo, TCP/IP). Por ejemplo, se pueden usar uno o más servidores de bases de datos para almacenar datos del

dispositivo que se usa en el diseño de las disposiciones y se pueden usar uno o más servidores para realizar eficientemente cálculos de enfriamiento asociados con realizaciones de la presente invención.

5 Se debería apreciar que la invención no está limitada a ejecutarse en ningún sistema o grupo de sistemas particular. También, se debería apreciar que la invención no está limitada a ninguna arquitectura distribuida, red o protocolo de comunicación particular.

10 Diversas realizaciones de la presente invención se pueden programar usando un lenguaje de programación orientado a objeto, tal como SmallTalk, Java, C++, Ada o C# (C-Sharp). Se pueden usar también otros lenguajes de programación orientados a objeto. Alternativamente, se pueden usar lenguajes de programación funcional, de secuencias de comandos y/o lógica. Diversos aspectos de la invención se pueden implementar en un entorno no programado (por ejemplo, documentos creados en HTML, XML u otro formato que, cuando se ven en una ventana de un programa navegador, reproducen aspectos de una interfaz gráfica de usuario (GUI) o realizan otras funciones). Diversos aspectos de la invención se pueden implementar como elementos programados o no programados o cualquier combinación de los mismos.

15 Las realizaciones de sistemas y métodos descritos anteriormente se describen de manera general para uso en centros de datos relativamente grandes que tienen numerosos bastidores de equipos, no obstante, las realizaciones de la invención se pueden usar también con centros de datos más pequeños y con instalaciones distintas de centros de datos. Además, como se trató anteriormente, las realizaciones de la presente invención se pueden usar con instalaciones que tienen suelos elevados así como con instalaciones que no tienen un suelo elevado. En las realizaciones de la presente invención tratadas anteriormente, los resultados del análisis se pueden describir como
20 que se proporcionan en tiempo real o casi en tiempo real. Como se entiende por los expertos en la técnica, el uso del término tiempo real no se entiende que sugiera que los resultados estén disponibles inmediatamente, sino que más bien, están disponibles rápidamente dando a un diseñador la capacidad de intentar un número de diseños diferentes en un corto periodo de tiempo, tal como en cuestión de minutos.

25

REIVINDICACIONES

1. Un método de determinación de características de enfriamiento de un centro de datos que comprende:
 - recibir datos relacionados con una configuración de equipos en el centro de datos;
 - 5 identificar agrupaciones de bastidores en la configuración de equipos y para cada agrupación de bastidores determinar si la agrupación de bastidores es una agrupación de pasillo caliente¹2 o una agrupación de pasillo frío (102); y
 - determinar un índice de captura de pasillo caliente para al menos un bastidor de equipos (114) donde la al menos una agrupación de bastidores es la agrupación de pasillo caliente; y
 - 10 determinar un índice de captura de pasillo frío para al menos un bastidor de equipos (104) donde la al menos una agrupación de bastidores es la agrupación de pasillo frío.
2. El método de la reivindicación 1, en donde recibir datos además incluye recibir información relacionada con el flujo de aire y la potencia asociados con el equipo.
3. El método de la reivindicación 2, en donde la información relacionada con el flujo de aire incluye el flujo de aire de aire de enfriamiento disponible para la al menos una agrupación de bastidores y/o incluye la temperatura del aire de enfriamiento y/o incluye el flujo de aire de escape de aire caliente del bastidor extraído por enfriadores y/o incluye la temperatura del escape de aire caliente del bastidor.
- 15 4. El método de la reivindicación 1, que además comprende seleccionar un modelo de cálculo para determinar el índice de captura de pasillo caliente y determinar el índice de captura de pasillo frío en base al menos en parte a la configuración del equipo y calcular el índice de captura de pasillo caliente y el índice de captura de pasillo frío usando el modelo de cálculo seleccionado.
- 20 5. El método de la reivindicación 4, en donde el modelo de cálculo seleccionado es un modelo algebraico.
6. El método de la reivindicación 5, en donde el modelo algebraico calcula el índice de captura de pasillo caliente de un bastidor en una agrupación de pasillo caliente en base a una relación del flujo de aire total capturado al flujo de aire total suministrado al bastidor, en donde el flujo de aire total capturado se calcula en base al flujo de aire de todos los enfriadores en la agrupación de pasillo caliente y las distancias horizontales desde los enfriadores al bastidor y en donde el flujo de aire total suministrado se calcula en base al flujo de aire del bastidor, el flujo de aire de bastidores colindantes y las distancias horizontales de los bastidores colindantes desde el bastidor.
- 25 7. El método de la reivindicación 6, en donde el flujo de aire total suministrado y el flujo de aire total capturado se calculan además usando un coeficiente de acoplamiento para ponderar el flujo de aire calculado de los bastidores en una fila opuesta al bastidor.
- 30 8. El método de la reivindicación 5, en donde el modelo algebraico calcula el índice de captura de pasillo frío de un bastidor en una agrupación de pasillo frío que tiene un suelo elevado en base a una relación del flujo de aire total suministrado al flujo de aire total capturado en el bastidor, en donde el flujo de aire total capturado se calcula en base al flujo de aire del bastidor, el flujo de aire de bastidores colindantes y las distancias horizontales de los bastidores colindantes desde el bastidor y en donde el flujo de aire total suministrado se calcula en base al flujo de aire suministrado al bastidor asociado con el flujo de aire de las baldosas del suelo elevado y las distancias geométricas de las baldosas desde el bastidor.
- 35 9. El método de la reivindicación 8, en donde el flujo de aire total capturado se calcula además usando un coeficiente de acoplamiento para ponderar el flujo de aire calculado de los bastidores en una fila opuesta al bastidor.
- 40 10. El método de la reivindicación 5, en donde el modelo algebraico calcula el índice de captura de pasillo frío de un bastidor en una agrupación de pasillo frío que tiene tanto un suelo elevado como al menos un enfriador en base a una relación del flujo de aire total suministrado al flujo de aire total capturado en el bastidor, en donde el flujo de aire total capturado se calcula en base al flujo de aire del bastidor, el flujo de aire de los bastidores colindantes y las distancias horizontales de los bastidores colindantes desde el bastidor y en donde el flujo de aire total suministrado se calcula en base a (1) el flujo de aire suministrado al bastidor asociado con el flujo de aire de las baldosas del suelo elevado y las distancias geométricas de las baldosas desde el bastidor y (2) el flujo de aire de enfriadores en la agrupación de pasillo frío, el camino de flujo de aire de los enfriadores y las distancias horizontales de los enfriadores desde el bastidor.
- 45 11. El método de la reivindicación 4, en donde el modelo de cálculo seleccionado es un modelo de dinámica de fluidos computacional, un modelo de red neuronal o un modelo PDA-CFD.
- 50 12. El método de la reivindicación 1, en donde el centro de datos incluye al menos una unidad de enfriamiento en fila dispuesta en una fila de bastidores de equipos y en donde el método además incluye determinar la temperatura de

aire de retorno a la al menos una unidad de enfriamiento en fila en base al índice de captura de pasillo caliente para cada bastidor dentro de una agrupación asociada con la unidad de enfriamiento en fila.

13. El método de la reivindicación 1, que además comprende determinar la potencia total escapada para al menos una agrupación de bastidores y proporcionar una indicación de la potencia total escapada.

5 14. El método de la reivindicación 1, que además comprende comparar el índice de captura de pasillo caliente o el índice de captura de pasillo frío con un umbral y proporcionar una indicación si el índice de captura de pasillo caliente o el índice de captura de pasillo frío está por debajo del umbral.

10 15. El método de la reivindicación 14, que además comprende optimizar una disposición de al menos una agrupación en base a una indicación de un bastidor de la al menos una agrupación que tiene un índice de captura menor que el umbral y proporcionar una disposición optimizada.

16. Un programa de ordenador que, cuando se ejecuta por un procesador (903); se dispone para hacer que el método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes sea realizado.

17. Un sistema de gestión de centro de datos que comprende:

una memoria (904) para almacenar datos; y

15 un controlador acoplado a la memoria y adaptado para:

recibir datos relacionados con una configuración de equipo en el centro de datos;

identificar agrupaciones de bastidores en la configuración de equipos y para cada agrupación de bastidores determinar si la agrupación de bastidores es una agrupación de pasillo caliente (112) o una agrupación de pasillo frío (102);

20 determinar un índice de captura de pasillo caliente para al menos un bastidor de equipos (114) donde la al menos una agrupación de bastidores es la agrupación de pasillo caliente; y

determinar un índice de captura de pasillo frío para al menos un bastidor de equipos (104) donde la al menos una agrupación de bastidores es la agrupación de pasillo frío.

18. El sistema de gestión de centro de datos de la reivindicación 17, en donde

25 el controlador se adapta además para recibir información relacionada con el flujo de aire y la potencia asociada con el equipo o

se adapta además para determinar el índice de captura de pasillo caliente y determinar el índice de captura de pasillo frío en base al flujo de aire de enfriamiento disponible para la al menos una agrupación de bastidores (102, 112) y/o

30 se adapta además para determinar el índice de captura de pasillo caliente y determinar el índice de captura de pasillo frío en base a la temperatura del aire de enfriamiento o

se adapta además para determinar el índice de captura de pasillo caliente y determinar el índice de captura de pasillo frío en base al flujo de aire de escape de aire caliente de bastidor extraído por los enfriadores y/o

35 se adapta además para determinar el índice de captura de pasillo caliente y determinar el índice de captura de pasillo frío en base a la temperatura del escape de aire caliente de bastidor o

se adapta además para determinar el índice de captura de pasillo caliente para al menos un bastidor (114) de una agrupación de pasillo caliente (112) que tiene un enfriador en fila o se adapta además para determinar el índice de captura de pasillo frío para al menos un bastidor (104) de un pasillo frío (102) que recibe aire de enfriamiento desde una baldosa perforada de un suelo elevado o

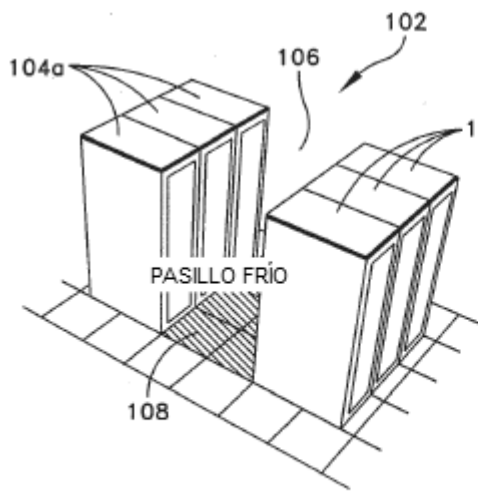
40 se adapta además para determinar la temperatura del aire de retorno para al menos una unidad de enfriamiento en fila en base al índice de captura de pasillo caliente para cada bastidor dentro de una agrupación asociada con la unidad de enfriamiento en fila o

se adapta además para determinar la potencia total escapada para al menos una agrupación de bastidores y proporcionar una indicación de la potencia total escapada o

45 se adapta además para comparar el índice de captura de pasillo caliente o el índice de captura de pasillo frío con un umbral y proporcionar una indicación si el índice de captura de pasillo caliente o el índice de captura de pasillo frío está por debajo del umbral y/o

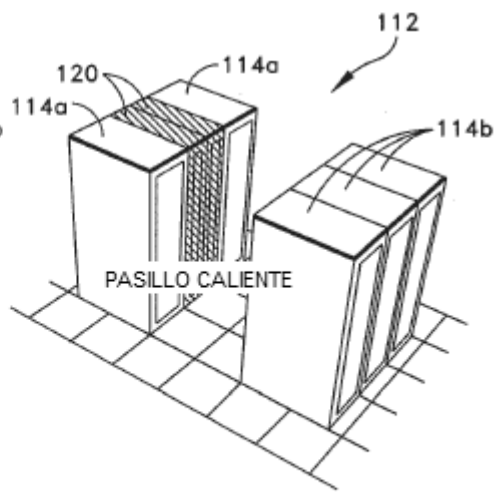
se adapta además para optimizar una disposición de al menos una agrupación en base a una indicación de un bastidor de la al menos una agrupación que tiene un índice de captura menor que el umbral y proporcionar una disposición optimizada.

- 5 19. El sistema de gestión de centro de datos de la reivindicación 17, que además comprende un dispositivo de salida gráfica (907) acoplado al controlador y en donde el controlador se adapta para proporcionar una salida gráfica de una disposición de al menos una agrupación (102, 112) de bastidores (114) al dispositivo de salida gráfica.



AGRUPACIÓN DE PASILLO FRÍO (SUELO ELEVADO)

FIGURA 1a



AGRUPACIÓN DE PASILLO CALIENTE (ENFRIADOR LOCAL)

FIGURA 1b

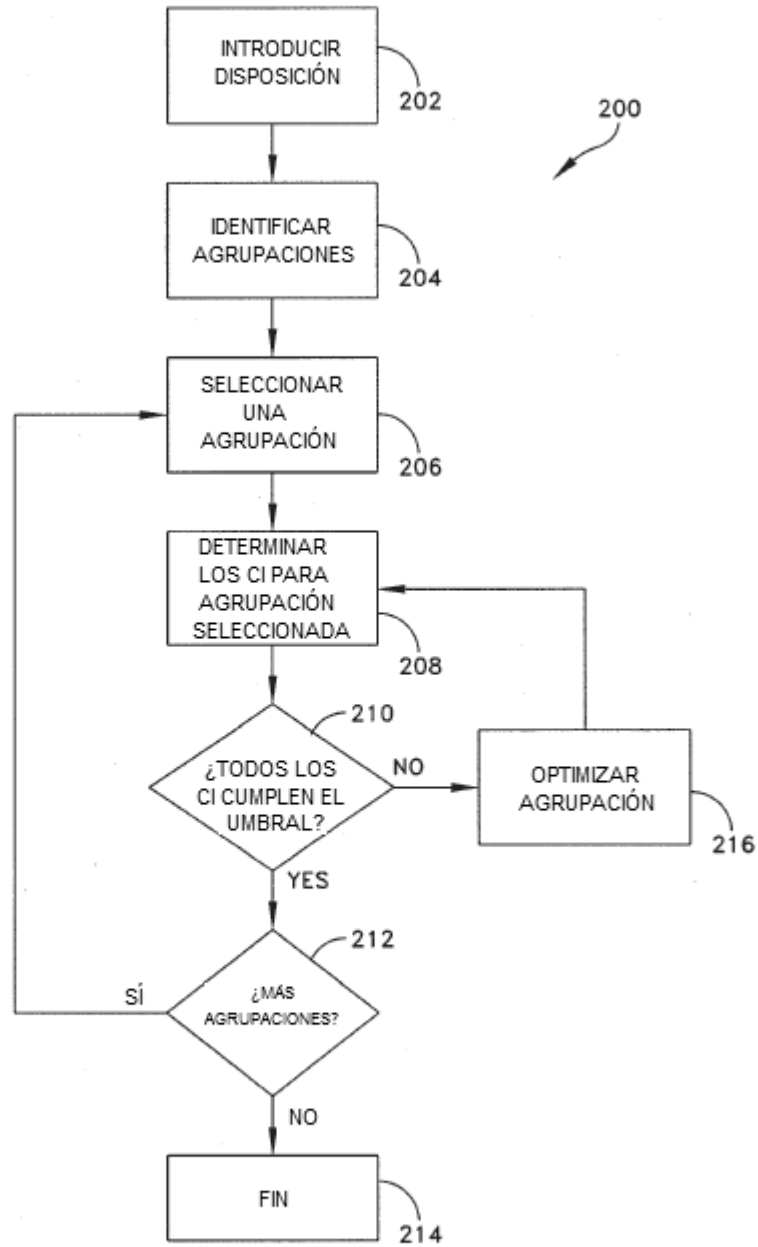


FIGURA 2

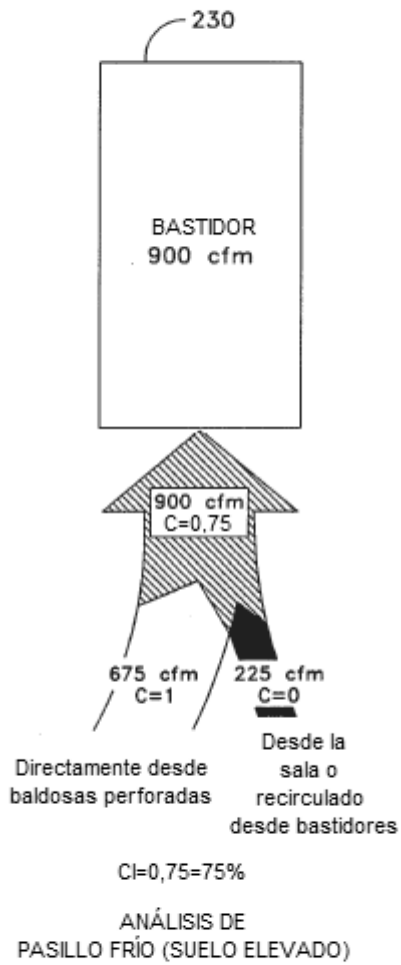


FIGURA 3a

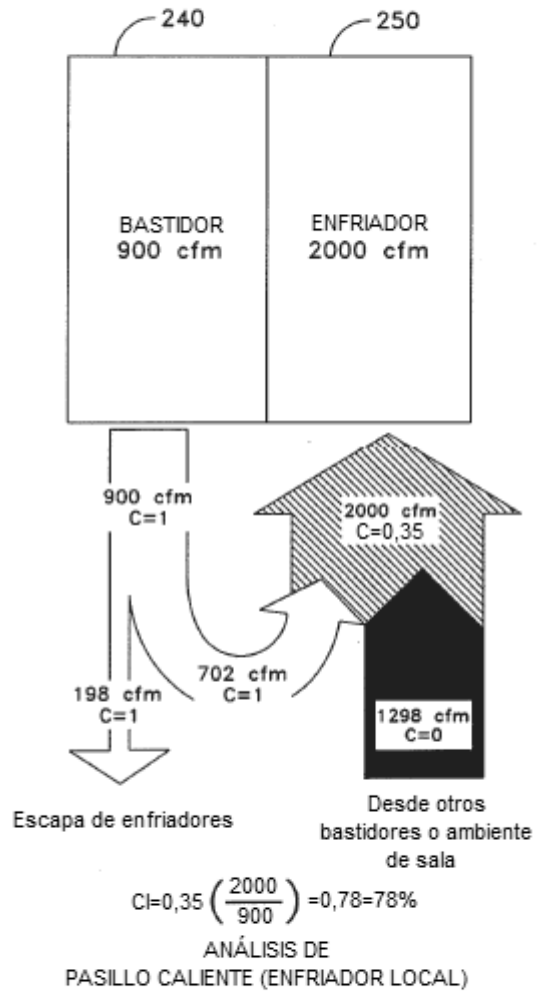


FIGURA 3b

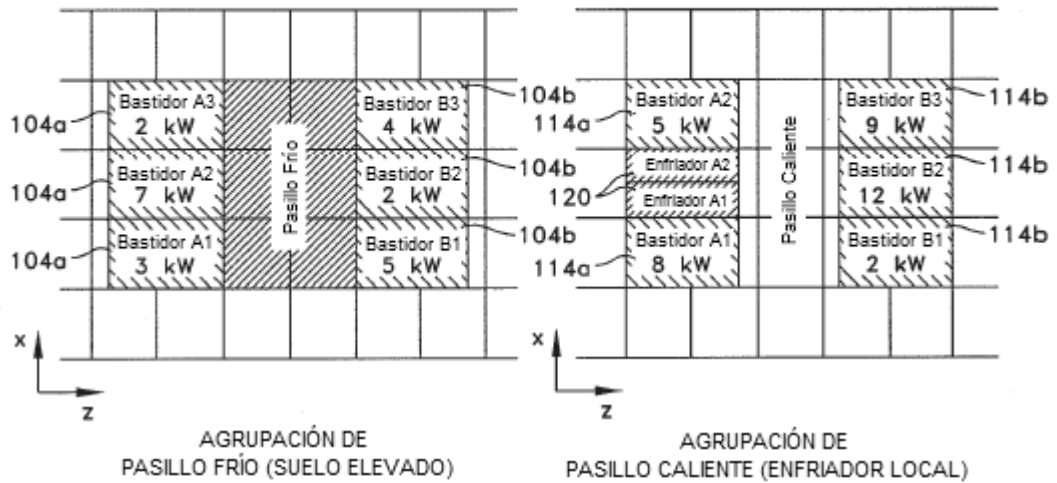


FIGURA 4a

FIGURA 4b

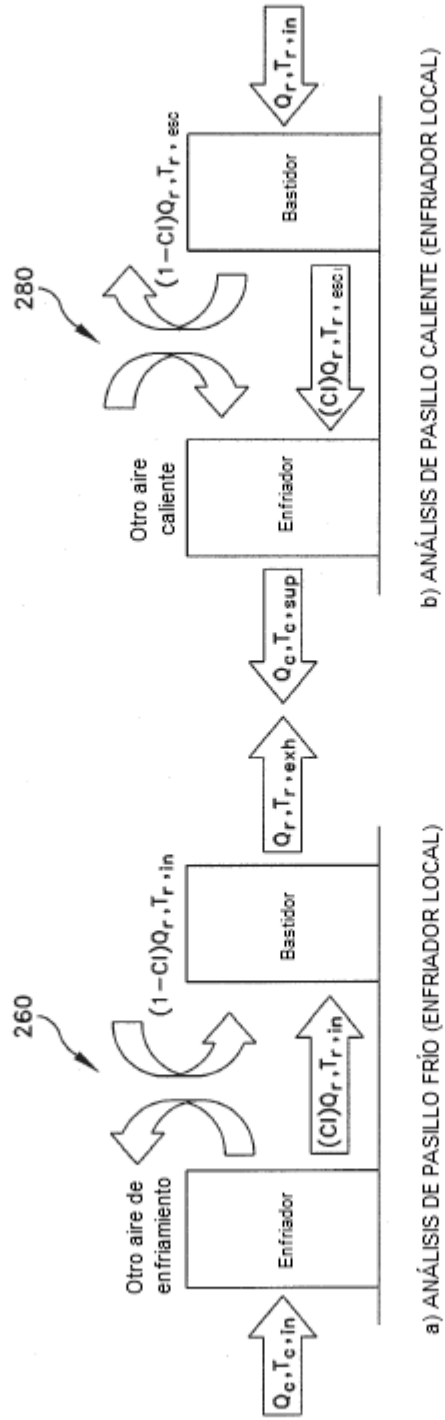


FIGURA 5a

FIGURA 5b

SHI	0,005	0,067	0,298	0,286	0,176	
Temp. de Entrada de Bastidor Máx.	68 °F	70 °F	79 °F	78 °F	72 °F	
CI	100%	100%	93%	100%	90%	
	3 kW	6 kW	10 kW	6 kW	6 kW	
Potencia Total Escapada = 6,6 kW						
Pasillo Caliente Agrupación SHI=0,18						
RCI _{HI} = 98%						
CI	4 kW	4 kW	5 kW	10 kW	8 kW	12 kW
Temp. de Entrada de Bastidor Máx.	100%	100%	88%	82%	88%	84%
SHI	71 °F	75 °F	75 °F	73 °F	71 °F	72 °F
	0,128	0,230	0,245	0,193	0,114	0,080

Disposición Inicial

FIGURA 6a

SHI	0,008	0,010	0,013	0,016	0,024	
Temp. de Entrada de Bastidor Máx.	68 °F	68 °F	68 °F	68 °F	69 °F	
CI	100%	100%	100%	100%	100%	
	8 kW	10 kW	12 kW	10 kW	6 kW	
Potencia Total Escapada = 0,51 kW						
Pasillo Caliente Agrupación SHI=0,024						
RCI _{HI} = 100%						
CI	3 kW	6 kW	5 kW	4 kW	6 kW	4 kW
Temp. de Entrada de Bastidor Máx.	100%	96%	99%	98%	99%	98%
SHI	69 °F	69 °F	69 °F	69 °F	69 °F	69 °F
	0,015	0,028	0,051	0,051	0,045	0,032

Disposición Optimizada

FIGURA 6b

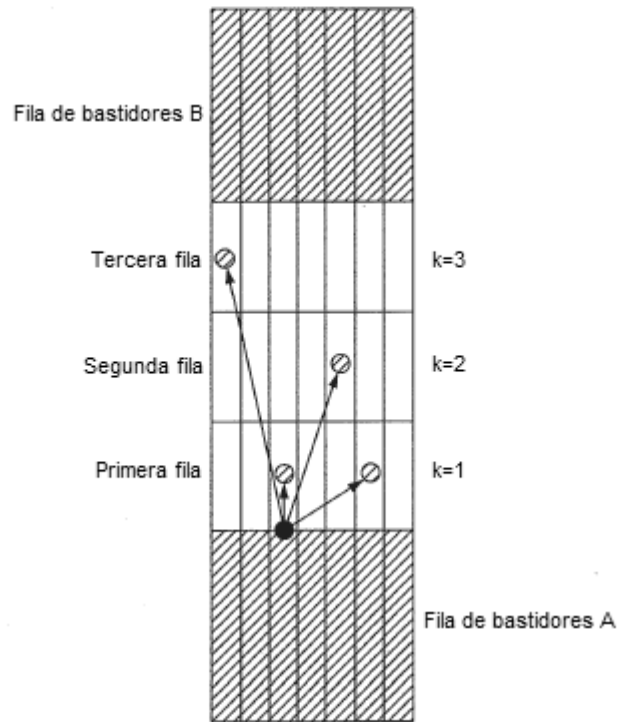
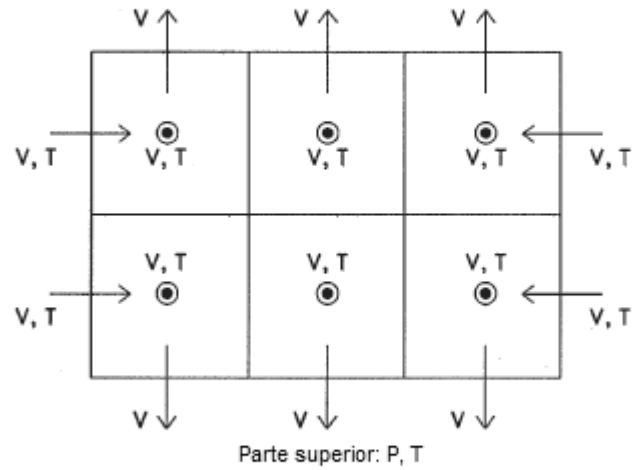
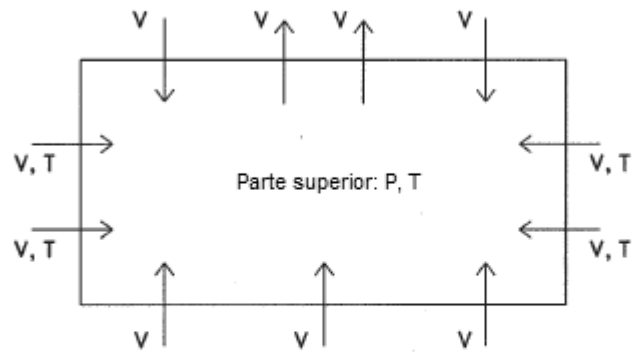


FIGURA 7



EJEMPLO DE PASILLO FRÍO DE SUELO ELEVADO

FIGURA 8a



EJEMPLO DE PASILLO CALIENTE DE ENFRIADOR LOCAL

FIGURA 8b

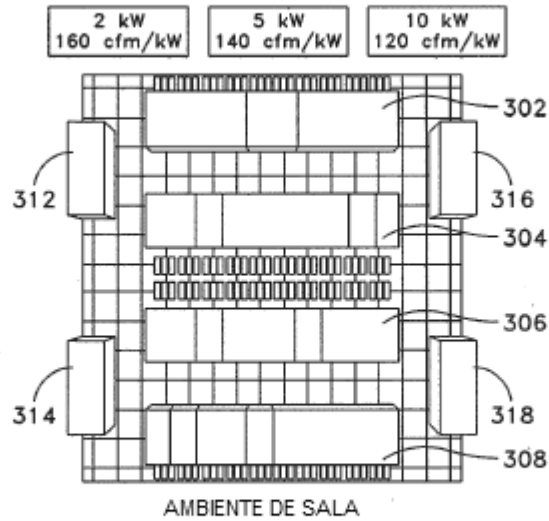


FIGURA 9a

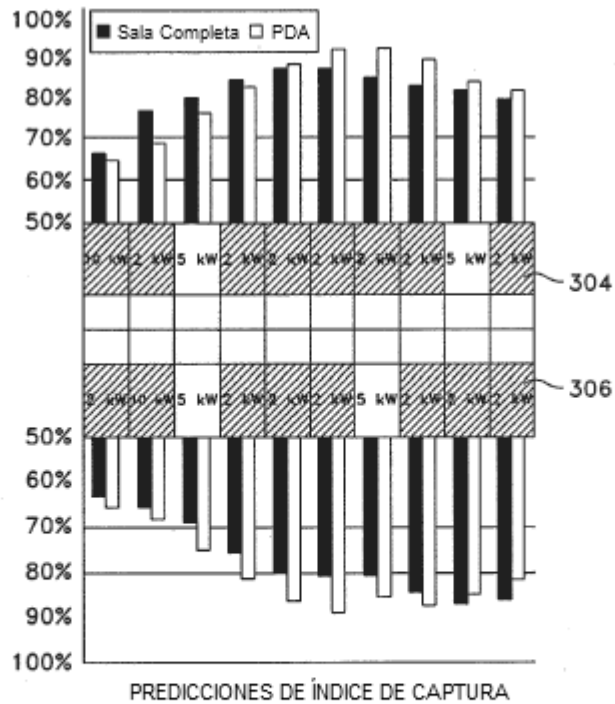
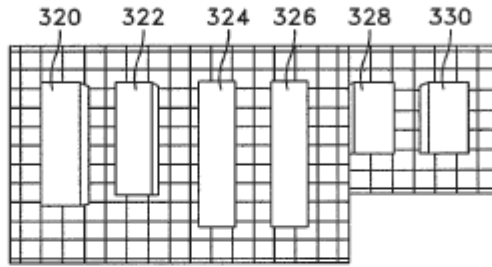
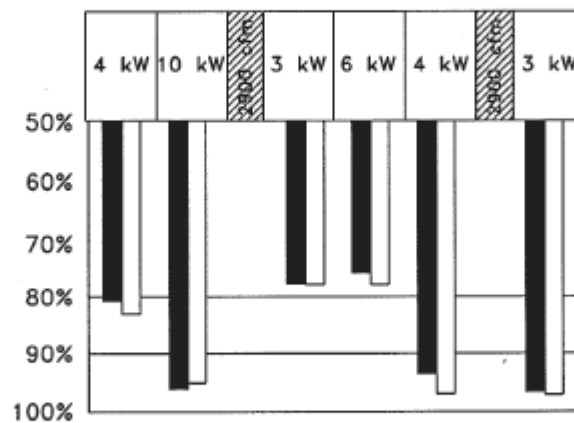
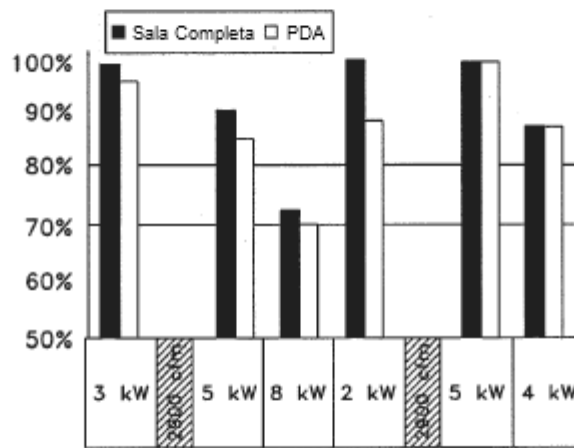


FIGURA 9b



AMBIENTE DE SALA

FIGURA 10a



b) PREDICIONES DE ÍNDICE DE CAPTURA

FIGURA 10b

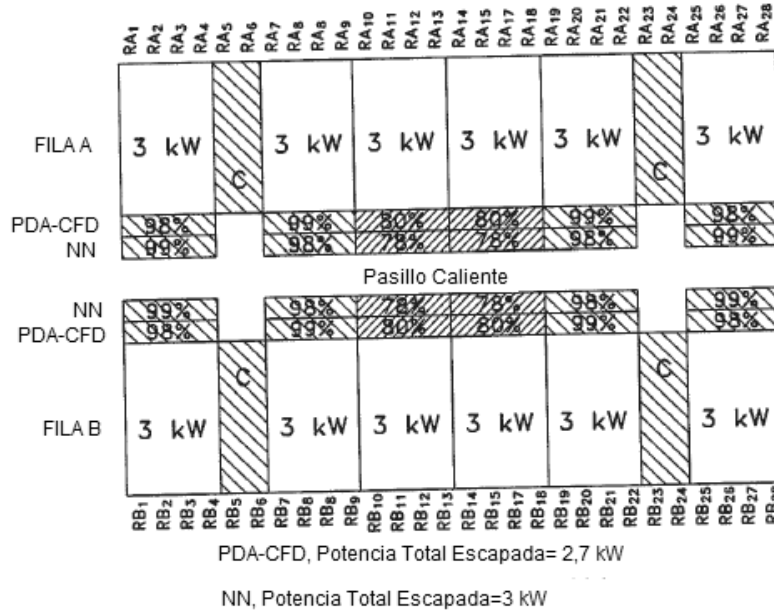


FIGURA 11a

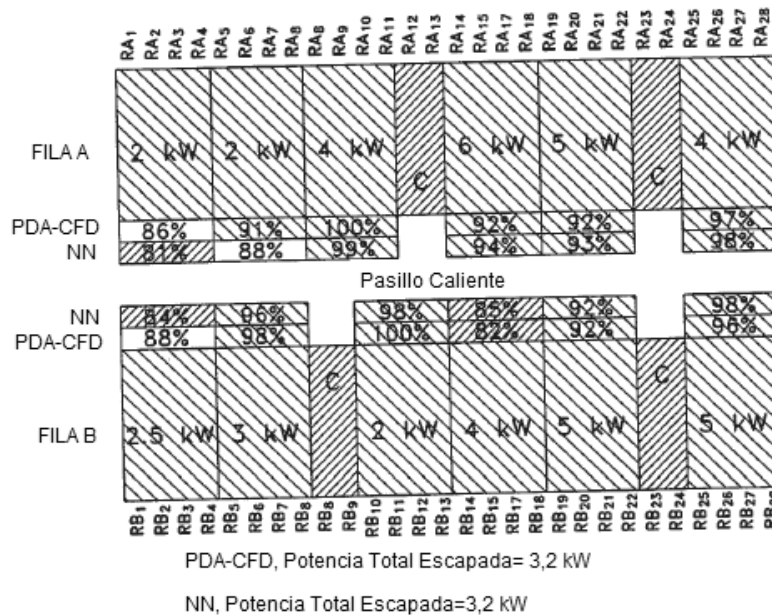


FIGURA 11b

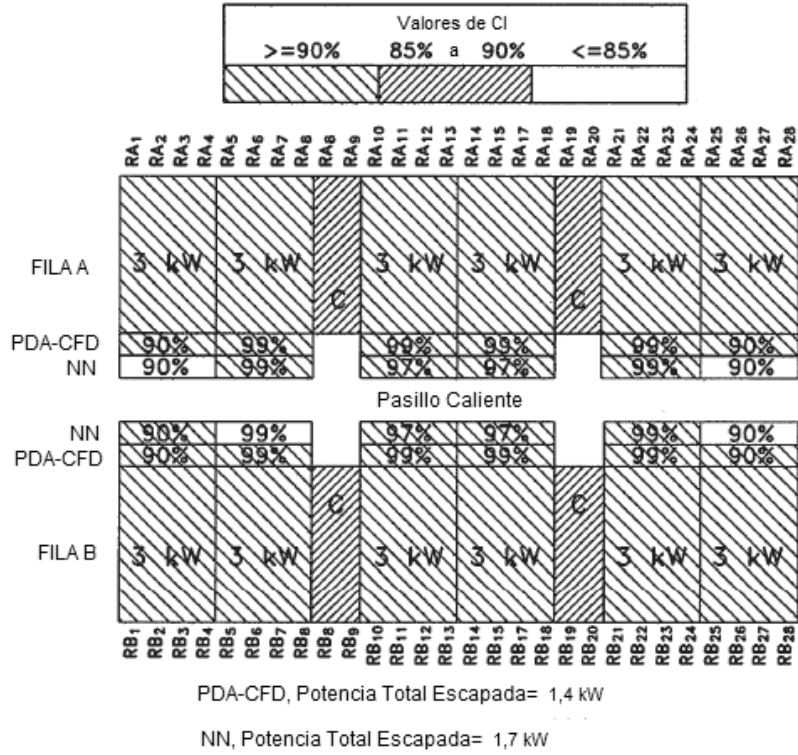


FIGURA 12a

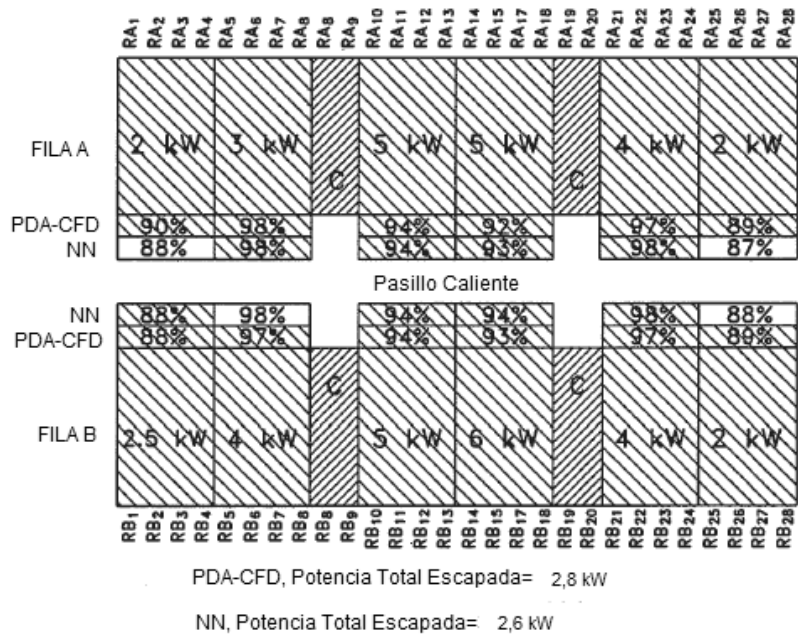


FIGURA 12b

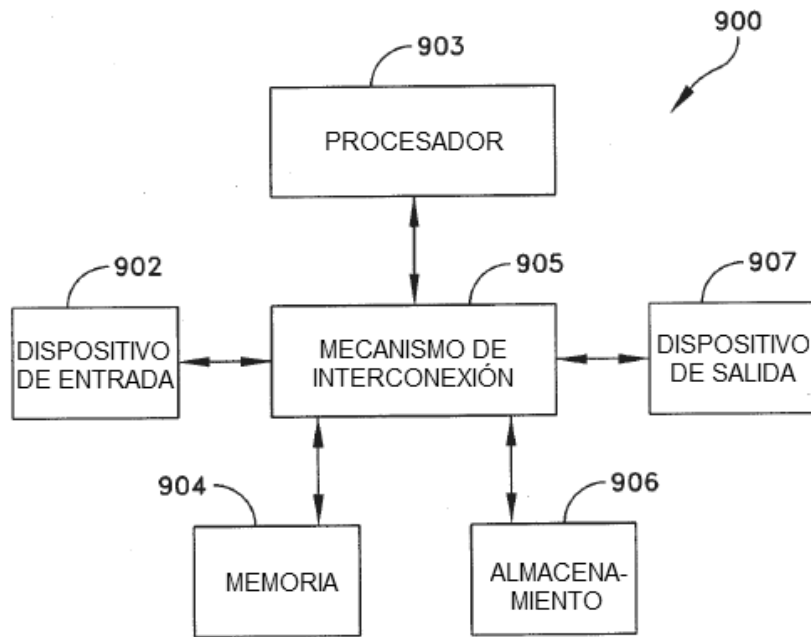


FIGURA 13

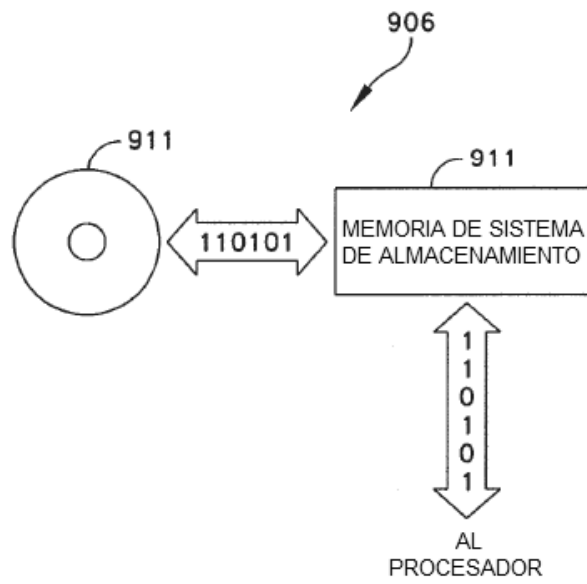


FIGURA 14