

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 222**

51 Int. Cl.:

G05B 13/00 (2006.01)

G05B 17/02 (2006.01)

G05D 23/19 (2006.01)

F24F 11/00 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.02.2011 PCT/US2011/024847**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2011 WO11100736**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2011 E 11704901 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 2537071**

54 Título: **Sistema y método basados en modelos para estimar parámetros y estados en espacios de temperatura controlada**

30 Prioridad:

15.02.2010 US 304613 P

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

13.06.2018

73 Titular/es:

**CARRIER CORPORATION (100.0%)
1 Carrier Place
Farmington, CT 06489 , US**

72 Inventor/es:

**O'NEILL, ZHENG;
NARAYANAN, SATISH;
DIEBOLD, MATHIAS y
BANASZUK, ANDRZEJ**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 672 222 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 basados en modelos para estimar parámetros y estados en espacios de temperatura controlada

5 Referencia cruzada a la solicitud relacionada

Esta es una solicitud de patente internacional presentada de conformidad al Tratado de Cooperación en materia de Patentes reivindicando la prioridad bajo la 35 USC § 119(e) respecto a la solicitud de patente provisional de EE.UU. N° de serie 61/304.613 presentada el 15 de febrero de 2010.

10 Campo técnico de la divulgación

La presente divulgación se refiere en general a sistemas y a métodos para controlar la temperatura en un espacio interior y, más en particular, a sistemas y a métodos para estimar parámetros relacionados con el calentamiento y/o enfriamiento de un espacio interior.

15 Antecedentes de la divulgación

20 Puede usarse una diversidad de sistemas para controlar la temperatura dentro de un espacio dado. Se usan sistemas HVAC, por ejemplo, para controlar la temperatura y otras condiciones ambientales dentro de estructuras tales como residencias, edificios de oficinas, y plantas de fabricación. A título de ejemplo, las condiciones ambientales tales como la temperatura, la humedad, la pureza del aire, el flujo de aire, la entalpía (valor combinado de temperatura y humedad), y la ventilación de "aire puro" pueden regularse para asegurar que el ambiente interior de una estructura sea el deseado para los ocupantes y los equipos particulares alojados en la estructura, y para los procesos y procedimientos llevados a cabo dentro de la estructura. Análogamente, se usan sistemas de refrigeración para mantener un espacio interior, tal como una sala fría para almacenamiento de alimentos, a una temperatura deseada para minimizar el crecimiento de bacterias u otros efectos perjudiciales para el contenido almacenado en el espacio.

30 Los sistemas convencionales usados para controlar la temperatura de un espacio están limitados normalmente en cuanto al tipo de parámetros sobre los que se proporciona realimentación. Tales sistemas pueden incluir diversos sensores para detectar parámetros, tales como la temperatura, en tiempo real. El número de parámetros sobre los que pueden proporcionarse datos, por lo tanto, está limitado normalmente a aquellos parámetros que pueden medirse directamente o inferirse a partir de tales mediciones. La cantidad limitada de datos de realimentación, a su vez, puede limitar o impedir la capacidad de realizar ciertos procesos, tales como diagnósticos de sistema, o reducir materialmente la precisión y exactitud de esos procesos.

40 En ciertas aplicaciones, la limitada realimentación proporcionada por los sistemas convencionales puede dar lugar a un funcionamiento o monitorización ineficientes de esos sistemas. Un sistema de refrigeración de supermercado, por ejemplo, puede tener una sala fría para almacenar artículos a una temperatura controlada. La calidad de los alimentos es de importancia primordial para el funcionamiento del supermercado, y por lo tanto el sistema de refrigeración puede monitorizarse continuamente para mantener una temperatura de los alimentos deseada. En algunos sistemas, puede activarse una alarma cuando la temperatura de la sala sobrepasa un valor umbral. Un técnico puede revisar las condiciones de alarma para intentar determinar la causa originaria de la alarma, tal como detectando y diagnosticando posibles averías en el sistema de refrigeración. Los sistemas de monitorización convencionales usan normalmente un proceso manual para determinar las causas originarias de señales de alarma. Por ejemplo, un técnico puede llamar al almacén para determinar si recientemente se introdujeron artículos más calientes en la sala fría, elevando así la temperatura del aire de la sala fría por encima del valor umbral.

50 Además o alternativamente, el técnico puede esperar un periodo de tiempo predeterminado para ver si la temperatura del aire vuelve a un nivel seguro antes de determinar si la alarma es verdadera o falsa. Tal retardo, sin embargo, puede afectar negativamente a la calidad de los alimentos durante un periodo de tiempo innecesario.

55 Por lo tanto, resultaría ventajoso si se desarrollara un sistema mejorado para predecir las temperaturas de la sala fría en un espacio interior. El documento EP2012069 A1 divulga un método de regulación de la temperatura de suministro de una salida de fluido de servicio de una máquina de refrigeración.

Sumario de la divulgación

60 De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención proporciona un método para estimar una temperatura en una sala fría de un sistema de refrigeración, que comprende: determinar un estado medido de la sala fría, siendo el estado medido al menos una temperatura del aire medida dentro de la zona; y generar un modelo termodinámico de orden reducido de la sala fría, incluyendo el modelo termodinámico al menos un parámetro desconocido; y caracterizado por identificar el al menos un parámetro desconocido del modelo termodinámico usando un método de identificación de sistema y datos de medición de sensor, incluyendo el al menos un parámetro desconocido un parámetro concentrado H^* relacionado con el coeficiente de transferencia de calor superficial global de la sala fría y

con el área superficial de la sala fría y un parámetro Qd^* relacionado con la aportación de energía durante la descongelación; generar un filtro de Kalman extendido basado en el modelo termodinámico de la sala fría; y procesar el estado medido usando el filtro de Kalman extendido para obtener un estado desconocido estimado de la sala fría, siendo el estado desconocido estimado de la sala fría una temperatura de los artículos y para obtener un parámetro desconocido estimado de la sala fría para generar una temperatura de la sala fría predicha, incluyendo el parámetro desconocido estimado de la sala fría una carga de infiltración, una resistencia térmica del lado aire de un serpentín del evaporador y la tasa de crecimiento y disminución de hielo en el serpentín del evaporador.

Estos y otros aspectos y características de la divulgación resultarán más evidentes tras leer la siguiente descripción detallada cuando se toma conjuntamente con los dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de un método basado en modelos para estimar la carga en un edificio;
 la figura 2 es una ilustración esquemática de un edificio;
 la figura 3 es una ilustración esquemática de una planta del edificio de la figura 2;
 la figura 4 es una ilustración esquemática de un modelo termodinámico de edificio que puede usarse en el método ilustrado en la figura 1;
 la figura 5 es una ilustración esquemática de una actualización de tiempo y una actualización de medición que pueden realizarse mediante un estimador basado en el filtro de Kalman extendido;
 la figura 6 es una representación gráfica de un perfil de carga interna de un edificio obtenido a partir del método ilustrado en la figura 1;
 la figura 7 es una ilustración esquemática de una sala fría de un sistema de refrigeración de supermercado; y
 la figura 8 es un diagrama de bloques esquemático de un método basado en modelos para predecir una temperatura del aire en una sala fría de un sistema de refrigeración de supermercado.

Aunque la presente divulgación es susceptible de diversas modificaciones y construcciones alternativas, más adelante se mostrarán y describirán en detalle ciertas realizaciones ilustrativas de la misma. Debería entenderse, sin embargo, que no existe intención de que esté limitada a las realizaciones específicas descritas, sino que, por el contrario, la intención es abarcar todas las modificaciones, construcciones alternativas y equivalentes que entren dentro del alcance de las reivindicaciones.

Descripción detallada de los dibujos

Haciendo referencia ahora a los dibujos, se proporcionan realizaciones de una estimación basada en modelos para mejorar el funcionamiento, la monitorización, y/o el control de sistemas de temperatura controlada. En una realización, se usa un modelo termodinámico de una zona en un edificio conjuntamente con un filtro de Kalman extendido (EKF, por sus siglas en inglés, Extended Kalman Filter) para estimar una carga de calentamiento/enfriamiento (por ejemplo, una carga interna) de la zona. Pueden usarse múltiples cargas estimadas a lo largo del tiempo para generar un perfil de carga estimada, que puede usarse a su vez en programas de simulación de energía o para diagnóstico. En otra realización, se usa un modelo termodinámico de una sala fría conjuntamente con un EKF para estimar una temperatura de los artículos almacenados en la sala fría. El EKF también puede estimar algunos parámetros desconocidos que pueden usarse en el modelo termodinámico para generar una temperatura del aire predicha de la sala fría. La temperatura del aire predicha puede compararse con una temperatura medida real de la sala fría para determinar si una condición de alarma activada es verdadera o falsa.

La figura 1 ilustra esquemáticamente un método 20 para estimar la carga en tiempo real en una zona de un edificio. La zona a la cual se aplica el método puede escalarse. Es decir, la zona puede definirse como una sola sala dentro del edificio, como un grupo de salas, como una planta entera, o como todo el espacio interior del edificio. El método además puede aplicarse simultáneamente a múltiples zonas diferentes dentro del mismo edificio. Por ejemplo, en la figura 2 se ilustra esquemáticamente un edificio 10, mientras que en la figura 3 se ilustra una planta 12 del edificio (10). Una zona interior T_{zone} está situada en la planta 12 del edificio 10. En la realización ilustrada, la zona interior T_{zone} está rodeada por cuatro zonas colindantes, una zona colindante norte T_n , una zona colindante este T_e , una zona colindante sur T_s , y una zona colindante oeste T_w . El método 20 puede usarse para estimar la carga en tiempo real en la zona interior T_{zone} del edificio 10.

Volviendo a la figura 1, en el bloque 22, varios sensores proporcionan datos en tiempo real, tales como sensores de temperatura y sensores de flujo de aire, provistos en la zona. Los sensores pueden proporcionarse como parte de un sistema HVAC usado para controlar la temperatura y otras cualidades del aire en la zona. Por consiguiente, los datos en tiempo real pueden tomarse de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS, por sus siglas en inglés, Building Management System) o de un sistema similar proporcionado para controlar el sistema HVAC. Los datos en tiempo real pueden incluir la temperatura, la velocidad de flujo de aire, u otras cualidades que pueden medirse directamente. Puede usarse una pluralidad del mismo tipo de sensor en las zonas colindantes para medir un parámetro en diferentes áreas dentro del edificio. Por ejemplo, pueden proporcionarse múltiples sensores de

temperatura, tales como en las zonas colindantes norte, sur, este y oeste dentro del edificio, para proporcionar datos de temperatura en esas múltiples posiciones.

5 Los datos en tiempo real se introducen en un modelo termodinámico de orden reducido de la zona de edificio en el bloque 24. En la figura 4 se muestra esquemáticamente un modelo termodinámico de espacio de estado de orden bajo 25 a modo de ejemplo, que puede emplearse dentro del bloque 24 y puede estar basado en ecuaciones algebraicas y diferenciales no lineales. El modelo 25 usa cierto número de parámetros, tales como la temperatura ambiente T_{amb} , la temperatura de aire bien mezclado de la zona T_{zone} , el coeficiente de transferencia de calor convectivo superficial interno h_i , el coeficiente de transferencia de calor convectivo superficial externo h_o , y el área superficial A , que pueden ser mensurables o conocidos de otro modo. Otros parámetros y/o estados usados en el modelo 25 pueden ser desconocidos, tales como la temperatura superficial exterior T_{osur} , y la temperatura superficial interior T_{isur} .

15 El modelo termodinámico 25 también puede establecerse matemáticamente. La formación del espacio de estado a partir del modelo termodinámico 25 se ilustra más adelante para la zona interior T_{zone} , suponiendo condiciones de frontera adiabáticas para el suelo y el techo:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= f(X,U) \\ y &= CX \end{aligned} \tag{1}$$

20 Donde,

$$f(X,U) = \begin{bmatrix} \left(-\frac{u_1}{m_{air}} - \frac{(h_i A_w + h_i A_n + h_i A_e + h_i A_s)}{m_{air} C_{pa}} \right) x_1 + \frac{h_i A_w}{m_{air} C_{pa}} x_3 + \frac{h_i A_n}{m_{air} C_{pa}} x_5 + \frac{h_i A_e}{m_{air} C_{pa}} x_7 + \frac{h_i A_s}{m_{air} C_{pa}} x_9 + \frac{x_{10}}{m_{air} C_{pa}} + \frac{u_1 u_2}{m_{air}} \\ -\left(\frac{h_o A_w}{C_w} + \frac{1}{R_w C_w} \right) x_2 + \frac{1}{R_w C_w} x_3 + \frac{h_o A_w u_3}{C_w} \\ \frac{h_i A_n}{C_w} x_1 + \frac{1}{R_w C_w} x_2 - \left(\frac{h_i A_n}{C_w} + \frac{1}{R_w C_w} \right) x_3 \\ -\left(\frac{h_o A_n}{C_n} + \frac{1}{R_n C_n} \right) x_4 + \frac{1}{R_n C_n} x_5 + \frac{h_o A_n u_4}{C_n} \\ \frac{h_i A_e}{C_n} x_1 + \frac{1}{R_n C_n} x_4 - \left(\frac{h_i A_e}{C_n} + \frac{1}{R_n C_n} \right) x_5 \\ -\left(\frac{h_o A_e}{C_e} + \frac{1}{R_e C_e} \right) x_6 + \frac{1}{R_e C_e} x_7 + \frac{h_o A_e u_5}{C_e} \\ \frac{h_i A_s}{C_e} x_1 + \frac{1}{R_e C_e} x_6 - \left(\frac{h_i A_s}{C_e} + \frac{1}{R_e C_e} \right) x_7 \\ -\left(\frac{h_o A_s}{C_s} + \frac{1}{R_s C_s} \right) x_8 + \frac{1}{R_s C_s} x_9 + \frac{h_o A_s u_6}{C_s} \\ \frac{h_i A_s}{C_s} x_1 + \frac{1}{R_s C_s} x_8 - \left(\frac{h_i A_s}{C_s} + \frac{1}{R_s C_s} \right) x_9 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{2}$$

25 $U = [u_1 \ u_2 \ u_3 \ u_4 \ u_5 \ u_6] = [T_{amb} \ T_{osur} \ T_{iw} \ T_{in} \ T_e \ T_s]$ es el vector de entrada y $y=T_{zone}(t)$ es la historia de la temperatura de la sala a partir de las mediciones de sensor. El vector de estado es:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{zone} \\ T_{ow} \\ T_{iw} \\ T_{on} \\ T_{in} \\ T_{oe} \\ T_{ie} \\ T_{os} \\ T_{is} \\ Q_{int} \end{bmatrix} \tag{3}$$

Donde,

- 5 T_{zone} : Temperatura del aire bien mezclado de la zona [°C];
- T_w : Temperatura del aire de la zona colindante oeste [°C];
- T_n : Temperatura del aire de la zona colindante norte [°C];
- T_e : Temperatura del aire de la zona colindante este [°C];
- T_s : Temperatura del aire de la zona colindante sur [°C];
- 10 T_{ow} : Temperatura superficial exterior de la pared oeste [°C];
- T_{iw} : Temperatura superficial interior de la pared oeste [°C];
- T_{on} : Temperatura superficial exterior de la pared norte [°C];
- T_{in} : Temperatura superficial interior de la pared norte [°C];
- T_{oe} : Temperatura superficial exterior de la pared este [°C];
- T_{ie} : Temperatura superficial interior de la pared este [°C];
- 15 T_{os} : Temperatura superficial exterior de la pared sur [°C];
- T_{is} : Temperatura superficial interior de la pared sur [°C];
- Q_{int} : La carga concentrada incluyendo la carga de todos los equipos, la carga de iluminación y la carga de la gente (parte convectiva), la carga de infiltración, y la carga debida a la mezcla del aire entre zonas [W];
- A_j : El área superficial [m²], $j \in (w, n, e, s)$ es el índice para las zonas circundantes: oeste, norte, este y oeste;
- 20 h_i : El coeficiente de transferencia de calor convectivo superficial interno [W/m².°C];
- h_o : El coeficiente de transferencia de calor convectivo superficial externo [W/m².°C];
- \dot{m}_{air} : El caudal másico de aire de suministro [kg/s];
- m_{air} : La masa de aire para la zona dada [kg];
- T_{sa} : La temperatura del aire de suministro [°C]; y
- 25 C_{pa} : La capacidad de calor específico del aire seco [J/kg.°C];

Volviendo a la figura 1, los resultados del modelo termodinámico 25 se introducen a continuación en el bloque 26 en el que puede usarse un filtro de Kalman extendido (EKF) 27 para estimar los estados desconocidos en el proceso, tales como las cargas. El EKF 27 también puede estimar uno o más parámetros y/o estados desconocidos usados en el modelo termodinámico, tales como las temperaturas superficiales no medidas. La incertidumbre de los datos en tiempo real puede considerarse durante el diseño del EKF 27.

En la figura 5 se ilustra una representación esquemática del EKF 27. En la realización ilustrada, el EKF 27 puede incluir una actualización de tiempo 30 y una actualización de medición 32. En la actualización de tiempo 30, se proporcionan estimaciones iniciales del estado desconocido y una covarianza de error a partir del modelo termodinámico 25 en el momento k-1. Basándose en las estimaciones iniciales, se generan un estado desconocido predicho y una covarianza de error predicha en el momento k. En la actualización de medición, se usa un parámetro medido para actualizar el estado desconocido y la covarianza de error predichos. En primer lugar, se calcula una ganancia de Kalman. El estado desconocido predicho se actualiza entonces con la ganancia de Kalman calculada y con el parámetro medido. La covarianza de error predicha también se actualiza usando la ganancia de Kalman calculada. El estado desconocido predicho actualizado y la covarianza de error predicha actualizada se realimentan posteriormente a la actualización de tiempo 30, para refinar así el modelo termodinámico.

En una realización a modo de ejemplo, el parámetro medido puede ser una temperatura del aire medida de la zona. El modelo termodinámico 25 y el EKF 27 pueden usarse para estimar parámetros desconocidos, tales como temperaturas superficiales de sala no medidas. Además, el modelo 25 y el EKF 27 pueden usarse para estimar estados desconocidos de la zona, tales como cargas.

En el bloque 28, puede generarse un perfil de carga estimado 29 basándose en múltiples estimaciones de carga tomadas a lo largo del tiempo. Tal como se muestra en mayor detalle en la figura 6, el perfil de carga estimado 29 puede trazar gráficamente una carga, tal como la carga concentrada Q_{int} , a lo largo de un periodo de tiempo, tal como un día. El perfil de carga estimado 29 puede proporcionar diversos tipos de información ya sea directamente o por inferencia. Por ejemplo, el perfil de carga estimado 29 puede facilitar una mejor comprensión de la utilización del edificio, tal como la ocupación, las cargas de los enchufes, las cargas de iluminación, y las cargas de proceso, en un entorno dinámico.

El perfil de carga estimado 29 puede permitir refinamientos adicionales en los procesos existentes, tales como herramientas de monitorización de energía del edificio, de diagnóstico, o de control. Las herramientas de monitorización de energía del edificio incluyen programas de simulación de energía, tales como el programa EnergyPlus® proporcionado por el Departamento de Energía de EE.UU., que puede usarse para simular el uso de energía del edificio a lo largo del tiempo. El perfil de carga estimado 29 puede proporcionarse como un perfil de carga de entrada a tal programa de simulación de energía, para proporcionar así una estimación más exacta de la utilización de energía en un edificio. El perfil de carga estimado 29 también puede usarse en una herramienta o programa de diagnóstico de energía de un edificio para determinar averías o condiciones de alarma. El perfil de carga estimado 29 puede indicar anomalías de carga, tales como una carga inesperadamente grande durante un periodo del día en el que normalmente no se encontraría tal carga. La anomalía de carga puede usarse para generar

una alarma para comprobar averías localizadas, tales como fugas en cerramientos o utilización de luces cuando el edificio está desocupado. El perfil de carga estimado 29 puede usarse de manera adicional o alternativa en las herramientas de control de energía del edificio o en el software usado para operar el equipo de control de temperatura.

5 Puede proporcionarse un controlador, tal como un controlador de HVAC 51 (véase la figura 7) para realizar una o más etapas del método (20). El controlador de HVAC 51 puede incluir una memoria para almacenar el modelo termodinámico de orden reducido 25, el filtro de Kalman extendido 27, y otros datos o algoritmos. El controlador de HVAC 51 además puede estar acoplado operativamente a sensores u otras entradas para proporcionar el parámetro medido u otros datos. El controlador de HVAC 51 además puede estar programado para procesar el parámetro medido usando el filtro de Kalman extendido 27 para estimar el al menos un estado desconocido de la zona.

15 La estimación basada en modelos también puede aplicarse en otras aplicaciones, tal como en un sistema de refrigeración de supermercado 50 ilustrado esquemáticamente en la figura 7. El sistema de refrigeración 50 puede incluir una sala fría 52 para almacenar artículos, y un ventilador 54 y un evaporador 56 acoplados operativamente a la sala fría para mantener la sala a una temperatura deseada. La temperatura de la sala fría 52 puede monitorizarse para asegurarse de que mantiene los artículos por debajo de una temperatura umbral. A pesar del hecho de que el controlador de HVAC 51 se muestra como formando parte de la sala fría 52, se entenderá que tal ilustración es meramente a modo de ejemplo. En otras realizaciones, el controlador de HVAC 51 puede emplearse en combinación o conjuntamente con la sala fría 52 (o con el propio edificio) en otras configuraciones.

25 La figura 8 ilustra esquemáticamente un método 60 para estimar estados y predecir temperaturas en la sala fría 52. En el bloque 62, se proporcionan datos medidos (denominados alternativamente en este documento "parámetros conocidos") mediante uno o más sensores, tales como un sensor de temperatura de aire colocado en la sala fría.

30 Los datos medidos pueden usarse en un modelo termodinámico de orden reducido de la sala fría en el bloque 64. El modelo termodinámico puede estar basado en ecuaciones algebraicas y diferenciales no lineales, y puede usar cierto número de parámetros conocidos, tales como la temperatura del aire de la sala fría medida T_R , y cierto número de parámetros desconocidos, tales como una carga de infiltración Q_{in} . La formación del espacio de estado a partir del modelo termodinámico de la sala fría puede establecerse matemáticamente como:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= f(X,U) \\ y &= CX \end{aligned} \tag{4}$$

Donde,

35

$$f(X,U) = \begin{bmatrix} H^* (T_{amb} - x_1) + \frac{u_f(t)}{x_2 + x_4} (u_T(t) - x_1) + Q_d^* u_d(t) + x_5 u_{in}(t) + \frac{UA_{g-a}(x_3 - x_1)}{x_8} \\ x_6(1 - x_2)(1 - u_d(t)) + x_7 x_2 u_d(t) \\ \frac{UA_{g-a}(x_3 - x_1)}{x_9} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$U = [u_f(t) u_d(t) u_{in}(t) u_T(t)]$ es el vector de entrada y $y = T_R(t)$ es la historia de la temperatura de la sala a partir de las mediciones de sensor. El vector de estado es:

40

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} T_R \\ R^* \\ T_{goods} \\ R_c^* \\ Q_{in}^* \\ a_g \\ b_g \\ M_{air} \\ M_{goods} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Donde,

- 5 u_f : Estado del ventilador ENCENDIDO/APAGADO (1 o 0);
- u_d : Estado de descongelación ENCENDIDO/APAGADO (1 o 0);
- u_{in} : Estado de la puerta ABIERTO/CERRADO (1 o 0);
- T_f : Temperatura superficial del serpentín del evaporador [°C];
- 10 T_R : Temperatura del aire de la sala fría [°C];
- T_{goods} : Temperatura de los artículos [°C];
- R : Resistencia térmica del hielo [$m^2 \cdot ^\circ C/W$], con $a_g \cdot (1-R) > 0$ siendo una tasa de crecimiento cuando la descongelación está apagada y $b_g \cdot R < 0$ siendo una tasa de disminución cuando la descongelación está activa;
- R_c : Resistencia térmica del lado aire [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];
- Q_{in} : Carga de infiltración [W];
- 15 U : Coeficiente de transferencia de calor global entre los artículos y el aire [$W/m^2 \cdot ^\circ C$];
- M_{air} : Masa térmica del aire de la sala fría [J/°C];
- M_{goods} : Masa térmica de los artículos de la sala fría [J/°C];

20 En el bloque 66, pueden identificarse uno o más de los parámetros desconocidos usando un método de identificación de sistema. Las influencias externas sobre el comportamiento del sistema (que pueden considerarse aportaciones al sistema) se identifican a partir de los datos de medición y del modelo dinámico en el bloque 64. En este proceso, se necesitan datos de medición de sensor, incluyendo la temperatura de la sala fría, el estado del ventilador, el estado de descongelación, y el estado de la puerta, para identificar parámetros desconocidos tales como el parámetro concentrado H^* (relacionado con el coeficiente de transferencia de calor superficial global de la sala fría y con el área superficial de la sala fría), y el parámetro Q_d^* (la aportación de energía durante la descongelación).

30 En el bloque 68, se usa un filtro de Kalman extendido (EKF) (tal como el EKF 27) basado en el modelo termodinámico para estimar los estados desconocidos y los parámetros desconocidos de la sala fría. Los estados desconocidos pueden incluir una temperatura de los artículos T_{goods} en la sala fría, mientras que los parámetros desconocidos pueden incluir R_c (la resistencia térmica del lado aire del serpentín del evaporador 56), Q_{in} (la carga de infiltración), a_g (un parámetro que indica la tasa de crecimiento de hielo en el serpentín del evaporador 56), y b_g (un parámetro que indica la tasa de disminución de hielo en el serpentín del evaporador 56). La incertidumbre de los datos en tiempo real puede considerarse durante el diseño del EKF. Al igual que con la realización anterior, el EKF puede incluir componentes de actualización de tiempo y de actualización de medición. Con los parámetros desconocidos estimados a partir del EKF, el modelo termodinámico puede usarse posteriormente para generar una temperatura de la sala predicha, como se muestra en el bloque 70.

40 Los estados estimados, tales como la temperatura de los artículos estimada T_{goods} , y la temperatura de la sala predicha pueden usarse para monitorización, diagnóstico, u otros fines. Proporcionando una temperatura de los artículos estimada T_{goods} , el método permite al personal de monitorización diagnosticar automáticamente la causa originaria de una alarma de temperatura, tal como cuando se introducen artículos más calientes en la sala fría, sin requerir una llamada u otra indagación al almacén para solicitar esa información. Además, la temperatura predicha puede compararse con los datos en tiempo real medidos, tales como la temperatura de la sala fría T_R , para determinar si una condición de alarma es verdadera o falsa. Por ejemplo, cuando las temperaturas predicha y real de la sala convergen, la alarma puede ser falsa, mientras que cuando divergen, la alarma puede ser verdadera.

50 Puede proporcionarse un controlador, tal como un controlador de sala fría (por ejemplo, el controlador de HVAC 51), para realizar una o más etapas del método 60. El controlador de sala fría puede incluir una memoria para almacenar el modelo termodinámico de orden reducido de la sala fría, el filtro de Kalman extendido, y otros datos o algoritmos. El controlador de sala fría además puede estar acoplado operativamente a sensores u otras entradas para proporcionar los parámetros medidos, información respecto a los parámetros desconocidos, u otros datos. El controlador de sala fría además puede estar programado para procesar el parámetro medido usando el filtro de

Kalman extendido para obtener el estado desconocido estimado de la sala fría y el parámetro desconocido estimado de la sala fría.

- 5 Resultará evidente para los expertos en la materia que pueden efectuarse diversas modificaciones y variaciones en los sistemas y métodos de estimación basados en modelos divulgados sin apartarse del alcance de la divulgación. Realizaciones distintas de las divulgadas específicamente en este documento resultarán evidentes para los expertos en la materia a partir de la consideración de la memoria descriptiva y de la práctica de los sistemas y métodos divulgados en este documento. Se pretende que la memoria descriptiva y los ejemplos se consideren únicamente como a modo de ejemplo, indicándose un alcance verdadero de la descripción por las siguientes reivindicaciones y sus equivalentes.
- 10

REIVINDICACIONES

1. Un método (60) para estimar una temperatura en una sala fría (52) de un sistema de refrigeración (50), que comprende:
- 5 determinar un estado medido de la sala fría, siendo el estado medido al menos una temperatura del aire medida dentro de una zona (62); y
generar un modelo termodinámico de orden reducido (25) de la sala fría (52), incluyendo el modelo termodinámico (25) al menos un parámetro desconocido (64); y caracterizado por
- 10 identificar el al menos un parámetro desconocido del modelo termodinámico (25) usando un método de identificación de sistema y datos de medición de sensor, incluyendo el al menos un parámetro desconocido un parámetro concentrado H^* relacionado con el coeficiente de transferencia de calor superficial global de la sala fría y con el área superficial de la sala fría y un parámetro Qd^* relacionado con la aportación de energía durante la descongelación (66);
- 15 generar un filtro de Kalman extendido (27) basado en el modelo termodinámico (25) de la sala fría (52) (68); y procesar el estado medido usando el filtro de Kalman extendido (27) para obtener un estado desconocido estimado de la sala fría, siendo el estado desconocido estimado de la sala fría una temperatura de los artículos (52) en la sala fría
- 20 y para obtener un parámetro desconocido estimado de la sala fría para generar una temperatura de la sala fría predicha, incluyendo el parámetro desconocido estimado de la sala fría una carga de infiltración, una resistencia térmica del lado aire de un serpentín del evaporador y la tasa de crecimiento y de disminución de hielo en el serpentín del evaporador (52) (70).
- 25 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además generar la temperatura de la sala fría predicha usando el modelo termodinámico (25) y el parámetro desconocido estimado de la sala fría (52).
3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la temperatura de la sala fría predicha se compara con una temperatura de la sala fría medida para determinar si existe una condición de alarma.
- 30 4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además proporcionar un controlador de sala fría (51) que tiene una memoria para almacenar el modelo termodinámico de orden reducido (25) de la sala fría (52) y el filtro de Kalman extendido (27), y en el que el controlador de sala fría (51) está programado para procesar el estado medido usando el filtro de Kalman extendido (27) para obtener el estado desconocido estimado de la sala fría (52) y el parámetro desconocido estimado de la sala fría (52).
- 35

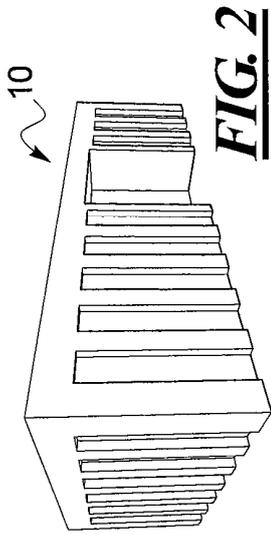


FIG. 2

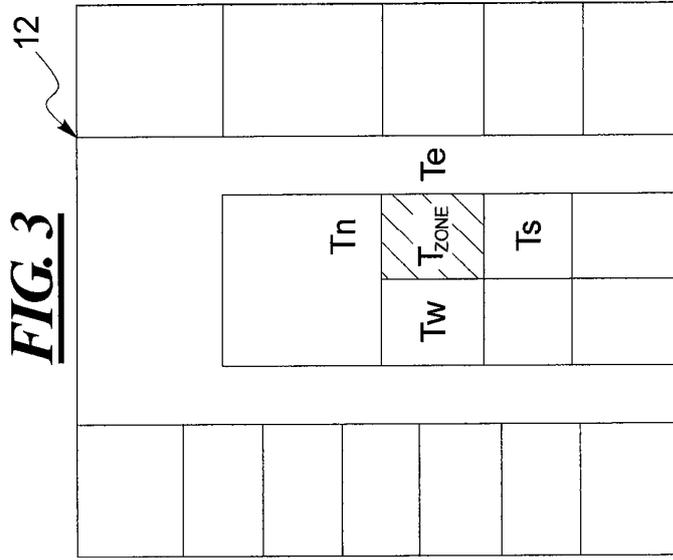
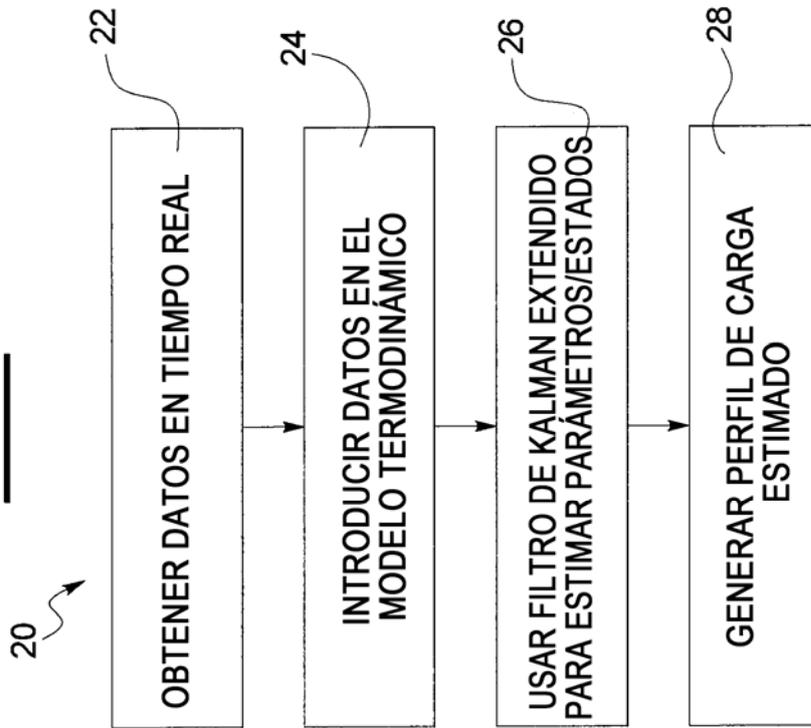


FIG. 1



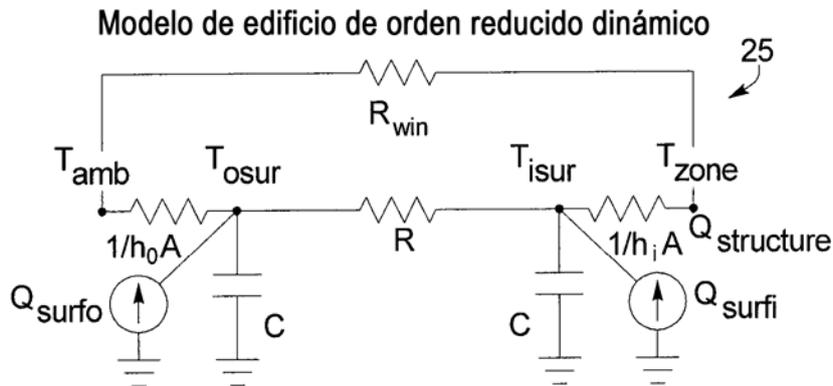


FIG. 4

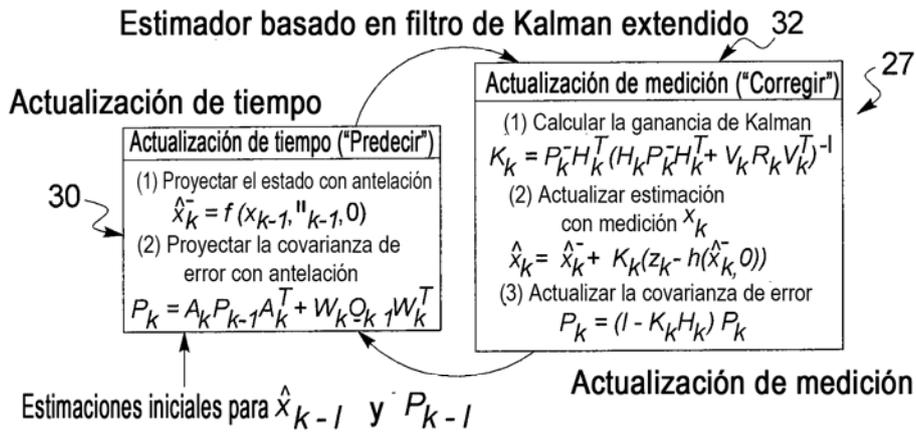


FIG. 5

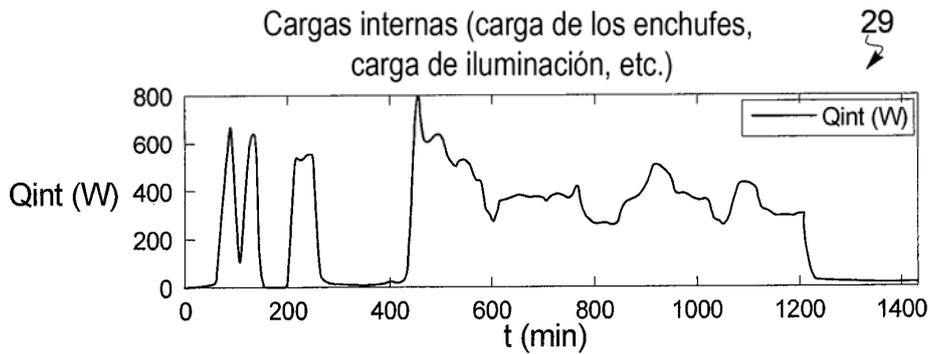


FIG. 6

