

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 015 480**

51 Int. Cl.:

G06Q 10/04 (2013.01)

G06Q 50/06 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.04.2020 PCT/US2020/029405**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.10.2020 WO20219608**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2020 E 20725037 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2025 EP 3959672**

54 Título: **Sistema de control térmico planificado**

30 Prioridad:

22.04.2019 US 201916391027
23.12.2019 US 201916724801

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.05.2025

73 Titular/es:

LINEAGE LOGISTICS, LLC (100.00%)
1 Park Plaza Suite 550
Irvine, California 92614, US

72 Inventor/es:

WOLF, ELLIOTT GERARD y
WOOLF, ALEXANDER JAMES

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 3 015 480 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 de control térmico planificado

5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

Esta solicitud reivindica prioridad para la solicitud de patente de **EE. UU.** n.º 16/391.027, titulada "SCHEDULED THERMAL CONTROL SYSTEM", que se presentó el 22 de abril de 2019, y para la solicitud de patente **EE. UU.** n.º 16/724.801, titulada "SCHEDULED THERMAL CONTROL SYSTEM", que se presentó el 23 de diciembre de 2019.

10 Campo técnico

Este documento se refiere en general a sistemas y técnicas para la gestión de refrigeración.

15 Antecedentes

Las instalaciones de almacenamiento en frío, tales como almacenes refrigerados, se utilizan para almacenar artículos con temperatura controlada y mantener los artículos a una temperatura reducida para evitar que se deterioren. Ejemplos de artículos de temperatura controlada incluyen alimentos perecederos (por ejemplo, verduras, frutas, carne, mariscos, productos lácteos, etc.), flores y plantas, productos biofarmacéuticos, productos de nutrientes perecederos y obras de arte. Las instalaciones de almacenamiento en frío varían en una amplia gama de tamaños, desde pequeñas cámaras frigoríficas hasta grandes almacenes de congelación. Hay disponibles varios tipos de almacenamiento en frío, tales como contenedores refrigerados, congeladores y enfriadores rápidos, cámaras frigoríficas, almacenamiento en frío de grado farmacéutico, almacenamiento en frío adjunto a la planta y otras instalaciones de almacenamiento en frío personalizadas basándose en la naturaleza de los productos de los clientes y sus preferencias.

La temperatura dentro de una instalación de almacenamiento en frío es el resultado de un equilibrio entre la eliminación de calor y la intrusión de calor en la instalación. La intrusión de calor dentro de un almacenamiento en frío puede provenir de muchas fuentes diferentes, y la tasa de intrusión de calor puede variar debido a diversos factores, tales como la hora del día (por ejemplo, día y noche) y actividades (por ejemplo, abrir una puerta de un almacenamiento en frío). La eliminación de calor de una instalación de almacenamiento en frío se puede realizar accionando un sistema de refrigeración conectado a la instalación. Por tanto, a medida que cambia la intrusión de calor, también lo hace la necesidad de energía (por ejemplo, electricidad) para accionar el sistema de refrigeración para la eliminación de calor.

El documento EP 2.954.377 A1 propone un método para controlar el consumo de energía en un edificio, incluyendo el método recibir datos de solicitud de ocupante que comprenden una pluralidad de solicitudes, en donde cada una de la pluralidad de solicitudes corresponde a una de una pluralidad de zonas en el edificio en donde los datos de solicitud de ocupante se reciben a través de un recurso informático en la nube.

El documento US 2013/190940 A1 propone métodos y sistemas, que incluyen productos de programas informáticos, para optimizar y controlar el consumo de energía de un edificio. Un primer dispositivo informático genera un conjunto de coeficientes de respuesta térmica para el edificio basándose en características energéticas del edificio y datos meteorológicos asociados con la ubicación del edificio.

El documento US 2008/000241 A1 proporciona un sistema de refrigeración con una unidad de compresión y un método para controlar un sistema de refrigeración. Para facilitar un mejor control, la capacidad de la unidad de compresión se controla basándose en una demanda de enfriamiento futura prevista en lugar de una demanda de enfriamiento determinada realmente.

Un documento titulado "Domestic Refrigerators Temperature Prediction Strategy for the Evaluation of the Expected Power Consumption" (Venkatachalam y col., IEEE PES ISGT Europe 2013, 2 de enero de 2014, páginas 1-5, disponible en "<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6695411>") analiza y presenta una estrategia de predicción de temperatura simple para el refrigerador doméstico. La idea principal es predecir la duración que tarda la temperatura de la cámara fría en alcanzar los umbrales de acuerdo con el estado del compresor y las últimas mediciones de temperatura.

Sumario

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para determinar una planificación operativa para controlar un sistema de refrigeración para un recinto, como se expone en la reivindicación 1. De acuerdo con otro aspecto de la presente invención se proporciona un sistema como se expone en la reivindicación 12.

Este documento describe en general sistemas y métodos para la gestión de refrigeración. Se determina una planificación operativa óptima y se usa para controlar un sistema de refrigeración para una instalación de almacenamiento en frío. Algunas realizaciones descritas en el presente documento usan enfoques de optimización para determinar una planificación operativa con un resultado operativo óptimo que satisface restricciones

representativas de un intervalo de factores asociados con, y/o que afectan a la gestión de refrigeración de una instalación de almacenamiento en frío. Por ejemplo, una diversidad de factores, tales como características térmicas de un sistema de gestión de refrigeración global, coste energético y factores ambientales externos al sistema, pueden afectar al funcionamiento de una instalación de almacenamiento en frío. Además, tales factores pueden variar constantemente con el tiempo. Dados los valores de los factores para un período de tiempo, se puede determinar un número de planificaciones operativas diferentes, cada una de las cuales se puede usar posiblemente para controlar una instalación de almacenamiento en frío. Sin embargo, tales planificaciones operativas diferentes pueden dar como resultado diferentes eficiencias operativas que, por ejemplo, pueden representar costes energéticos y/o consumos de energía al accionar un sistema de refrigeración para una instalación de almacenamiento en frío particular.

Para adaptarse rápidamente a tal naturaleza dinámica de la diversidad de factores que afectan la operación de las instalaciones de almacenamiento en frío, las técnicas de optimización divulgadas en el presente documento pueden determinar una planificación operativa óptima a partir de un gran catálogo de posibles planificaciones operativas en tiempo real o dentro de un período muy limitado de tiempo. En algunas implementaciones, la planificación operativa determinada puede no dar necesariamente como resultado el mejor resultado operativo (por ejemplo, la solución más eficiente) entre la pluralidad de planificaciones operativas candidatas. En su lugar, algunas realizaciones útiles para comprender la invención y divulgadas en el presente documento pueden proporcionar soluciones para determinar una planificación operativa que sea razonablemente eficiente (por ejemplo, ahorro de costes energéticos y/o ahorro de consumo de energía razonables) y proporcionar dicha planificación operativa de manera oportuna para satisfacer entornos y aspectos en constante cambio de una instalación de almacenamiento en frío y un sistema de refrigeración para la misma.

En algunos ejemplos útiles para comprender la invención, puede determinarse una planificación operativa para controlar un sistema de refrigeración basándose en al menos uno de un modelo térmico de un sistema global, un modelo de coste energético y un modelo ambiental. El modelo térmico del sistema global representa una o más propiedades térmicas de una instalación de almacenamiento en frío objeto y un sistema de refrigeración asociado con la instalación. El modelo de coste energético incluye costes energéticos. El modelo ambiental representa una diversidad de condiciones ambientales externas alrededor de la instalación de almacenamiento en frío, tal como clima externo (por ejemplo, temperatura, humedad, precipitación, cobertura de nubes, velocidad y dirección del viento, etc.).

Las tecnologías divulgadas, útiles para comprender la invención, pueden determinar una planificación operativa óptima suficientemente rápida para un objetivo inmediato, tal como proporcionar una eficiencia satisfactoria en el funcionamiento de una instalación de almacenamiento en frío (por ejemplo, ahorros en costes energéticos y/o consumos de energía). En ejemplos, las tecnologías divulgadas evalúan el modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental, y generan una pluralidad de planificaciones operativas candidatas que están potencialmente disponibles para controlar un sistema de refrigeración para una instalación de almacenamiento en frío objeto. Una planificación operativa para controlar un sistema de refrigeración objeto puede seleccionarse de la pluralidad de planificaciones operativas candidatas de tal manera que la planificación operativa seleccionada puede dar como resultado una eficiencia óptima que es razonable o satisfactoria, si no la mejor, para el funcionamiento del sistema de refrigeración. Una eficiencia óptima de este tipo puede representar costes energéticos, consumo de energía o la combinación de los mismos. En algunos ejemplos, la eficiencia óptima no logra necesariamente el mejor resultado (por ejemplo, el mayor ahorro de costes energéticos y/o el menor consumo de energía) de control del sistema de refrigeración, sino que proporciona el resultado más razonable de manera oportuna sin utilizar un cálculo significativo recursos ni de tiempo que de otro modo se requerirían para obtener el mejor resultado.

Las técnicas de optimización divulgadas en el presente documento pueden usar solucionadores de problemas de optimización convexos, que permiten un cálculo rápido y una optimización. Las técnicas de optimización convexa en el presente documento pueden proporcionar una planificación operativa óptima dentro de restricciones especificadas.

Las realizaciones particulares descritas en el presente documento incluyen un método para determinar una planificación operativa para controlar un sistema de refrigeración para un recinto. El método incluye determinar un modelo térmico del recinto y del sistema de refrigeración, modelando el modelo térmico una o más propiedades térmicas del recinto y del sistema de refrigeración bajo diversas condiciones ambientales y de uso; obtener un modelo de coste energético, incluyendo el modelo de coste energético una planificación de costes energéticos proyectados para un período predeterminado de tiempo futuro; obtener un modelo ambiental, incluyendo el modelo ambiental una o más condiciones ambientales externas proyectadas en un área geográfica donde se ubica el recinto para el período predeterminado de tiempo futuro; determinar la planificación operativa para controlar el sistema de refrigeración; y operar el sistema de refrigeración para controlar el recinto basándose en la planificación operativa determinada. La planificación operativa puede determinarse al: generar una pluralidad de planificaciones candidatas para controlar el sistema de refrigeración para el período predeterminado de tiempo futuro, basándose la pluralidad de planificaciones candidatas determinadas en el modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental; generar un gráfico multidimensional que proporcione costes para enfriar el recinto de acuerdo con la pluralidad de planificaciones candidatas; seleccionar aleatoriamente una planificación de inicialización de la pluralidad de planificaciones candidatas; evaluar la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional usando un algoritmo de optimización iterativo; y determinar la planificación operativa que proporciona un coste óptimo, correspondiendo el coste óptimo a un mínimo local de los costes identificados cuando se parte de la planificación de inicialización en el gráfico

multidimensional.

En algunas implementaciones, el sistema puede incluir opcionalmente una o más de las siguientes características. La planificación operativa puede determinarse adicionalmente al: evaluar los costes para enfriar el recinto de acuerdo con la pluralidad de planificaciones candidatas, basándose en el modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental. La evaluación de la planificación de inicialización puede incluir comparar un coste de la planificación de inicialización con los costes de una porción de la pluralidad de planificaciones candidatas. Los costes pueden representar la eficiencia de la pluralidad de planificaciones candidatas en el control del sistema de refrigeración. Los costes pueden representar un coste energético, un consumo de energía o una combinación del coste energético y del consumo de energía. La planificación operativa puede determinarse para uno o más puntos en el tiempo durante el período predeterminado de tiempo futuro. El método puede incluir adicionalmente calibrar el gráfico multidimensional a lo largo del tiempo. El algoritmo de optimización iterativo puede incluir descenso de gradiente. Las propiedades térmicas pueden incluir al menos una de una de contenido dentro del recinto y una resistencia térmica del recinto. Las condiciones ambientales externas pueden incluir al menos una de temperatura, humedad, precipitación, nubosidad, velocidad del viento y dirección del viento fuera del recinto. La pluralidad de planificaciones candidatas puede proporcionar diferentes niveles de enfriamiento del recinto en diferentes puntos en el tiempo. Los diferentes niveles de enfriamiento pueden incluir diferentes niveles de energía eléctrica para operar el sistema de refrigeración.

Las realizaciones particulares descritas en el presente documento incluyen una instalación de almacenamiento en frío. La instalación de almacenamiento en frío puede incluir un recinto de almacenamiento en frío que define un espacio para el contenido, un sistema de refrigeración configurado para enfriar el espacio cerrado, una pluralidad de sensores configurados para detectar temperaturas en ubicaciones dentro del espacio cerrado y detectar parámetros del sistema de refrigeración, y un sistema de control. El sistema de control incluye un aparato de procesamiento de datos y un dispositivo de memoria que almacena instrucciones que, cuando se ejecutan por el aparato de procesamiento de datos, hacen que el sistema de control realice operaciones que incluyen: determinar un modelo térmico del recinto y del sistema de refrigeración, modelando el modelo térmico una o más propiedades térmicas del recinto y del sistema de refrigeración bajo diversas condiciones ambientales y de uso; obtener un modelo de coste energético, incluyendo el modelo de coste energético una planificación de costes energéticos proyectados para un período predeterminado de tiempo futuro; obtener un modelo ambiental, incluyendo el modelo ambiental una o más condiciones ambientales externas proyectadas en un área geográfica donde se ubica el recinto para el período predeterminado de tiempo futuro; determinar la planificación operativa para controlar el sistema de refrigeración; y operar el sistema de refrigeración para controlar el recinto basándose en la planificación operativa determinada. La planificación operativa puede determinarse al: generar una pluralidad de planificaciones candidatas para controlar el sistema de refrigeración para el período predeterminado de tiempo futuro, basándose la pluralidad de planificaciones candidatas determinadas en el uso del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental; generar un gráfico multidimensional que proporcione costes para enfriar el recinto de acuerdo con la pluralidad de planificaciones candidatas; seleccionar aleatoriamente una planificación de inicialización de la pluralidad de planificaciones candidatas; evaluar la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional usando un algoritmo de optimización iterativo; y determinar la planificación operativa que proporciona un coste óptimo, correspondiendo el coste óptimo a un mínimo local de los costes identificados cuando se parte de la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional.

En algunas implementaciones, el sistema puede incluir opcionalmente una o más de las siguientes características. La evaluación de la planificación de inicialización puede incluir comparar un coste de la planificación de inicialización con los costes de una porción de la pluralidad de planificaciones candidatas. Los costes pueden representar la eficiencia de la pluralidad de planificaciones candidatas en el control del sistema de refrigeración. Los costes pueden representar un coste energético, un consumo de energía o una combinación del coste energético y del consumo de energía. La planificación operativa puede determinarse para uno o más puntos en el tiempo durante el período predeterminado de tiempo futuro. El algoritmo de optimización iterativo puede incluir descenso de gradiente. La pluralidad de planificaciones candidatas puede proporcionar diferentes niveles de enfriamiento del recinto en diferentes puntos en el tiempo, incluyendo los diferentes niveles de enfriamiento diferentes niveles de energía eléctrica para operar el sistema de refrigeración.

Las realizaciones descritas en el presente documento incluyen un sistema informático de gestión de almacenamiento en frío para controlar un sistema de refrigeración para un recinto. El sistema informático de gestión de almacenamiento en frío incluye un aparato de procesamiento de procesamiento de datos y un dispositivo de memoria que almacena instrucciones que, cuando se ejecutan por un aparato de procesamiento de datos, hacen que el dispositivo de usuario realice operaciones que incluyen: recibir, desde un sistema de control, una solicitud de una planificación operativa para el sistema de refrigeración; determinar un modelo térmico del recinto y del sistema de refrigeración, modelando el modelo térmico una o más propiedades térmicas del recinto y del sistema de refrigeración bajo diversas condiciones ambientales y de uso; obtener un modelo de coste energético, incluyendo el modelo de coste energético una planificación de costes energéticos proyectados para un período predeterminado de tiempo futuro; obtener un modelo ambiental, incluyendo el modelo ambiental una o más condiciones ambientales externas proyectadas en un área geográfica donde se ubica el recinto para el período predeterminado de tiempo futuro; y determinar la planificación operativa para controlar el sistema de refrigeración. La planificación operativa puede determinarse al generar una pluralidad de planificaciones candidatas para controlar el sistema de refrigeración para el período predeterminado de tiempo futuro, basándose la pluralidad de planificaciones candidatas determinadas en el uso del modelo térmico, el

modelo de coste energético y el modelo ambiental; generar un gráfico multidimensional que proporcione costes para enfriar el recinto de acuerdo con la pluralidad de planificaciones candidatas; seleccionar aleatoriamente una planificación de inicialización de la pluralidad de planificaciones candidatas; evaluar la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional usando un algoritmo de optimización iterativo; y determinar la planificación operativa que proporciona un coste óptimo, correspondiendo el coste óptimo a un mínimo local de los costes identificados cuando se parte de la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional.

Las realizaciones descritas en el presente documento incluyen un sistema de control de almacenamiento en frío para controlar el enfriamiento de una instalación de almacenamiento en frío. El sistema de control de almacenamiento en frío incluye un aparato de procesamiento de datos, una interfaz de comunicación que transmite y recibe datos a través de una o más redes, uno o más puertos de entrada configurados para recibir señales de sensor de una pluralidad de sensores, uno o más puertos de salida configurados para activar la operación del sistema de refrigeración configurado para enfriar la instalación de almacenamiento en frío, y un dispositivo de memoria que almacena instrucciones. La pluralidad de sensores puede configurarse para detectar temperaturas en ubicaciones dentro de la instalación de almacenamiento en frío y detectar parámetros de un sistema de refrigeración. Las instrucciones están configuradas para, cuando se ejecutan por un aparato de procesamiento de datos, hacer que el sistema de control de almacenamiento en frío realice operaciones que incluyen: transmitir, a través de la una o más redes, una solicitud para una planificación operativa para el sistema de refrigeración; recibir, en respuesta a la solicitud, la planificación operativa; y controlar el sistema de refrigeración de acuerdo con la planificación operativa. La planificación operativa se determina al generar una pluralidad de planificaciones candidatas para controlar el sistema de refrigeración para el período predeterminado de tiempo futuro, basándose la pluralidad de planificaciones candidatas determinadas en el uso del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental; generar un gráfico multidimensional que proporcione costes para enfriar el recinto de acuerdo con la pluralidad de planificaciones candidatas; seleccionar aleatoriamente una planificación de inicialización de la pluralidad de planificaciones candidatas; evaluar la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional usando un algoritmo de optimización iterativo; y determinar la planificación operativa que proporciona un coste óptimo, correspondiendo el coste óptimo a un mínimo local de los costes identificados cuando se parte de la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional.

Los sistemas y técnicas divulgados pueden proporcionar cualquiera de una diversidad de ventajas. En primer lugar, algunas realizaciones descritas en el presente documento incluyen técnicas que usan solucionadores de problemas de optimización convexa para determinar planificaciones operativas para controlar sistemas de refrigeración para instalaciones de almacenamiento en frío. Los enfoques divulgados en el presente documento pueden determinar planificaciones operativas de manera rápida y rentable mientras proporcionan soluciones suficientemente óptimas, o estrictamente óptimas, para la gestión de instalaciones de almacenamiento en frío. Por ejemplo, puede considerarse una diversidad de factores asociados con la gestión de instalaciones de almacenamiento en frío para proporcionar un gran número de planificaciones operativas diferentes que darían como resultado diferentes costes y eficiencias en el funcionamiento de instalaciones de almacenamiento en frío. Además, los factores pueden variar constantemente a lo largo del tiempo, aumentando de este modo el número de planificaciones operativas que posiblemente pueden seleccionarse para accionar un sistema de refrigeración para una instalación de almacenamiento en frío particular. Para satisfacer las restricciones requeridas por la diversidad de factores dinámicos que afectan la operación de las instalaciones de almacenamiento en frío, las tecnologías divulgadas en el presente documento permiten determinar una planificación operativa óptima a partir de un catálogo grande (o infinito) de posibles planificaciones operativas, aunque la planificación operativa determinada puede no necesariamente ser la mejor de la pluralidad de planificaciones operativas candidatas dependiendo de las restricciones especificadas. La planificación operativa óptima puede determinarse en tiempo real o dentro de un período de tiempo muy limitado. La mejor planificación operativa requeriría más tiempo y recursos y, por lo tanto, no se determinaría de manera oportuna para responder a entornos y aspectos en constante cambio de las instalaciones de almacenamiento en frío y los sistemas de refrigeración para las mismas.

En segundo lugar, algunas realizaciones descritas en el presente documento incluyen estrategias de enfriamiento desplazadas en el tiempo que pueden introducir una diversidad de eficiencias. Tales estrategias de enfriamiento eficientes pueden ser particularmente relevantes en el contexto de instalaciones enfriadas o refrigeradas, que tradicionalmente han consumido grandes cantidades de energía. Por ejemplo, las instalaciones pueden reducir y/o eliminar instancias de un sistema de enfriamiento (y/o algunos de sus subcomponentes) que se activan y desactivan, lo que puede introducir ineficiencias a medida que el sistema aumenta y disminuye. Con algunas instalaciones convencionales, los sistemas de enfriamiento pueden funcionar de manera intermitente a lo largo del día, lo que puede ser ineficiente. En lugar de ejecutar intermitentemente tales sistemas, esos sistemas pueden ejecutarse en uno (o más) tramos más largos y consecutivos para reducir la temperatura de la instalación a una temperatura más baja (por debajo de un punto de consigna), y luego pueden apagarse o controlarse para reducir el uso de energía. Por consiguiente, pueden reducirse y/o eliminarse las ineficiencias en torno a los sistemas de enfriamiento que se encienden y apagan intermitentemente.

En tercer lugar, pueden reducirse los costes energéticos operativos para los sistemas de refrigeración. Por ejemplo, la tecnología en el presente documento determina una planificación operativa óptima que tiene un perfil de control de coste mínimo. Además, la tecnología puede usarse con una estrategia de cambio de demanda de potencia (por ejemplo, la capacidad de cambiar en el tiempo el uso de la energía) de modo que el consumo de energía durante la

demanda pico pueda reducirse y/o eliminarse, y en su lugar cambiarse a periodos de tiempo no pico. Esto puede reducir el coste energético operativo de enfriar una instalación porque la energía durante los periodos de tiempo pico es generalmente más costosa que en el tiempo no pico.

- 5 Los detalles de una o más implementaciones se exponen en los dibujos adjuntos y en la descripción a continuación. Otras características y ventajas se desprenderán de la descripción y los dibujos, así como de las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

- 10 La Figura 1 es un diagrama esquemático que muestra un sistema de gestión de refrigeración de ejemplo.
 La Figura 2 es un gráfico de tres cargas de potencia por hora de ejemplo en un proveedor de servicios públicos, tal como el proveedor de servicios públicos de ejemplo.
 La Figura 3 es un gráfico de temperatura de ejemplo, uso de energía de ejemplo y costes de potencia de ejemplo sin enfriamiento previo.
- 15 La Figura 4A es un gráfico de temperatura de ejemplo, uso de energía de ejemplo y costes de potencia de ejemplo en un ejemplo en el que se usa enfriamiento previo.
 La Figura 4B es un gráfico de tarifa de uso de ejemplo, energía térmica de ejemplo y temperaturas de ejemplo para una instalación de refrigeración que tiene múltiples salas de almacenamiento.
 La Figura 4C es un gráfico que representa una tarifa de uso de ejemplo para una instalación de refrigeración que tiene múltiples salas de almacenamiento.
- 20 La Figura 5 es un diagrama conceptual de un modelo térmico del almacén del sistema de refrigeración de ejemplo.
 La Figura 6 es un diagrama de bloques de un sistema de gestión de refrigeración de ejemplo.
 La Figura 7 es un diagrama de flujo de un proceso de ejemplo para la gestión de refrigeración.
 La Figura 8 es un diagrama de flujo de un proceso de ejemplo para determinar un modelo térmico.
- 25 La Figura 9 es un diagrama de flujo de un proceso de ejemplo para la implementación de planificación de refrigeración.
 La Figura 10 es una ilustración conceptual de un gráfico multidimensional de ejemplo para representar una pluralidad de planificaciones operativas candidatas.
 La Figura 11 es un gráfico que representa cambios de ejemplo en un compresor antes y después de las actualizaciones.
- 30 La Figura 12 es un diagrama esquemático de un ejemplo de un sistema informático genérico.

Descripción detallada de realizaciones ilustrativas

- 35 Este documento describe sistemas y métodos para la gestión de refrigeración, más específicamente para accionar un sistema de refrigeración para una instalación de almacenamiento en frío de una manera óptima (por ejemplo, reducción óptima del coste energético y/o consumo de energía) lo suficientemente rápido como para responder a una diversidad de factores que cambian constantemente y afectan las operaciones del sistema de refrigeración y la instalación de almacenamiento en frío. Los siguientes ejemplos, aspectos, realizaciones o tecnologías divulgadas son útiles para comprender la invención. La invención se define en las reivindicaciones independientes.

45 Se considera una amplia gama de factores al determinar una planificación operativa para controlar un sistema de refrigeración para una instalación de almacenamiento en frío. Los factores están representados por un modelo térmico de un sistema general, un modelo de coste energético y un modelo ambiental. El modelo térmico del sistema global puede representar una o más propiedades térmicas de una instalación de almacenamiento en frío objeto y un sistema de refrigeración asociado con la instalación. El modelo de coste energético puede incluir costes energéticos. El modelo ambiental puede representar una diversidad de condiciones ambientales externas alrededor de la instalación de almacenamiento en frío, tal como clima externo (por ejemplo, temperatura, humedad, precipitación, cobertura de nubes, velocidad y dirección del viento, etc.).

50 Las tecnologías divulgadas pueden determinar una planificación operativa óptima de manera oportuna basándose en la evaluación de al menos uno del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental. La planificación operativa determinado puede configurarse para proporcionar una solución rentable global para controlar un sistema de refrigeración para una instalación de almacenamiento en frío. En algunos ejemplos, una planificación operativa óptima proporciona una solución rentable que optimiza razonablemente un coste energético, un consumo de energía o una combinación de los mismos durante el funcionamiento de una instalación de almacenamiento en frío con un sistema de refrigeración.

60 Además, la planificación operativa determinada por las tecnologías divulgadas en el presente documento considera el hecho de que la cantidad de energía necesaria para eliminar el calor de una instalación de almacenamiento en frío puede variar en un ciclo diario debido a diversos factores, como el calor del sol, las temperaturas exteriores, los turnos de trabajo, etc. La demanda en un proveedor de servicios públicos generalmente también varía en un ciclo diario, y algunos proveedores de servicios públicos usan "precios pico" y/o precios variables en los que el coste de la energía aumenta durante los momentos de alta demanda (por ejemplo, mediodía durante el verano) y baja demanda para los momentos de baja demanda (por ejemplo, la noche).

En el ámbito de las instalaciones alimentadas eléctricamente, las baterías o circuitos compensadores pueden cargarse durante los períodos de menor actividad para aprovechar los precios de energía más bajos fuera de las horas punta, y descargarse para alimentar las cargas durante los períodos de mayor actividad para evitar el consumo de energía a tarifas relativamente más altas, en pico. De manera algo análoga, este documento describe procesos en los que las instalaciones de almacenamiento en frío se utilizan como formas de unidades de almacenamiento de energía térmica que pueden "cargarse" (por ejemplo, sobreenfriarse) durante períodos de energía de bajo precio y "descargarse" (por ejemplo, permitirse relajarse desde el estado de enfriamiento excesivo) durante los períodos de energía de precio alto reducen o evitan la necesidad de consumo de energía durante los períodos de precio alto mientras se mantiene el inventario almacenado a o por debajo de una temperatura predeterminada durante los períodos de precio alto.

En general, la instalación de almacenamiento en frío se puede cargar previamente a una temperatura enfriada por debajo de lo normal usando energía más barata y/o cuando la instalación es inherentemente más eficiente para operar (por ejemplo, horas de frío, durante la noche), y luego permitir que se eleve de nuevo más cerca de las temperaturas de enfriamiento normales para reducir o evitar tener que consumir energía más costosa y/u operar durante períodos en los que la instalación es inherentemente menos eficiente para operar (por ejemplo, horas de temperatura pico, durante el día). Por ejemplo, un almacén congelador puede mantenerse normalmente a $-17,78\text{ °C}$ (0 °F), pero en previsión de un próximo período de precios pico (por ejemplo, el mediodía de mañana durante la estación cálida) el almacén puede enfriarse previamente a $-20,56\text{ °C}$ (-5 °F) durante precios nocturnos. Cuando llega el momento de precio máximo, al menos una parte de la demanda de energía y/o el coste se puede reducir permitiendo que el almacén se caliente de nuevo a $-17,78\text{ °C}$ (0 °F) en lugar de alimentar el sistema de refrigeración usando energía de precio máximo.

La Figura 1 es un diagrama esquemático que muestra un sistema de gestión de refrigeración 100 de ejemplo. Una instalación de refrigeración 110 (por ejemplo, instalación de almacenamiento en frío) incluye un almacén 112. El almacén 112 puede ser un recinto de almacenamiento en frío aislado que define un espacio sustancialmente cerrado 114. El espacio cerrado 114 tiene diversos contenidos, incluyendo un inventario 120, una colección de equipos 122 (por ejemplo, carretillas elevadoras, estanterías de almacenamiento) y aire. El inventario 120, el equipo 122 y el aire dentro del espacio cerrado 114 tienen una masa térmica, al igual que el material del propio almacén 112 (por ejemplo, soportes de acero, paredes de aluminio, suelos de hormigón)

El espacio cerrado 114 se enfría mediante un sistema de refrigeración 130 que está controlado por un controlador 132 basándose en señales de realimentación de temperatura de un conjunto de sensores 134 (por ejemplo, temperatura, humedad, flujo de aire, movimiento). En algunas realizaciones, el controlador 132 puede ser un controlador de sistema de control de almacenamiento en frío, y puede incluir un procesador, memoria, almacenamiento, entradas y salidas. Los sensores 134 se distribuyen por todo el almacén 112 para permitir que el controlador 132 supervise las condiciones ambientales en todo el espacio cerrado 114 y, en algunas realizaciones, en y/o cerca del inventario 120 (por ejemplo, sensores integrados en o entre cajas o palés de productos almacenados mercancías). El controlador 132 está configurado para activar el sistema de refrigeración 130 basándose en la realimentación de los sensores 134 para mantener el espacio cerrado 114 a una temperatura por debajo de un límite de temperatura predeterminado. Por ejemplo, un operador de la instalación de refrigeración 110 puede acordar almacenar los alimentos congelados de un cliente (por ejemplo, carnes congeladas, patatas fritas congeladas, helado) por debajo de un máximo de $-17,78\text{ °C}$ (0 °F).

La temperatura dentro del espacio cerrado 114 se ve afectada por la intrusión de calor en la instalación de refrigeración 110. La intrusión de calor dentro de una instalación de almacenamiento en frío puede provenir de muchas fuentes diferentes, tales como el entorno (por ejemplo, temperatura del aire ambiente, radiación solar), el contenido almacenado (por ejemplo, producto caliente a enfriar), equipo de producción de calor que opera dentro de la instalación (por ejemplo, luces, carretillas elevadoras), el calor corporal de las personas que trabajan dentro de la instalación y las operaciones de la instalación (por ejemplo, la apertura de puertas a medida que las personas y el inventario entran y salen de la instalación).

La tasa de intrusión de calor puede variar con el tiempo. La intrusión de calor generalmente aumenta durante el día a medida que aumentan las temperaturas de verano exteriores y a medida que el sol se eleva a su intensidad máxima del mediodía, y generalmente disminuye a medida que descienden las temperaturas de verano exteriores y la intensidad solar. La intrusión de calor también puede aumentar durante los momentos de alta actividad, como durante la jornada laboral cuando las puertas se abren con frecuencia, y disminuir durante los momentos de baja actividad, como durante las horas posteriores cuando las puertas generalmente permanecen cerradas.

El almacén 112 puede configurarse para resistir la infiltración de calor. La energía térmica que puede elevar la temperatura del espacio cerrado 114 y su contenido puede provenir de varias fuentes. Un ejemplo de fuente de energía térmica es el sol 141, que puede calentar directamente la estructura del almacén 112 y calienta el entorno ambiental que rodea el almacén 112 y la instalación de refrigeración 110. Tal energía térmica puede infiltrarse en el almacén 112 directamente a través de las paredes del almacén 112 y/o a través de la abertura de una puerta 124.

Otras fuentes de energía térmica pueden provenir de la operación del equipo 122 (por ejemplo, motores calientes de carretillas elevadoras, calor emitido por la iluminación), el calor corporal de los humanos que trabajan dentro del

espacio cerrado 114 y el propio inventario 120 (por ejemplo, fresco el producto puede llegar a $-6,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($20\text{ }^{\circ}\text{F}$) para su almacenamiento en un congelador a $-17,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0\text{ }^{\circ}\text{F}$)).

El controlador 132 está en comunicación de datos con un planificador 140 por una red 150 (por ejemplo, la Internet, una red de datos celular, una red privada). En algunas realizaciones, el planificador 140 puede ser un ordenador servidor de gestión de almacenamiento en frío en comunicación con el controlador 132. En algunas fases de operación, el controlador 132 recopila mediciones de los sensores 134 e indicaciones de tiempo basándose en un cronómetro 136 (por ejemplo, reloj, temporizador) y proporciona esa información al planificador 140. El planificador 140 usa tal información para determinar un modelo térmico del almacén 112. Un proceso de ejemplo para la determinación de modelos térmicos se analizará adicionalmente en la descripción de la Figura 8.

En diseños anteriores, los controladores de temperatura generalmente monitorean una temperatura dentro de un congelador para encender los sistemas de refrigeración cuando las temperaturas internas exceden una temperatura preestablecida, y apagan los sistemas cuando las temperaturas internas caen ligeramente por debajo de la temperatura preestablecida. Este intervalo representa el intervalo de histéresis para el controlador en condiciones operativas nominales. Tal comportamiento operativo se analiza adicionalmente en la descripción de la Figura 3.

En el ejemplo del sistema 100, el controlador 132 recibe una planificación operativa 138 desde el planificador 140. Como se describe en el presente documento, la planificación operativa 138 se selecciona de una pluralidad de planificaciones candidatas 142 y puede proporcionar una planificación óptima para controlar el sistema de refrigeración 130 para el almacén 112. En este documento, por lo tanto, la planificación operativa seleccionada 138 puede denominarse como una planificación óptima, una planificación operativa óptima o similares. La planificación óptima 138 proporciona un resultado operativo óptimo que satisface restricciones representativas de factores que están asociados con, y/o afectan, el control del sistema de refrigeración 130 para el almacén 112. Por ejemplo, la planificación óptima 138 puede proporcionar eficiencia que optimiza los costes energéticos, los consumos de energía o la combinación de los costes energéticos y los consumos de energía al operar el sistema de refrigeración 130 para el almacén 112.

En algunas implementaciones, la planificación óptima 138 puede incluir información que hace que el controlador 132 enfríe previamente el espacio cerrado 114 a una temperatura por debajo del límite de temperatura predeterminado para el inventario 120 y, en algunos ejemplos, por debajo de un intervalo de histéresis para el funcionamiento normal de la refrigeración sistema 130, durante uno o más períodos de tiempo predeterminados. Por ejemplo, en condiciones operativas nominales, el controlador 132 puede configurarse para mantener el espacio cerrado por debajo de $-17,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0\text{ }^{\circ}\text{F}$) encendiendo el sistema de refrigeración 130 cuando una temperatura dentro del almacén 112 supera $-18,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-1\text{ }^{\circ}\text{F}$), y apaga el sistema de refrigeración 130 cuando la temperatura cae por debajo de $-18,89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-2\text{ }^{\circ}\text{F}$). Sin embargo, la planificación óptima 138 puede configurar el controlador para enfriar el espacio cerrado a $-20,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-5\text{ }^{\circ}\text{F}$) o alguna otra temperatura predeterminada durante uno o más períodos de tiempo predefinidos. Como se describirá con más detalle a continuación, tales periodos de tiempo pueden continuar periodos de tiempo en los que el precio de la potencia es relativamente más alto (por ejemplo, periodos de tarificación pico, periodos de eficiencia de sistema inherentemente baja).

En el ejemplo ilustrado, el planificador 140 incluye un módulo de determinación de planificación candidato 143 y un módulo de determinación de planificación óptima 144. El módulo de determinación de planificación candidato 143 está configurado para determinar una o más planificaciones operativas 142 basándose en una diversidad de factores. El módulo de determinación de planificación óptima 144 está configurado para determinar una planificación óptima 138 entre las planificaciones operativas 142.

El planificador 140 puede configurarse para determinar una o más planificaciones operativas 142, al menos algunos de los cuales pueden ser candidatos para una planificación óptima 138. El planificador 140 puede determinar planificaciones operativas 142 basándose en una diversidad de factores. Por ejemplo, el planificador 140 puede determinar planificaciones operativas 142 basándose en al menos uno de un modelo térmico 146, un modelo de coste energético 147 y un modelo ambiental 148. Los modelos pueden representar una diversidad de factores que pueden afectar al funcionamiento de la instalación de refrigeración 110, incluido el control del sistema de refrigeración 130 y/o la gestión del almacén 112.

Por ejemplo, el planificador 140 puede recibir información de modelo térmico acerca de la instalación de refrigeración 110, tal como lecturas temporizadas de los sensores 134 e información operativa acerca del sistema de refrigeración 130, para determinar un modelo térmico 146 de la instalación de refrigeración 110. La determinación de ejemplo de un modelo térmico 146 se analiza con más detalle en el presente documento, por ejemplo, con referencia a las Figuras 5 y 8.

Además o como alternativa, el planificador 140 puede recibir una planificación de costes energéticos 162 de, por ejemplo, un proveedor de servicios públicos 160 que proporciona energía a la instalación de refrigeración 110, para determinar un modelo de coste energético 147 del sistema de refrigeración 110. La planificación de costes energéticos 162 incluye información acerca del coste energético en diferentes momentos y/o diferentes días. El coste de la energía puede incluir uno o más tipos de tarifas de uso, tales como tarifas fijas, tarifas escalonadas, tarifas de tiempo de uso,

tarifas de demanda, etc. Por ejemplo, el proveedor de servicios públicos 160 puede ser un proveedor de energía eléctrica que normalmente cobra 0,12 \$ por kilovatio-hora (kWh), pero aumenta el coste a 0,20 \$ por kilovatio-hora consumido entre las 10 am y las 2 pm porque la demanda de energía eléctrica puede alcanzar su punto máximo durante ese tiempo. En otro ejemplo, el proveedor de servicios públicos 160 puede cobrar más durante los meses de verano que durante los meses de invierno debido a la demanda estacional provocada por acondicionadores de aire y otros sistemas de enfriamiento tales como el sistema de refrigeración 130. En general, la planificación de costes energéticos 162 describe uno o más ciclos futuros (por ejemplo, diarios) donde los costes de potencia están planificados para subir y bajar.

5
10 Además o como alternativa, el planificador 140 puede recibir información ambiental 172 asociada con la instalación de refrigeración 110 desde, por ejemplo, uno o más proveedores de información ambiental 170, para determinar un modelo ambiental 148 de la instalación de refrigeración 110. La información ambiental 172 puede incluir una diversidad de condiciones ambientales de la instalación de refrigeración 110 que incluye el almacén 112 y el sistema de refrigeración 130. Los proveedores de información ambiental 170 pueden comunicarse con la instalación de refrigeración 110, el planificador 140 y/o el proveedor de servicios públicos 160 a través de la red 150.

Las condiciones ambientales de la instalación de refrigeración 110 pueden afectar al funcionamiento de la instalación de refrigeración 110. Varias condiciones ambientales, tales como temperatura, humedad, precipitación, cobertura de nubes, velocidad y dirección del viento, etc., pueden afectar las condiciones operativas de uno o más componentes en el sistema de refrigeración 130, tales como un condensador, un compresor, una válvula de expansión, un evaporador, un acumulador y un conjunto de ventilador que están incluidos en el sistema de refrigeración 130. Por ejemplo, la temperatura ambiente externa al sistema de refrigeración puede afectar la operación de un condensador de tal manera que la presión del condensador varía significativamente con el tiempo. Tal presión inestable del condensador se ilustra en un gráfico 1052 en la Figura 11. Las tecnologías descritas en el presente documento consideran tales condiciones ambientales variables y las reflejan al determinar una planificación operativa óptima. El sistema de refrigeración 130 que se controla usando la planificación operativa óptima determinada de acuerdo con las tecnologías descritas en el presente documento permite que sus componentes operen en sus maneras óptimas y eficientes. Por ejemplo, la planificación operativa óptima permite que el condensador opere con una presión del condensador significativamente estabilizada, como se ilustra en un gráfico 1054 en la Figura 11.

30 A modo de ejemplo, el proveedor de información 170 puede ser un ordenador de servidor de información de servicio metrológico que proporciona pronósticos meteorológicos diarios u horarios. En un ejemplo de este tipo, el proveedor de servicios públicos 160 puede usar un pronóstico de clima cálido para predecir una mayor demanda e intentar incentivar una demanda reducida aumentando el coste de la energía durante las horas calurosas, y/o el planificador 140 puede usar el pronóstico para determinar las planificaciones operativas 142 que enfrían previamente el almacén 112 en previsión del clima cálido en lugar de aumentar la entrada de calor. En otro ejemplo, el proveedor de servicios públicos 160 puede proporcionar señales para eventos de respuesta de demanda, y/o el planificador 140 puede usar las señales para generar y/o modificar planificaciones operativas 142.

40 Además o como alternativa, el proveedor de información 170 puede ser un proveedor de energía solar o eólica, y puede proporcionar un pronóstico de energía solar o eólica excedente (por ejemplo, un día particularmente soleado o ventoso) que estaría disponible para enfriar previamente el almacén 112.

45 Además o como alternativa, el proveedor de información 170 puede ser un planificador de producción o de logística. Por ejemplo, el proveedor de información 170 puede proporcionar información al planificador 140 que indica que puede planificarse un alto nivel de actividad para el almacén 112 mañana entre las 4 pm y las 5 pm. Dado que los altos niveles de actividad pueden incluir una mayor salida de calor por parte del equipo 122 y los trabajadores, y aperturas más frecuentes o prolongadas de la puerta 124 que podrían alterar el modelo térmico del almacén 112. El planificador 140 puede responder enfriando previamente el espacio cerrado en anticipación de esta actividad prevista y la entrada prevista de calor

50 Además o como alternativa, el proveedor de información 170 puede proporcionar información al planificador 140 acerca del inventario 120. Diferentes tipos de inventario pueden tener diferentes características térmicas. Por ejemplo, un palé de helado en cubos de plástico puede absorber y liberar energía térmica en diferentes cantidades y a diferentes velocidades que un palé de cajas de aros de cebolla envasados en bolsas de plástico dentro de cajas de cartón corrugado. En algunas realizaciones, el planificador 140 puede usar información acerca de las propiedades térmicas del inventario 120 o cambios en el inventario 120 para modificar el modelo térmico y modificar las planificaciones operativas 142 para tener en cuenta los cambios en el modelo térmico. Por ejemplo, el planificador 140 prescribe un periodo de enfriamiento previo más largo de lo habitual cuando el inventario 120 incluye artículos que tienen capacidades térmicas inusualmente altas y/o artículos que se almacenan en contenedores bien aislados.

60 Diferentes tipos de inventario también pueden entrar en el almacén 112 en diferentes estados. Por ejemplo, el proveedor de información 170 puede proporcionar información al planificador 140 que indica que un gran inventario de pescados y mariscos a -12,22 °C (10 °F) está previsto que llegue a un almacén que está a -15 °C (5 °F) mañana a las 9 a.m. El planificador 140 puede modificar las planificaciones operativas 142 para compensar el efecto de enfriamiento de los mariscos de los -12,22 °C (10 °F) entrantes hasta el punto de consigna del almacén de -15 °C

(5 °F) mientras también anticipa y compensa los efectos de la fijación de precios de energía variable prescribiendo un período más largo y/o más frío de enfriamiento previo.

La Figura 2 es un gráfico 200 de tres cargas de potencia por hora de ejemplo en un proveedor de servicios públicos, tal como el proveedor de servicios públicos 160 de ejemplo de la Figura 1. Una curva de demanda 210 muestra un ejemplo de carga de potencia por hora promedio para la región del Atlántico Medio de los Estados Unidos para la semana del 7 de julio de 2009, cuando la temperatura promedio fue de 29,44 °C (85 °F). Una curva de demanda 220 muestra un ejemplo de carga de potencia por hora promedio para la región del Atlántico Medio de los Estados Unidos para la semana del 5 de enero de 2009, cuando la temperatura promedio fue de 4,44 °C (40 °F). Una curva de demanda 230 muestra un ejemplo de carga de potencia horaria promedio para la región del Atlántico Medio de los Estados Unidos para la semana del 6 de abril de 2009, cuando la temperatura promedio fue de 12,78 °C (55 °F).

Cada una de las curvas de demanda 210-230 muestra que las cargas de potencia por hora promedio varían en un ciclo sustancialmente diario, alcanzando un pico alrededor del mediodía cada día, y alcanzando un punto bajo justo después de la medianoche cada día. En el ejemplo ilustrado, cada una de las curvas de demanda 210-230 comienza un lunes, y muestra que las cargas de potencia por hora promedio varían en un ciclo sustancialmente semanal. Por ejemplo, la curva de demanda 210 muestra demandas pico más altas para los primeros cinco ciclos de la semana (por ejemplo, la semana laboral, con un pico de aproximadamente 47.000 MW alrededor del mediodía de lunes a viernes) y es, en promedio, más baja para el sexto ciclo de la semana (por ejemplo, alcanzando un pico de aproximadamente 43.000 MW alrededor del mediodía del sábado) e incluso más bajo para el séptimo ciclo (por ejemplo, alcanzando un pico de aproximadamente 38.000 MW el domingo, cuando incluso menos negocios están abiertos y consumiendo energía).

Las compañías eléctricas generalmente construyen su infraestructura para proporcionar suficiente energía para evitar caídas de tensión e interrupciones en tantas circunstancias como sea práctico. Eso generalmente significa tener suficiente capacidad de generación de energía para acomodar las cargas máximas esperadas. Sin embargo, durante las horas de menor actividad, la compañía de servicios públicos puede tener una capacidad de generación de energía en exceso que no se utiliza mientras aún incurre en costos generales. Como tal, los proveedores de servicios públicos pueden estar incentivados para minimizar el exceso de capacidad de producción de energía y maximizar la capacidad de producción no utilizada. Una forma en que los proveedores de servicios públicos pueden hacer esto es incentivando a los consumidores de energía para que reduzcan su demanda de energía durante las horas pico y posiblemente cambien esa demanda a las horas fuera de las horas pico.

Los clientes pueden ser incentivados variando el coste del consumo de energía de manera que el precio de la energía durante las horas pico sea relativamente más alto, y el precio durante las horas fuera de las horas pico sea relativamente más bajo.

La Figura 3 es un gráfico 300 de temperatura de ejemplo, uso de energía de ejemplo y costes de potencia de ejemplo sin enfriamiento previo. En algunas implementaciones, el gráfico 300 puede ser un ejemplo del comportamiento de una instalación de refrigeración que no está configurada para usar planificaciones operativas tales como las planificaciones operativas 138, 142 de ejemplo de la Figura 1. El gráfico 300 incluye un gráfico secundario 310 y un gráfico secundario 350.

El gráfico secundario 310 es un gráfico de una curva de temperatura de ejemplo durante un período de 24 horas de ejemplo. En general, los sistemas de refrigeración no funcionan el 100 % del tiempo, y los sistemas de refrigeración no gestionados se encienden y apagan basándose en el control termostático. El gráfico secundario 310 muestra un límite de temperatura superior 312 de ejemplo que se establece ligeramente por encima de -18,33 °C (-1 °F), y un límite de temperatura inferior 314 establecido ligeramente por debajo de -18,33 °C (-1 °F). El límite de temperatura superior 312 y el límite de temperatura inferior 314 definen una histéresis de ejemplo para un controlador termostático para una unidad de almacenamiento en frío, tal como el controlador 132 del sistema de gestión de refrigeración 100 de ejemplo. Una curva de temperatura 318 del aire cicla aproximadamente entre el límite de temperatura superior 312 y el límite de temperatura inferior 314 y el controlador termostático enciende un sistema de refrigeración cuando se excede el límite de temperatura superior 312, y apaga el sistema de refrigeración cuando el límite de temperatura inferior 314 es alcanzado. La curva de temperatura 318 del aire cicla alrededor de -18,33 °C (-1 °F), y mantiene un punto de consigna de temperatura 320 del inventario (por ejemplo, alimentos congelados) sustancialmente cerca de -18,33 °C (-1 °F). En algunas realizaciones, el inventario puede tener una masa térmica mayor que el aire y, por lo tanto, la temperatura del inventario puede exhibir una respuesta térmica amortiguada en comparación con el aire que puede proporcionar un efecto de promedio en relación con las oscilaciones de la temperatura 318 del aire circundante.

El gráfico secundario 350 compara otros tres conjuntos de datos durante el mismo período de 24 horas que el gráfico secundario 310. Una curva de temperatura meteorológica 352 muestra un ejemplo de cómo varía la temperatura ambiente (por ejemplo, exterior) durante el periodo de 24 horas de ejemplo. Una curva de precio en tiempo real 354 muestra un ejemplo de cómo una compañía eléctrica puede variar el precio de la energía (por ejemplo, electricidad) durante el período de 24 horas. Como puede verse a partir de las curvas 352 y 354, a medida que la temperatura meteorológica 352 aumenta, el precio en tiempo real 354 aumenta, aunque con un ligero retraso. En algunos ejemplos, a medida que aumenta la temperatura meteorológica 352, la demanda de potencia puede aumentar con un retraso

(por ejemplo, posiblemente porque las temperaturas exteriores podrían aumentar más rápidamente que los interiores de los edificios, provocando de este modo un retraso antes de que los sistemas de aire acondicionado y los sistemas de refrigeración se activen termostáticamente), y tal aumento de la demanda de energía puede ser desincentivado por el proveedor de energía elevando el coste de la energía durante tales horas pico.

5 El gráfico secundario 350 también muestra una colección de curvas de coste de potencia 356. Las áreas debajo de las curvas de coste de potencia 356 representan la cantidad de dinero consumida (por ejemplo, coste) como parte del consumo de potencia, basándose en el precio en tiempo real 354, durante diversos periodos de tiempo dentro del periodo de 24 horas. Por ejemplo, las áreas bajo las curvas de coste de potencia 356 pueden sumarse para determinar un coste total de la potencia consumida durante el periodo de 24 horas de ejemplo.

15 Las curvas de coste de potencia 356 se corresponden en el tiempo con las caídas en la curva de temperatura 318 del aire. Por ejemplo, cuando se enciende el sistema de refrigeración 130, se consume energía como parte de hacer que la temperatura del aire dentro del almacén 112 caiga. En el ejemplo ilustrado, la curva de temperatura 318 del aire y las curvas de coste de potencia 356 muestran una periodicidad, con periodos de consumo de potencia que duran aproximadamente 25 minutos aproximadamente cada dos horas. Sin embargo, aunque la duración de los ciclos de consumo de potencia mostrados por las curvas de consumo de potencia 356 son aproximadamente iguales en longitud, varían mucho en altura. Por ejemplo, un ciclo 360 tiene significativamente menos volumen y, por lo tanto, menos coste total en relación con un ciclo 362. La diferencia en los costes entre los ciclos 360 y 362 se basa sustancialmente en la diferencia en el precio en tiempo real 354 en el momento del ciclo 360 y el precio en tiempo real relativamente más alto 354 en el momento del ciclo 362.

25 Como se ha descrito anteriormente, el gráfico 300 muestra un ejemplo del comportamiento de una instalación de refrigeración que no está configurada para usar planificaciones operativas tales como las planificaciones operativas 138, 142 de ejemplo de la Figura 1. Por ejemplo, el gráfico 300 muestra que el consumo de potencia se produce con una frecuencia sustancialmente regular independientemente del precio en tiempo real 354.

30 La Figura 4A es un gráfico 400 de temperatura de ejemplo, uso de energía de ejemplo y costes energéticos de ejemplo en un ejemplo en el que se usa enfriamiento previo. Los sistemas de refrigeración típicos no funcionan el 100 % del tiempo, y los sistemas de refrigeración no gestionados se encienden y apagan basándose en el control termostático. Sin embargo, los sistemas de refrigeración de acuerdo con las técnicas divulgadas en el presente documento, tales como el ejemplo del sistema de gestión de refrigeración 100 de la Figura 1, pueden usar planificaciones predeterminadas para cambiar sus tiempos de "encendido" y "apagado" a tiempos predeterminados del día de una manera que optimice la operación de una instalación de refrigeración, tal como la instalación de refrigeración 110. Como se describe en el presente documento, tal optimización incluye optimización de costes para mejorar la eficiencia global en el funcionamiento de la instalación de refrigeración. Los costes a optimizar incluyen un coste energético, un consumo de energía o una combinación del coste energético y del consumo de energía. En algunas implementaciones, el gráfico 400 puede ser un ejemplo del comportamiento de una instalación de refrigeración que está configurada para usar planificaciones operativas tales como las planificaciones operativas 138, 142 de ejemplo de la Figura 1, que están configuradas para implementar estrategias de enfriamiento desplazadas en el tiempo. El gráfico 400 incluye un gráfico secundario 410 y un gráfico secundario 450.

45 El gráfico secundario 410 es un gráfico de varias curvas de temperatura durante un período de 24 horas de ejemplo. Una curva de temperatura 418 del aire varía a medida que un controlador termostático enciende y apaga un sistema de refrigeración. La curva de temperatura 418 del aire cicla alrededor de $-18,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-1\text{ }^{\circ}\text{F}$), y mantiene una curva de temperatura 420 del inventario (por ejemplo, alimentos congelados) sustancialmente cerca de $-18,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-1\text{ }^{\circ}\text{F}$). En algunas realizaciones, el inventario puede tener una masa térmica mayor que el aire y, por lo tanto, la temperatura 420 del inventario puede exhibir una respuesta térmica amortiguada en comparación con el aire que puede proporcionar un efecto de promedio en relación con las oscilaciones de la temperatura 418 del aire circundante.

50 La curva de temperatura 418 del aire incluye una gran caída 430 que comienza alrededor de las 2 am y termina alrededor de las 8 am. La curva de temperatura 418 del aire también incluye un gran aumento 432 que comienza alrededor de las 8 am y continúa durante el resto del día. La temperatura 420 del inventario también varía, pero en un grado mucho menor (por ejemplo, debido a la capacidad calorífica relativamente mayor de la materia sólida en comparación con el aire), variando solo un par de décimas de grado alrededor de $-18,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-1\text{ }^{\circ}\text{F}$).

60 El gráfico secundario 450 compara otros tres conjuntos de datos durante el mismo período de 24 horas que el gráfico secundario 410. Una curva de temperatura meteorológica 452 muestra un ejemplo de cómo varía la temperatura ambiente (por ejemplo, exterior) durante el periodo de 24 horas de ejemplo. Una curva de precio en tiempo real 454 muestra un ejemplo de cómo una utilidad de energía puede variar el precio de la energía (por ejemplo, electricidad) durante el período de 24 horas. Como puede verse a partir de las curvas 452 y 454, a medida que la temperatura meteorológica 452 aumenta, el precio en tiempo real 454 aumenta, aunque con un ligero retraso. En algunos ejemplos, a medida que aumenta la temperatura meteorológica 452, la demanda de potencia puede aumentar con un retraso (por ejemplo, posiblemente porque las temperaturas exteriores podrían aumentar más rápidamente que los interiores de los edificios, provocando de este modo un retraso antes de que los sistemas de aire acondicionado y los sistemas de refrigeración se activen termostáticamente), y tal aumento de la demanda de energía puede ser desincentivado por

el proveedor de energía elevando el coste de la energía durante tales horas pico.

El gráfico secundario 450 también muestra una curva de coste de potencia 456. El área por debajo de la curva de coste de potencia 456 representa la cantidad de dinero consumida (por ejemplo, tarifa de energía por energía consumida) como parte del consumo de potencia, basándose en el precio en tiempo real 454, durante diversos periodos de tiempo dentro del periodo de 24 horas. El área bajo la curva de coste de potencia 456 puede sumarse para determinar un coste total de la potencia consumida durante el periodo de 24 horas de ejemplo.

La curva de coste de potencia 456 se corresponde en el tiempo con la caída 430 en la curva de temperatura 418 del aire. Por ejemplo, cuando se enciende el sistema de refrigeración 130, se consume energía como parte de hacer que la temperatura del aire dentro del almacén 112 caiga. A diferencia del gráfico 300 de ejemplo de la Figura 3, que muestra el consumo de potencia que se produce con una frecuencia sustancialmente regular independientemente del precio en tiempo real 354, el gráfico 400 muestra que la curva de coste de potencia 456 se compensa antes de un pico 455 en la curva de precio en tiempo real 454.

En el ejemplo ilustrado, la curva de coste de potencia 456 se produce antes del pico 455 debido a una planificación operativa, tal como la planificación operativa 138 de ejemplo, proporcionada por un planificador tal como el planificador 140 de ejemplo y ejecutada por un controlador tal como el controlador 132 de ejemplo para enfriar previamente un espacio cerrado e inventario tal como el espacio cerrado 114 de ejemplo y el inventario 120 de ejemplo. En el ejemplo ilustrado, se enfría un espacio cerrado y se consume energía durante un período de carga 460 que sigue a un período de descarga 462.

Durante el período de carga 460, la temperatura 418 del aire se enfría por debajo de una temperatura objetivo nominal. Por ejemplo, puede haber un requisito de que la temperatura 420 del inventario no pueda aumentar a $-17,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0\text{ }^{\circ}\text{F}$) y, por lo tanto, el sistema de refrigeración correspondiente puede configurarse para controlar termostáticamente la temperatura 418 del aire para que cycle normalmente alrededor de $-18,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-1\text{ }^{\circ}\text{F}$), con una histéresis de aproximadamente $\pm -17,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,2\text{ }^{\circ}\text{F}$). Sin embargo, durante el período de carga 460, el sistema de refrigeración puede configurarse para enfriar la temperatura 418 del aire hacia aproximadamente $-16,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-3,15\text{ }^{\circ}\text{F}$).

El periodo de carga 460 tiene lugar antes del pico 455 en el precio en tiempo real 454. Como tal, el consumo de potencia tiene lugar cuando la potencia es relativamente menos costosa (por ejemplo, la altura de la curva de coste de potencia 456 es comparativamente menor que la curva de coste de potencia 356 de ejemplo).

Durante el período de descarga 462, se permite que la temperatura 418 del aire se relaje hacia el umbral de $-18,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-1\text{ }^{\circ}\text{F}$), en lugar de consumir energía que es más cara durante el pico 455 de la curva de coste de potencia 454. Al planificar el período de carga 460 (por ejemplo, enfriamiento previo adicional durante los tiempos de potencia de bajo coste) y el período de descarga 462 (por ejemplo, permitiendo que las temperaturas se relajen parcialmente durante los tiempos de potencia de alto coste), el coste energético total asociado con la curva de coste de potencia 456 puede ser menor que el coste energético total asociado con las operaciones no planificadas, tales como las representadas por la suma de las curvas de coste de potencia 356.

La Figura 4B es un gráfico 470 de tarifa de uso de ejemplo, energía térmica de ejemplo y temperaturas de ejemplo para una instalación de refrigeración que tiene múltiples salas de almacenamiento. En algunas implementaciones, el gráfico 470 puede ser un ejemplo del comportamiento de una instalación de refrigeración que está configurada para usar planificaciones operativas tales como las planificaciones operativas 138, 142 de ejemplo de la Figura 1, que están configuradas para implementar estrategias de enfriamiento desplazadas en el tiempo. El gráfico 470 incluye los gráficos secundarios 472, 474 y 476.

El gráfico secundario 472 es un gráfico de una curva de tarifa de uso 478 durante unos pocos días de ejemplo. De manera similar a la curva de precios en tiempo real 454 en la Figura 4A, la curva de tarifa de uso 478 muestra un ejemplo de cómo una compañía eléctrica puede variar la tarifa de electricidad a lo largo del tiempo. Por ejemplo, la tarifa de uso puede cambiar durante un período de 24 horas de cada día, durante cada semana, etc. El ejemplo ilustrado de la curva de tarifa de uso 478 muestra un patrón de una tarifa de uso que permanece baja durante unos pocos días, incluido un fin de semana (por ejemplo, 14-16, 21-23 y 28-30 de abril de 2018).

El gráfico secundario 474 es un gráfico de múltiples curvas de consumo de potencia durante los mismos días de ejemplo que en el gráfico secundario 472. El gráfico secundario 474 incluye una curva de consumo de potencia total 480 que representa un consumo de potencia total (o consumo de energía) requerido para operar múltiples salas de almacenamiento en una instalación de refrigeración. El área debajo de la curva de consumo de potencia total 480 representa la cantidad de potencia (o energía) térmica consumida a lo largo del tiempo. El área bajo la curva de consumo de potencia total 480 se puede sumar para determinar un consumo de potencia térmica total durante un período de tiempo predeterminado. En el ejemplo ilustrado, la curva de consumo de potencia total 480 representa un consumo de potencia total para cuatro salas de almacenamiento. Se ilustra una energía térmica consumida para cada sala de almacenamiento como parte del área debajo de la curva de consumo de potencia total 480. En el ejemplo ilustrado, se ilustra un consumo de potencia térmica para una primera sala de almacenamiento como una primera porción 482A, se ilustra un consumo de potencia térmica para una segunda sala de almacenamiento como una

segunda porción 482B, se ilustra un consumo de potencia térmica para una tercera sala de almacenamiento como una tercera porción 482C, y un consumo de potencia térmica para una cuarta sala de almacenamiento se ilustra como una cuarta porción 482D. En el gráfico secundario 474, sin embargo, la cuarta porción 482D rara vez es visible porque el consumo de potencia térmica de la cuarta sala de almacenamiento es sustancialmente pequeño en relación con las otras salas de almacenamiento.

La curva de consumo de potencia total 480 corresponde en el tiempo con caídas 484 en la curva de tarifa de uso 478. Por ejemplo, cuando la tarifa de uso es baja (por ejemplo, durante cada caída 484 en la curva de tarifa de uso 478), se consume más energía para hacer funcionar un sistema de refrigeración para hacer caer la temperatura del aire dentro de un almacén. En contraste, cuando la tarifa de uso es relativamente alta (por ejemplo, durante cada aumento 486 en la curva de tarifa de uso 478), se consume menos energía como parte de dejar que aumente la temperatura del aire dentro del almacén.

El gráfico secundario 476 es un gráfico de varias curvas de temperatura durante los mismos días de ejemplo que en los gráficos secundarios 472 y 474. Las curvas de temperatura primera, segunda, tercera y cuarta 488A, 488B, 488C y 488D indican las temperaturas del aire dentro de las salas de almacenamiento primera, segunda, tercera y cuarta y, por lo tanto, se corresponden con las porciones primera, segunda, tercera y cuarta 482A, 482B, 482C y 482C de consumo térmico en el gráfico secundario 474. Como se ilustra, diferentes salas de almacenamiento en un almacén pueden tener diferentes comportamientos de las temperaturas del aire dentro de las mismas, al menos en parte, debido a que los factores que afectan al enfriamiento de cada una de las salas de almacenamiento pueden ser diferentes. Por ejemplo, cada cámara de almacenamiento puede verse afectada por diferentes factores, tales como clima local, efectos solares y/o eólicos, planificas de producción y/o logística, inventarios con diferentes características térmicas, requisitos de temperatura, etc. En consecuencia, cada una de las múltiples cámaras de almacenamiento en un sistema de refrigeración puede controlarse de manera diferente de acuerdo con diferentes factores, mientras se considera la tarifa de uso 478 que varía con el tiempo. Como se describe en el presente documento, la planificación operativa 138 puede proporcionar una planificación operativa óptima para controlar un sistema de refrigeración para un almacén que tiene una o más salas de almacenamiento que pueden operarse de diferentes maneras.

La Figura 4C es un gráfico que representa una tarifa de uso de ejemplo para una instalación de refrigeración que tiene múltiples salas de almacenamiento. Mientras que las Figuras 4A y 4B ilustran tarifas de uso escalonadas, la Figura 4C muestra una tarifa de uso de mercado de cabecera diaria. Mientras que las Figuras 4A y 4B muestran salidas teóricas y algorítmicas, la Figura 4C muestra un resultado experimental. En algunas implementaciones, el gráfico puede ser un ejemplo del comportamiento de una instalación de refrigeración que está configurada para usar planificaciones operativas tales como las planificaciones operativas 138, 142 de ejemplo de la Figura 1, que están configuradas para implementar estrategias de enfriamiento desplazadas en el tiempo.

Un gráfico secundario 492 muestra la cantidad de potencia térmica extraída de las salas con temperatura controlada por los evaporadores. Un gráfico secundario 494 muestra la potencia consumida por los compresores vinculados a esas mismas salas. Un gráfico secundario 496 muestra las tarifas de uso, que se publican 24 horas antes.

La Figura 5 es un diagrama conceptual de un modelo térmico 500 del almacén 112 del sistema de gestión de refrigeración 100 de ejemplo de la Figura 1. En general, el comportamiento térmico de un espacio refrigerado puede modelarse matemáticamente como un oscilador armónico amortiguado. En algunas implementaciones, el comportamiento térmico de un espacio refrigerado en respuesta a refrigeración alimentada y calentamiento pasivo (por ejemplo, intrusión de calor) puede aproximarse matemáticamente al comportamiento eléctrico de una batería en respuesta a carga alimentada y descarga pasiva a través de una carga (por ejemplo, autodescarga). Por ejemplo, el espacio cerrado 114 dentro del almacén 112 puede "cargarse" eliminando una cantidad adicional de energía térmica (por ejemplo, bajando la temperatura por debajo de la temperatura de funcionamiento normal, generalmente mediante el uso de energía eléctrica) del aire y el inventario 120, y puede "descargarse" permitiendo que el calor se infiltre en el espacio cerrado 114 (por ejemplo, hasta que se alcance la temperatura de funcionamiento normal).

El modelo térmico 500 puede determinarse al menos parcialmente mediante medición empírica. Por ejemplo, el espacio cerrado 114 puede comenzar a una temperatura inicial (por ejemplo, $-18,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-1\text{ }^{\circ}\text{F}$)) y enfriarse a una temperatura inferior predeterminada (por ejemplo, $-20,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-5\text{ }^{\circ}\text{F}$)). El aire enfriado y el inventario 120 intercambian energía térmica a medida que cambia la temperatura. Una colección de sensores de temperatura distribuidos dentro del espacio cerrado 114 puede monitorizarse para determinar cuándo el espacio cerrado 114 ha alcanzado la temperatura más baja. Cuando se ha alcanzado y/o estabilizado la temperatura más baja, el sistema de refrigeración del almacén 112 puede apagarse parcialmente o completamente (por ejemplo, reduciendo así el uso de energía) y los sensores pueden usarse para monitorizar los cambios de temperatura dinámicos en todo el espacio cerrado 114, ya que la intrusión de calor hace que el espacio cerrado 114 se caliente gradualmente (por ejemplo, vuelva a $-18,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-1\text{ }^{\circ}\text{F}$)), con el aire y el inventario 120 absorbiendo parte del calor que se infiltra en el espacio cerrado 114.

Las tasas a las que el espacio cerrado 114 se enfría y calienta pueden analizarse para estimar la capacidad calorífica y/o determinar la resistencia térmica del almacén 112. En algunas realizaciones, la capacidad calorífica puede basarse en la capacidad de refrigeración del almacén 112 (por ejemplo, la capacidad de perturbación del sistema, el tamaño del sistema de refrigeración 130), el volumen del aire y los volúmenes y los tipos de materiales que componen el

inventario 120 (por ejemplo, capacidad calorífica de pescado congelado frente a zumo de naranja concentrado congelado, envases de papel frente a envases metálicos).

5 En algunas realizaciones, la resistencia térmica puede basarse en las cualidades aislantes del almacén 112, las cualidades aislantes del inventario 120 (por ejemplo, almacenado en envases de plástico sellados al vacío frente a cajas de cartón corrugado), el calor emitido por los trabajadores y/o el equipo dentro del almacén 112, y la frecuencia con la que las puertas del almacén 112 se abren a temperatura ambiente. En algunas realizaciones, algunos o todos los términos del modelo térmico 500 pueden determinarse realizando un ciclo de modelado térmico y monitorizando la respuesta térmica del almacén 112. Por ejemplo, si el ciclo de modelado térmico se realiza mientras se almacena un tipo y volumen particular del inventario 120, mientras se usan cantidades particulares de equipo y trabajadores en el espacio cerrado 114, y mientras las puertas del espacio cerrado 114 están abiertas y cerrado con una frecuencia particular, entonces el modelo térmico resultante puede incluir inherentemente términos que reflejan esas variables sin requerir que estos factores contribuyentes se determinen con anticipación.

15 La realización matemática del modelo térmico 500 toma la forma de ecuaciones diferenciales tales como:

$$C_f \frac{dT_f}{dt} = -\alpha (T_f(t) - T(t)), \quad C \frac{dT}{dt} = \alpha (T_f(t) - T(t)) + \Phi$$

20 en la que Φ representa el flujo térmico neto, α representa el coeficiente de acoplamiento térmico entre el alimento y el aire, C representa la capacidad calorífica efectiva del aire, C_f es la capacidad calorífica efectiva del inventario, T_f representa la temperatura del inventario y T representa la temperatura del aire.

25 Las ecuaciones anteriores se pueden resolver analítica o numéricamente para determinar la temperatura del aire y del inventario dependiente del tiempo. El modelo es análogo y se aproxima a la dinámica de un oscilador armónico simple amortiguado. En forma de oscilador armónico térmico, las ecuaciones anteriores se pueden presentar como:

$$T(t) = A + mt + Be^{-t/\tau}, \quad T_f(t) = A + mt + B_f e^{-t/\tau}$$

30 La Figura 6 es un diagrama de bloques de un sistema de gestión de refrigeración 600 de ejemplo. El sistema 600 ilustra interacciones de ejemplo entre una instalación 610 y un algoritmo basado en la nube 640. En algunas realizaciones, la instalación 610 puede ser la instalación de refrigeración 110 del sistema de gestión de refrigeración 100 de ejemplo de la Figura 1. En algunas realizaciones, el algoritmo basado en la nube 640 puede ser el planificador 140.

35 La instalación 610 incluye un sistema de refrigeración 612. El sistema de refrigeración está configurado para enfriar un espacio cerrado. Por ejemplo, el sistema de refrigeración 612 puede ser el sistema de refrigeración 130.

40 La instalación 610 incluye un controlador de nodo perimetral 614 en comunicación con el sistema de refrigeración 612. El controlador de nodo perimetral incluye un módulo de exportación 616 y un módulo de punto de consigna 618. El módulo de exportación 616 está configurado para exportar información recibida desde el sistema de refrigeración 612, tal como valores de temperatura medidos, valores de consigna de temperatura, información de estado operativo y/u otra información desde el sistema de refrigeración 612. El módulo de punto de consigna 618 está configurado para recibir planificaciones operativas desde el algoritmo basado en la nube 640. En algunas realizaciones, el algoritmo basado en la nube 640 puede ser un sistema informático de servidor y el controlador de nodo perimetral 614 puede ser un sistema de procesador de cliente. El controlador de nodo perimetral 614 está configurado para realizar funciones basándose en las planificaciones operativas, tales como encender y apagar el sistema de refrigeración 612 (por ejemplo, o a una configuración de potencia reducida) en tiempos predeterminados, y/o configurar puntos de consigna de temperatura para el sistema de refrigeración 612 en momentos predeterminados.

50 El algoritmo basado en la nube 640 incluye una interfaz de planificación de aplicaciones (API) de alimentación 642. La API de fuentes 642 proporciona un punto final de comunicaciones programáticas que está configurado para recibir información operativa desde el controlador de nodo perimetral 614. La información operativa incluye mediciones de temperatura cronometradas desde uno o más sensores ubicados en todo el sistema de refrigeración 612. Además o como alternativa, la información operativa puede incluir información, tal como información de capacidad de refrigeración (por ejemplo, una planificación que indica que el 10 % de los enfriadores usados por el sistema de refrigeración 612 estarán fuera de línea para el mantenimiento futuro), información de volumen operativo (por ejemplo, qué tan lleno se espera que esté el almacén), información de estado operativo (por ejemplo, la instalación 610 estará operando cuando normalmente está cerrada, y las puertas y el equipo contribuirán con calor cuando normalmente no lo harían, tal como durante un segundo turno de trabajo temporal o un domingo), y/u otras condiciones y propiedades de la instalación 610 (incluyendo su sistema de refrigeración y almacén).

Además o como alternativa, la información operativa incluye condiciones operativas de uno o más componentes en el

sistema de refrigeración, tal como un condensador, un compresor, una válvula de expansión, un evaporador, un acumulador y un conjunto de ventilador. Por ejemplo, se monitoriza y obtiene una presión del condensador como parte de la información operativa porque puede verse afectada por las condiciones ambientales, tales como la temperatura ambiente externa al sistema de refrigeración.

5 Un algoritmo de compensación 644 recibe la información operativa a través de la API fuentes 642. Por ejemplo, el algoritmo de compensación 644 puede incluir o ser parte del módulo de determinación de planificación óptima 444 en la Figura 1. El algoritmo de compensación 644 puede incluir una lógica de optimización convexa que puede determinar planificaciones operativas para el sistema de refrigeración 612. En general, el algoritmo de compensación 644
10 determina las planificaciones operativas que pueden hacer que el sistema de refrigeración 612 enfríe previamente un espacio de almacenamiento en frío y, a continuación, permita que el espacio "compense", "deslice", "descargue" o de otra manera permita que la temperatura del espacio para aumentar durante un período de tiempo sin necesidad de consumir energía para mantener el espacio de almacenamiento por debajo de un límite de temperatura máxima predeterminado.

15 El algoritmo de compensación 644 se comunica con un algoritmo de modelado térmico 646 que incluye la lógica de software que determina modelos térmicos para espacios, tales como los espacios enfriados por el sistema de refrigeración 612, basándose en la información operativa recibida por las alimentaciones API 642. El algoritmo de modelado térmico 646 está configurado para almacenar y recuperar modelos térmicos en una base de datos de
20 modelos térmicos 648. En algunas implementaciones, los modelos térmicos pueden ser el modelo térmico 500 de ejemplo de la Figura 5.

El algoritmo de compensación 644 se comunica con una API de tarifas de potencia 650. La API de tarifas de potencia 650 proporciona una interfaz de comunicaciones a un proveedor de servicios públicos 652. La API de tarifas de potencia 650 posibilita que el algoritmo basado en la nube 640 solicite y/o reciba planificaciones de costes energéticos del proveedor de servicios públicos 652. Por ejemplo, la API de tarifas de potencia 650 podría usarse para recibir la
25 planificación de costes energéticos 162 de la Figura 1 del proveedor de servicios públicos 160.

30 Una base de datos de datos históricos 660 almacena datos históricos que pueden recuperarse por el algoritmo de compensación 644. Por ejemplo, la base de datos de datos históricos 660 puede almacenar múltiples conjuntos de información operativa para la instalación 610 a lo largo del tiempo, y el algoritmo de compensación 640 puede usar tales datos históricos como parte de un proceso de determinación de planificaciones operativas. Por ejemplo, el algoritmo de compensación 644 puede observar múltiples conjuntos de datos históricos para determinar que la
35 instalación 610 se calienta más rápidamente los lunes, tiene una cantidad promedio de calentamiento los martes-viernes y tiene poco calentamiento los sábados y domingos (por ejemplo, los lunes pueden ser días de envío intenso con mucha actividad y aperturas de puertas, y la instalación 610 puede estar cerrada para los negocios los fines de semana y, por lo tanto, tener pocas o ninguna apertura de puertas). En otro ejemplo, el algoritmo de compensación 644 puede observar múltiples conjuntos de datos históricos para determinar que la instalación 610 se calienta más rápidamente en el verano que en el invierno. El algoritmo de compensación 644 puede usar información como esta
40 para predecir y/o mejorar estimaciones del modelo térmico de la instalación 610 para diversos días, estaciones y otras variables operativas.

El algoritmo de compensación 644 se comunica con una API de condiciones ambientales 666. La API de condiciones ambientales 666 proporciona una interfaz de comunicaciones a uno o más proveedores de información ambiental 668.
45 La API de condiciones ambientales 666 habilita que el algoritmo basado en la nube 640 solicite y/o reciba información ambiental de uno o más de los proveedores de información ambiental 668. Por ejemplo, la API de condiciones ambientales 666 podría usarse para recibir la información ambiental 172 de la Figura 1 de uno o más de los proveedores de información ambiental 170.

50 El algoritmo de compensación 644 determina una o más planificaciones operativas para controlar el sistema de refrigeración 612 para la instalación 610 basándose en al menos uno de las planificaciones de coste energético recibidas por la API de tarifas de potencia 650, los modelos térmicos determinados por el algoritmo de modelo térmico 646, la información operativa recibida por la API fuentes 642, los datos históricos recuperados de la base de datos de
55 datos históricos 660 y la información ambiental recibida por la API de condiciones ambientales 666. Por ejemplo, el algoritmo de compensación 644 puede determinar planificaciones operativas 142 que incluyen una planificación operativa óptima 138.

60 Como se describe en el presente documento, el algoritmo de compensación 644 puede determinar una planificación operativa óptima 138 usando una lógica de optimización convexa. Una lógica de optimización convexa de este tipo puede configurarse para seleccionar la planificación operativa óptima 138 entre una pluralidad de planificaciones operativas candidatas 142, que optimizarán un coste energético y/o un consumo de energía al operar el sistema de refrigeración 612 para la instalación 610 que tiene una o más salas de almacenamiento.

65 En algunas implementaciones, la lógica de optimización convexa del algoritmo de compensación 644 puede representarse por una función de coste de potencia real: $c^T X + k_d \max(X)$

sujeto a $0 \leq X \leq M$

$$C_f (T_f(t + 1) - T_f(t)) = \alpha (T_w(t) - T_f(t))$$

$$C(T_w(t + 1) - T_w(t)) = \alpha (T_f(t) - T_w(t)) + \Phi_{caliente}(t) - \Phi_{frio}(t)$$

$$\Phi_{caliente}(t) = (k_1 + k_2 d(t))(T_o(t) - T_w(t)) + k_3 X(t)$$

$$\Phi_{frio}(t) = k_4 X(t) \left(\frac{T_w}{T_o(t) - T_w(t)} \right)$$

$$T_w \leq 0$$

5

donde $c^T X$ representa el consumo de energía (o una transposición de un vector de carga de uso a lo largo del tiempo), X representa el consumo de potencia de los sistemas de refrigeración a lo largo del tiempo, $k_d \max(X)$ representa la carga de demanda, Φ representa el flujo térmico neto, α representa el coeficiente de acoplamiento térmico entre el alimento y el aire, C representa la capacidad calorífica efectiva del aire, C_f es la capacidad calorífica efectiva del inventario, T_f representa la temperatura del inventario, T representa la temperatura del aire, $\Phi_{caliente}$ es el flujo de calor dependiente del tiempo (en vatios), k_1 es la tasa de transferencia de calor a través de las paredes (infiltración), k_2 es la tasa de transferencia de calor para una puerta que se abre a un espacio de temperatura controlada, $d(t)$ son las aperturas de puerta dependientes del tiempo (en vatios), T_o es la temperatura ambiente fuera del almacén, k_3 es la tasa de transferencia de calor asociada con el funcionamiento de los ventiladores del evaporador en el espacio frío,

10

15

Φ_{frio} es el flujo de enfriamiento dependiente del tiempo (en vatios), $\frac{T_w}{T_o(t) - T_w(t)}$ es la ecuación de eficiencia de Carnot teórica estándar para un sistema de refrigeración, k_4 es un término de escalamiento multiplicativo usado para representar la eficiencia real del sistema de refrigeración (ya que Carnot es teórico y no se puede lograr en la práctica). Un planificación operativa óptima 138 puede determinarse encontrando X que minimice la función anterior.

20

$C_f (T_f(t + 1) - T_f(t)) = \alpha (T_w(t) - T_f(t))$ describe cómo cambia la temperatura del almacén en función del tiempo. $C(T_w(t + 1) - T_w(t)) = \alpha (T_f(t) - T_w(t)) + \Phi_{caliente}(t) - \Phi_{frio}(t)$ describe cómo cambia la temperatura de los productos en función del tiempo. Se observa que la función de coste energético real $c^T X + k_d \max(X)$ es convexa pero no lineal.

25

30

35

Una API de compensación 670 proporciona una interfaz de comunicación entre el algoritmo basado en la nube 640 y el controlador de nodo perimetral 614. La API de compensación 670 puede transmitir planificaciones operativas que se reciben por el captador de punto de consigna 618. El controlador de nodo perimetral 614 usa planificaciones operativas recibidas por el captador de punto de consigna 618 para operar el sistema de refrigeración 612. Las planificaciones operativas incluyen información que puede hacer que el controlador de nodo perimetral 614 opere el sistema de refrigeración 612 para enfriar un congelador u otro espacio cerrado a una temperatura más baja (por ejemplo, enfriamiento previo, carga) durante momentos en los que la energía es relativamente menos costosa y/ o cuando el sistema de refrigeración 612 puede funcionar de manera más eficiente (por ejemplo, durante las horas más frescas) y permitir que las temperaturas aumenten mientras no está funcionando (por ejemplo, descarga, compensación, inercia, relajación) durante otros momentos en los que la potencia es relativamente más cara (por ejemplo, períodos de precios pico) y/o menos eficientes (por ejemplo, horas calientes del día).

40

45

50

La Figura 7 es un diagrama de flujo de un proceso 700 de ejemplo para la gestión de refrigeración. El proceso 700 puede realizarse por partes o todo el sistema de gestión de refrigeración 100 de ejemplo de la Figura 1 o el sistema de gestión de refrigeración 600 de ejemplo de la Figura 6.

En 710, se obtiene un modelo térmico de un sistema global de una instalación de refrigeración. El sistema global de un sistema de refrigeración puede incluir una instalación de almacenamiento en frío (por ejemplo, un almacén o un recinto de almacenamiento en frío) y un sistema de refrigeración que opera para enfriar la instalación de almacenamiento en frío. Por ejemplo, el planificador 140 puede recibir lecturas temporizadas de los sensores 134 e información operativa acerca del sistema de refrigeración 130, y determinar un modelo térmico del sistema global de la instalación de refrigeración basándose en las lecturas temporizadas y/o la información operativa. Como alternativa, el modelo térmico se genera para cualquiera de la instalación de almacenamiento en frío y el sistema de refrigeración. Un proceso de ejemplo para determinar un modelo térmico se describe con más detalle en el presente documento, por ejemplo, con referencia a la Figura 8.

En algunas implementaciones, el modelo térmico puede ser representativo de al menos una de la capacidad calorífica

del contenido dentro del espacio cerrado y la resistencia térmica del recinto de almacenamiento en frío. Por ejemplo, el aire y el inventario 120 dentro del espacio cerrado 114 tendrían una capacidad calorífica combinada, y la construcción (por ejemplo, propiedades aislantes, áreas de puertas) del almacén 112 contribuiría a la resistencia térmica del almacén 112. Además o como alternativa, el modelo térmico puede ser representativo de la información operativa del sistema de refrigeración 130 para enfriar el almacén 112. Por ejemplo, el modelo térmico del sistema puede verse afectado por al menos una de las condiciones operativas de los componentes del sistema de refrigeración 130, tal como los consumos de energía de cada componente (por ejemplo, un condensador, un compresor, una válvula de expansión, un evaporador, un acumulador y un conjunto de ventilador), generación de calor de cada componente (por ejemplo, un condensador, un compresor, una válvula de expansión, un evaporador, un acumulador y un conjunto de ventilador), presión del condensador y otros estados y condiciones operativas de los componentes del sistema de refrigeración. Además o como alternativa, el modelo térmico puede verse afectado por otros factores asociados con las operaciones del sistema de refrigeración, tales como requisitos/ajustes/umbrales de temperatura, una temperatura máxima permitida para el espacio cerrado, punto de consigna de temperatura nominal de la instalación de refrigeración, temperatura máxima consigna del inventario, etc.

En 712, se obtiene un modelo de coste energético. El modelo de coste energético describe una planificación de costes energéticos variables durante un período de tiempo predeterminado en el futuro. Por ejemplo, el planificador 140 puede recibir la planificación de costes energéticos 162 del proveedor de servicios públicos 160. La planificación de costes energéticos 162 incluye información acerca del coste energético que el proveedor de servicios públicos 160 cobra por energía en diferentes momentos y/o diferentes días. El coste energético puede representarse en uno o más de diversos tipos, tales como tarifas de uso, tales como tarifas fijas, tarifas escalonadas, tarifas de tiempo de uso, tarifas de demanda, cargos por demanda, etc. Un cargo por demanda se basa en la cantidad de potencia más alta (el uso de electricidad pico) de un cliente alcanzada durante un promedio de intervalo de tiempo predeterminado (por ejemplo, promedio de 15, 20, 30 o 60 minutos) durante un período de facturación. La compañía de servicios públicos cobra a continuación una cantidad fija (como un multiplicador). Por ejemplo, los cargos por demanda son algo análogos a una multa por exceso de velocidad. La compañía de servicios públicos puede cobrar una cuota (es decir, cargo por demanda) basándose en el consumo de energía máximo para el mes, y en algunos ejemplos esta cuota puede ser tanto como el 50 % de la factura de energía. El planificador 140 puede configurarse para tener en cuenta tales cuotas cuando se determinan las planificaciones operativas, para evitar que se encienda demasiado del equipo de refrigeración a la vez incluso cuando las tarifas de potencia son relativamente bajas.

En 714, se obtiene un modelo ambiental. El modelo ambiental describe una o más condiciones ambientales durante un período de tiempo predeterminado en el futuro. El modelo ambiental puede incluir las condiciones ambientales que son externas a una instalación de almacenamiento en frío y en un área geográfica donde se ubica la instalación de almacenamiento en frío. Por ejemplo, el planificador 140 puede recibir el modelo ambiental desde uno o más proveedores de información ambiental 170. Como alternativa, el planificador 140 está configurado para determinar el modelo ambiental basándose en la información ambiental 172 recibida de uno o más de los proveedores de información ambiental 170.

En 716, se determinan una o más planificaciones operativas para al menos una porción del sistema de refrigeración basándose en uno o más del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental. Las planificaciones operativas se determinan para cumplir una pluralidad de restricciones proporcionadas por el uno o más del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental, mientras que las planificaciones operativas pueden dar como resultado diferentes resultados operativos, tales como diferentes eficiencias operativas. Una o más de las planificaciones operativas determinados pueden usarse como candidatos (por ejemplo, planificaciones operativas candidatas) para una planificación operativa óptima.

En algunas implementaciones, una o más de múltiples planificaciones operativas pueden determinarse por el planificador 140. Por ejemplo, el planificador 140 puede analizar la planificación de costes energéticos 162 para identificar un período de tiempo en el que el coste por unidad de potencia (por ejemplo, dólares por kilovatio hora de electricidad) es relativamente alto, y luego identificar otro período de tiempo en el que el coste por unidad de potencia es relativamente menor y precede al periodo de coste alto (por ejemplo, identificar un periodo de precio bajo que se produce antes de un periodo de precio pico). El planificador 140 puede determinar entonces que al menos una porción del periodo de precio bajo se va a usar para enfriar el espacio cerrado 114 una cantidad adicional por debajo del punto de consigna de temperatura nominal. El planificador 140 también puede determinar que el sistema de refrigeración 130 no debe operarse más de lo necesario para mantener el punto de consigna de temperatura máxima del inventario 120. Como tal, la planificación puede hacer que el controlador 132 proporcione al espacio cerrado 114 una carga térmica adicional de enfriamiento usando potencia barata para que el inventario pueda permanecer por debajo de la temperatura máxima durante al menos un tiempo sin consumir potencia costosa.

Además o como alternativa, se pueden determinar una o más de las múltiples planificaciones operativas de modo que el controlador 132 pueda encender el sistema de refrigeración 130 y mantenerlo encendido hasta que se establezca una condición predeterminada, tal como estableciendo el punto de consigna de temperatura a una temperatura por debajo de lo que el espacio cerrado 114 alcanzará en una cantidad de tiempo práctica (por ejemplo, -28,89 °C (-20 °F)) para hacer que el sistema de refrigeración 130 opere sustancialmente de manera constante durante una cantidad de tiempo predeterminada. En otro ejemplo, el controlador 132 puede operar el sistema de refrigeración 130 hasta que

ES 3 015 480 T3

se haya alcanzado y/o estabilizado una temperatura predeterminada (por ejemplo, $-21,11\text{ °C}$ (-6 °F)). El controlador 132 puede entonces apagar el sistema de refrigeración 130 (por ejemplo, o reducir el uso de energía) y comenzar a registrar las temperaturas detectadas por los sensores 134 a lo largo del tiempo a medida que se permite que el espacio cerrado 114 se caliente. El controlador 132 y/o el planificador 140 pueden procesar las mediciones de temperatura temporizadas para determinar el modelo térmico 500.

Además o como alternativa, uno o más de múltiples planificaciones operativas pueden determinarse basándose al menos en parte en cargos por demanda. Los cargos por demanda son algo análogos a una multa por exceso de velocidad. La compañía de servicios públicos puede cobrar una cuota (es decir, cargo por demanda) basándose en el consumo de energía máximo para el mes, y en algunos ejemplos esta cuota puede ser tanto como el 50 % de la factura de energía. El planificador 140 puede configurarse para tener en cuenta tales cuotas cuando se determinan la planificación, para evitar que se encienda demasiado del equipo de refrigeración a la vez incluso cuando las tarifas de potencia son relativamente bajas.

En 718, se determina una planificación operativa óptima a partir de las planificaciones operativas candidatas que se han determinado basándose en uno o más del modelo térmico, el modo de coste energético y el modelo ambiental. Un método de ejemplo para determinar una planificación operativa óptima se describe con más detalle a continuación.

En 720, se realiza la planificación operativa óptima determinada. En algunas implementaciones, la planificación operativa óptima 138 está configurada para hacer que el sistema de refrigeración 130 enfríe el espacio cerrado 114 en una cantidad adicional por debajo del punto de consigna de temperatura nominal durante un período de tiempo durante el cual el proveedor de servicios públicos 160 cobra un precio relativamente menor por potencia, y detiene el enfriamiento adicional y permite que el espacio cerrado 114 se caliente de nuevo hacia el umbral de temperatura nominal predeterminado durante un período de tiempo durante el cual el proveedor de servicios públicos 160 cobra un precio relativamente mayor por potencia. Además o como alternativa, la planificación operativa óptima 138 puede configurarse para permitir que el espacio cerrado 114 se caliente de nuevo hacia una temperatura máxima predeterminada (por ejemplo, de $-20,06\text{ °C}$ ($-4,1\text{ °F}$) a un límite de $-18,5\text{ °C}$ ($-1,3\text{ °F}$)) y una vez que la temperatura máxima predeterminada se acerca, el sistema de refrigeración 130 puede reanudar las operaciones normales (por ejemplo, consumiendo potencia según sea necesario para mantener el espacio cerrado 114 a o por debajo de $-18,5\text{ °C}$ ($-1,3\text{ °F}$)). Un proceso de ejemplo para realizar la planificación operativa óptima se describe con más detalle en el presente documento, por ejemplo, con referencia a la Figura 9.

La Figura 8 es un diagrama de flujo de un proceso 800 de ejemplo para determinar un modelo térmico. En algunas implementaciones, el proceso 800 puede ser la etapa 710 de ejemplo de la Figura 7. En algunas implementaciones, el proceso 800 puede realizarse por partes o todo el sistema de gestión de refrigeración 100 de ejemplo de la Figura 1 o el sistema de gestión de refrigeración 600 de ejemplo de la Figura 6. En algunas implementaciones, el proceso 800 puede usarse para determinar el modelo térmico 500 de ejemplo de la Figura 5.

En 802, se enciende un sistema de refrigeración. Por ejemplo, el controlador 132 puede configurar el sistema de refrigeración 130 para encenderse ajustando la temperatura objetivo a -20 °C (-4 °F).

En 804, un espacio cerrado se enfría a una temperatura predeterminada. Por ejemplo, el espacio cerrado 114 y el inventario 120 se pueden enfriar a -20 °C (-4 °F).

En 806, el sistema de refrigeración se apaga. Por ejemplo, el controlador 132 puede configurar el sistema de refrigeración 130 para apagarse ajustando la temperatura objetivo a $-18,33\text{ °C}$ (-1 °F). En algunas implementaciones, el sistema de refrigeración se puede poner en una configuración de consumo de potencia reducido en lugar de apagarse. Por ejemplo, la mitad o las tres cuartas partes de los enfriadores en un sistema se pueden apagar mientras el resto se deja encendido. En otro ejemplo, parte o todo el sistema de refrigeración puede modularse (por ejemplo, pulsarse) para operar solo en intervalos de varios minutos cuando sea necesario.

En 808, se obtienen datos de sensor de temperatura. En 810, se registran el sensor de temperatura y los datos de tiempo. Por ejemplo, el controlador 132 puede monitorizar los sensores 134 para registrar lecturas de temperatura desde dentro del espacio cerrado 114 junto con información de indicación de tiempo basándose en el cronómetro 136.

En 812, se realiza una determinación. Si la temperatura del espacio cerrado está por debajo de un punto de consigna de temperatura máxima predeterminado (por ejemplo, elegido para evitar que el inventario 120 se caliente demasiado), entonces se permite que el espacio cerrado continúe calentándose en 814. Si la temperatura del espacio cerrado no está por debajo del punto de consigna de temperatura máxima predeterminada, entonces la refrigeración se reanuda en 816 (por ejemplo, el sistema de refrigeración 130 se vuelve a encender).

En 818, los datos de temperatura y tiempo almacenados se analizan para determinar un modelo térmico del espacio cerrado. Por ejemplo, el controlador 132 y/o el planificador 140 pueden procesar las lecturas de temperatura con marca de tiempo recopiladas del espacio cerrado de calentamiento 114 para determinar el modelo térmico 500.

La Figura 9 es un diagrama de flujo de un proceso de ejemplo para la implementación de planificación de refrigeración.

ES 3 015 480 T3

En algunas implementaciones, el proceso 900 puede ser la etapa 720 de ejemplo de la Figura 7. En algunas implementaciones, el proceso 900 puede realizarse por partes o todo el sistema de gestión de refrigeración 100 de ejemplo de la Figura 1 o el sistema de gestión de refrigeración 600 de ejemplo de la Figura 6.

5 En 902, se recibe una planificación operativa. Por ejemplo, el controlador 132 puede recibir la planificación operativa 138 desde el planificador 140.

10 En 904, se realiza una determinación. Si la temperatura de un espacio cerrado no está por debajo de una temperatura umbral máxima predeterminada, entonces se enciende un sistema de refrigeración en 906 y el espacio cerrado se enfría en 908. Por ejemplo, si el espacio cerrado 114 alcanza $-17,78\text{ °C}$ (0 °F) cuando el punto de consigna termostático del sistema de refrigeración 130 es $-18,33\text{ °C}$ (-1 °F), entonces el sistema de refrigeración 130 puede encenderse para enfriar el espacio cerrado 114. El proceso 900 continúa en 902.

15 Si en 904 la temperatura de un espacio cerrado está por debajo de la temperatura umbral máxima predeterminada, entonces se realiza otra determinación en 910. Si no es el momento de enfriar previamente el espacio cerrado, entonces el proceso continúa en 902. Por ejemplo, si el cronómetro 136 indica que la hora actual no es una hora que se identifica por la planificación operativa 138 como un tiempo de enfriamiento previo (por ejemplo, carga), entonces el controlador 132 puede comprobar una nueva planificación operativa y/o continuar monitorizando el tiempo y la temperatura del espacio cerrado 114.

20 Si en 910 es el momento de enfriar previamente, entonces se realiza otra determinación en 912. Si la temperatura del espacio cerrado está por encima de una temperatura de enfriamiento previo predeterminada, entonces el sistema de refrigeración se enciende en 906. Por ejemplo, si el cronómetro 136 indica que la hora actual es un tiempo que se identifica por la planificación operativa 138 como un tiempo de enfriamiento previo (por ejemplo, carga), entonces el controlador 132 puede establecer el punto de consigna de temperatura del almacén 120 a -20 °C (-4 °F), y si la temperatura del espacio cerrado 114 está por encima del punto de consigna, el sistema de refrigeración 130 se puede encender para enfriar el espacio cerrado 114.

30 Si la temperatura del espacio cerrado no está por encima de la temperatura de enfriamiento previo predeterminada, entonces el sistema de refrigeración se apaga o se pone en un modo de potencia reducida en 914, y se permite que el espacio cerrado se caliente en 916. Por ejemplo, el espacio cerrado 114 puede mantenerse a la temperatura de enfriamiento previo inferior predeterminada de -20 °C (-4 °F) hasta que finalice el período de enfriamiento previo.

35 Haciendo referencia aún a la Figura 7, puede determinarse una planificación operativa óptima usando un algoritmo de optimización iterativo. Por ejemplo, el bloque 718 incluye los bloques 730, 732, 734, 736, 738, 740 y 742.

40 En 730, los costes para operar una instalación de refrigeración se evalúan de acuerdo con una pluralidad de planificaciones operativas candidatas, tales como las planificaciones operativas candidatas generadas basándose en al menos uno del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental en el bloque 716. Como se describe en el presente documento, cada una de las planificaciones operativas candidatas está diseñado para resolver todas las restricciones requeridas por uno o más del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental, aunque las planificaciones operativas candidatas pueden dar como resultado diferentes costes para operar una refrigeración instalación. Las planificaciones operativas candidatas pueden determinarse para uno o más puntos en el tiempo durante un período predeterminado de tiempo futuro. Las planificaciones operativas candidatas pueden proporcionar diferentes niveles de enfriamiento de una instalación de refrigeración en diferentes puntos en el tiempo. Dichos niveles diferentes de enfriamiento se pueden lograr consumiendo diferentes niveles de energía eléctrica para operar un sistema de refrigeración para una instalación de almacenamiento en frío (por ejemplo, un almacén o un recinto de almacenamiento en frío) en la instalación de refrigeración.

50 Los costes para operar la instalación de refrigeración pueden incluir costes para enfriar un almacén usando un sistema de refrigeración. Los costes pueden representar la eficiencia de la pluralidad de planificaciones operativas candidatas respectivas cuando las planificaciones operativas candidatas respectivas se ejecutan en el control del sistema de refrigeración para la instalación de refrigeración. Cada uno de los costes puede indicar una combinación de un coste energético y un consumo de energía de acuerdo con cada una de las planificaciones operativas candidatas. Por ejemplo, un coste de una planificación operativa candidata puede ser indicativo de una suma de un coste energético y un consumo de energía que se incurre cuando se implementa la planificación operativa candidata para controlar la instalación de refrigeración. La combinación de un coste energético y un consumo de energía puede tomar diferentes formas de cálculo, tales como multiplicación, división, resta, logaritmo, $n^{\text{ésima}}$ raíz, exponenciación, cualquier combinación de los mismos con o sin suma, y cualquier otro cálculo adecuado.

60 Como alternativa, cada uno de los costes puede indicar un coste energético de acuerdo con cada una de las planificaciones operativas candidatas. Por ejemplo, un coste de una planificación operativa candidata puede ser indicativo de un coste energético que se incurre cuando la planificación operativa candidata se implementa durante el funcionamiento de la instalación de refrigeración. Como alternativa, cada uno de los costes puede indicar un consumo de energía de acuerdo con cada una de las planificaciones operativas candidatas. Por ejemplo, un coste de una planificación operativa candidata puede ser indicativo de un consumo de energía que se incurre cuando la planificación

operativa candidata se implementa durante el funcionamiento de la instalación de refrigeración.

En 732, se genera un gráfico multidimensional, que proporciona los costes para operar la instalación de refrigeración de acuerdo con la pluralidad de planificaciones operativas candidatas. En algunas implementaciones, la dimensión del gráfico puede determinarse al menos por el número de restricciones requeridas por uno o más del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental. En la Figura 10 se muestra una ilustración conceptual de un gráfico multidimensional de ejemplo.

En 734, se selecciona una planificación de inicialización de la pluralidad de planificaciones operativas candidatas. La planificación de inicialización puede seleccionarse aleatoriamente entre la pluralidad de planificaciones operativas candidatas. Como alternativa o además, la planificación de inicialización puede seleccionarse para satisfacer uno o más requisitos predeterminados que están asociados con uno o más del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental.

En 736, la planificación de inicialización se evalúa en el gráfico multidimensional usando un algoritmo de optimización. En algunas implementaciones, un coste de la planificación de inicialización puede compararse con los costes de la pluralidad de planificaciones candidatas para identificar uno de la pluralidad de planificaciones candidatas que tiene un coste mínimo entre todas o un subconjunto de la pluralidad de planificaciones candidatas. Por ejemplo, un coste de la planificación de inicialización se compara con el coste de uno primero de las planificaciones candidatas. Si el coste de la planificación de inicialización es menor que el coste del primero de las planificaciones candidatas, la planificación de inicialización se compara con el coste de una segunda de las planificaciones candidatas para determinar cuál de la planificación de inicialización y de la segunda de las planificaciones candidatas es menor. Si el coste de la planificación de inicialización es mayor que el coste de la primera de las planificaciones candidatas, la primera de las planificaciones candidatas se compara entonces con el coste de una segunda de las planificaciones candidatas para determinar cuál de la primera y la segunda es más menor. Este proceso puede repetirse hasta que se identifica una de la pluralidad de planificaciones candidatas que tiene un coste mínimo.

En algunas implementaciones, el algoritmo de optimización incluye una lógica de optimización convexa, que es minimizar una función convexa sobre un conjunto convexo. Una función de valor real definida en un intervalo n -dimensional se denomina convexa si un segmento de línea entre dos puntos cualesquiera en el gráfico de la función se encuentra por encima o en el gráfico. En otras palabras, una función es convexa si su epígrafe (el conjunto de puntos en o por encima del gráfico de la función) es un conjunto convexo. Un conjunto convexo es un subconjunto de un espacio afín que está cerrado bajo combinaciones convexas. Específicamente, en un espacio euclidiano, una región convexa es una región donde, para cada par de puntos dentro de la región, cada punto en el segmento de línea recta que une el par de puntos también está dentro de la región. Las funciones convexas son útiles porque no tienen más de un mínimo en un espacio multidimensional con o sin hipótesis adecuadas.

En algunas implementaciones, la lógica de optimización convexa realiza uno o más de los siguientes procesos: (1) se determinan números que satisfacen un conjunto predeterminado de restricciones y, cuando se introducen en una función objetivo, minimizan el valor de esa función, y (2) la optimización convexa usa solucionadores numéricos y numerosos resultados en matemáticas aplicadas para garantizar que, si las restricciones representan un conjunto convexo y la función objetivo es convexa, entonces el resultado calculado por el solucionador es un conjunto de entradas estrictamente óptimo. Podría haber otros que sean tan buenos, pero no otros que sean mejores.

La lógica de optimización convexa usada en el presente documento puede entenderse por unos pocos ejemplos de problemas de optimización convexa usados en otros contextos. Los ejemplos incluyen el perfil de descenso de combustible mínimo para un avión de pasajeros, sujeto a que el avión de pasajeros no se estrelle y no caiga a una velocidad demasiado alta; el perfil de descenso de combustible mínimo del módulo lunar Apollo sobre la superficie de la luna, sujeto a que el módulo lunar no se estrelle ni aterrice en posición vertical en una ubicación determinada; la regresión lineal (el modelo lineal que minimiza el residual de suma cuadrada); y el enrejado de caminos de coste mínimo (eliminando colinas hacia abajo y construyendo rellenos) que minimiza el coste del camino sujeto a restricciones sobre la rapidez con la que el camino puede girar o cambiar de elevación.

Además o como alternativa, la lógica de optimización convexa puede usarse con un algoritmo de optimización iterativo. Por ejemplo, puede usarse un descenso de gradiente, que es un algoritmo de optimización iterativo de primer orden para hallar el mínimo de una función. En algunos ejemplos, el descenso de gradiente se usa para encontrar un mínimo local de una función, que es el valor más pequeño de la función con un intervalo dado. En general, para encontrar un mínimo local de una función de múltiples variables usando descenso de gradiente, se toman etapas proporcionales al negativo del gradiente de la función en un punto actual. Por ejemplo, si se define una función de múltiples variables y es diferenciable en una vecindad de un punto, la función disminuye más rápido si uno va desde ese punto en la dirección del gradiente negativo de la función en el punto. Este proceso (descenso de gradiente) puede tomar muchas iteraciones en secuencia hasta que converge a un mínimo local de la función.

Como alternativa, se calcula un mínimo global, que es el valor más pequeño de toda la función. Sin embargo, debido a que el problema aquí es convexo, cualquier mínimo local puede ser el máximo global.

En otras palabras, puede usarse un método de punto interior (un descenso de gradiente) para resolver problemas de optimización convexa. Un método de punto interior es un método de planificación lineal o no lineal que logra la optimización pasando por el medio del sólido definido por el problema en lugar de aproximadamente su superficie. Un ejemplo del método de punto interior es el algoritmo de Karmarkar desarrollado por Narendra Karmarkar, que es un método para planificación lineal que se ejecuta en tiempo probablemente polinomial y también es muy eficiente en la práctica. El mismo ha permitido soluciones de problemas de planificación lineal que estaban más allá de las capacidades de un método simplex. Al contrario del método simplex, el método de Karmarkar puede alcanzar una mejor solución atravesando el interior de la región factible. El método puede generalizarse a planificación convexa basándose en una función de barrera autoconcordante usada para codificar el conjunto convexo.

Un problema de optimización convexo puede transformarse en minimizar una función lineal sobre un conjunto convexo convirtiendo a la forma de epígrafe. La idea de codificar el conjunto factible usando una barrera y diseñar métodos de barrera fue estudiada por Anthony V. Yuri Nesterov y Arkadi Nemirovski ideó una clase de tales barreras que pueden usarse para codificar cualquier conjunto convexo. El número de iteraciones del algoritmo está limitado por un polinomio en la dimensión y precisión de la solución.

Puede implementarse una lógica de optimización convexa para determinar una planificación operativa óptima con ciertos grados de libertad en el gráfico multidimensional. Por ejemplo, una lógica de optimización convexa puede tener 240 grados de libertad en el gráfico multidimensional. A modo de ejemplo, puede surgir una planificación en incrementos de 10 minutos durante el siguiente período de 24 horas, lo que da como resultado 240 conjuntos totales de entradas. Sin embargo, son posibles otros grados de libertad, tales como más grados de libertad que 240 en caso, por ejemplo, de que se operen y controlen múltiples salas/bobinas al mismo tiempo.

En 738, se identifica un mínimo en el gráfico multidimensional usando el algoritmo de optimización. En algunas implementaciones, se identifica un mínimo local en el gráfico multidimensional usando un algoritmo de optimización iterativo. El mínimo local indica el valor mínimo con un intervalo predeterminado en el gráfico multidimensional. Puede ajustarse un intervalo predeterminado de este tipo en el gráfico multidimensional.

En 740, se determina una planificación operativa entre la planificación operativa candidata, que se corresponde con el mínimo identificado, como una planificación operativa óptima. Cuando se identifica un mínimo local, se determina uno de la planificación operativa candidata que se corresponde con el mínimo local como una planificación operativa óptima.

En 742, el gráfico multidimensional puede calibrarse a lo largo del tiempo. En algunas implementaciones, el gráfico multidimensional se calibra a intervalos (por ejemplo, cada 10 minutos, cada hora, cada día, cada semana, etc.) para reflejar planificaciones operativas candidatas que cambian y/o se generan nuevamente basándose en factores variables a lo largo de tiempo (por ejemplo, uno o más factores representados por un modelo térmico, un modelo de coste energético y/o un modelo ambiental). Puede usarse un gráfico multidimensional calibrado para determinar una planificación operativa óptima actualizada a través de los procesos analizados anteriormente, tales como los bloques 732 a 740.

La Figura 10 es una ilustración conceptual de un gráfico multidimensional 1000 de ejemplo para representar una pluralidad de planificaciones operativas candidatas. El gráfico 1000 tiene una pluralidad de vértices 1002 que se corresponden con planificaciones operativas candidatas. Los vértices 1002 también están asociados con costes de las planificaciones operativas candidatas respectivas. Como se describe en el presente documento, los costes pueden representar la eficiencia de las planificaciones operativas candidatas respectivas cuando las planificaciones operativas candidatas respectivas se usan para controlar un sistema de refrigeración para una instalación de refrigeración. Los costes pueden calcularse basándose en uno o más factores, tales como un coste energético y/o un consumo de energía que se incurre cuando la instalación de refrigeración se hace funcionar usando las planificaciones operativas candidatas respectivas.

En el gráfico 1000, se selecciona un vértice 1010 como una planificación de inicialización, que tiene $C_{\text{inicialización}}$ como su coste. La planificación de inicialización (vértice 1010) se compara con vértices adyacentes para determinar que un vértice 1012 (correspondiente a la planificación operativa S_m teniendo un coste C_m) tiene el menor coste entre el vértice 1010 y sus vértices adyacentes. A continuación, el vértice 1012 se compara con vértices adyacentes para determinar que un vértice 1014 (correspondiente a la planificación operativa S_m teniendo un coste C_m) tiene el menor coste entre el vértice 1012 y sus vértices adyacentes. A continuación, el vértice 1014 se compara con vértices adyacentes para determinar que un vértice 1016 (correspondiente a la planificación operativa S_o teniendo un coste C_o) tiene el menor coste entre el vértice 1014 y sus vértices adyacentes. Por último, el vértice 1016 se compara con vértices adyacentes para determinar que un vértice 1018 (correspondiente a la planificación operativa S_p teniendo un coste C_p) tiene el menor coste entre el vértice 1016 y sus vértices adyacentes. Se determina que el vértice 1018 tiene el coste mínimo (o el mínimo local) en el gráfico 1000 y, por lo tanto, la planificación operativa S_p se selecciona como una planificación operativa óptima para la instalación de refrigeración.

La Figura 12 es un diagrama esquemático de un ejemplo de un sistema informático genérico 1100. El sistema 1100 puede usarse para las operaciones descritas en asociación con los métodos 700, 800 y/o 900 de acuerdo con una

implementación. Por ejemplo, el sistema 1100 puede incluirse en cualquiera o todos del controlador 132, el sistema de refrigeración 130, el planificador 140, el proveedor de servicios públicos 160, el otro proveedor de información 170, el controlador de nodo perimetral 614 y el clúster contextual 640.

5 El sistema 1100 incluye un procesador 1110, una memoria 1120, un dispositivo de almacenamiento 1130 y un dispositivo de entrada/salida 1140. Cada uno de los componentes 1110, 1120, 1130 y 1140 está interconectado usando un bus de sistema 1150. El procesador 1110 es capaz de procesar instrucciones para su ejecución dentro del sistema 1100. En una implementación, el procesador 1110 es un procesador de un solo subproceso. En otra implementación, el procesador 1110 es un procesador de múltiples subprocesos. El procesador 1110 es capaz de
10 procesar instrucciones almacenadas en la memoria 1120 o en el dispositivo de almacenamiento 1130 para visualizar información gráfica para una interfaz de usuario en el dispositivo de entrada/salida 1140.

La memoria 1120 almacena información dentro del sistema 1100. En una implementación, la memoria 1120 es un medio legible por ordenador. En una implementación, la memoria 1120 es una unidad de memoria volátil. En otra implementación, la memoria 1120 es una unidad de memoria no volátil.

El dispositivo de almacenamiento 1130 es capaz de proporcionar almacenamiento masivo para el sistema 1100. En una implementación, el dispositivo de almacenamiento 1130 es un medio legible por ordenador. En diversas implementaciones diferentes, el dispositivo de almacenamiento 1130 puede ser un dispositivo de disco flexible, un
20 dispositivo de disco duro, un dispositivo de disco óptico o un dispositivo de cinta.

El dispositivo de entrada/salida 1140 proporciona operaciones de entrada/salida para el sistema 1100. En una implementación, el dispositivo de entrada/salida 1140 incluye un teclado y/o dispositivo señalador. En otra implementación, el dispositivo de entrada/salida 1140 incluye una unidad de visualización para visualizar interfaces
25 gráficas de usuario.

Las características descritas pueden implementarse en circuitería electrónica digital, o en hardware, firmware o software informático, o en combinaciones de los mismos. El aparato puede implementarse en un producto de programa informático materializado tangiblemente en un soporte de información, por ejemplo, en un dispositivo de almacenamiento legible por máquina para su ejecución por un procesador programable; y las etapas del método pueden realizarse mediante un procesador programable que ejecuta una planificación de instrucciones para realizar funciones de las implementaciones descritas operando en datos de entrada y generando salida. Las características descritas pueden implementarse ventajosamente en uno o más programas informáticos que son ejecutables y/o interpretables en un sistema programable que incluye al menos un procesador programable, que puede ser de propósito especial o general, acoplado para recibir datos e instrucciones de, y transmitir datos e instrucciones a, un sistema de almacenamiento, al menos un dispositivo de entrada, y al menos un dispositivo de salida. Un programa informático es un conjunto de instrucciones que pueden usarse, directa o indirectamente, en un ordenador para realizar una cierta actividad o provocar un cierto resultado. Un programa informático puede escribirse en cualquier forma de lenguaje de programación, incluyendo lenguajes compilados o interpretados, y puede implementarse en cualquier
30 forma, incluyendo como un programa independiente o como un módulo, componente, subrutina u otra unidad adecuada para su uso en un entorno informático.

Los procesadores adecuados para la ejecución de una planificación de instrucciones incluyen, a modo de ejemplo, microprocesadores tanto de propósito general como especial, y el único procesador o uno de múltiples procesadores de cualquier tipo de ordenador. Generalmente, un procesador recibirá instrucciones y datos desde una memoria de solo lectura o una memoria de acceso aleatorio o ambas. Los elementos esenciales de un ordenador son un procesador para ejecutar instrucciones y una o más memorias para almacenar instrucciones y datos. En general, un ordenador también incluirá, o se acoplará operativamente para comunicarse con, uno o más dispositivos de almacenamiento masivo para almacenar archivos de datos; tales dispositivos incluyen discos magnéticos, tales como discos duros internos y discos extraíbles; discos magneto-ópticos; y discos ópticos. Los dispositivos de almacenamiento para incorporar de forma tangible instrucciones y datos de programas informáticos incluyen todas las formas de memoria no volátil, incluyendo, a modo de ejemplo, dispositivos de memoria de semiconductores, tales como, EPROM, EEPROM y dispositivos de memoria flash; discos magnéticos, tales como, discos duros internos y discos extraíbles; discos magneto-ópticos; y discos CD ROM y DVD-ROM. El procesador y la memoria pueden complementarse o incorporarse en ASIC (circuitos integrados específicos de la aplicación).

Para facilitar la interacción con el usuario, las características pueden implementarse en un ordenador que disponga de un dispositivo de visualización tal como, un monitor CRT (tubo de rayos catódicos) o LCD (pantalla de cristal líquido) para mostrar información al usuario y un teclado y un dispositivo señalador tal como, un ratón o un TrackBall mediante los cuales el usuario pueda introducir datos en el ordenador.

Las características pueden implementarse en un sistema informático que incluye un componente de extremo trasero, tal como un servidor de datos, o que incluye un componente de software intermedio, tal como un servidor de aplicaciones o un servidor de Internet, o que incluye un componente de extremo frontal, tal como un ordenador cliente que tiene una interfaz gráfica de usuario o un navegador de Internet, o cualquier combinación de los mismos. Los componentes del sistema pueden conectarse mediante cualquier forma o medio de comunicación digital de datos tal

como una red de comunicación. Ejemplos de redes de comunicación incluyen, por ejemplo, una LAN, una WAN y los ordenadores y redes que forman la Internet.

5 El sistema informático puede incluir clientes y servidores. Por lo general, el cliente y el servidor se encuentran remotos entre sí y normalmente interactúan a través de una red, tal como la que se ha descrito. La relación entre cliente y servidor surge en virtud de planificas informáticos que se ejecutan en los respectivos ordenadores y que tienen una relación de servidor-cliente entre sí.

10 Aunque esta memoria descriptiva contiene muchos detalles de implementación específicos, estos no deberían interpretarse como limitaciones en el alcance de cualquier invención o de lo que puede reivindicarse, sino más bien como descripciones de características específicas a implementaciones particulares de invenciones particulares. Determinadas características que se describen en la presente memoria descriptiva en el contexto de implementaciones separadas también pueden implementarse en combinación con una única implementación. A la inversa, diversas características que se describen en el contexto de una única implementación también se pueden implementar en
15 múltiples implementaciones de forma separada o en cualquier subcombinación adecuada. Además, aunque las características pueden describirse anteriormente como actuando en ciertas combinaciones e incluso reivindicarse inicialmente como tales, una o más características de una combinación reivindicada pueden en algunos casos eliminarse de la combinación, y la combinación reivindicada puede dirigirse a una subcombinación o variación de una subcombinación.

20 De manera similar, aunque en los dibujos se representan operaciones en un orden particular, esto no se debería entender como que requiere que, para lograr resultados deseables, tales operaciones se hayan de realizar en el orden particular mostrado o en orden secuencial, o que se hayan de realizar todas las operaciones ilustradas. En ciertas circunstancias, la multitarea y el procesamiento paralelo pueden ser ventajosos.

25 Además, la separación de diversos componentes de sistema en las implementaciones descritas anteriormente no debe entenderse como una separación necesaria en todas las implementaciones, y debe entenderse que los componentes y sistemas de programa descritos generalmente pueden integrarse juntos en un único producto de software o empaquetarse en múltiples productos de software.

30 Por tanto, se han descrito implementaciones particulares de la materia objeto. Otras implementaciones están dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones. En algunos casos, las acciones enumeradas en las reivindicaciones pueden realizarse en un orden diferente y seguir consiguiendo resultados deseables. Además, los procesos representados en las figuras adjuntas no requieren necesariamente el orden particular mostrado, u orden secuencial,
35 para lograr resultados deseables. En ciertas implementaciones, la multitarea y el procesamiento paralelo pueden ser ventajosos.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar una planificación operativa (138) para controlar un sistema de refrigeración para un recinto, comprendiendo el método:

5 determinar un modelo térmico (146) del recinto y del sistema de refrigeración al:

 por medio de un controlador (132):

10 enfriar (804) el recinto a una temperatura predeterminada usando el sistema de refrigeración;

 apagar o parar al menos parcialmente (806) el sistema de refrigeración;

 recopilar (810) mediciones de temperatura con marca de tiempo de una pluralidad de sensores dentro del

 recinto; y

 transmitir, a un planificador (140), las mediciones de temperatura con marca de tiempo y una solicitud de

15 una planificación operativa para el sistema de refrigeración; y

 por medio de un planificador (140):

 recuperar datos históricos de una base de datos, en donde los datos históricos representan información

20 operativa para el recinto a lo largo del tiempo, en donde la información operativa comprende una o más de

 información de capacidad de refrigeración, información de volumen operativo, información de estado

 operativo y condiciones operativas de uno o más componentes en el sistema de refrigeración; y

 analizar (710) las mediciones de temperatura con marca de tiempo para determinar el modelo térmico y

 mejorar dicho modelo usando los datos históricos, modelando el modelo térmico una o más propiedades

25 térmicas del recinto y del sistema de refrigeración bajo diversas condiciones ambientales y de uso;

 por medio del planificador (140):

 obtener (712) un modelo de coste energético (147), incluyendo el modelo de coste energético una planificación

30 de costes energéticos proyectados para un período predeterminado de tiempo futuro;

 obtener (714) un modelo ambiental (148), incluyendo el modelo ambiental una o más condiciones ambientales

 externas proyectadas en un área geográfica donde se ubica el recinto para el período predeterminado de tiempo

 futuro;

 determinar la planificación operativa para controlar el sistema de refrigeración durante el período

35 predeterminado de tiempo futuro al:

 generar (716) una pluralidad de planificaciones candidatas (142) para controlar el sistema de refrigeración

 durante el período predeterminado de tiempo futuro, la pluralidad de planificaciones candidatas

40 determinadas basándose en el modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental, en

 donde cada una de la pluralidad de planificaciones candidatas proporciona una planificación diferente de,

 al menos, niveles de operación para el sistema de refrigeración durante el período predeterminado de

 tiempo futuro;

 generar (732) un gráfico multidimensional que proporciona costes para enfriar el recinto de acuerdo con la

 pluralidad de planificaciones candidatas, en donde cada uno de los costes representa una combinación de

45 un coste energético y un consumo de energía de acuerdo con cada una de la pluralidad de planificaciones

 candidatas;

 seleccionar aleatoriamente (734) una planificación de inicialización de la pluralidad de planificaciones

 candidatas;

 evaluar (736) la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional usando un algoritmo de

50 optimización iterativo; y

 seleccionar (740) la planificación operativa que proporciona un coste óptimo de entre la pluralidad de

 planificaciones candidatas, correspondiendo el coste óptimo a un mínimo local de los costes identificados

 cuando se parte de la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional; y

 proporcionar la planificación operativa seleccionada al controlador; y

55 controlar (720), por medio del controlador (132), el sistema de refrigeración durante el período predeterminado de

 tiempo futuro de acuerdo con la planificación operativa determinada.

2. El método de la reivindicación 1, donde la planificación operativa se determina adicionalmente al:

60 evaluar los costes para enfriar el recinto de acuerdo con la pluralidad de planificaciones candidatas, basándose en

 el modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental.

3. El método de las reivindicaciones 1 o 2, en donde la evaluación de la planificación de inicialización incluye:

65 comparar un coste de la planificación de inicialización con los costes de una porción de la pluralidad de

planificaciones candidatas.

- 5 4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde los costes representan la eficiencia de la pluralidad de planificaciones candidatas en el control del sistema de refrigeración.
- 5 5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde la planificación operativa se determina para uno o más puntos en el tiempo a lo largo del periodo predeterminado de tiempo futuro.
- 10 6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que comprende adicionalmente: calibrar el gráfico multidimensional a lo largo del tiempo.
7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el algoritmo de optimización iterativo incluye descenso de gradiente.
- 15 8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde las propiedades térmicas incluyen al menos una de una capacidad calorífica del contenido dentro del recinto y una resistencia térmica del recinto.
- 20 9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde las condiciones ambientales externas incluyen al menos una de temperatura, humedad, precipitación, nubosidad, velocidad del viento y dirección del viento fuera del recinto.
10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en donde la pluralidad de planificaciones candidatas proporciona diferentes niveles de enfriamiento del recinto en diferentes puntos en el tiempo.
- 25 11. El método de la reivindicación 10, en donde los diferentes niveles de enfriamiento incluyen diferentes niveles de energía eléctrica para operar el sistema de refrigeración.
12. Un sistema, que comprende:
- 30 un sistema informático de gestión de almacenamiento en frío para controlar un sistema de refrigeración para un recinto de una instalación de almacenamiento en frío, comprendiendo el sistema informático de gestión de almacenamiento en frío: uno o más procesadores; y una memoria que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por los uno o más procesadores, hacen que los uno o más procesadores realicen operaciones que comprenden:
- 35 recibir, desde un sistema de control, mediciones de temperatura con marca de tiempo desde una pluralidad de sensores dentro del recinto y una solicitud de una planificación operativa para el sistema de refrigeración; determinar un modelo térmico del recinto y del sistema de refrigeración al:
- 40 recuperar datos históricos de una base de datos, en donde los datos históricos representan información operativa para el recinto a lo largo del tiempo, en donde la información operativa comprende una o más de información de capacidad de refrigeración, información de volumen operativo, información de estado operativo y condiciones operativas de uno o más componentes en el sistema de refrigeración; y
- 45 analizar las mediciones de temperatura con marca de tiempo para determinar el modelo térmico y mejorar dicho modelo usando los datos históricos, modelando el modelo térmico una o más propiedades térmicas del recinto y del sistema de refrigeración bajo diversas condiciones ambientales y de uso;
- obtener un modelo de coste energético, incluyendo el modelo de coste energético una planificación de costes energéticos proyectados para un período predeterminado de tiempo futuro;
- 50 obtener un modelo ambiental, incluyendo el modelo ambiental una o más condiciones ambientales externas proyectadas en un área geográfica donde se ubica el recinto para el período predeterminado de tiempo futuro; determinar la planificación operativa para controlar el sistema de refrigeración durante el período predeterminado de tiempo futuro al:
- 55 generar una pluralidad de planificaciones candidatas para controlar el sistema de refrigeración para el período predeterminado de tiempo futuro, basándose la pluralidad de planificaciones candidatas determinadas en el uso del modelo térmico, el modelo de coste energético y el modelo ambiental;
- 60 generar un gráfico multidimensional que proporcione costes para enfriar el recinto de acuerdo con la pluralidad de planificaciones candidatas;
- seleccionar aleatoriamente una planificación de inicialización de la pluralidad de planificaciones candidatas;
- 65 evaluar la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional usando un algoritmo de optimización iterativo; y seleccionar la planificación operativa que proporciona un coste óptimo de entre la pluralidad de planificaciones candidatas, correspondiendo el coste óptimo a un mínimo local de los costes identificados cuando se parte de la planificación de inicialización en el gráfico multidimensional; y

proporcionar la planificación operativa seleccionada al sistema de control; y

un sistema de control de almacenamiento en frío, comprendiendo el sistema de control de almacenamiento en frío:

- 5 uno o más procesadores;
una interfaz que transmite y recibe datos a través de una o más redes (150);
uno o más puertos de entrada configurados para recibir señales de sensor desde la pluralidad de sensores, la pluralidad de sensores configurados para detectar temperaturas en ubicaciones dentro del recinto de la instalación de almacenamiento en frío, y detectar parámetros del sistema de refrigeración;
- 10 uno o más puertos de salida configurados para activar la operación del sistema de refrigeración configurado para enfriar el recinto de la instalación de almacenamiento en frío; y
una memoria que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por los uno o más procesadores, hacen que los uno o más procesadores realicen operaciones que comprenden:
- 15 controlar el sistema de refrigeración para enfriar el recinto de la instalación de almacenamiento en frío a una temperatura predeterminada usando el sistema de refrigeración;
apagar o parar al menos parcialmente el sistema de refrigeración;
recopilar mediciones de temperatura con marca de tiempo de la pluralidad de sensores;
transmitir al sistema informático de gestión de almacenamiento en frío, a través de la una o más redes, las mediciones de temperatura con marca de tiempo y la solicitud de una planificación operativa para el sistema de refrigeración;
- 20 recibir, en respuesta a la solicitud, la planificación operativa determinada por el sistema informático de gestión de almacenamiento en frío; y
controlar el sistema de refrigeración durante el período predeterminado de tiempo futuro de acuerdo con la planificación operativa.
- 25
13. El sistema de la reivindicación 12, que comprende además la instalación de almacenamiento en frío (110) comprendiendo:
- 30 el recinto de almacenamiento en frío (112) que define un espacio (114) para el contenido;
el sistema de refrigeración (130) configurado para enfriar el recinto;
la pluralidad de sensores (134) configurados para detectar temperaturas en ubicaciones dentro del recinto, y detectar parámetros del sistema de refrigeración.
- 35 14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, en donde la pluralidad de planificaciones candidatas proporciona diferentes niveles de enfriamiento del recinto en diferentes puntos en el tiempo.
15. El sistema de la reivindicación 14, en donde los diferentes niveles de enfriamiento incluyen diferentes niveles de energía eléctrica para operar el sistema de refrigeración.

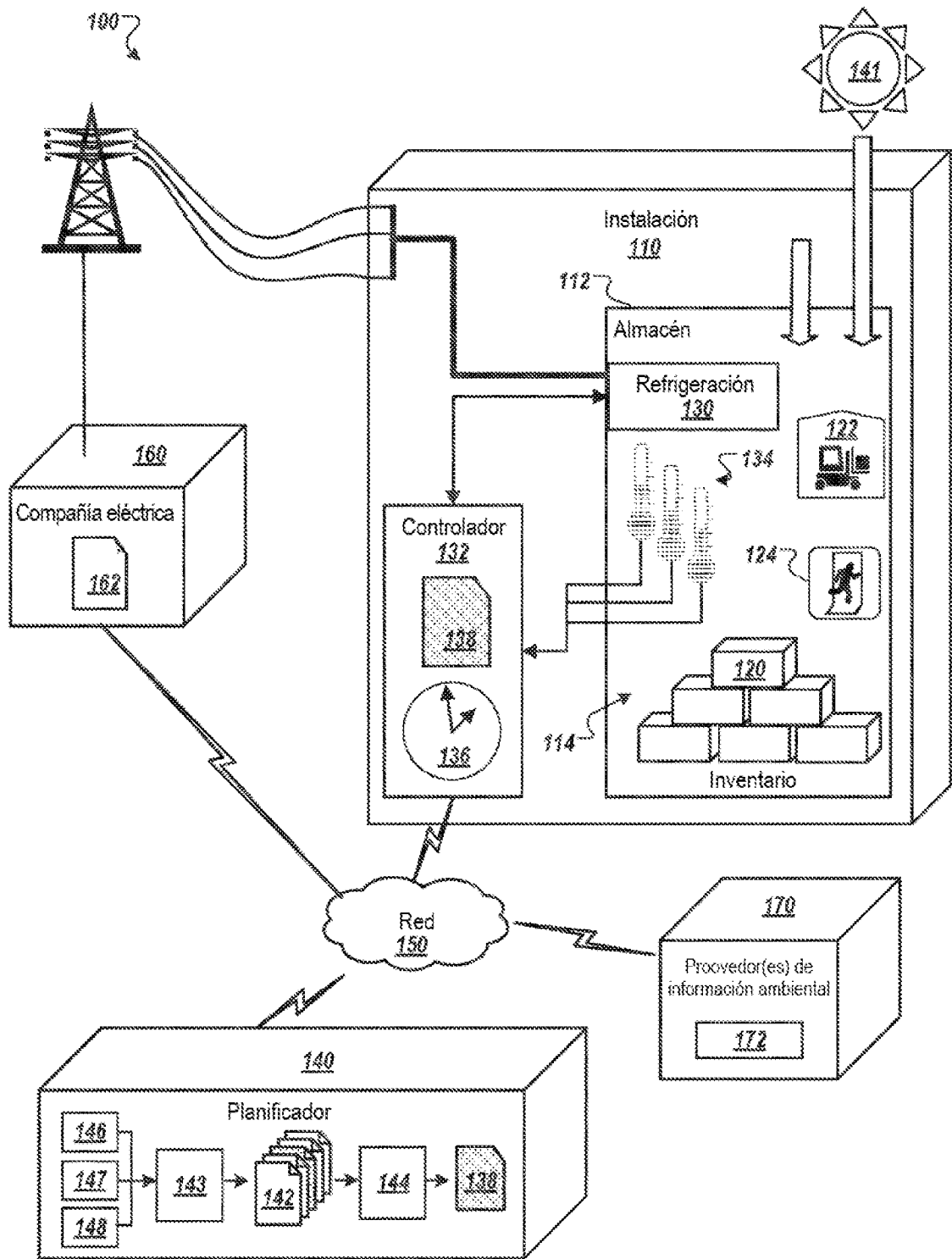


FIG. 1

2007

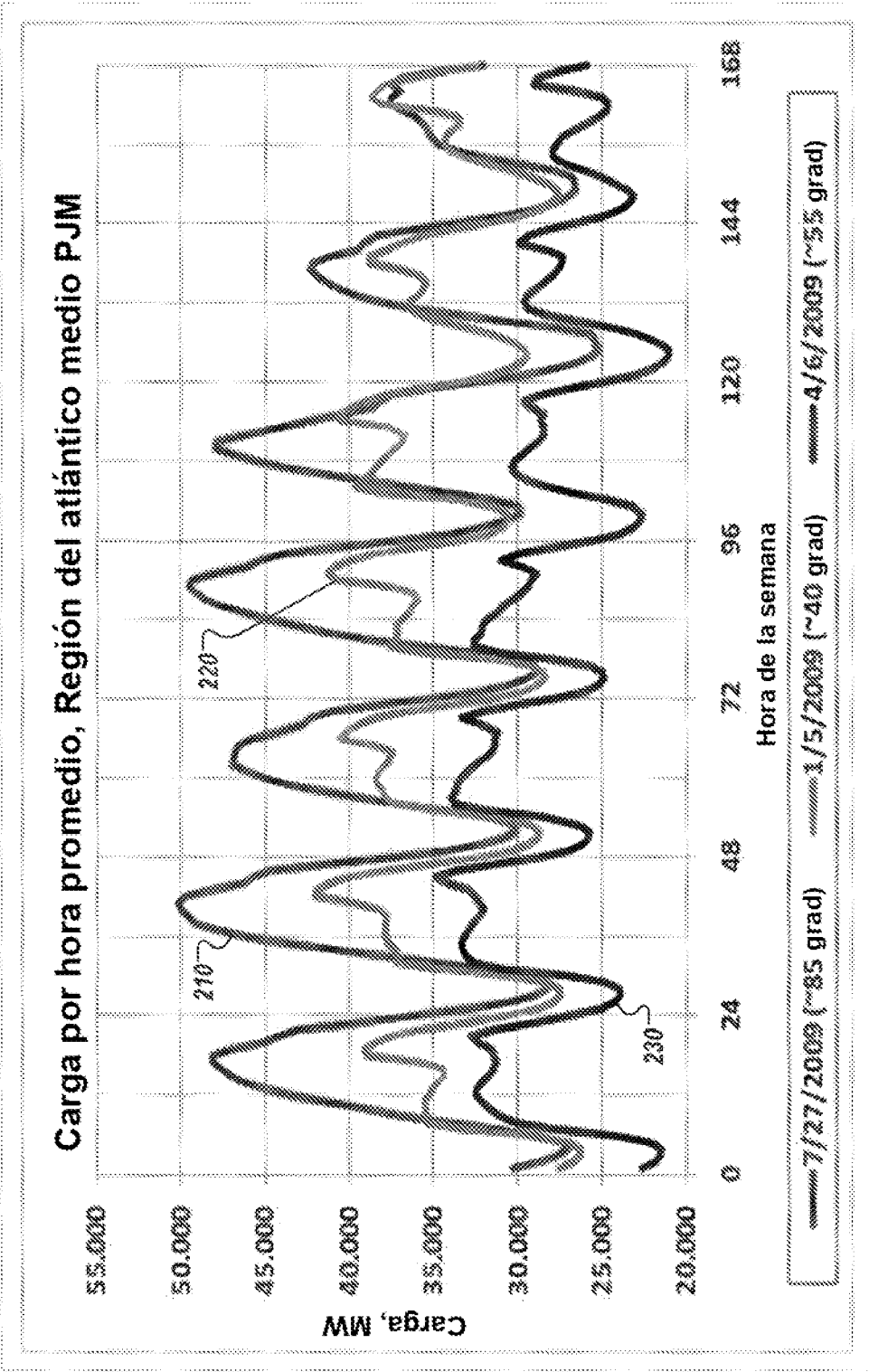


FIG. 2

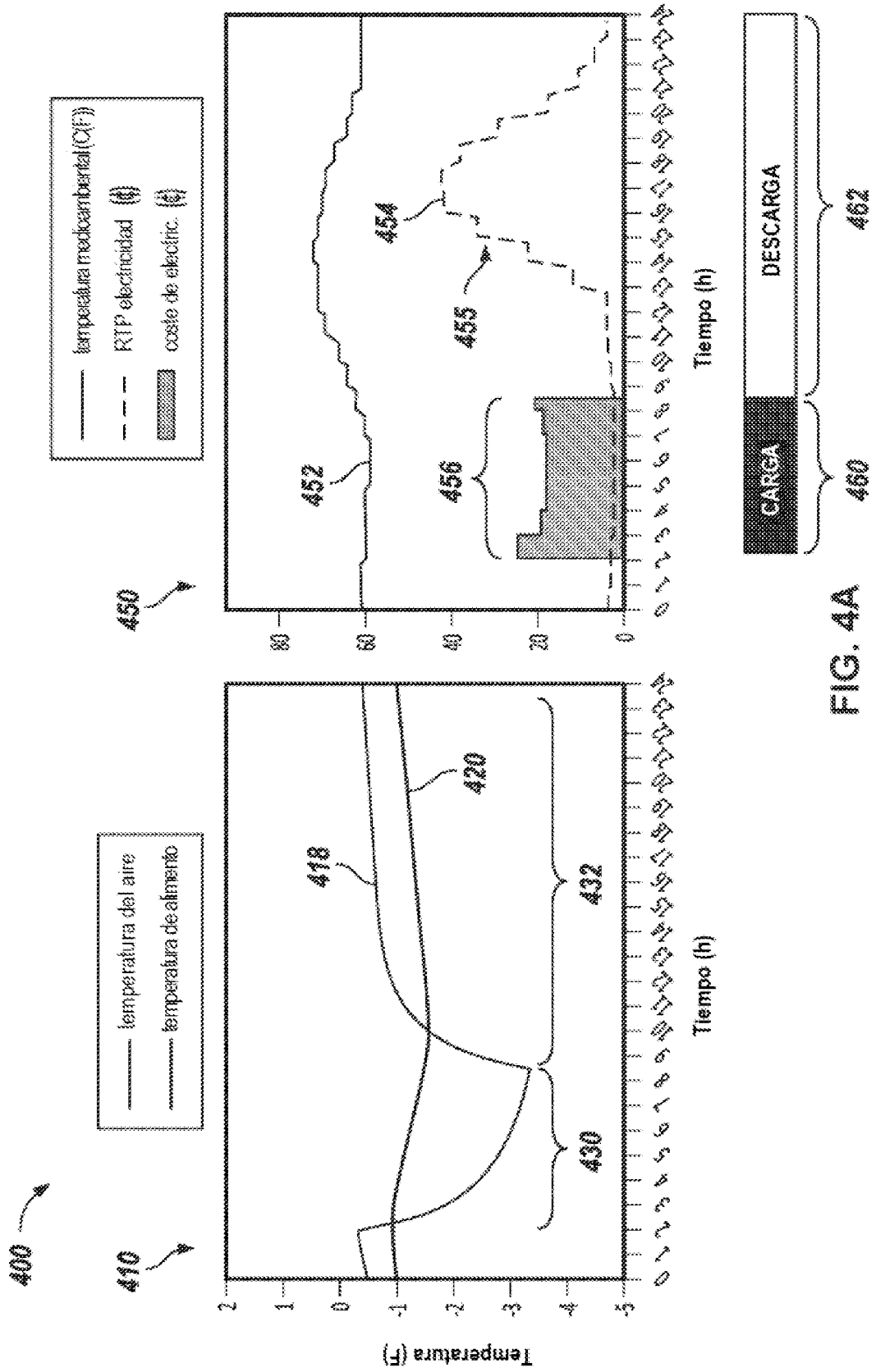


FIG. 4A

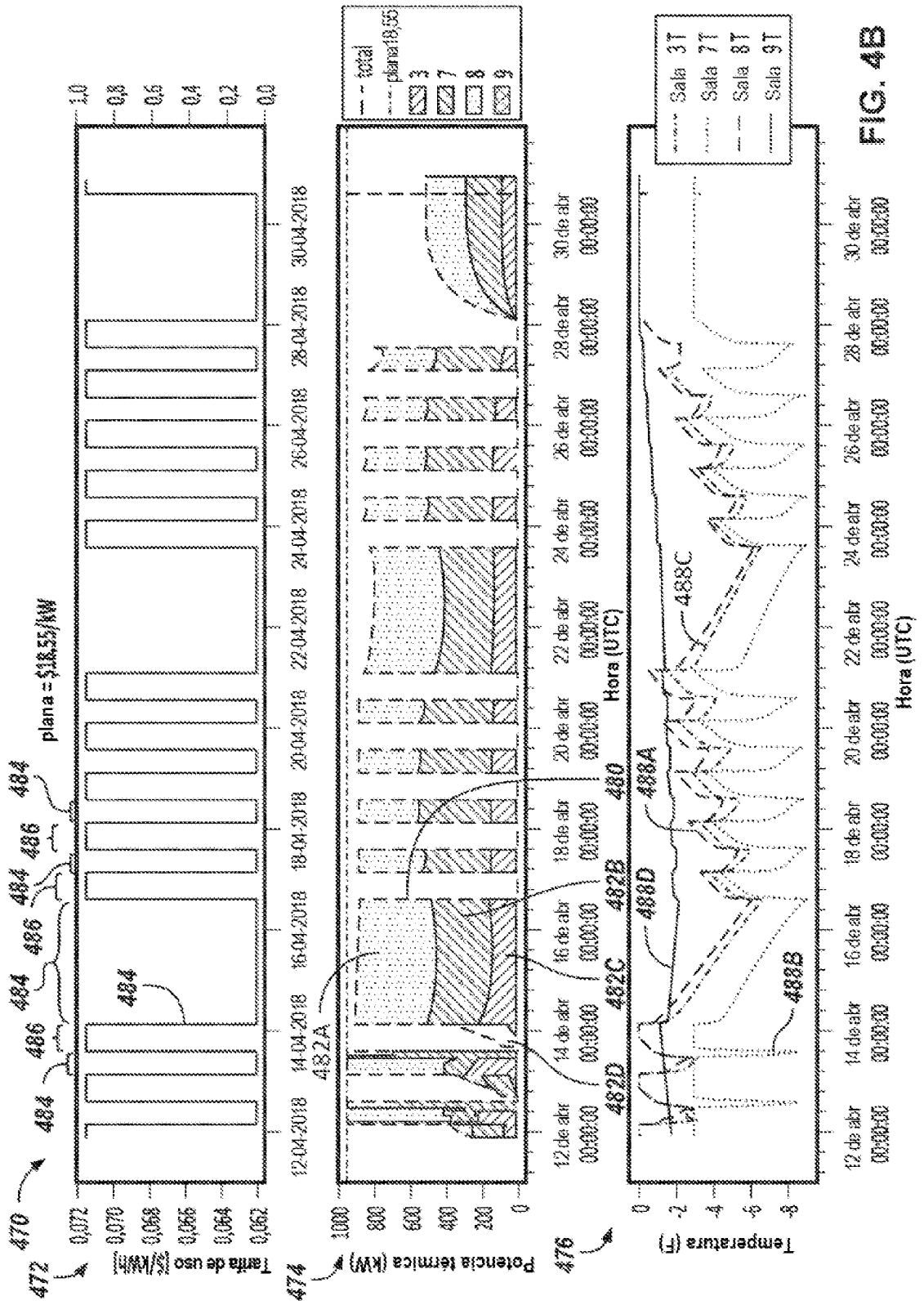


FIG. 4B

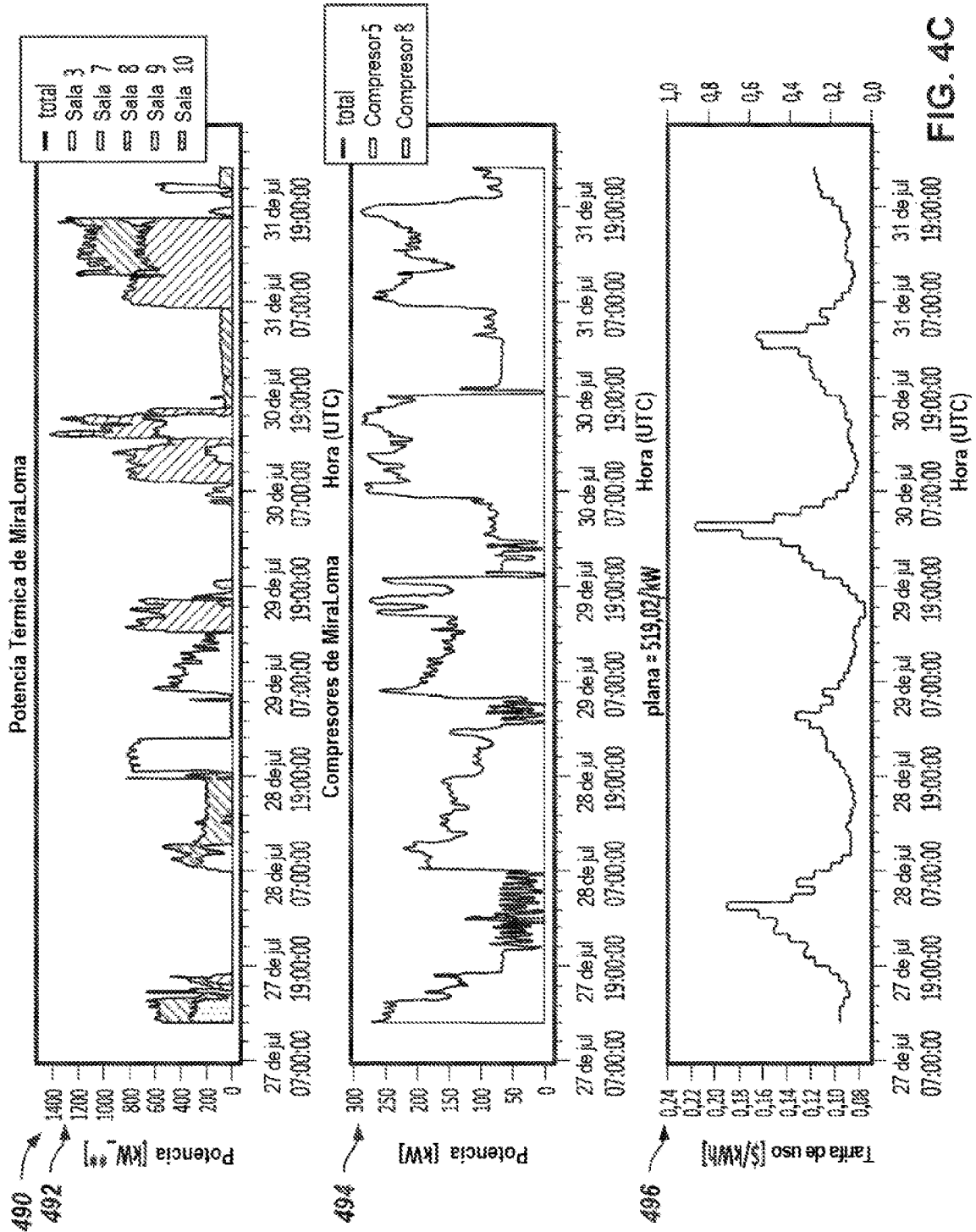


FIG. 4C

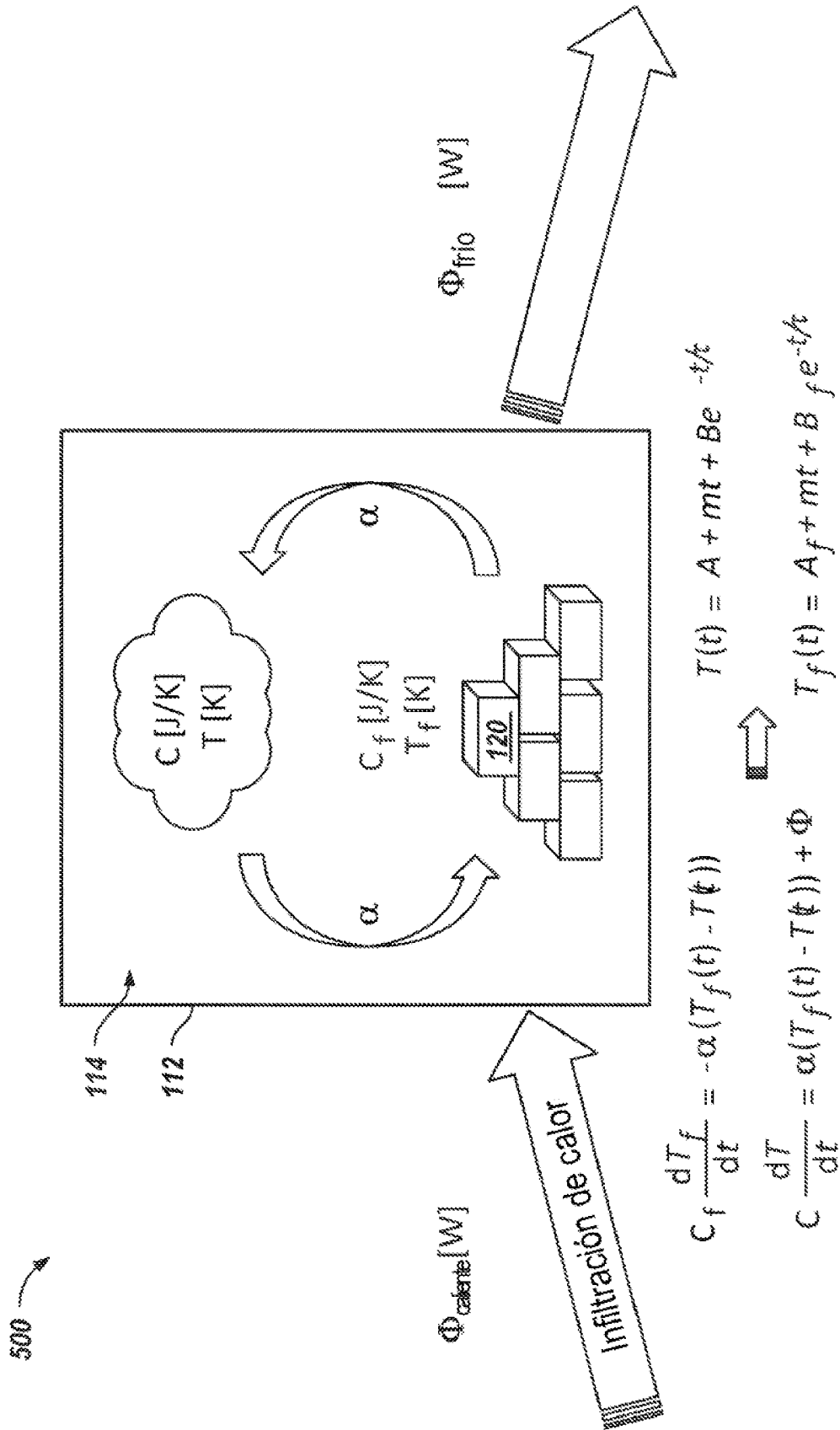


FIG. 5

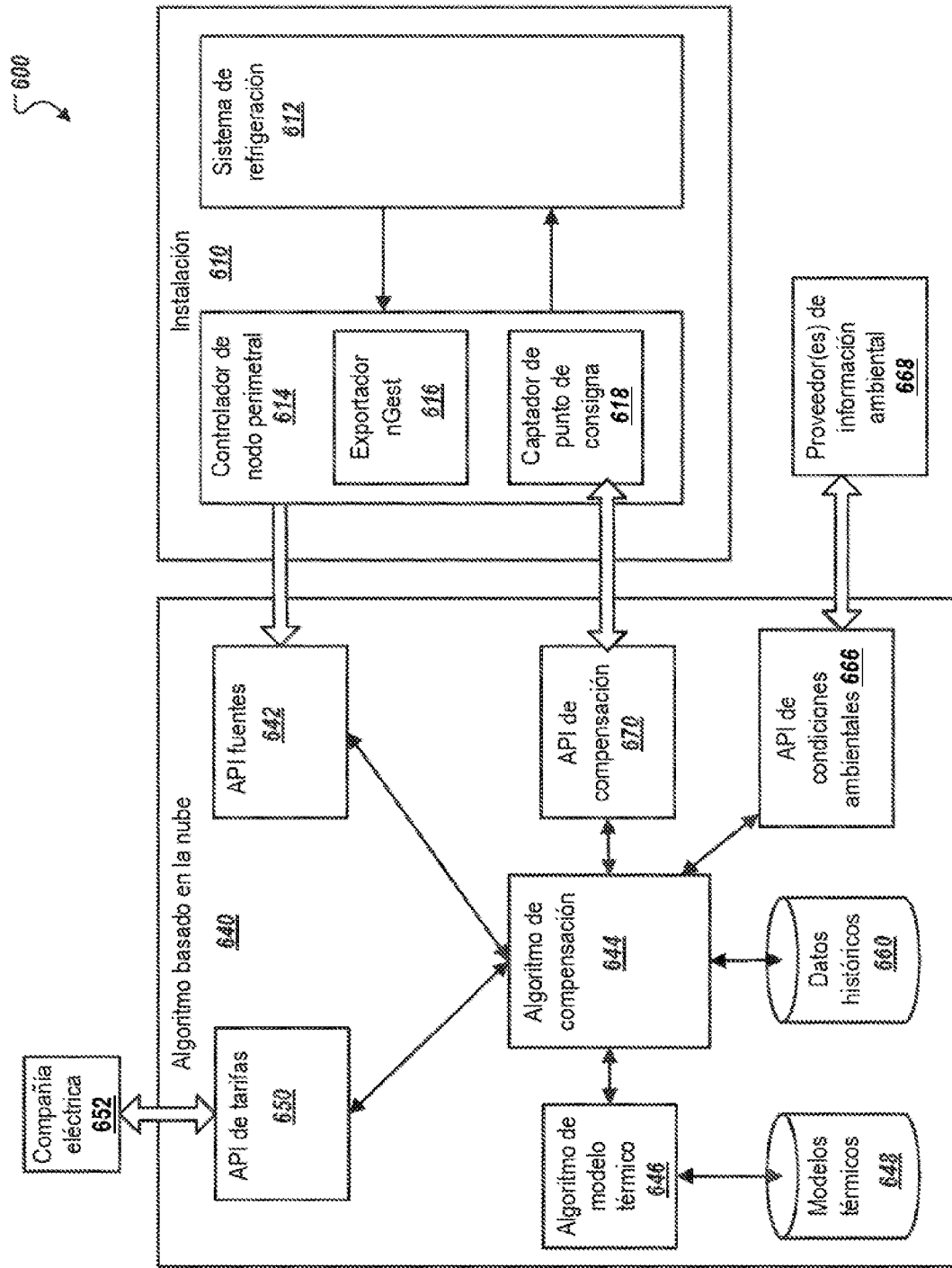


FIG. 6

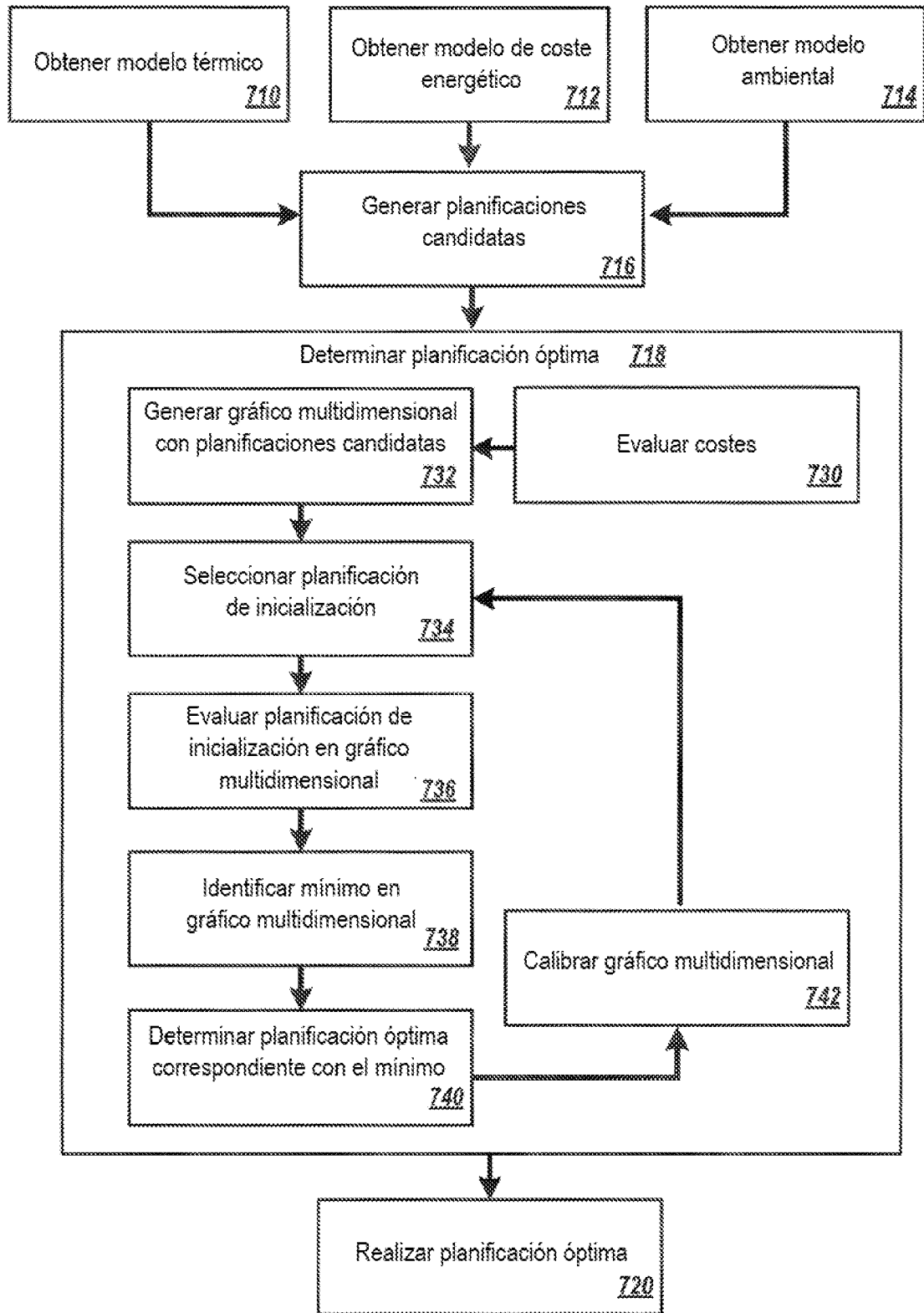


FIG. 7

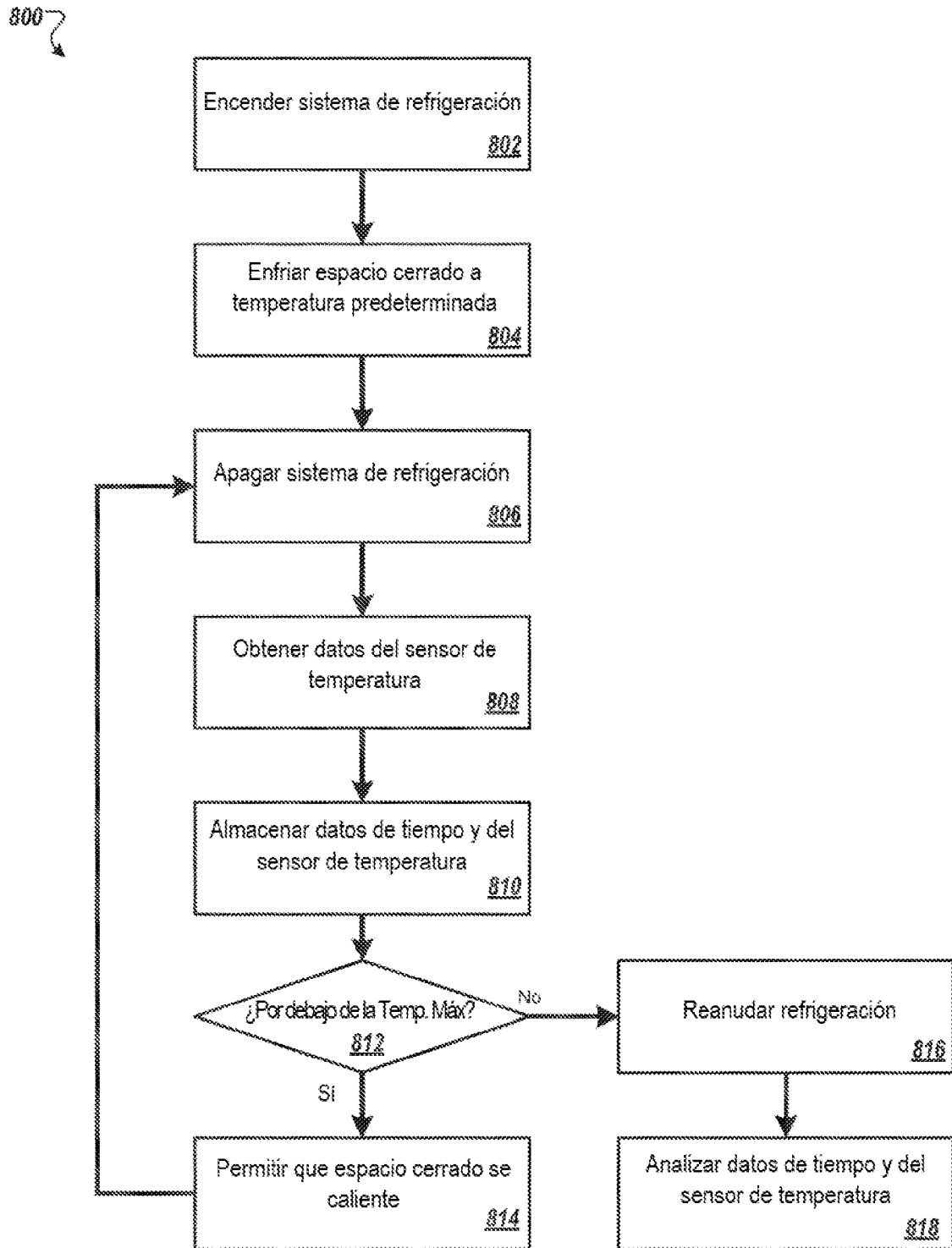


FIG. 8

900 ↘

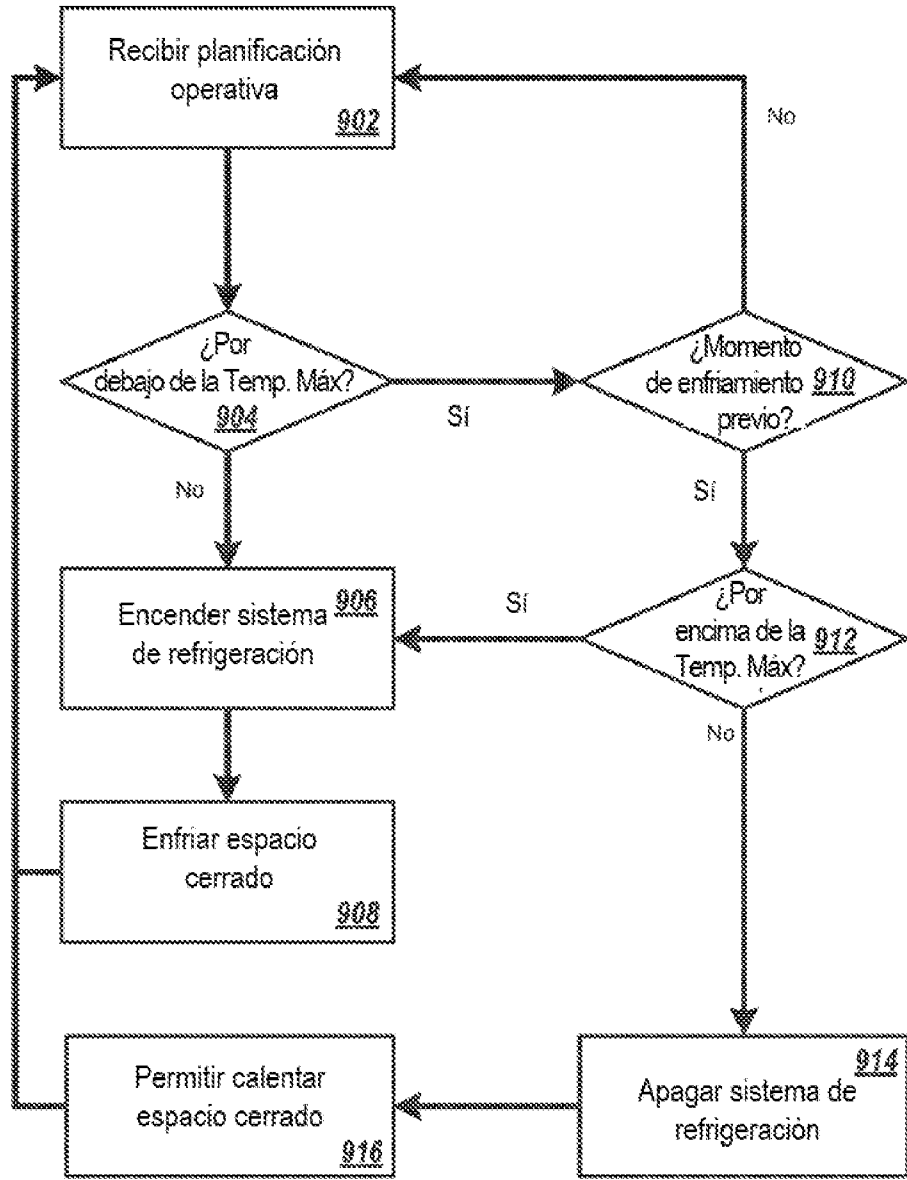


FIG. 9

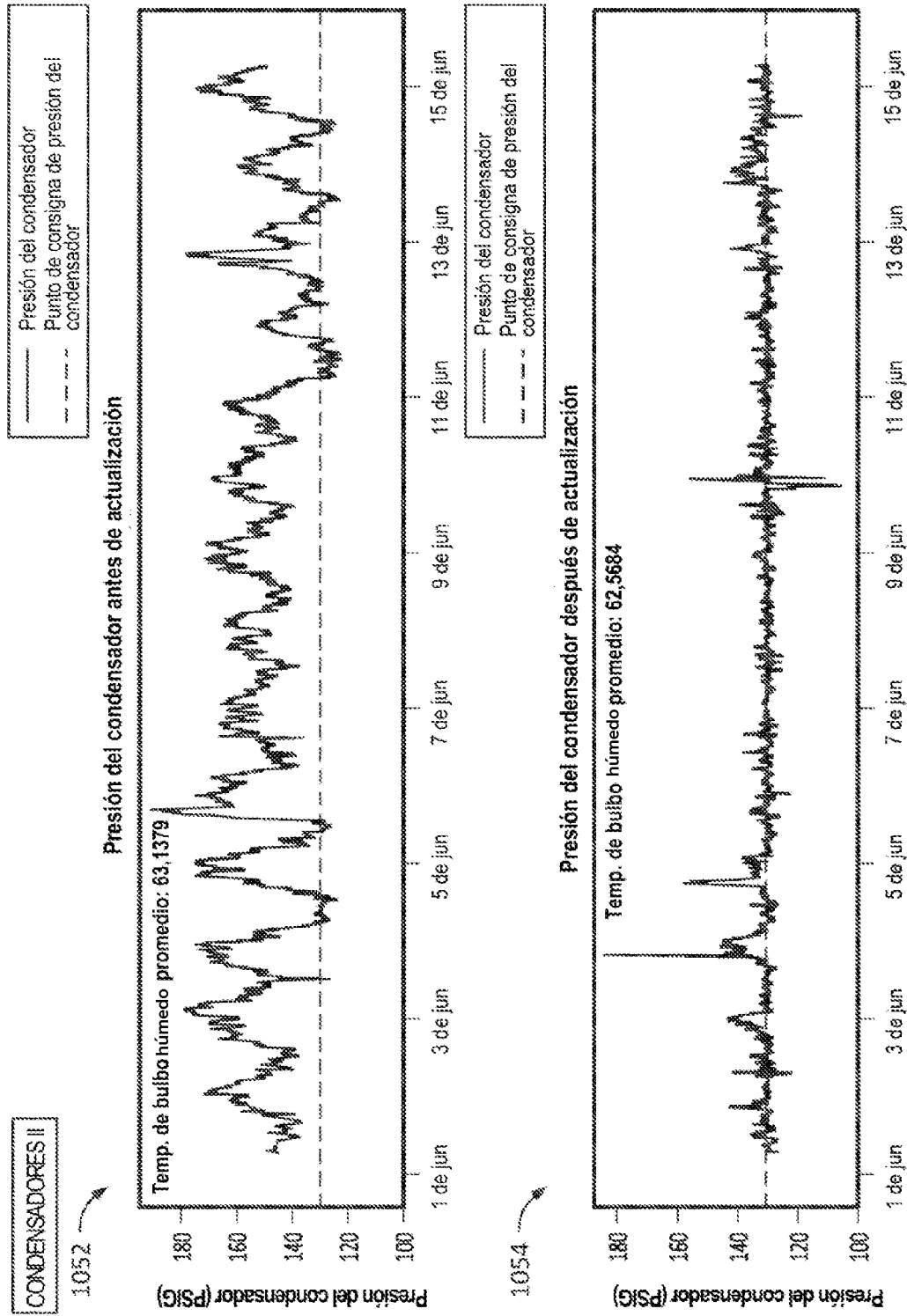


FIG. 11

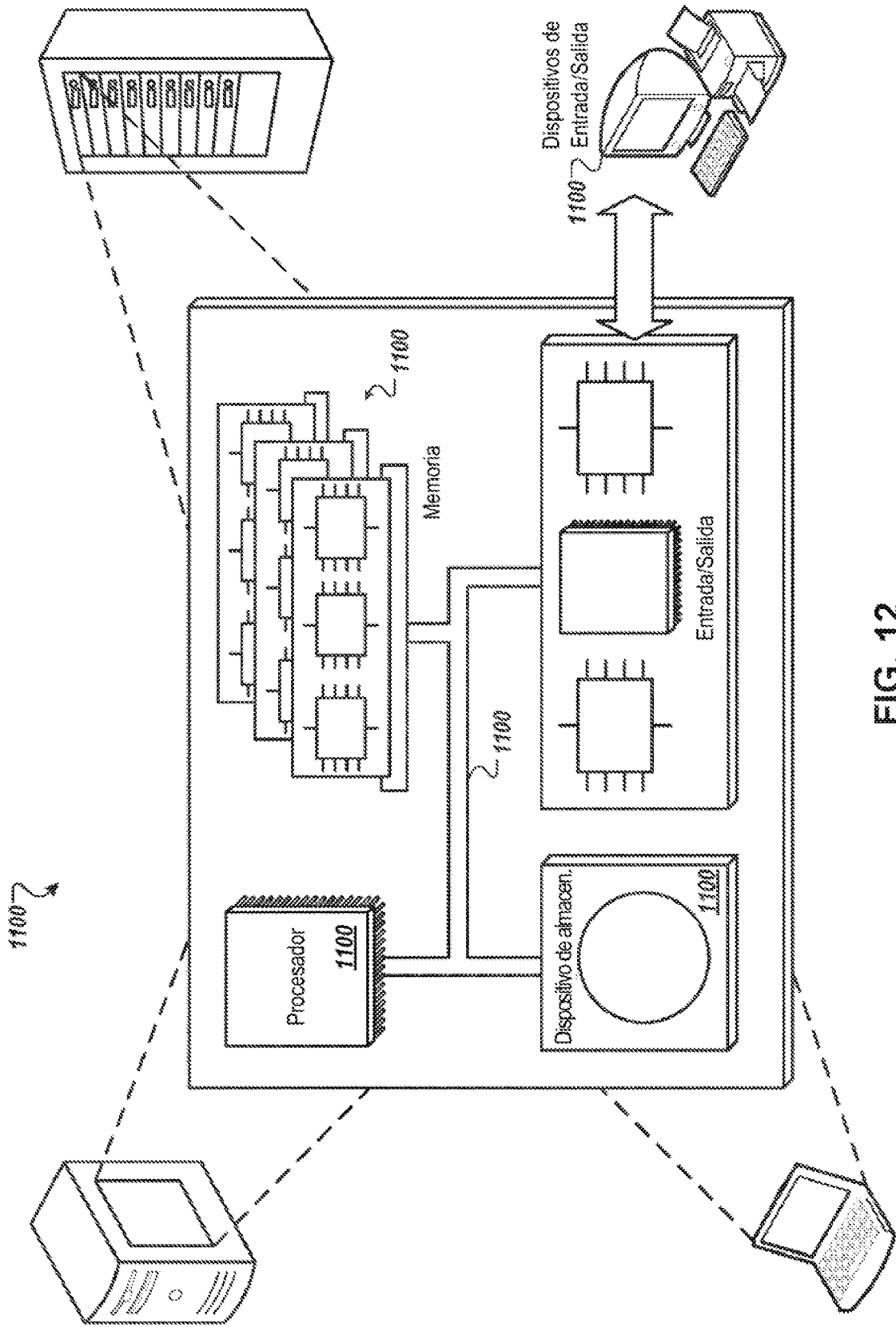


FIG. 12