

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 920 923**

51 Int. Cl.:

B65F 5/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.05.2012** **E 12382186 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2022** **EP 2666737**

54 Título: **Procedimiento para la eliminación de residuos de una red de entrada de residuos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
11.08.2022

73 Titular/es:

URBAN REFUSE DEVELOPMENT, SLU (100.0%)
Av. Cervera, s/n
25300 Tàrrega (Lleida), ES

72 Inventor/es:

FERNÁNDEZ CAMON, CÈSAR;
MATEU PIÑOL, CARLOS;
BÉJAR TORRES, RAMÓN y
MAÑÁ SERRES, FELIPE

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 920 923 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

Procedimiento para la eliminación de residuos de una red de entrada de residuos

5 La presente invención versa acerca de un procedimiento para la eliminación de residuos de una red de entradas de residuos en un sistema automatizado de recogida de residuos, estando adaptadas dichas entradas para ser cargadas con al menos un tipo de fracción de residuo, teniendo dicha red un nodo raíz en el que se encuentra la instalación de recogida. Una red de tuberías conecta las entradas de residuos con el nodo raíz.

La invención también versa acerca de un sistema y de un programa informático para la eliminación de residuos de una red de entradas de residuos en un sistema automatizado de recogida de residuos, adecuado para llevar a cabo tal procedimiento.

10 Técnica antecedente

15 La eliminación de productos de residuo, tales como desechos inorgánicos y orgánicos y similares, por medio de sistemas de eliminación de residuos por aire es una tecnología conocida en la que los residuos son transportados convenientemente a través de un sistema de tuberías hasta una instalación de recogida. Los sistemas de eliminación de residuos por aire son utilizados, normalmente, en el centro de la ciudad, comunidades privadas, zonas residenciales, hospitales, hoteles, instalaciones industriales, aeropuertos, etc. y lugares, en general, en los que se producen residuos en grandes cantidades, siendo esta una técnica rápida, limpia y eficaz para la eliminación centralizada de productos de residuo.

20 En tal sistema de eliminación, hay distribuida en una zona determinada una red de entradas fijas de residuos en las que se han de colocar de forma selectiva los desechos. Cada una de las entradas está conectada con tuberías de residuos que conducen a un sistema común de tuberías de transporte por aire a través de válvulas de descarga correspondientes. Los productos de residuo son transportados a través del sistema de tuberías de transporte por aire por medio de un sistema por aire (normalmente en condiciones de vacío) llevándolos hasta al menos una instalación de recogida para su tratamiento, reciclado o eliminación.

25 Las entradas son vaciadas cuando se detecta un volumen de residuos que se considera que es suficiente para ser descargado en la estación de recogida. Esto puede ser llevado a cabo por medio de sensores de nivel asociados con las entradas que emiten una señal de indicación del nivel a medios de control para abrir la válvula de descarga correspondiente.

30 Dado que existe una pluralidad de entradas en la red de entradas, se tiene que proporcionar un sistema de control para mejorar el rendimiento, especialmente en grandes redes. Por ejemplo, el vaciado puede llevarse a cabo por orden de llegada o formando grupos de entradas según un valor de prioridad que representa la importancia relativa de recogida de residuos del grupo.

35 En la patente europea EP2022731, se recogen residuos de una pluralidad de entradas de residuos a través de tuberías de residuos que conducen a tuberías de transporte. Las tuberías de transporte comprenden varias ramas y al menos una entrada está conectada con cada rama a través de una tubería de residuos correspondiente para transportar desechos hasta al menos una instalación de recogida. Los residuos son recogidos vaciando una primera entrada; estableciendo la entrada que está siendo vaciada como una entrada de referencia; seleccionando una nueva entrada que ha de ser analizada; determinando si se cumple al menos una condición de vaciado, dependiendo dicha condición de dicha entrada de referencia y dicha nueva entrada; si se cumple dicha condición, vaciando la entrada seleccionada, estableciendo dicha entrada como una nueva entrada de referencia, y seleccionando de nuevo una nueva entrada que ha de ser analizada; y si no se cumple dicha condición, seleccionando otra nueva entrada que ha de ser analizada y luego determinando de nuevo si se cumple dicha condición.

Se ha demostrado que este procedimiento es eficaz, pero sigue habiendo margen para reducir el consumo energético implicado en el transporte neumático de residuos.

Sumario de la invención

45 Un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento que reduzca el consumo energético de sistemas automatizados de recogida de residuos.

50 La invención propone el uso de técnicas de aprendizaje de máquina y algoritmos de programación lineal para las operaciones de planificación de instalaciones de recogida automática de residuos. El objetivo es lograr planes operativos óptimos, en cualquier momento, en función del estado actual del sistema y de experiencias anteriores, que minimicen el consumo energético con conformidad a estándares preestablecidos de calidad del servicio. Un plan operativo óptimo incluye seleccionar una secuencia de entradas que han de ser vaciadas después de que se ha vaciado la última secuencia seleccionada.

El procedimiento tiene al menos dos niveles. Primero, determinar una decisión de vaciado óptimo en un instante dado (es decir, la siguiente secuencia ordenada de entradas que han de ser vaciadas) aplicando técnicas mixtas de

programación lineal de números enteros a un modelo paramétrico del sistema. Segundo, aprender de la experiencia registrando datos históricos y decisiones actuales y aplicando técnicas de aprendizaje de máquina para calcular, en un horizonte temporal, un plan operativo óptimo que incluye, en cada intervalo de tiempo, la determinación de la decisión de vaciado óptimo según el primer nivel.

- 5 Las decisiones óptimas de planificación dependerán del estado del sistema al igual que del futuro comportamiento de los usuarios. Este componente estocástico puede ser capturado empleando técnicas de programación dinámica y de aprendizaje de máquina. Puede definirse la dimensionalidad (número de estados, granularidad temporal y decisiones) del sistema de manera que se permita un entrenamiento de desfases en función de datos recopilatorios (es decir, datos históricos de instalaciones existentes). Una vez que se han entrenado de forma apropiada los algoritmos de programación dinámica, se pueden lograr decisiones óptimas en cada ranura de tiempo, en tiempo real, según el estado actual del sistema, y se puede añadir retroalimentación nueva a los valores entrenados.

Según un aspecto de la invención, el sistema comprende al menos una válvula que define al menos dos sectores, comprendiendo cualquier sector el nodo raíz y las entradas conectadas al mismo con una condición de la válvula, bien abierta o bien cerrada, y el procedimiento comprende las etapas de:

- 15 - ordenar todas las entradas del sistema de recogida de residuos;
- seleccionar la siguiente secuencia de entradas de las que se deben descargar los residuos y ser transportados al nodo raíz, siendo dicha selección el resultado de un problema de optimización que comprende la minimización de una función de coste con al menos una limitación operativa, siendo la función de coste una función de al menos dos variables, siendo una variable una estimación del coste de la energía consumida en el transporte de los residuos desde las entradas hasta el nodo raíz, y siendo otra variable una penalización relacionada con entradas no
- 20 descargadas que están cargadas con residuos a un nivel por encima de su capacidad asignada, y siendo una limitación operativa que solo las entradas de, como mucho, un sector pueden ser descargadas en cualquier secuencia diferenciada de descarga;
- 25 - transportar los residuos descargados de las entradas de la secuencia seleccionada al nodo raíz.

Los algoritmos de optimización son aplicados a un modelo de los parámetros del sistema. Dicho modelo está codificado y resuelto como un programa lineal. Las decisiones resultantes (secuencias de entradas que han de ser descargadas) logran reducir el tiempo durante el cual funciona el motor de absorción o aspiración (proporcionado en la instalación de recogida, es decir, el nodo raíz), aumentando, de esta manera, la capacidad de tratamiento de la instalación y, por supuesto, reduciendo el consumo energético de la misma.

La etapa de seleccionar la siguiente secuencia de entradas que han de ser descargadas puede ser llevada a cabo en paralelo con la etapa de transportar los residuos de las entradas de la última secuencia seleccionada.

- 35 En algunas realizaciones, se puede realizar por separado la estimación del coste de la energía consumida para la energía transitoria consumida cuando se cambia, de una secuencia a la siguiente, el sector en el que ha de tener lugar la descarga o la velocidad del aire que ha de ser aplicada a los residuos descargados, y para la energía estacionaria consumida durante el transporte de residuos propiamente dicho. La velocidad del aire puede ser distinta para distintos tipos de fracción de residuos.

- 40 La energía transitoria puede ser de aproximadamente un 10% de la energía estacionaria, y esta puede ser del orden de 20 megajulios.

- 45 En algunas realizaciones, la función de coste comprende la suma de dichas al menos dos variables, y puede comprender la suma de la estimación del coste de dicha energía transitoria y de la estimación del coste de dicha energía estacionaria. Por ejemplo, la función de coste puede ser la suma de una estimación del coste de energía y de una penalización, o puede ser la suma de una estimación del coste de las energías transitoria y estacionaria y de una penalización.

La estimación del coste de la energía transitoria puede ser una función de al menos los tipos respectivos de fracción de residuos transportados en dos secuencias consecutivas de descarga, de las velocidades respectivas del aire para el transporte de residuos en dos secuencias consecutivas de descarga, y de la cantidad de aire que ha de ser eliminada en una secuencia de descarga antes de que se inicie el transporte de residuos propiamente dicho.

- 50 La estimación del coste de la energía estacionaria puede ser una función de al menos la velocidad del aire para el transporte de residuos en una secuencia de descarga, de la cantidad de residuos que han de ser transportados en una secuencia de descarga, y de las entradas incluidas en una secuencia de descarga y del orden en el que se deben descargar dichas entradas.

- 55 La red de entradas de residuos puede ser representada por un gráfico, y dicho gráfico puede ser un árbol, es decir, un gráfico raíces sin bucles.

En algunas realizaciones, la etapa de ordenación de las entradas puede comprender las subetapas de:

- ordenar las entradas en cada rama partiendo de la más alejada del nodo raíz y terminando en la más cercana al nodo raíz;
- ordenar las ramas que unen un nodo de unión en el orden descendente de la distancia desde la última entrada de cada rama hasta el nodo raíz;
- iterar todos los nodos de unión del árbol hasta que se ordenen todas las entradas.

Así, las entradas de una única rama pueden ser ordenadas partiendo de la que esté más corriente arriba (la más alejada del nodo raíz) y acabando en la que esté más corriente abajo. Entonces, las ramas que unen un nodo de unión pueden ser ordenadas combinando las secuencias de entrada de todas estas ramas. Para cada rama, se considera la distancia desde la última entrada de su secuencia al nodo raíz, ordenando las secuencias por orden descendente de tales distancias. Estas etapas son iteradas hasta que se obtiene la ordenación completa para todo el árbol. Esta ordenación proporciona preferencia a partir siempre en la entrada más alejada, debido a que la energía necesaria para transportar los residuos de una secuencia de entradas descendentemente hasta el nodo raíz es más sensible a la distancia desde la última entrada hasta el nodo raíz.

En algunas realizaciones, al menos uno de los siguientes es otra limitación operativa en la minimización de la función de coste:

- solo se puede descargar un tipo de fracción de residuo en la siguiente secuencia de descarga;
- como mucho hay activo un sector en la siguiente secuencia de descarga;
- las entradas pertenecen a al menos un sector;
- hay activa al menos una entrada si hay activo un sector;
- no puede transportarse más de una máxima cantidad para cada tipo de fracción de residuo;
- la velocidad del aire está acotada por arriba y por abajo para cada tipo de fracción de residuo;
- solo se pueden descargar las entradas cargadas en un nivel por encima de un umbral.

El procedimiento puede comprender modelar el sistema de recogida de residuos y codificar el modelo resultante como un programa de número entero de limitación. La minimización de la función de coste puede comprender utilizar un algoritmo para solucionar dicho programa de número entero de limitación.

El procedimiento también puede comprender la etapa de planificación las futuras secuencias de descarga con un horizonte temporal de al menos cien de tales secuencias. Normalmente, cada secuencia dura unos minutos, de manera que un horizonte temporal conveniente pueda ser de medio día o, preferiblemente, de un día.

En algunas realizaciones, dicha planificación puede comprender asignar un valor a cada estado del sistema de recogida de residuos, siendo cualquier estado tal una secuencia diferenciada seleccionable de descarga. Dicha asignación puede estar basada en datos históricos compilados a partir de la operación pasada del sistema de recogida de residuos. Dichos valores son de una naturaleza estocástica.

En algunas realizaciones, dicha planificación puede comprender definir y solucionar un problema de programación dinámico, en el que la etapa de resolución podría incluir dicha minimización de la función de coste dado el estado actual del sistema de recogida de residuos y el valor asignado a cada estado del mismo.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán algunas realizaciones particulares de la presente invención, únicamente a modo de ejemplo no limitante, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que: la única figura es un diagrama esquemático de una instalación automática simplificada de recogida de residuos por vacío.

Descripción de realizaciones particulares

Normalmente, un sistema automatizado de recogida de residuos (AWCS) utiliza succión de aire en una red cerrada de tuberías subterráneas, que abarca un área de unos kilómetros cuadrados, para transportar residuos desde los puntos de eliminación esparcidos por toda la ciudad hasta un punto central de recogida, reduciendo las emisiones de gas invernadero y los inconvenientes de procedimientos convencionales (malos olores, ruido,...), al igual que permitir una mejor reutilización y el reciclado de los residuos.

La red de tuberías siempre puede ser representada como un gráfico, frecuentemente con raíces y con forma de árbol, es decir, un gráfico con al menos un nodo raíz y sin bucles; el punto central de recogida está ubicado en el nodo raíz.

- Este punto central de recogida tiene los medios para separar los residuos recogidos por fracción (fracción orgánica, papel, etc.), y es donde se embalan los residuos para su eliminación en contenedores que son transportados, entonces, con camiones hasta una zona de vertedero para un reciclado o tratamiento mecánico/biológico. Normalmente, la red tiene válvulas de sector ubicadas en algunas de las uniones de ramas que pueden aislar una de las ramas (para reducir el volumen de aire que será succionado). Los puntos de eliminación están ubicados a lo largo de las ramas, y contienen entradas para las distintas fracciones de residuos. También hay válvulas de aire que actúan como puntos de entrada de aire que ayudan a producir el flujo de aire cuando se inicia la succión. Las válvulas de aire pueden estar ubicadas junto a entradas, aunque no es obligatorio que haya una válvula de aire en cada punto de eliminación.
- Un sistema AWCS tiene un soporte lógico de control que incluye la implementación de un procedimiento para decidir cuándo y qué entradas, correspondientes a una misma fracción, deberían ser vaciadas durante un intervalo de tiempo (ranura de tiempo) teniendo en cuenta un número de limitaciones (por ejemplo, se deberían vaciar las entradas llenas, se deberían vaciar las entradas al menos una vez al día, velocidad del aire, ...). Dado que una parte significativa del coste de operar sistemas AWCS es el consumo energético, es importante idear formas para minimizarlo.
- Un sistema automatizado subterráneo de recogida de residuos está modelado como un conjunto $\{\mathcal{T}, \mathcal{I}, \mathcal{F}, \mathcal{V}^a, \mathcal{V}^s\}$. En algunas realizaciones, $\mathcal{T}(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ es un árbol con raíces con nodos ($\mathcal{N}$) que representan bien entradas (I) de residuos o uniones de tuberías, y bordes ($\mathcal{E}$) correspondientes a tuberías de unión entre nodos. $\mathcal{F}$ representa el conjunto de fracciones en las que se dividen los residuos. Las válvulas de aire ($\mathcal{V}^a$), ubicadas en algunas entradas, crean sistemas de aire con capacidad para vaciar las entradas corriente abajo. Hay dispuestas válvulas de sector ($\mathcal{V}^s$) a lo largo del árbol para segmentar toda la estructura de árbol, definiendo sectores aislados (s), haciendo que el transporte sea más eficaz para las entradas comprendidas en el sector correspondiente. Los sectores son subárboles de $\mathcal{T}$, que siempre contienen el nodo raíz y un subconjunto de $\mathcal{I}(\mathcal{I}^s)$.
- Se denota cada entrada en $\mathcal{I}$ mediante $[f, i]$, $f \in \mathcal{F}$ e $i \in \mathcal{N}$, mientras que $v[a, j] \in \mathcal{V}^a$ y $v[s, j] \in \mathcal{V}^s$ denotan las válvulas j -ésimas de aire y de sector, respectivamente. El estado de cualquier válvula es abierta (o) o cerrada (c). La única figura es un pequeño ejemplo de un sistema tal, con 3 tipos de fracción (f_1, f_2, f_3), 5 entradas (gestionando dos de ellas 2 tipos de fracción, de forma que se pueda considerar que tiene 7 entradas), 4 válvulas de aire y 3 válvulas de sector; se denota el nodo raíz por RN. Se debe hacer notar que en este caso, solo son válidas 5 combinaciones de $\mathcal{V}^s$ de las 8 posibles, dando 5 sectores distintos (siguiendo la notación $(v[s, 1], v[s, 2], v[s, 3])$, $\{(c; c; c), (c; o; c)\}$ son asignaciones no válidas y $\{(c; c; o), (c; o; o)\}$ proporcionan la misma configuración de sectores).
- De la topología del sistema surgen tres subárboles importantes que tendrán un gran impacto sobre la dinámica del sistema: subárboles de vaciado, de aire y de vacío. El subárbol de vaciado ($\mathcal{T}[E, i]$) es único para cada entrada, y se define como el recorrido que deben seguir los residuos desde la entrada i hasta el nodo raíz. Por supuesto, $\mathcal{T}[E, i]$ no debe contener válvulas cerradas de sector en el mismo. El subárbol de aire ($\mathcal{T}[A, i]$) es el recorrido seguido por la corriente de aire encargada del transporte de residuos a lo largo de $\mathcal{T}[E, i]$. Se debe hacer notar que $\mathcal{T}[E, i]$ es un subconjunto de $\mathcal{T}[A, i]$, que es igual si la entrada i tiene una válvula de aire; de lo contrario, el flujo de aire debe proceder de una entrada corriente arriba. El subárbol de vacío ($\mathcal{T}[V, s]$) es único para cada sector y representa la cantidad total de aire que ha de ser movido antes de proceder al transporte de residuos. Se denota mediante $d(\mathcal{T})$ la longitud total de un árbol.
- Como ejemplo, consideremos el número 2 de entrada ($[f_3, 2]$) de la única figura. En este caso, $d(\mathcal{T}[E, 2][E, 2]) = d(e_1) + d(e_2) + d(e_3)$ y $d(\mathcal{T}[A, 2]) = d(\mathcal{T}[E, 2]) + d(e_4)$, denotando e_k el borde k -ésimo. La entrada 2 puede ser vaciada por 2 sectores: $s[2, 3]$ y $s[2, 3]$ ($v[s, 2] = o$, $v[s, 3] = c$ y $v[s, 2] = o$, $v[s, 3] = o$, respectivamente). Para el primer caso, $d(\mathcal{T}[V, s[2, 3]]) = d(e_1) + d(e_2) + d(e_3) + d(e_4) + d(e_5)$.
- Cuando las entradas están indexadas adicionalmente por tiempo, $[f, i, t]$ indica su ocupación de residuos en un momento dado, capturando de esta forma el comportamiento estocástico de los usuarios. En cualquier momento, se puede definir una secuencia de vaciado ($\mathcal{C}[f, s, t]$) como una secuencia ordenada de cargas que han de ser transferidas

desde las entradas correspondientes al sector s y al tipo de fracción f , sujeta a una máxima capacidad de transferencia $(L[f, \text{máx}])$ por secuencia dependiendo del tipo de fracción. Es decir, $\mathcal{C}_{[f,s,t]} = \{L[f,i,t] \mid L[f,i,t] \leq l[f,i,t], I[f,i] \in \mathcal{I}^s, \sum_{I[f,i] \in \mathcal{I}^s} L[f,i,t] \leq L[f, \text{máx}]\}$. Las secuencias de vaciado no se solapan en el tiempo y pueden ser nulas (nada que hacer).

- 5 Como el objetivo será definir secuencias óptimas de vaciado para un intervalo de tiempo (es decir, un día), se deben definir algunos elementos dinámicos del modelo. La operación de la velocidad del aire es importante, siendo esencial para determinar la duración de las secuencias y, por consiguiente, los consumos energéticos. Se supone que la velocidad (v_t) es constante durante una secuencia de vaciado. Debido a razones estructurales, v_t tiene un máximo (V_M). Además, cada entrada se caracteriza por una operación de velocidad mínima de aire ($V[f,i]$) para evitar obstrucciones de las tuberías.

El segundo elemento es el tiempo de operación ($T[t]$), que se define como el tiempo requerido para operar una secuencia de vaciado, dependiendo de la propia secuencia, de la velocidad v_t , de aire de la operación y del anterior estado de operación del sistema. Tal anterior estado de operación puede ser: operar una secuencia de vaciado para el tipo de fracción f y de sector s' a la velocidad v_{t-1} o inactivo ($v_{t-1} = 0$). El tiempo de operación se divide en dos fases: una fase transitoria ($T^{\text{tr}}[t]$) en la que la anterior velocidad (v_{t-1}) cambia progresivamente hasta la velocidad actual (v_t), y una fase estacionaria ($T^{\text{st}}[t]$) dedicada a vaciar la secuencia escogida. $T^{\text{tr}}[t]$ es una función de tres tipos de parámetros. Primero, la velocidad operativa de aire anterior y la actual. Segundo, el tipo de fracción, debido a que si hay un cambio de tipo de fracción entre las secuencias anterior y actual de vaciado, la velocidad del aire debe reducirse hasta un valor bajo debido a requisitos operativos; de lo contrario, es suficiente aumentar o reducir la velocidad del aire desde el anterior valor (v_{t-1}) hasta el actual (v_t). Tercero, la cantidad total de aire que ha de ser adaptada, que

depende de los recorridos de vacío del anterior sector (s') y del sector actual (s), y puede obtenerse como $T[V,s] - T[V,s] \cap T[V,s']$. Puede expresarse:

$$f=f' : T^{\text{tr}}[t] = c^{\text{tr}}[1,t] \cdot |v_t - v_{t-1}| + c^{\text{tr}}[2,t] \cdot (d(T[V,s]) - d(T[V,s] \cap T[V,s'])))$$

$$f \neq f' : T^{\text{tr}}[t] = c^{\text{tr}}[1,t] \cdot (v_t + v_{t-1}) + c^{\text{tr}}[2,t] \cdot (d(T[V,s]) - d(T[V,s] \cap T[V,s'])))$$

- 25 en las que $c^{\text{tr}}[1,t]$ y $c^{\text{tr}}[2,t]$ son limitaciones para un sistema dado, como se detalla a continuación.

Una vez que termina la fase transitoria y se alcanza la nueva velocidad del aire, se puede iniciar la operación estacionaria para proceder con la secuencia de vaciado. Una secuencia de vaciado consiste en dos operaciones que se iteran en la secuencia ordenada de entradas; primera, vaciar una entrada a las tuberías de transporte, y segunda, proceder al transporte de residuos. El transporte de residuos y la fase de vaciado de la siguiente entrada pueden solaparse en el tiempo si y solo si la entrada que ha de ser vaciada se encuentra corriente arriba de la posición estimada de los residuos que están siendo transportados. Con estas suposiciones:

$$T^{\text{st}}[t] = \sum_{L[f,i,t] = \text{siguiente}(L[f,i,t])} T^{\text{st}}[t](i, j), L[f,i,t] \in \mathcal{C}_{[f,s,t]}$$

$$T^{\text{st}}[t](i, j) = c^{\text{st}}[1,t] \cdot L[f,i,t] + (d(T[E,i]) - d(T[E,i] \cap T[E,j])) / v_t$$

- 35 en la que $\text{siguiente}()$ es el siguiente elemento en la secuencia ordenada $\mathcal{C}_{[f,s,t]}$. Y $\text{siguiente}()$ del último elemento en la secuencia es el nodo raíz. Se debe hacer notar que si $l[f,i]$ se encuentra corriente arriba $l[f,j]$, entonces

$$d(T[E,i]) - d(T[E,i] \cap T[E,j]) = 0,$$

lo que significa que una vez se ha vaciado $l[f,i]$, se puede proceder a vaciar $l[f,j]$.

- La energía está relacionada estrechamente con el tiempo de operación, y también puede dividirse en dos partes: transitoria y estacionaria. Es sencillo entender que, para el caso transitorio, solo hay un consumo energético para el procedimiento de aumentar la velocidad del aire pero no para reducirla. La energía transitoria puede ser expresada, entonces, como sigue:

$$f=f' : E^{\text{tr}}[t] = c^{\text{tr}}[1,e] \cdot |v_t - v_{t-1}| + c^{\text{tr}}[2,e] \cdot (d(T[V,s]) - d(T[V,s] \cap T[V,s'])))$$

$$f \neq f' : E^{\text{tr}}[t] = c^{\text{tr}}[1,e] \cdot v_t + c^{\text{tr}}[2,e] \cdot (d(T[V,s]) - d(T[V,s] \cap T[V,s'])))$$

en las que

$$|x|^+ = 0, x < 0; |x|^+ = x, x \geq 0.$$

- 5 Para la parte estacionaria de la energía el recorrido del aire desempeña un papel importante. Para el mismo recorrido de vaciado, la mínima energía de transporte se obtiene cuando se emplea el recorrido del aire más corto, es decir, abriendo la válvula de aire corriente arriba más cercana a la entrada que está siendo vaciada. El tipo de fracción también afecta a los requisitos de energía, necesitando más energía aquellos tipos de fracción que son más densos. Con estas consideraciones, se da por sentado que, durante la fase estacionaria, el consumo energético es una función lineal del recorrido del aire, $c^{st}[1,e](r) + c^{st}[2,e](r) \cdot d(T^A[i])$, con coeficientes que dependen del tipo de fracción. La energía estacionaria puede ser expresada como sigue:

$$10 \quad E^{st}[t] = \sum_{L[f,i]=\text{siguiente}(L[f,i])} (c^{st}[1,e](f) + c^{st}[2,e](f) \cdot d(T^A[i])) \cdot T^{st}[t](i, j), L[f,i] \in \mathcal{C}[f,s,t].$$

El objetivo es encontrar un conjunto de secuencias de vaciado y operaciones de velocidad del aire, $\{V[f,s,t]\} \times \{v_t\}$, $0 \leq t \leq T$, durante un periodo operativo de tiempo T (por ejemplo, un día), que minimice el coste de la energía, $\sum_{0 \leq t \leq T} f_c(t) \cdot (E^{tr}[t] + E^{st}[t])$, sujeto a las siguientes limitaciones:

- $I[f,i,0]$, $\forall I[f,i] \in \mathcal{I}$. Constante que proporciona las cargas iniciales de la entrada.
- 15 - $I[f,i,t] = I[f,i,t-1] + d[f,i,t-1] - L[f,i,t-1]$, $\forall I[f,i] \in \mathcal{I}$, $0 < t \leq T$. Actualización del volumen de las entradas. Proceso aleatorio $d[f,i,t]$ denota la eliminación de residuos por parte del usuario en $I[f,i]$ durante la ranura de tiempo t .
- $I[f,i,T] \leq \epsilon[f,i]$, $\forall I[f,i] \in \mathcal{I}$. Carga residual de las entradas.
- $I[f,i,t-1] > th[f,i] \implies I[f,i,t] \leq th[f,i]$, $\forall I[f,i] \in \mathcal{I}$, $0 < t \leq T$. Deben incluirse las entradas que estén por encima del umbral de carga.
- 20 - $\mathcal{C}[f,s,t] = \{L[f,i,t] \mid 0 < t \leq T, L[f,i,t] \leq I[f,i,t], I[f,i] \in \mathcal{I}, \sum_{I[f,i] \in \mathcal{I}} L[f,i,t] \leq L[f,máx]\}$, $0 < t \leq T$. Máxima carga de la secuencia de vaciado por entrada y máxima carga de transferencia.
- $\max_{I[f,i] \in \mathcal{I}} (V[f,i]) \leq v_t \leq V_M$, $0 < t \leq T$. Intervalo de velocidad del aire operativa.

El coste de la energía ($f_c(t)$) depende de la hora y de las tarifas de energía.

- 25 El sistema tiene un comportamiento estocástico, es decir, la forma en la que los usuarios desechan los residuos en las entradas tiene un componente aleatorio. Esta aleatoriedad puede describirse mediante una lista de eliminaciones en el mundo real ($d[f,i,t]$) o mediante una función aleatoria parametrizada para las horas de llegada y la cantidad de residuos para cualquier entrada.

- 30 El problema descrito anteriormente puede ser abordado mediante distintos planteamientos de programación dinámica. Todos ellos requerirán, en algún punto, una etapa de optimización. Se describe ahora cómo puede codificarse un caso individual de problema como un programa de número entero de limitación (CIP, por sus siglas en inglés). Se especifica tal caso mediante el estado del sistema al final de una ranura de tiempo, antes de llevar a cabo una decisión óptima.

Se define un CIP mediante un conjunto de variables (números enteros y valores reales), limitaciones (entre las variables) y una función objetiva. A partir del modelo del sistema $\{T, \mathcal{I}, V^a, V^s\}$, la disposición de las válvulas de sector (V^s) determina un conjunto de sectores ($\mathcal{S}$).

- 35 Para determinar la secuencia de vaciado de cualquier subconjunto escogido de entradas, es necesario proporcionar una ordenación total de tales entradas. Esta es una etapa importante hacia la minimización de la energía necesaria para vaciar un subconjunto de entradas. Se describe ahora un posible algoritmo de ordenación; ordena una vez todas las entradas de la instalación y, entonces, se utiliza el orden total resultante para ordenar cualquier subconjunto de entradas escogido en cualquier ejecución del algoritmo de optimización.

- 40 Notación y funciones auxiliares utilizadas en el algoritmo de ordenación:

- $\mathcal{I}$: conjunto de entradas.
- $T(\mathcal{N}, \mathcal{C})$: árbol binario en el que los nodos pueden ser de distintas clases:

- Nodo raíz: el nodo con el motor de absorción (instalación de recogida), que está conectado bien con un nodo de unión o bien con un nodo interno de entrada.

5 • Nodo de unión: un nodo interno con dos tuberías corriente arriba y una tubería corriente abajo. Los dos nodos son de un nodo de unión n se denotan como $son1(n)$ y $son2(n)$.

- Nodo interno de entrada: un nodo interno con una entrada con una tubería corriente abajo y una tubería corriente arriba. El son en un nodo interno n de entrada se denota como $son(n)$.

10 • Nodo hoja: un nodo hoja puede contener bien una entrada o bien simplemente una válvula de aire.

- $getfarthest(T(N, E), r)$: una función que obtiene el nodo más alejado fn de entrada del subárbol T_r , y su distancia d desde la raíz de $T(N, E)$ en el par (fn, d) , o devuelve (nulo, 0) si no hay ninguna entrada en T_r .

El algoritmo de ordenación se define de forma recurrente para el árbol de una instalación, o el subárbol de una instalación, y la ordenación que proporciona depende de los siguientes posibles casos para el árbol de la instalación:

15 1. nodo hoja de entrada: en este caso básico, la ordenación contiene únicamente el nodo de entrada.

2. nodo interno de entrada: todos los nodos de entrada del subárbol unidos al nodo serán insertados primero en la ordenación, y luego el nodo de entrada.

20 3. nodo de unión: todos los nodos de entrada del subárbol que contiene el nodo más alejado del nodo raíz serán insertados primero, y luego los nodos de entrada de los otros subárboles.

Algoritmo OrderInlets($T(N, E)$, $rnode$)

$L := []$;

// L contendrá la lista ordenada de entradas, partiendo del nodo más alejado de

```

rnode up to rnode
;
switch typeof(rnode) is do
  case junction
    (f1, d1) := getfarthest( $T(\mathbb{N}, \mathcal{C})$ , son1(rnode)) ;
    (f2, d2) := getfarthest( $T(\mathbb{N}, \mathcal{C})$ , son2(rnode)) ;
     $L_1 := \text{OrderInlets}(\mathcal{T}(\mathbb{N}, \mathcal{C}), \text{son1}(rnode))$  ;
     $L_2 := \text{OrderInlets}(\mathcal{T}(\mathbb{N}, \mathcal{C}), \text{son2}(rnode))$  ;
    if  $d_1 \geq d_2$  then
       $L := L_1 \mid L_2$ 
    else
       $L := L_2 \mid L_1$ 
  case inner inlet
     $L := \text{OrderInlets}(\mathcal{T}(\mathbb{N}, \mathcal{C}), \text{son}(rnode)) \mid [rnode]$ 
  case leaf inlet
     $L := [rnode]$ 
  case leaf valve
     $L := []$ 
return L ;

```

Antes de definir las variables y las limitaciones, se definen los siguientes parámetros no mencionados anteriormente:

- $pu[f,i] \in \mathbb{R}$, $f = 1 \dots |\mathcal{F}|$, $i = 1 \dots |\mathcal{I}|$, es el coste de penalización debido a dejar descargada la entrada $I[f,i]$ por encima de un umbral dado de su máxima capacidad ($th[f,i]$).
- 5 - $L[f,i] \in \mathbb{R}$, es la carga de $I[f,i]$ al comienzo de la ranura de tiempo que está siendo optimizada ($I[f,i,t]$).
- $s' \in \{1 \dots |\mathcal{S}|\}$, denota el anterior sector activo.
- $f' \in \{1 \dots |\mathcal{F}|\}$, denota la anterior fracción activa.
- $v' \in \mathbb{R}$, denota la anterior velocidad operativa.
- 10 - $Ind : \{0 \dots |\mathcal{I}|\} \rightarrow \{0 \dots |\mathcal{I}|\}$, es una función que ordena el conjunto $\mathcal{I} \cup \emptyset$ según la anterior definición, siendo $\emptyset$ el nodo raíz.
- $Vp : \{(1 \dots |\mathcal{S}|) \times (1 \dots |\mathcal{S}|)\} \rightarrow \mathbb{R}$, $Vp(s, s') = d(\mathcal{T}[V,s] - d(\mathcal{T}[V,s] \cap \mathcal{T}[V,s']))$, es el recorrido de vacío.
- $Ep : \{(0 \dots |\mathcal{I}|\} \times (0 \dots |\mathcal{I}|\} \rightarrow \mathbb{R}$, $Ep(i, j) = d(\mathcal{T}[E,i] - d(\mathcal{T}[R,i] \cap \mathcal{T}[E,j]))$, es el recorrido de vaciado.
- $Ap : \{(1 \dots |\mathcal{I}|\} \rightarrow \mathbb{R}$, $Ap(i) = d(\mathcal{T}[A,i])$, es el recorrido del aire.

En el modelo de CIP hay variables de decisión sobre las que se lleva a cabo la búsqueda, y variables auxiliares para hacer un conjunto más legible de limitaciones. Se definen las siguientes variables de decisión:

- $si \in \{0, 1\}$, $i = 1 \dots |\mathcal{S}|$, indica si se activa un sector para su vaciado.
- $f_i \in \{0, 1\}$, $i = 1 \dots |\mathcal{F}|$, determina la fracción.
- $\mathcal{U}_{[s,f,i]} \in \{0, 1\}$, $s = 1 \dots |\mathcal{S}|$, $f = 1 \dots |\mathcal{F}|$, $i = 1 \dots |\mathcal{I}|$, indica si la entrada $I[f,i]$ va a ser vaciada con el sector s . Se supone que las entradas no pueden ser vaciadas parcialmente.

- $v \in \mathbb{R}$. Velocidad operativa del aire.

Las variables auxiliares son:

- $b[f,i] = \sum_{1 \leq s \leq |S|} \mathcal{L}_{[s,f,i]} \in \{0, 1\}$, $f = 1 \dots |\mathcal{F}|$, $i = 1 \dots |\mathcal{I}|$, indica si una entrada $l[f,i]$ está activa con independencia del sector que esté siendo considerado.

5 - $p[s,f,i,j] \in \{0, 1\}$, $s = 1 \dots |S|$, $f = 1 \dots |\mathcal{F}|$, $i = 1 \dots |\mathcal{I}|$, $\text{Ind}(i) < \text{Ind}(j)$. Es un par de indicadores de entrada, que mantienen un seguimiento de las entradas activas y de su correspondiente continuidad. Ayuda a calcular la energía.

- $v^{\text{tr}} \in \mathbb{R}$, es el valor de la velocidad del aire que ha de ser considerada en la fase transitoria para el cálculo de la energía, dependiendo de la fracción que ha de ser transportada.

- $E^{\text{tr}} = c^{\text{tr}}[1,e] \cdot v^{\text{tr}} + c^{\text{tr}}[2,e] \cdot \sum_{1 \leq i \leq |S|} s_i \cdot Vp(i, s') \in \mathbb{R}$, es la energía transitoria.

10 - $T^{\text{st}}[i,j] = \sum_{1 \leq s \leq |S|} \sum_{1 \leq f \leq |\mathcal{F}|} (c^{\text{st}}[1,t] \cdot \mathcal{L}_{[s,f,i]} \cdot L[f,i] + (p[s,f,i,j] \cdot Ep(j, i))/v) \in \mathbb{R}$, $i = 1 \dots |\mathcal{I}|$, $j = 1 \dots |\mathcal{I}|$, es el tiempo estacionario.

- $c^{\text{st}}[i,e] = \sum_{1 \leq j \leq |\mathcal{F}|} c^{\text{st}}[i,e](j) \cdot f_j \in \mathbb{R}$, $i \in \{1, 2\}$, determina los coeficientes para el cálculo de la energía estacionaria.

15 - $E^{\text{st}} = \sum_{1 \leq i \leq |\mathcal{I}|} \sum_{1 \leq j \leq |\mathcal{I}|, \text{Ind}(i) < \text{Ind}(j)} (c^{\text{st}}[1,e] + c^{\text{st}}[2,e] \cdot Ap(j)) \cdot T^{\text{st}}[i,j] \in \mathbb{R}$, es la energía estacionaria.

- $P = \sum_{1 \leq i \leq |\mathcal{I}|} \sum_{1 \leq f \leq |\mathcal{F}|} pu[f,i] \cdot (1 - b[f,i]) \in \mathbb{R}$, es la penalización debida a dejar entradas descargadas por encima de un umbral dado.

Las limitaciones son:

20 - $\sum_{1 \leq i \leq |S|} s_i \leq 1$. Como mucho un sector activo.

- $\sum_{1 \leq i \leq |\mathcal{F}|} f_i \leq 1$. Como mucho una fracción activa.

- $\neg s_j \implies \neg \mathcal{L}_{[j,f,i]}, \forall i = 1 \dots |\mathcal{I}|, j = 1 \dots |S|, f = 1 \dots |\mathcal{F}|$. Propagación de sectores inactivos.

- $\neg f_k \implies \neg \mathcal{L}_{[s,k,i]}, \forall i = 1 \dots |\mathcal{I}|, s = 1 \dots |S|, k = 1 \dots |\mathcal{F}|$. Propagación de fracciones inactivas.

- $\sum_{s,f,i} \mathcal{L}_{[s,f,i]} \cdot L[f,i] \leq L[f, \text{máx}]$. Máxima carga de transferencia por fracción.

25 - $\text{máx}_{i=1 \dots |\mathcal{I}|} (V[f,i] \cdot b[f,i]) \leq v \leq V_M \in \mathbb{R}$. Velocidad operativa del aire.

- $\sum_{1 \leq i \leq |\mathcal{I}|} p[s,f,0,i] \leq 1, \forall s = 1 \dots |S|, f = 1 \dots |\mathcal{F}|$. El nodo raíz ($\emptyset$) tiene como mucho una siguiente entrada aguas arriba.

- $\neg \mathcal{L}_{[s,f,i]} \implies (\neg p[s,f,i,j] \wedge \neg p[s,f,j',i]), \forall s = 1 \dots |S|, f = 1 \dots |\mathcal{F}|, i = 1 \dots |\mathcal{I}|, j = 1 \dots |\mathcal{I}| : i < j, j' = 0 \dots |\mathcal{I}| : j' < i$. Propagación de entradas inactivas.

30 - $\mathcal{L}_{[s,f,i]} \implies \sum_{0 \leq j \leq |\mathcal{I}|, \text{Ind}(j) < \text{Ind}(i)} p[s,f,j,i] = 1, \forall s = 1 \dots |S|, f = 1 \dots |\mathcal{F}|, i = 1 \dots |\mathcal{I}|$. Exactamente una siguiente entrada aguas abajo.

- $(s_j \wedge f_k \implies \sum_{1 \leq i \leq |\mathcal{I}|} b[j,k,i] \geq 1, \forall j = 1 \dots |S|, f = 1 \dots |\mathcal{F}|$. Al menos una entrada activa para el sector y la fracción activos.

35 - $f_r \implies (v^{\text{tr}} = |v - v'|^*)$. Contribución de la velocidad a la energía transitoria cuando la fracción que ha de ser transportada sigue siendo la misma.

- $\neg f_r \implies (v^{\text{tr}} = v)$. Contribución de la velocidad a la energía transitoria cuando cambia la fracción que ha de ser transportada.

- $L[f,i] < \varepsilon[f,i] \implies \neg b[f,i], \forall i = 1 \dots |\mathcal{I}|, f = 1 \dots |\mathcal{F}|$. No vaciar entradas por debajo de un umbral residual.

El objetivo es minimizar el consumo energético más la penalización para dejar las entradas descargadas por encima de un umbral de su máxima capacidad, es decir, minimizar la función objetivo ($E^{\text{tr}} + E^{\text{st}} + P$):

$$\text{mín} (E^{\text{tr}} + E^{\text{st}} + P)$$

Esto proporciona la decisión inmediatamente óptima. Dado que una instalación automatizada de recogida de residuos por vacío opera sin paradas, y que es un requisito importante que todas las entradas deban ser vaciadas al menos una vez al día, se puede pensar en planificar operaciones con un horizonte temporal, por ejemplo, de un día.

- 5 Los algoritmos de planificación pueden estar basados en técnicas de programación dinámica y deberían adoptar decisiones óptimas en cada ranura de tiempo, según el anterior procedimiento. La granularidad temporal (duración temporal de una ranura de tiempo) estará acotada por abajo por el tiempo requerido para adoptar estas decisiones y será determinado por la codificación y el rendimiento del resolutor de optimización. Considerando que, en un escenario real, la duración temporal de una secuencia de vaciado es del orden de unos minutos, el resolutor debería proporcionar un resultado óptimo en cuestión de minutos, lo que es factible (véase más abajo).

10 El estado del sistema, más allá de ser determinista, está sujeto al comportamiento estocástico de usuarios, de forma que, en cada ranura de tiempo, el valor del sistema dependa del valor de la siguiente ranura de tiempo más el coste de operación para las decisiones adoptadas sobre la ranura de tiempo actual. Un posible planteamiento es utilizar mecanismos de aprendizaje de máquina para entrenar el sistema, utilizando algoritmos dinámicos que aprenden de datos históricos de instalaciones existentes (datos recopilatorios) acerca de los valores del sistema. Este procedimiento de entrenamiento tiene dos características principales.

15 En primer lugar, se caracterizan los estados del sistema. El estado de la entrada, incluso simplificado a un número de niveles, hace que sea inviable un planteamiento integral. Como ejemplo, 50 entradas descritas por tres niveles de llenado dan lugar a un enorme número de estados ($\sim 10^{23}$). Por lo tanto, se necesitará algún tipo de agregación para reducir la dimensionalidad del problema. Se propone agregar niveles de llenado de entradas, caracterizando, de esta manera, el estado del sistema por los niveles de llenado del sector en vez de las entradas, y definiendo, de esta manera, un número más preciso de niveles para el sector. También se propone una contribución no lineal a la cantidad de nivel de llenado del sector para entradas más allá de un nivel umbral dado de ocupación, haciendo más relevantes aquellos estados con entradas con una ocupación elevada.

20 En segundo lugar, se deben deducir las probabilidades de transición entre los estados mencionados anteriormente. Dado que no es factible caracterizar el comportamiento estocástico de las entradas (usuarios), se propone un esquema de aprendizaje basado en algoritmos aproximados de programación dinámica. En tales algoritmos, se entrena al sistema mediante dos bucles distintos. Primero, el algoritmo itera en la línea temporal, calculando el valor del sistema para una ranura de tiempo dada, según una decisión óptima, y para una realización dado de los procedimientos de estocásticos de entrada, en concreto los niveles de entradas. Dado que hay datos históricos con distintas realizaciones del procedimiento estocástico de entrada, el algoritmo itera en un segundo bucle en todas las realizaciones posibles.

25 De esta forma, se consideran en el procedimiento de optimización los valores aproximados del sistema en cada ranura de tiempo, se deduce una secuencia óptima y los resultados calculados retroalimentan los datos históricos para reajustes del sistema. Como ya se ha mencionado, considerando que en un escenario real la duración temporal de una secuencia de vaciado es del orden de unos minutos, la capacidad del resolutor para proporcionar un resultado óptimo en unos minutos determinará su idoneidad para una operación en tiempo real. Con este objetivo en mente, se han codificado tres instalaciones existentes como cinco problemas reales y se han calculado soluciones óptimas en distintas situaciones de carga. La Tabla 1 resume los resultados.

Las columnas de la Tabla 1 son:

- 40 - Nombre de un problema con su correspondiente topología. Los problemas 2.1 y 2.2 se corresponden con la misma instalación con distintas sectorizaciones, igual que para los problemas 3.1 y 3.2.
- El número de puntos de eliminación y de entradas.
- 45 - El número de secciones y de fracciones.
- El número de variables y de limitaciones antes y después de la pre-resolución.
- 50 - Tiempo para la resolución. Se ha empleado un límite de tiempo de 5 minutos. Este es un valor típico para el tiempo de secuencia de vaciado en una instalación de vacío y proporciona el límite de tiempo para adoptar la siguiente decisión (es decir, mientras está en marcha una secuencia de vaciado).
- La diferencia de la solución como la diferencia relativa entre las acotaciones primordial y doble. Esto proporciona una medida de la precisión de la solución obtenida hasta aquí con respecto a la solución óptima.
- 55 - La carga del sistema como el porcentaje de entradas con una carga por encima del umbral residual. Este parámetro aumenta el número de variables y de limitaciones después de la fase de pre-resolución. Entre las entradas cargadas, aproximadamente un 20% de las mismas están cargadas por encima del umbral de penalización ($th[f,i]$).

Tabla 1

Problema	Nº de eliminaciones	Nº de entradas	Nº de sectores	Nº de fracciones	Nº de variables		Nº de limitaciones		Tiempo (s)	Diferencia (%)	Carga (%)
p1	39	54	6	2	26.910	94	34.443	264	84	0	10
p1	39	54	6	2	26.899	223	35.439	657	84	0	20
p1	39	54	6	2	26.910	513	35.434	1.413	88	0	30
p1	39	54	6	2	26.910	1.367	35.434	3.712	146	0	50
p2.1	30	102	4	4	21.708	119	28.661	336	7	0	10
p2.1	30	102	4	4	21.708	334	28.661	962	-	0,77	20
p2.1	30	102	4	4	21.708	679	28.640	1.941	-	1,45	30
p2.1	30	102	4	4	21.708	1.331	28.618	3.742	-	5,95	50
p2.2	30	102	9	4	32.086	198	42.835	568	16	0	10
p2.2	30	102	9	4	32.086	545	42.375	1.616	-	0,32	20
p2.2	30	102	9	4	32.086	1.134	42.364	3.261	-	2,38	30
p2.2	30	102	9	4	32.086	2.096	42.342	5.951	-	10,34	50
p3.1	53	109	4	2	40.126	89	52.836	211	135	0	10
p3.1	53	109	4	2	40.126	260	52.825	625	138	0	20
p3.1	53	109	4	2	40.126	658	52.816	1.609	-	0,61	30
p3.1	53	109	4	2	40.126	1.015	52.794	2.429	169	0	50
p3.2	53	109	5	2	15.549	49	20.540	133	23	0	10
p3.2	53	109	5	2	15.549	104	20.529	288	23	0	20
p3.2	53	109	5	2	15.549	284	20.520	746	24	0	30
p3.2	53	109	5	2	15.549	1.476	20.488	1.235	25	0	50

Los problemas han sido solucionados con SCIP versión 2.1.1[3] con SoPlex 1.6 y configuraciones por defecto en un procesador de 2,66 GHz. Los tiempos de resolución son claramente adecuados para una operación en tiempo real.

- 5 Aunque solo se han divulgado en la presente memoria un número de realizaciones y de ejemplos particulares de la invención, los expertos en la técnica comprenderán que son posibles otras realizaciones y/o usos alternativos de la invención y evidentes modificaciones y equivalentes de las mismas. Además, la presente invención abarca todas las posibles combinaciones de las realizaciones particulares descritas. Los signos de referencia relacionados con los dibujos y colocados entre paréntesis en una reivindicación son únicamente para intentar aumentar la inteligibilidad de la reivindicación, y no deberá interpretarse que limiten el alcance de la reivindicación. Por lo tanto, el alcance de la presente invención no debería estar limitado por realizaciones particulares, sino que debería determinarse únicamente por una lectura imparcial de las siguientes reivindicaciones.

15 Además, aunque las realizaciones de la invención descritas con referencia a los dibujos comprenden un aparato informático y procedimientos llevados a cabo en el aparato informático, la invención también se extiende a programas informáticos, en particular programas informáticos en o sobre un soporte, adaptados para poner la invención en práctica. El programa puede tener la forma de código fuente, código objeto, un código intermedio entre código fuente y objeto tal como en forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma adecuada para su uso en la implementación de los procedimientos según la invención. El soporte puede ser cualquier entidad o dispositivo con capacidad de contener el programa.

20 Por ejemplo, el soporte puede comprender un medio de almacenamiento, tal como una ROM, por ejemplo, un CD ROM o una ROM semiconductora, o un medio de grabación magnética, por ejemplo un disquete o disco duro. Además, el soporte puede ser un soporte transmisible, tal como una señal eléctrica u óptica, que puede ser transportada mediante cable eléctrico u óptico o mediante radio u otros medios.

25 Cuando el programa está implementado en una señal que puede ser transportada directamente por medio de un cable u otro dispositivo o medio, el soporte puede estar constituido por tal cable u otro dispositivo o medio.

De forma alternativa, el soporte puede ser un circuito integrado en el que está embebido el programa, estando adaptado el circuito integrado para llevar a cabo los procedimientos relevantes, o para su uso en el desempeño de los mismos.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para la eliminación de residuos de una red de entradas (I) de residuos en un sistema automatizado de recogida de residuos, estando adaptadas dichas entradas para ser cargadas con al menos un tipo de fracción (f_i) de residuos, teniendo dicha red un nodo raíz (RN) en el que se encuentra la instalación de recogida, y
 - 5 comprendiendo dicho sistema al menos una válvula (vs) que define al menos dos sectores, comprendiendo cualquier sector el nodo raíz (RN) y las entradas conectadas con el mismo con una condición de la válvula (vs), bien abierta o bien cerrada, el procedimiento comprende utilizar técnicas de aprendizaje de máquina y algoritmos de programación lineal:
 - ordenar todas las entradas (I) del sistema de recogida de residuos por medio de un algoritmo de ordenación;
 - 10 - seleccionar la siguiente secuencia de entradas (I) de las que se tienen que descargar los residuos y ser transportados hasta el nodo raíz (RN), siendo dicha selección el resultado de un problema de optimización que comprende la minimización de una función de coste con al menos una limitación operativa, siendo la función de coste una función de al menos dos variables, siendo una variable una estimación del coste de la energía consumida en el
 - 15 transporte de los residuos desde las entradas (I) hasta el nodo raíz (RN), y siendo otra variable una penalización relacionada con entradas no descargadas (I) que están cargadas con residuos a un nivel por encima de su capacidad asignada, y siendo una limitación operativa que solo las entradas (I) procedentes de, como mucho, un sector pueden ser descargadas en cualquier secuencia diferenciada de descarga; y
 - 20 - transportar los residuos descargados desde las entradas (I) de la secuencia seleccionada hasta el nodo raíz (RN).
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de seleccionar la siguiente secuencia de entradas que han de ser descargadas es llevada a cabo en paralelo con la etapa de transportar los residuos desde las entradas de la última secuencia seleccionada.
3. Un procedimiento según la reivindicación 2, en el que la estimación del coste de la energía consumida se realiza por separado para la energía transitoria consumida cuando se cambia, de una secuencia a la siguiente, el sector en el que ha de tener lugar la descarga o la velocidad del aire que ha de ser aplicada a los residuos descargados, y para la energía estacionaria consumida durante el transporte de residuos propiamente dicho.
4. Un procedimiento según la reivindicación 3, en el que la función de coste comprende la suma de la estimación del coste de dicha energía transitoria y la estimación del coste de dicha energía estacionaria.
5. Un procedimiento según la reivindicación 3 o 4, en el que la estimación del coste de la energía transitoria es una función de al menos los tipos respectivos de fracción de residuos transportada en dos secuencias consecutivas de descarga, de las velocidades de aire respectivas para el transporte de residuos en dos secuencias consecutivas de descarga y de la cantidad de aire que ha de ser eliminado en una secuencia de descarga antes de que se inicie el transporte de residuos propiamente dicho.
6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que la estimación del coste de la energía estacionaria es una función de al menos la velocidad del aire para el transporte de residuos en una secuencia de descarga, de la cantidad de residuos que han de ser transportados en una secuencia de descarga, y de las entradas incluidas en una secuencia de descarga y del orden en el que dichas entradas han de ser descargadas.
7. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la red tiene forma de árbol.
8. Un procedimiento según la reivindicación 7, en el que la etapa de ordenar las entradas comprende las subetapas de:
 - ordenar las entradas en cada rama partiendo de la más alejada del nodo raíz y terminando en la más cercana al nodo raíz;
 - 45 - ordenar las ramas que unen un nodo de unión en el orden descendente de la distancia desde la última entrada de cada rama hasta el nodo raíz;
 - iterar todos los nodos de unión del árbol hasta que se ordenen todas las entradas.
9. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos un elemento de los siguientes es otra limitación operativa en la minimización de la función de coste:
 - solo se puede descargar un tipo de fracción de residuos en la siguiente secuencia de descarga;
 - como mucho hay activo un sector en la siguiente secuencia de descarga;
 - 55 - las entradas pertenecen a al menos un sector;

- al menos hay activa una entrada si un sector está activo;

no puede transportarse más de una máxima cantidad para cada tipo de fracción de residuos;

- 5 - la velocidad del aire está acotada por arriba y por abajo para cada tipo de fracción de residuos;

- solo se pueden descargar entradas cargadas a un nivel por encima de un umbral.

10. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende aplicar algoritmos de optimización a un modelo de los parámetros del sistema y codificar el modelo resultante como un programa de número entero de limitación.

11. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende la etapa de planificar las futuras secuencias de descarga con un horizonte temporal de al menos cien de tales secuencias.

12. Un procedimiento según la reivindicación 11, en el que dicha planificación comprende asignar un valor a cada estado del sistema de recogida de residuos, siendo cualquier estado tal una secuencia diferenciada seleccionable de descarga.

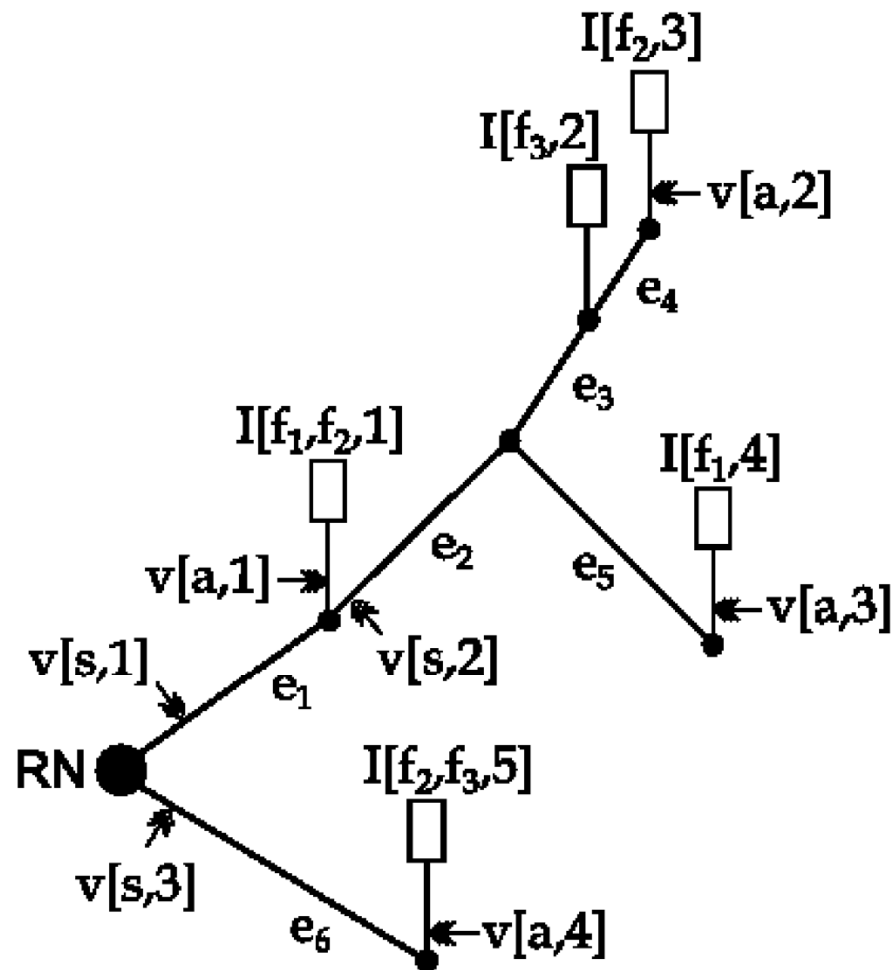
13. Un procedimiento según la reivindicación 12, en el que dicha asignación está basada en datos históricos compilados de las operaciones pasadas del sistema de recogida de residuos.

14. Un procedimiento según la reivindicación 12 o 13, en el que dicha planificación comprende definir y solucionar un problema de programación dinámica, en el que la etapa de resolución incluye dicha minimización de la función de coste, dado el estado actual del sistema de recogida de residuos y el valor asignado a cada estado del mismo.

15. Un producto de programa informático que comprende instrucciones de programa para provocar que un sistema informático lleve a cabo el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, para la eliminación de residuos de una red de entradas de residuos en un sistema automatizado de recogida de residuos, adaptadas dichas entradas de residuos para ser cargadas con al menos un tipo de fracción de residuos, teniendo dicha red un nodo raíz en el que se encuentra la instalación de recogida, y comprendiendo dicho sistema al menos una válvula que define al menos dos sectores, comprendiendo cualquier sector el nodo raíz y las entradas conectadas con el mismo con una condición de la válvula, bien abierta o bien cerrada.

16. Un medio de almacenamiento que tiene almacenado en el mismo el producto de programa informático de la reivindicación 15.

17. Una señal portadora que contiene el producto de programa informático de la reivindicación 15.



FIGURA