

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 153**

51 Int. Cl.:

C21D 11/00 (2006.01)

F27B 9/40 (2006.01)

F27D 19/00 (2006.01)

F27B 9/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.03.2011 PCT/IB2011/050899**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.01.2012 WO12004686**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2011 E 11716304 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019 EP 2591129**

54 Título: **Procedimiento de planificación de funcionamiento de dispositivos de distribución de energía, e instalación que implementa este procedimiento**

30 Prioridad:

09.07.2010 FR 1055596

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

07.04.2020

73 Titular/es:

**FIVES STEIN (100.0%)
108-112 Avenue de la Liberté
94700 Maisons Alfort, FR**

72 Inventor/es:

**CHERIF IDRISSE EL GANOUNI, OUSSAMA y
VALLET, GUY**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 753 153 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 de planificación de funcionamiento de dispositivos de distribución de energía, e instalación que implementa este procedimiento

5 La presente invención se refiere a la optimización de la alimentación de energía de una instalación equipada con dispositivos de distribución de energía que funcionan en modo todo o nada y en modulación de duración de funcionamiento. Los dispositivos de distribución de energía pueden ser, en concreto, quemadores o resistencias eléctricas.

10 La invención se refiere, más particularmente, a los hornos industriales equipados con quemadores como dispositivos de distribución de energía. La patente FR 2853959 describe un ejemplo de horno particularmente previsto por la invención.

15 Para un modo de funcionamiento de marcha/parada, cada quemador es alimentado con comburente y con combustible a través de válvulas automáticas de seccionamiento individuales. Cada válvula está equipada con detectores de posición, por ejemplo con un sensor de fin de carrera de apertura y con un sensor de fin de carrera de cierre.

20 Dos o más dispositivos de distribución de energía pueden funcionar de manera síncrona de modo que estén siempre encendido y apagados al mismo tiempo. En este caso, los dispositivos síncronos se consideran las partes de un mismo dispositivo de distribución de energía.

En lo sucesivo, se considerará que el comburente es aire y el combustible gas, sabiendo que son posibles cualquier tipo de comburente y de combustible según la invención.

25 El gobierno del horno se realiza por medio de un sistema de control-mando que, a partir de las necesidades necesarias para el calentamiento de los productos, determina la demanda de energía térmica que debe suministrar cada quemador, en concreto en función de su posición en el horno.

30 Las demandas de energía térmica se actualizan periódicamente sobre la base de un intervalo de tiempo I , de duración D múltiplo entero de una unidad de medida de tiempo τ , normalmente el segundo. La duración D del intervalo de tiempo está en concreto en función del tamaño de los quemadores, de las válvulas de bloqueo y del horno. Por ejemplo definida en 60 segundos, se ajusta a continuación durante la puesta en servicio, por ejemplo entre 30 y 120 segundos.

35 Al funcionar los quemadores en modo todo o nada, la demanda de energía térmica se traduce en una duración de encendido. De este modo, durante el intervalo de tiempo I , el tiempo de apertura Δi y de cierre de las válvulas de aire y de gas de cada quemador es proporcional a la demanda de energía térmica para el quemador considerado. El tiempo de apertura Δi es inferior, o como máximo igual a la duración D del intervalo de tiempo I .

40 La apertura y el cierre de las válvulas de aire y/o de gas perturban el equilibrio de las presiones en las canalizaciones, en el horno y en el conducto de evacuación de los productos de combustión. Las perturbaciones creadas de este modo son tanto más importantes en cuanto varía el número de válvulas abiertas a menudo y fuertemente durante el intervalo de tiempo. Los diferentes bucles de control de la instalación no son capaces de estabilizar las presiones si la planificación del encendido de los quemadores no se selecciona de manera óptima. El término "planificación" designa la distribución temporal de las duraciones de funcionamiento de los quemadores en el intervalo de tiempo I .

45 Por otra parte, para quemadores de fuertes potencias, las válvulas de alimentación de aire y gas son de grandes dimensiones. De ello resulta que las aperturas y los cierres completos de las válvulas no son inmediatos y necesitan un cierto plazo que es necesario tener en cuenta antes de solicitar de nuevo las válvulas. Durante estos regímenes transitorios, la combustión no es óptima en términos de rendimiento energético y de contaminación. De este modo, cuando la demanda energética es demasiado baja, la duración de encendido de estos quemadores no es suficiente para que la combustión sea correcta.

50 Asimismo, los frecuentes cambios de estados, que corresponden al encendido o a la parada de un quemador, son la causa de la fatiga mecánica de las válvulas y de los quemadores. La reducción de la frecuencia de estos cambios de estados permite aumentar su vida útil.

60 Por otra parte, cuando las demandas energéticas son demasiado significativas, existe un riesgo de superación de la capacidad del horno que puede traducirse en una situación de escasez de aire y/o de gas. La capacidad del horno depende del diseño inicial, pero también del estado de marcha de los diversos equipos. Por motivos de seguridad, la superación de capacidad activa generalmente la parada de funcionamiento del horno.

Como se acaba de ver, numerosos problemas pueden resultar de una mala planificación del encendido de los quemadores.

65 La patente FR2853959 describe un procedimiento de control de un horno de calentamiento de siderurgia caracterizado

5 por que el orden de encendido de los quemadores se selecciona para reducir las variaciones de presión en el horno y en los circuitos de alimentación de carburante y comburente de los quemadores. Según este procedimiento, la posición de la secuencia de funcionamiento de un quemador en el intervalo de tiempo T se selecciona en función de la de los otros quemadores. Esta solución presenta límites en concreto cuando numerosos quemadores tienen una secuencia de funcionamiento de una duración superior a la mitad de la duración del intervalo de tiempo T.

10 Para definir la planificación óptima, la primera limitación a la que se debe hacer frente es la del tiempo necesario para un ordenador o computadora que envía las instrucciones de apertura y de cierre a las válvulas de alimentación de los quemadores. Está claro que en un marco operativo solamente se dispone de varios segundos para encontrar una planificación que responda a todos los criterios enunciados anteriormente, lo que excluya la utilización de los enfoques habituales del tipo búsquedas exhaustivas que pueden necesitar un tiempo de cálculo significativo.

15 De este modo, la invención consiste principalmente en un procedimiento de optimización de la alimentación de energía, en un intervalo de tiempo I de duración D, de una instalación equipada con N dispositivos de distribución de energía que funcionan en modo todo o nada y en modulación de duración, una duración de funcionamiento Δi, inferior o igual a D, estando atribuida a cada uno de los N dispositivos de distribución de energía en el intervalo de tiempo I, deduciéndose las duraciones Δi de la demanda energética en la instalación, y suministradas por un sistema de control-mando de la instalación, caracterizado por que:

- 20 - la duración de funcionamiento Δi de un dispositivo de distribución de energía está, bien constituida por una sola secuencia de funcionamiento de duración Δi, bien dividida en varias secuencias de duraciones parciales, cuya suma es igual a Δi,
 - una planificación se define en el intervalo de tiempo I por una distribución temporal del conjunto de las secuencias de funcionamiento de los N dispositivos de distribución de energía,
 25 - la planificación se calcula antes del comienzo del intervalo de tiempo I teniendo en cuenta las duraciones deseadas Δi de funcionamiento de cada dispositivo de distribución de energía,
 - y que la planificación se calcula como sigue:

- 30 a/ se selecciona una planificación inicial cualquiera,
 b/ se asocia un número de orden de 1 a N a cada dispositivo de distribución,
 c/ se busca, para el dispositivo de distribución de número de orden 1, el número, la o las duraciones y la o las posiciones en el intervalo de tiempo I de la o de las secuencias de funcionamiento de este dispositivo de distribución que permiten minimizar una función U representativa de las fluctuaciones del flujo de energía en el intervalo de tiempo, conservando las secuencias de los otros dispositivos las posiciones de la planificación
 35 inicial,
 y se obtiene una planificación resultante con el número, la o las duraciones y la o las posiciones óptimas conservadas para la o las secuencias del dispositivo de número de orden 1,
 d) se reitera la etapa c) a partir de la planificación resultante de la etapa c) considerando sucesivamente los dispositivos de distribución de número de orden superior hasta el dispositivo de distribución de número de orden
 40 N,

Ventajosamente, el procedimiento de optimización de la alimentación de energía consta de las etapas suplementarias siguientes:

- 45 e) utilizando como planificación inicial la planificación conservada en la etapa d), se asocia un nuevo número de orden de 1 a N a cada dispositivo de distribución y se reiteran las etapas c) y d),
 f) se reitera la etapa e) un número de veces compatible con el tiempo de cálculo disponible antes del comienzo del intervalo de tiempo.

50 Según una variante particularmente ventajosa de la invención, el número de orden atribuido a cada dispositivo de distribución está en función de las duraciones de funcionamiento deseadas, el dispositivo de número de orden 1 es aquel cuya duración de funcionamiento deseada es la más larga y el dispositivo de número de orden N es aquel cuya duración de funcionamiento deseada es la más corta.

55 La función U a minimizar puede ser la suma del valor absoluto de las fluctuaciones del flujo de energía Qj en torno a un valor medio Qmed durante el intervalo de tiempo I:

$$U = \sum_{j=1}^M |Q_j - Q_{med}|$$

60 También se puede conservar como planificación aquella que minimiza una función U que tiene en cuenta no solamente

la fluctuación del flujo de energía durante el intervalo de tiempo I , sino también la variación del flujo de energía entre el instante anterior al comienzo del intervalo de tiempo y el instante siguiente al comienzo del intervalo de tiempo. La función U es entonces la suma del valor absoluto de las fluctuaciones del flujo de energía en torno a un valor medio durante el intervalo de tiempo I y de la variación del flujo total de energía entre el instante anterior al comienzo del intervalo de tiempo y el instante siguiente al comienzo del intervalo de tiempo.

Otro ejemplo de función U a minimizar está constituido por la suma de los cuadrados de las desviaciones con respecto a la media aritmética:

$$U = \sum_{j=1}^M (Q_j - Q_{med})^2$$

Según otro ejemplo, la función U a minimizar está constituida por la suma del valor absoluto de las variaciones del flujo de energía entre dos subdivisiones sucesivas durante el intervalo de tiempo I :

$$U = \sum_{j=1}^{M-1} |Q_j - Q_{j+1}|$$

Según aún otro ejemplo, la función U a minimizar está constituida por la suma del cuadrado de las variaciones del flujo de energía entre dos subdivisiones sucesivas durante el intervalo de tiempo I :

$$U = \sum_{j=1}^{M-1} (Q_j - Q_{j+1})^2$$

Se pueden añadir términos suplementarios a la función U a minimizar.

Según otra posibilidad, se conserva como planificación aquella para la cual el flujo total de energía generado no supera un umbral definido.

Ventajosamente, se garantiza que el flujo total de energía generado por la planificación obtenida no supera un umbral definido.

Preferentemente, las duraciones de funcionamiento deseadas de los dispositivos de distribución de energía se reducen si conducen a un flujo de energía total que supera el umbral definido.

Ventajosamente, para cada dispositivo de distribución de energía, la divergencia entre la duración de funcionamiento en un intervalo de tiempo I y la duración deseada de funcionamiento del dispositivo está limitada por una divergencia máxima, en concreto el 5 % de la duración del intervalo de tiempo.

Preferentemente, las secuencias para cada dispositivo de distribución de energía corresponden como máximo a tres cambios de estado del dispositivo en un intervalo de tiempo I .

Ventajosamente, dos cambios de estado sucesivos de cada dispositivo de distribución de energía están separados por una divergencia de tiempo mínima que corresponde por ejemplo al tiempo necesario para el establecimiento de un régimen permanente del dispositivo de distribución de energía, en concreto de modo que tenga en cuenta el tiempo de apertura o de cierre de las válvulas. La divergencia de tiempo mínima, puede ser al menos igual a la vigésima de la duración D del intervalo de tiempo, es decir $D/20$.

Para cada dispositivo de distribución de energía, el último cambio de estado durante el intervalo de tiempo I está preferentemente separado por una divergencia de tiempo mínima del fin del intervalo, en concreto al menos igual a la vigésima de la duración D del intervalo de tiempo, es decir $D/20$.

La búsqueda de la o de las secuencias de funcionamiento de un dispositivo de distribución de energía que permiten minimizar la función U se puede efectuar en un subconjunto definido del conjunto de las secuencias posibles.

Preferentemente, el subconjunto definido del conjunto de las secuencias posibles está constituido por secuencias que constan como máximo de tres cambios de estado de un dispositivo de distribución de energía en un intervalo de tiempo I .

5 Según un ejemplo de realización de la invención, una planificación inicial es aquella en la que todos los dispositivos de distribución de energía están en parada durante el intervalo de tiempo I .

10 El número de orden atribuido a cada dispositivo de distribución después la primera iteración se puede seleccionar de manera aleatoria.

15 El intervalo de tiempo I se divide ventajosamente en un número M de subdivisiones temporales de duraciones no necesariamente iguales. Los cambios de estado de los dispositivos de distribución tienen lugar entre dos subdivisiones temporales sucesivas.

20 Según un ejemplo de realización de la invención, los estados de los dispositivos de distribución se codifican según una matriz binaria Z de tamaño $N \times M$ (N líneas \times M columnas) de la que cada una de las N líneas codifica el estado de los diferentes dispositivos de distribución durante las M subdivisiones temporales sucesivas y cada columna corresponde a una subdivisión temporal.

25 Según otro ejemplo de realización de la invención, la función U se expresa en la forma $\sum_i \sum_j a_{ij} y_i y_j$, que es la suma ponderada de los productos de los pares de componentes $y_i y_j$ de un vector Y , con i y j índices enteros entre 1 y $N \times M$, y son coeficientes de ponderación.

30 El flujo total de energía resultante de la planificación es, en cada instante del intervalo de tiempo I , la suma de los flujos generados por los dispositivos de distribución en marcha en ese instante.

35 Según la invención, el objetivo de la optimización pretende también que el flujo de energía sea monótono, creciente o bien decreciente, durante el intervalo de tiempo.

40 Según la invención, la variación del flujo de energía, entre dos subdivisiones temporales sucesivas, generada por la elección de planificación de cada dispositivo de distribución de energía no debe ser mayor que un valor máximo determinado en función de las características y de las reactividades de las diferentes partes del sistema. Para quemadores, se trata en concreto de las características y de las reactividades de las válvulas de bloqueo, del ventilador de aire de combustión, del regulador de presión en la red de gas, del extractor de humos y de las dimensiones de los circuitos de aire, gas y humos. El valor máximo de la variación es, preferentemente, inferior o igual a la mitad del valor del flujo de energía antes de la variación.

45 Además, la optimización pretende que el flujo total de energía generado no supere un umbral definido. Este umbral puede ser diferente según el intervalo de tiempo I considerado. Puede resultar por ejemplo del flujo máximo de energía $Q_{\text{máx}}$ que corresponde a la capacidad del horno. También puede estar en función del flujo de energía del intervalo de tiempo anterior, por ejemplo para limitar las variaciones de flujo entre dos intervalos de tiempo sucesivos.

50 De este modo, las duraciones de funcionamiento deseadas de los dispositivos de distribución de energía, en función de la demanda del sistema de control-mando, se reducen si conducen a un flujo total que supera el umbral definido.

55 Según una variante de realización de la invención, la búsqueda de una solución, en cada actualización de las demandas energéticas, se desarrolla en dos etapas, siendo siempre el objetivo proponer una planificación para cada intervalo de tiempo de duración D que satisface de la mejor manera las demandas energéticas sin provocar nunca la parada del horno:

1/ Búsqueda de una primera planificación en la que, para cada quemador, el encendido se seleccionará de modo que no haya más de tres cambios de estado, que se respeten las duraciones de establecimiento y de extinción de la llama y que no haya cambios de estado al final del intervalo de tiempo,

2/ Ajuste de la solución siguiendo el principio del método del recocido simulado que consiste en favorecer las mejores planificaciones sin excluir, no obstante, las menos buenas. El proceso se detiene al cabo de un número fijo de iteraciones o bien al finalizar un plazo fijo y se conserva la mejor solución obtenida.

60 La lista de los dispositivos de distribución de energía se recorre siguiendo un orden definido y, para cada dispositivo de la lista, se selecciona la planificación del encendido de este dispositivo en el subconjunto de los valores posibles que respeta la duración de encendido deseada y que minimiza la función U , teniendo en cuenta las elecciones de planificación ya efectuadas para los dispositivos de distribución de energía anteriores y considerando que los dispositivos de distribución de energía siguientes están en parada.

65 Según una variante de realización de la invención, la lista de los dispositivos de distribución de energía se recorre

siguiendo un orden aleatorio y, para cada dispositivo de la lista, se selecciona la planificación del encendido de este dispositivo en el subconjunto de los valores posibles que respeta la duración de encendido deseada y que minimiza la función U , teniendo en cuenta las planificaciones ya efectuadas para los otros dispositivos de distribución de energía.

5 El recorrido de la lista de los dispositivos de distribución de energía se reitera un número fijo de veces, en particular una centena, o bien durante una duración limitada, en particular uno a dos segundos, y se conserva, tras esto, la mejor planificación obtenida.

10 Según un ejemplo de realización de la invención, los dispositivos de distribución de energía son quemadores y el flujo de energía de la instalación es proporcional al flujo de alimentación de los quemadores con combustible. Los dispositivos de distribución de energía también pueden estar constituidos por resistencias eléctricas.

15 El procedimiento definido anteriormente se implementa ventajosamente para el manejo de un horno de calentamiento cuyos dispositivos de distribución de energía están constituidos por quemadores o resistencias eléctricas.

20 La invención también se refiere a una instalación equipada con dispositivos de distribución de energía que funcionan en modo todo o nada y en modulación de duración de funcionamiento, caracterizada por que consta de un ordenador o computadora programado para controlar los dispositivos de distribución de energía siguiendo un procedimiento tal como se definió anteriormente, estando la instalación dispuesta para ejecutar la planificación del conjunto de las secuencias de funcionamiento de los dispositivos de distribución de energía, tal como se ha definido anteriormente.

La instalación está constituida, ventajosamente, por un horno industrial.

25 La invención consiste, aparte de las disposiciones mencionadas anteriormente, en cierto número de otras disposiciones que se tratarán a continuación en relación con ejemplos de realización, descritos con referencia a los dibujos adjuntos, pero que no son en absoluto limitantes. En estos dibujos:

La figura 1 es una vista esquemática simplificada de un horno industrial equipado con quemadores que constituyen los dispositivos de distribución de energía.

30 La figura 2 comprende dos diagramas simplificados que ilustran, en función del tiempo representado en el eje de abscisas, el flujo de energía Q representado en el eje de ordenadas para una primera planificación de las duraciones de funcionamiento de cuatro quemadores.

35 La figura 3 muestra, de manera similar a la figura 2, el flujo de energía para una planificación diferente con las mismas duraciones de funcionamiento de los cuatro quemadores, modificándose solamente la posición de la duración de funcionamiento de un quemador.

La figura 4 es un diagrama que ilustra una curva del flujo de energía Q representado en el eje de ordenadas, en función del tiempo representado en el eje de abscisas.

La figura 5 muestra de manera similar a la figura 4 una curva del flujo de energía Q en función del tiempo, con una fuerte caída del flujo de energía en un segmento temporal reducido.

40 La figura 6 es un diagrama que ilustra esquemáticamente una pendiente de variación del flujo de energía en función del tiempo.

La figura 7 es una representación esquemática de un intervalo de tiempo con subdivisiones.

45 La figura 8 es una vista esquemática del intervalo de tiempo de la figura 7 en el que el estado "parada" de un dispositivo de distribución de energía se representa mediante un trazo grueso que se confunde con el eje de abscisas (valor 0).

La figura 8 es una vista esquemática del intervalo de tiempo de la figura 7 en el que el estado "marcha" del dispositivo de distribución de energía se representa en forma de un trazo grueso de ordenada 1.

La figura 10 representa, de manera similar a la figura 9, un cambio de estado del dispositivo de distribución de energía en el intervalo de tiempo.

50 La figura 11 muestra, de manera similar a la figura 10, otro cambio de estado del dispositivo de distribución de energía.

La figura 12 representa, de manera similar a la figura 10, dos cambios de estado del dispositivo de distribución de energía en el intervalo de tiempo considerado.

55 La figura 13 muestra, de manera similar a la figura 12, otros dos cambios de estado del dispositivo de distribución de energía.

La figura 14 muestra, de manera similar a la figura 12, tres cambios de estado del dispositivo de distribución de energía.

La figura 15 muestra, de manera similar a la figura 14, otros tres cambios de estado del dispositivo de distribución de energía, y,

60 La figura 16 es una representación esquemática de la codificación del estado de los dispositivos de distribución de energía en forma de una matriz binaria.

65 La descripción a continuación se refiere al caso particular de un horno industrial equipado con varios quemadores que constituyen los dispositivos de distribución de energía, pero la invención se aplica a cualquier instalación equipada con dispositivos de distribución de energía, en concreto con resistencias eléctricas, que funcionan en modo todo o nada, y en modulación de duración de funcionamiento.

- Volviendo a la figura 1, se puede ver, representado esquemáticamente, un horno industrial 1, en concreto para el calentamiento de productos siderúrgicos que desfilan de forma continua según el sentido de las flechas 2, entrando por la izquierda del horno 1 y saliendo por la derecha según el ejemplo dibujado. El horno está equipado con quemadores B1, B2...BN que funcionan en modo todo o nada (marcha/parada) y en modulación de duración. El número N de quemadores B1, B2... puede ser de varias decenas, estando estos quemadores distribuidos, durante el diseño, a lo largo de la longitud del horno, según los procesamientos a los que esté destinado este horno.
- Cada quemador B1, B2...es alimentado con combustible a partir de una canalización común 3a, 3b, común a varios quemadores, por una válvula automática de bloqueo 4b1, 4b2...Las canalizaciones 3a, 3b constituyen ramas de derivación de una canalización 3 generalmente equipada de un caudalímetro 3c aguas arriba de las ramas 3a, 3b.
- Asimismo, la alimentación con comburente, en concreto aire u oxígeno, de cada quemador, se garantiza mediante una canalización general 5 y mediante derivaciones con válvulas 6b1, 6b2... individuales para cada quemador.
- Las válvulas 4b1, 4b2... 6b1, 6b2... están controladas por un ordenador o computadora 7. El gobierno del horno, a partir de las necesidades necesarias para el calentamiento de los productos que desfilarán en este horno, se realiza con ayuda de un programa instalado en el ordenador 7. El programa está adaptado al tipo de productos, a su velocidad de desfile, al procesamiento deseado. Este programa determina, para cada quemador B1, B2...BN la cantidad de energía térmica que debe suministrar en un intervalo de tiempo I de duración D . Esta cantidad de energía corresponde, para un quemador B_i , a una duración de funcionamiento Δ_i , inferior o igual a la duración D del intervalo de tiempo I . Esta duración de funcionamiento es propia de cada quemador y depende en concreto de su potencia, de su posición y del régimen térmico que se desea obtener en el horno. Los intervalos de tiempo D tienen una duración limitada, por ejemplo de 30 a 120 segundos, y el ordenador 7 calcula para cada intervalo de tiempo sucesivo valores Δ_i para cada quemador.
- La invención pretende optimizar el suministro de energía por el conjunto de los quemadores B_i en los intervalos de tiempo I y limitar las fluctuaciones de presión en el horno y en las redes de alimentación de comburente y combustible.
- La figura 2 comprende dos diagramas simplificados. El diagrama 2.1 representa para cuatro quemadores B1, B2, B3, B4 con una planificación posible, aleatoria, duraciones de funcionamiento $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ atribuidas a cada uno de los cuatro quemadores en el intervalo de tiempo I . Las ondas cuadradas CB1, CB2, CB3, CB4 en el diagrama 2.1 ilustran el estado de marcha del quemador. El diagrama 2.2. representa el flujo de energía Q suministrado por los quemadores, representado en el eje de ordenadas, en función del tiempo representado en el eje de abscisas. En este ejemplo, los cuatro quemadores tienen una misma potencia unitaria.
- El diagrama 2.2 revela una franja de solapamiento de las duraciones de funcionamiento de los quemadores B1, B2, B3, B4 lo que conduce a un pico del flujo total de energía a un nivel Q_4 . De manera general, la figura 2 revela una variación importante del flujo de energía en el intervalo de tiempo I que no es favorable a buenas condiciones de funcionamiento y de distribución de las presiones en el horno 1.
- La figura 3 ilustra una planificación diferente de las duraciones de funcionamiento de los cuatro quemadores B1, B2, B3, B4 de la figura 2. Solamente el funcionamiento del quemador B1 se ha modificado con respecto a la figura2. Este se ha distribuido en dos secuencias de funcionamiento distintas $\Delta_{1.1}, \Delta_{1.2}$ que corresponde a dos ondas cuadradas CB1.1 y CB1.2. El diagrama 3.2 revela una franja de solapamiento de las duraciones de funcionamiento de los quemadores B2, B3, B4, pero ya no del quemador B1, lo que conduce a un pico del flujo total de energía a un nivel Q_3 inferior a Q_4 . La planificación de la figura 3 para las duraciones de funcionamiento de los cuatro quemadores permite, con respecto a la de la figura2, reducir la variación de flujo de energía, y por lo tanto las fluctuaciones de presión en las canalizaciones de alimentación, así como en el horno, y mejorar las condiciones de funcionamiento.
- Se concibe que para un número de quemadores mayor, en concreto de varias decenas, una optimización de la distribución temporal de las duraciones de funcionamiento será ventajosa para el componente del conjunto de la instalación.
- Cabe destacar que la duración de funcionamiento Δ_i puede estar constituida por una sola secuencia de funcionamiento (de duración Δ_i), o puede dividirse como se ha explicado en relación con las figuras 7-15 en varias secuencias de duraciones parciales inferiores a Δ_i , pero cuya suma es igual a Δ_i .
- Para optimizar la alimentación de energía en el intervalo de tiempo I de duración D , se determina una planificación de las duraciones de funcionamiento Δ_i de cada uno de los N quemadores B1, B2,...BN procediendo según las etapas siguientes:
- Etap a)* se selecciona una planificación inicial cualquiera,
 - Etap b)* se asocia un número de orden de 1 a N a cada quemador B1... BN,
 - Etap c)* se busca para el quemador B1 (de número de orden 1) la o las posiciones óptimas de la duración de funcionamiento CB1 en el intervalo de tiempo I que permiten minimizar una función U representativa de las

fluctuaciones del flujo de energía en el intervalo de tiempo I , conservando las duraciones de funcionamiento de los otros quemadores B2... BN las posiciones de la planificación inicial,

5 y se obtiene una planificación resultante mejorada con la o las posiciones óptimas conservadas para las secuencias del quemador B1.

Un ejemplo simplificado de este resultado se suministra mediante la planificación de la figura 3: la posición modificada de la duración CB1 en CB1.1 y CB1.2, mientras que las duraciones CB2, CB3 y CB4 han conservado las posiciones de la figura 2, condujo a una disminución de la amplitud de la variación de flujo.

10 La función U puede asumir diversas formas.

En la figura 4 se ha representado mediante una curva 9 el flujo de energía Q representado en el eje de ordenadas, en función del tiempo representado en el eje de abscisas en el intervalo de tiempo I de duración D , para una planificación determinada de los quemadores B1... BN. El área comprendida entre la curva 9 y el eje de abscisas representa la cantidad de energía suministrada en el intervalo de tiempo I y corresponde a la instrucción global de suministro de energía dada de manera conocida por el ordenador 7. La curva 9 traduce fluctuaciones a uno y otro lado del valor medio Q_{medio} del flujo en el intervalo I representado por la línea recta 10, paralela al eje de abscisas. La curva 9 ilustra también las fluctuaciones de flujo de combustible a nivel del caudalímetro 3c. La línea recta 10 determina con la curva 9 áreas iguales por encima y por debajo de la línea 10.

La curva 9 puede ser establecida por el ordenador 7 que efectúa un muestreo de n muestras, con incrementos de tiempo suficientemente reducidos, en concreto del orden de la centésima de D , es decir $D/100$, y que determina para cada una de las n muestras el flujo de energía Q_j basándose en los quemadores que estarán encendidos en este instante.

Un primer ejemplo de función U que se busca minimizar es la suma del valor absoluto de las fluctuaciones del flujo de energía Q_j en torno a un valor medio Q_{med} durante el intervalo de tiempo I :

$$U = \sum_{j=1}^M |Q_j - Q_{\text{med}}|$$

30 Otro ejemplo de función U a minimizar está constituido por la suma de los cuadrados de las desviaciones con respecto a la media aritmética:

$$U = \sum_{j=1}^M (Q_j - Q_{\text{med}})^2$$

35 El programa instalado en el ordenador 7 garantiza este procesamiento de minimización que se traduce en una planificación óptima de las duraciones de funcionamiento de los quemadores.

Otro criterio que puede ser tenido en cuenta para la optimización de la planificación se ilustra esquemáticamente por el diagrama de la figura 5. La curva 11 de flujo en función del tiempo garantiza una cantidad de energía total en el intervalo I igual a la de la figura 4 y que corresponde al valor medio Q_{medio} representado por la línea recta 12 paralela al eje de abscisas. La energía suministrada durante el intervalo I corresponde al área delimitada, en el intervalo I , entre la línea 12 y el eje de abscisas. Debido a que las áreas situadas por encima y por debajo de la línea 12 entre la curva 11 y la línea 12 son iguales, se encuentra, con la planificación que corresponde a la curva 11, una energía global suministrada en el intervalo I que corresponde al valor deseado pero se produce un pico negativo 13, que corresponde a una caída del flujo en un tiempo reducido. Puede ser deseable evitar dichas caídas bruscas de flujo aunque el objetivo de suministro de energía deseada en el intervalo de tiempo I esté garantizado.

En este caso, En este caso, la función U podrá tener en cuenta un límite determinado, en concreto igual a la mitad de Q_{medio} , es decir $Q_{\text{medio}}/2$, para mantener el valor absoluto de la divergencia entre los diversos valores Q_j de la curva representativa del flujo en el intervalo I y el valor medio Q_{medio} inferior a este límite determinado.

La función U puede tener en consideración, además, la diferencia de flujo de energía (figura 5) entre el final del intervalo anterior y el comienzo del nuevo intervalo, que corresponde al segmento vertical 14, para minimizar esta diferencia de flujo de energía.

Se puede conservar como planificación óptima aquella que minimiza una función U que tiene en cuenta no solamente la fluctuación del flujo de energía durante el intervalo de tiempo I , sino también la variación del flujo de energía entre el instante anterior al comienzo del intervalo de tiempo y el instante siguiente al comienzo del intervalo de tiempo. La función U puede ser entonces la suma del valor absoluto de las fluctuaciones ($Q_j - Q_{\text{medio}}$) del flujo de energía en torno a un valor medio Q_{medio} durante el intervalo de tiempo I y de la variación 14 del flujo total de energía entre el instante anterior al comienzo del intervalo de tiempo y el instante siguiente al comienzo del intervalo de tiempo. La figura 6 es un diagrama que revela la consideración de la pendiente de la variación del flujo de energía (representada en el eje de ordenadas) en función del tiempo representado en el eje de abscisas en la búsqueda de una optimización. La planificación óptima se puede determinar como aquella que permite obtener un ángulo 15 de inclinación de la curva de variación del flujo, en la línea media 16, que sea lo más pequeño posible. La función U a minimizar puede definirse entonces como la pendiente de la tangente a la curva de flujo en un punto.

Después de determinar una planificación con una posición óptima, o posiciones óptimas en el caso de un fraccionamiento, conservada para la duración de funcionamiento del quemador B1 de número de orden 1, se reitera la etapa c) a partir de esta planificación considerando sucesivamente los quemadores de número de orden superior hasta el quemador de número de orden N .

En cada reiteración, solamente se desplaza, en el intervalo I , la posición de la duración de funcionamiento del quemador cuyo número de orden es tenido en consideración, no desplazándose las otras secuencias en el intervalo I .

Etapa e) Utilizando como planificación inicial aquella conservada en la *etapa d)*, se asocia un nuevo número de orden de 1 a N a cada quemador y se reiteran las *etapas c y, d)*.

Etapa f) Se reitera la *etapa e)* un número de veces compatible con el tiempo de cálculo disponible antes del comienzo del intervalo de tiempo I siguiente; este número de reiteraciones depende de la velocidad de cálculo del ordenador 7.

Según una realización ventajosa, que corresponde a las figuras 7-15, el intervalo de tiempo I se divide en un número M de subdivisiones temporales de duraciones no necesariamente iguales. Los cambios de estado de los quemadores, o más generalmente de los dispositivos de distribución de energía, tienen lugar entre dos subdivisiones temporales sucesivas.

Para una representación de marcha/parada, es posible, como se ilustra en las figuras 7-15, hacer abstracción de la potencia y representar únicamente el estado de marcha o de parada del quemador mediante una magnitud binaria 1 o 0. Para hacer intervenir la potencia del quemador, se introduce entonces un coeficiente de ponderación q_i asignado a este quemador, y representativo de su potencia.

Volviendo a la figura 7, se puede ver representada esquemáticamente, una cuadrícula de un intervalo de tiempo I dividida en diez subdivisiones temporales 17. Las líneas horizontales discontinuas 18a y 18b representan estados del dispositivo de distribución de energía. Para comentar las figuras, se considera que el dispositivo de distribución de energía es un quemador. En el nivel 18a (estado "1"), el quemador está encendido mientras que en el nivel 18b ("estado 0"), el quemador está apagado.

Volviendo a la figura 8 de los dibujos, se puede ver representada esquemáticamente la cuadrícula de un intervalo de tiempo de la figura 7. En esta, se representa en trazo grueso 19 la evolución del estado del quemador. En este intervalo de tiempo, el quemador está permanentemente en parada.

Volviendo a la figura 9 de los dibujos, se puede ver representada esquemáticamente la cuadrícula de un intervalo de tiempo de la figura 7. En esta, se representa en trazo grueso 20 la evolución del estado de un quemador. En este intervalo de tiempo, el quemador está encendido de forma permanente.

En los ejemplos representados en la figura 8 y la figura 9, no hay ningún cambio de estado del quemador.

Volviendo a la figura 10 de los dibujos, se puede ver representada esquemáticamente la cuadrícula de un intervalo de tiempo de la figura 7. En este intervalo de tiempo, el quemador está encendido en la sección 21. Entre la 5ª y la 6ª subdivisión temporal, el quemador está apagado y se mantiene en parada en la sección 22.

Volviendo a la figura 11 de los dibujos, se puede ver representada esquemáticamente la cuadrícula de un intervalo de tiempo de la figura 7. En este intervalo de tiempo, el quemador está apagado en la sección 23. Entre la 5ª y la 6ª subdivisión temporal, el quemador está encendido y se mantiene en marcha en la sección 24.

En los ejemplos representados en la figura 10 y la figura 11, hay, por lo tanto, un solo cambio de estado del quemador.

Volviendo a la figura 12 de los dibujos, se puede ver representada esquemáticamente la cuadrícula de un intervalo de tiempo de la figura 7. En este intervalo de tiempo, el quemador está apagado en la sección 25. Entre la 3ª y la 4ª

subdivisión temporal, el quemador está encendido y se mantiene en marcha en la sección 26. Entre la 6ª y la 7ª subdivisión temporal, el quemador está apagado y se mantiene en parada en la sección 27.

5 Esta figura 12 representa un intervalo de tiempo que comprende una sola secuencia de funcionamiento posible según la invención, con un primer cambio de estado entre la 3ª y la 4ª subdivisión temporal, y un segundo cambio de estado entre la 6ª y la 7ª subdivisión temporal. Una secuencia similar a la de la figura 12 pero con un primer cambio de estado entre la 2ª y la 3ª subdivisión temporal, y un segundo cambio de estado entre la 7ª y la 8ª subdivisión temporal forma también parte del subconjunto de las secuencias posibles según la invención.

10 Volviendo a la figura 13 de los dibujos, se puede ver representada esquemáticamente la cuadrícula de un intervalo de tiempo de la figura 7. En este intervalo de tiempo, el quemador está en funcionamiento en la sección 28. Entre la 3ª y la 4ª subdivisión temporal, el quemador está apagado y se mantiene en parada en la sección 29. Entre la 6ª y la 7ª subdivisión temporal, el quemador está encendido y se mantiene en marcha en la sección 30.

15 En los ejemplos representados en la figura 12 y la figura 13, hay, por lo tanto, dos cambios de estado del quemador.

Volviendo a la figura 14 de los dibujos, se puede ver representada esquemáticamente la cuadrícula de un intervalo de tiempo de la figura 7. En este intervalo de tiempo, el quemador está en funcionamiento en la sección 31. Entre la 3ª y la 4ª subdivisión temporal, el quemador está apagado y se mantiene en parada en la sección 32. Entre la 5ª y la 6ª subdivisión temporal, el quemador está encendido y se mantiene en marcha en la sección 33. Entre la 6ª y la 7ª subdivisión temporal, el quemador está apagado y se mantiene en parada en la sección 34.

20 Volviendo a la figura 15 de los dibujos, se puede ver representada esquemáticamente la cuadrícula de un intervalo de tiempo de la figura 7. En este intervalo de tiempo, el quemador está en parada en la sección 35. Entre la 3ª y la 4ª subdivisión temporal, el quemador está encendido y se mantiene en marcha en la sección 36. Entre la 5ª y la 6ª subdivisión temporal, el quemador está apagado y se mantiene en parada en la sección 37. Entre la 6ª y la 7ª subdivisión temporal, el quemador está encendido y se mantiene en funcionamiento en la sección 38.

30 En los ejemplos representados en la figura 14 y la figura 15, hay, por lo tanto, tres cambios de estado del quemador.

Los perfiles de cambio de estado de un dispositivo de distribución de energía representados en las figuras 10 a 15 se dan a modo de ejemplo no limitante, pudiendo producirse cada cambio de estado al final de otra subdivisión temporal.

35 La divergencia de tiempo entre dos cambios de estado, es decir la distancia horizontal entre dos segmentos verticales sucesivos en la figura 12 a 15, es superior a un límite determinado, en particular a la vigésima de la duración D del intervalo, es decir superior a $D/20$.

40 El último cambio de estado en el intervalo I está separado del final de este intervalo I por una divergencia de tiempo mínima, en particular al menos igual a la vigésima de la duración D del intervalo, es decir $D/20$.

45 Según un ejemplo de realización de la invención representado en la figura 16, los estados de los dispositivos de distribución se codifican según una matriz binaria Z de tamaño $N \times M$, que tiene N líneas y M columnas de la que cada una de las N líneas codifica el estado de los diferentes quemadores durante las M subdivisiones temporales sucesivas, correspondiendo cada columna a una subdivisión temporal.

Los quemadores tienen potencias diferentes y se les asigna ventajosamente un coeficiente de ponderación q_i representativo de la potencia del quemador considerado. En la práctica q_i no depende de la subdivisión temporal ya que la potencia del quemador es constante.

50 Cada elemento de la matriz Z está designado por y_k con k un índice entero que varía entre 1 y $N \times M$, siguiendo una numeración por línea como se representa en la figura 16. Los elementos y_k tienen como valor 0 o 1.

Para una subdivisión temporal j que corresponde a una columna de la matriz Z , el flujo total de energía Q_j durante esta subdivisión es igual a:

55

$$Q_j = \sum_{i=1}^N y_{j+(i-1)M} \times q_i$$

La función U a minimizar puede ser la suma del valor absoluto de las fluctuaciones del flujo de energía para una subdivisión en torno a un valor medio Q_{med} durante el intervalo de tiempo I . Esta función U se escribe:

60

$$U = \sum_{j=1}^M |Q_j - Q_{med}|$$

Según otro modo de realización de la invención, Según otra realización de la invención, la función U puede ser la suma del cuadrado de las fluctuaciones del flujo de energía para una subdivisión en torno a un valor medio Q_{med} durante el intervalo de tiempo l . Entonces se escribe:

5

$$U = \sum_{j=1}^M (Q_j - Q_{med})^2$$

Según otro modo de realización de la invención, la función U a minimizar puede ser la suma del valor absoluto de las variaciones del flujo de energía entre dos subdivisiones sucesivas durante el intervalo de tiempo l . Esta función U se escribe:

10

$$U = \sum_{j=1}^{M-1} |Q_j - Q_{j+1}|$$

Según otro modo de realización de la invención, la función U a minimizar puede ser la suma del cuadrado de las variaciones del flujo de energía entre dos subdivisiones sucesivas durante el intervalo de tiempo l . Esta función U se escribe

15

$$U = \sum_{j=1}^{M-1} (Q_j - Q_{j+1})^2$$

Cabe destacar que la función U también puede asumir una de las formas descritas anteriormente a la que se le añadirían términos suplementarios, por ejemplo la variación entre la primera subdivisión temporal de un intervalo de tiempo y la última subdivisión temporal del intervalo de tiempo anterior.

20

Según otro ejemplo de realización de la invención, la función U se puede expresar en la forma $\sum_i \sum_j \alpha_{ij} y_i y_j$, que es la suma ponderada de los productos de los pares de componentes de un vector Y, con i y j índices enteros entre 1 y $N \times M$, y α_{ij} son coeficientes de ponderación.

25

La invención permite obtener un rendimiento óptimo de un horno con quemadores que funciona en modo todo o nada, y en modulación de duración. La invención garantiza una caída de las fluctuaciones de flujo, una mejor combustión, y una disminución de los vertidos contaminantes. Durante una puesta en marcha del horno, las mejores condiciones de explotación se obtienen muy rápidamente y de forma automática, y se mantienen.

30

A modo de ejemplo, en un horno de calentamiento de una capacidad de 400 t/h, el paso de un procedimiento de planificación del encendido de los quemadores según el documento FR2853959 a aquel según la invención permite reducir en aproximadamente un 30 % las fluctuaciones de flujos de comburente y de combustible.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de optimización de la alimentación de energía, en un intervalo de tiempo I de duración D , de una instalación equipada con N dispositivos de distribución de energía que funcionan en modo todo o nada y en modulación de duración, una duración de funcionamiento Δ_i , inferior o igual a D , estando atribuida a cada uno de los N dispositivos de distribución de energía en el intervalo de tiempo I , deduciéndose las duraciones Δ_i de la demanda energética en la instalación, y suministradas por un sistema de control-mando de la instalación, **caracterizado por que**:

- la duración de funcionamiento Δ_i de un dispositivo de distribución de energía (B1,B2...BN) está, bien constituida por una sola secuencia de funcionamiento de duración Δ_i , bien dividida en varias secuencias de duraciones parciales, cuya suma es igual a Δ_i ,
- una planificación se define en el intervalo de tiempo I por una distribución temporal del conjunto de las secuencias de funcionamiento de los N dispositivos de distribución de energía,
- la planificación se calcula antes del comienzo del intervalo de tiempo I teniendo en cuenta las duraciones deseadas Δ_i de funcionamiento de cada dispositivo de distribución de energía.
- y la planificación se calcula como sigue:

- a/ se selecciona una planificación inicial cualquiera,
- b/ se asocia un número de orden de 1 a N a cada dispositivo de distribución, c/ se busca, para el dispositivo de distribución de número de orden 1, el número, la o las duraciones y la o las posiciones en el intervalo de tiempo I de la o de las secuencias de funcionamiento de este dispositivo de distribución que permiten minimizar una función U representativa de las fluctuaciones del flujo de energía en el intervalo de tiempo, conservando las secuencias de los otros dispositivos las posiciones de la planificación inicial, y se obtiene una planificación resultante con el número, la o las duraciones y la o las posiciones óptimas conservadas para las secuencias del dispositivo de número de orden 1,
- d/ se reitera la etapa (c) a partir de la planificación resultante de la etapa (c) considerando sucesivamente los dispositivos de distribución de número de orden superior hasta el dispositivo de distribución de número de orden N .

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** consta de las etapas suplementarias siguientes:

- e/ utilizando como planificación inicial la planificación conservada en la etapa (d), se asocia un nuevo número de orden de 1 a N a cada dispositivo de distribución y se reiteran las etapas (c) y (d),
- g/ se reitera la etapa (e) un número de veces compatible con el tiempo de cálculo disponible antes del comienzo del intervalo de tiempo.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el número de orden atribuido a cada dispositivo de distribución está en función de las duraciones de funcionamiento deseadas Δ_i , siendo el dispositivo de número de orden 1 aquel cuya duración de funcionamiento deseada Δ_1 es la más larga y siendo el dispositivo de número de orden N aquel cuya duración de funcionamiento deseada Δ_N es la más corta.

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el intervalo de tiempo I se divide en un número M de subdivisiones temporales (M) de duraciones no necesariamente iguales.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado por que** los estados de los dispositivos de distribución se codifican según una matriz binaria Z de tamaño $N \times M$ (N líneas y M columnas) de la que cada una de las N líneas codifica el estado de los diferentes dispositivos de distribución durante las subdivisiones temporales sucesivas y cada columna corresponde a una subdivisión temporal,

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la función U a minimizar es la suma del valor absoluto de las fluctuaciones del flujo de energía Q_j en torno a un valor medio Q_{med} durante el intervalo de tiempo I :

$$U = \sum_{j=1}^M |Q_j - Q_{med}|$$

7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** la función U a minimizar está constituida por la suma de los cuadrados de las desviaciones con respecto a la media aritmética:

$$U = \sum_{j=1}^M (Q_j - Q_{med})^2$$

- 5 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** la función U a minimizar está constituida por la suma del valor absoluto de las variaciones del flujo de energía entre dos subdivisiones sucesivas durante el intervalo de tiempo *l*:

$$U = \sum_{j=1}^{M-1} |Q_j - Q_{j+1}|$$

- 10 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** la función U a minimizar está constituida por la suma del cuadrado de las variaciones del flujo de energía entre dos subdivisiones sucesivas durante el intervalo de tiempo *l*:

$$U = \sum_{j=1}^{M-1} (Q_j - Q_{j+1})^2$$

- 15 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 9, **caracterizado por que** se añaden términos suplementarios a la función U a minimizar.

- 20 11. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la función U a minimizar tiene en cuenta no solamente la fluctuación del flujo de energía durante el intervalo de tiempo *l*, sino también la variación (14) del flujo de energía entre el instante anterior al comienzo del intervalo de tiempo y el instante siguiente al comienzo del intervalo de tiempo, siendo la función U la suma del valor absoluto de las fluctuaciones del flujo de energía en torno a un valor medio durante el intervalo de tiempo *l* y de la variación (14) del flujo total de energía entre el instante anterior al comienzo del intervalo de tiempo y el instante siguiente al comienzo del intervalo de tiempo.

- 25 12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** se garantiza que el flujo total de energía generado por la planificación obtenida no supera un umbral definido.

- 30 13. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las duraciones de funcionamiento deseadas de los dispositivos de distribución de energía se reducen si conducen a un flujo total que supera un umbral definido.

- 35 14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** para cada dispositivo de distribución de energía, la divergencia entre la duración de funcionamiento en un intervalo de tiempo *l* y la duración deseada está limitada por una divergencia máxima, en particular del 5 % de la duración del intervalo de tiempo.

- 40 15. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** las secuencias para cada dispositivo de distribución de energía corresponden como máximo a tres cambios de estado del dispositivo en un intervalo de tiempo *l*.

16. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** dos cambios de estado sucesivos de cada dispositivo de distribución de energía están separados por una divergencia de tiempo mínima, en particular al menos igual a la vigésima de la duración *D* del intervalo de tiempo, es decir *D*/20.

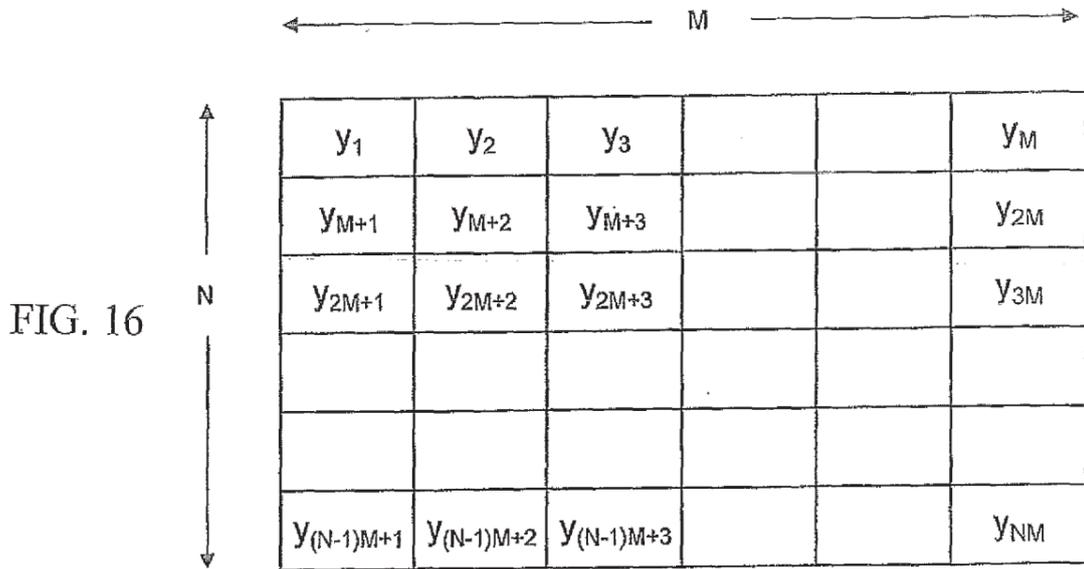
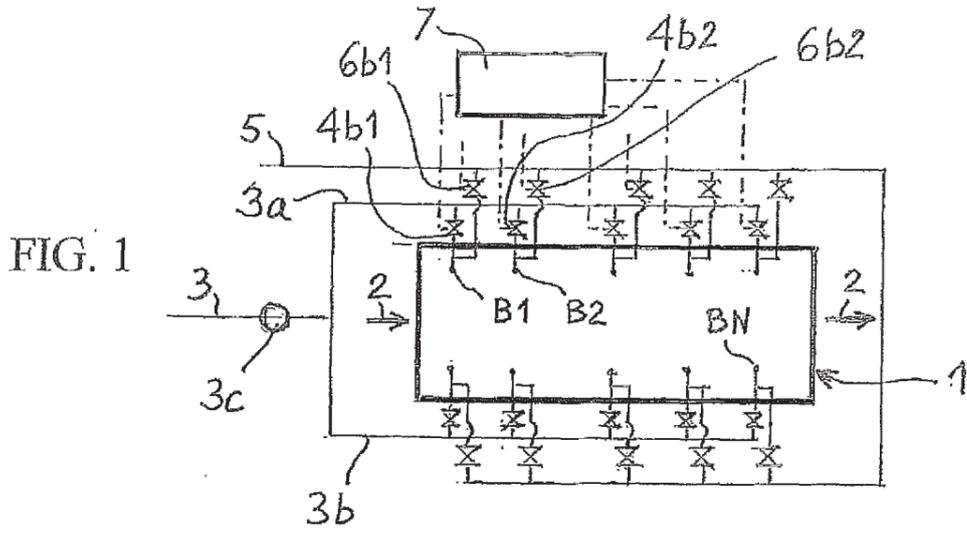
- 45 17. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, para cada dispositivo de distribución de energía, el último cambio de estado durante el intervalo de tiempo *l* está separado por una divergencia de tiempo mínima del fin del intervalo, en particular al menos igual a la vigésima de la duración *D* del intervalo de tiempo, es decir *D*/20.

- 50 18. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la planificación inicial es aquella en la que todos los dispositivos de distribución de energía están en parada durante el intervalo de tiempo.

19. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el número de orden

atribuido a cada dispositivo de distribución después de la primera iteración es aleatorio.

20. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado por que** los cambios de estado de los dispositivos de distribución tienen lugar entre dos subdivisiones temporales sucesivas.
- 5 21. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** los dispositivos de distribución de energía son quemadores y por que el flujo de la alimentación de energía de la instalación es proporcional al flujo de alimentación de los quemadores con combustible.
- 10 22. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la función U se expresa en la forma $\sum_i \sum_j \alpha_{ij} y_i y_j$, que es la suma ponderada de los productos de los pares de componentes de un vector Y , con i y j índices enteros entre 1 y $N \times M$, y α_{ij} son coeficientes de ponderación.
- 15 23. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores para el manejo de un horno de calentamiento cuyos dispositivos de distribución de energía están constituidos por quemadores o resistencias eléctricas.
- 20 24. Instalación equipada con dispositivos de distribución de energía que funcionan en modo todo o nada y en modulación de duración de funcionamiento, **caracterizada por que** consta de un ordenador o computadora programado para controlar los dispositivos de distribución de energía siguiendo un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, estando la instalación dispuesta para ejecutar la planificación del conjunto de las secuencias de funcionamiento de los dispositivos de distribución de energía, tal como se ha definido en las reivindicaciones anteriores.
- 25 25. Instalación según la reivindicación 24, constituida por un horno industrial.



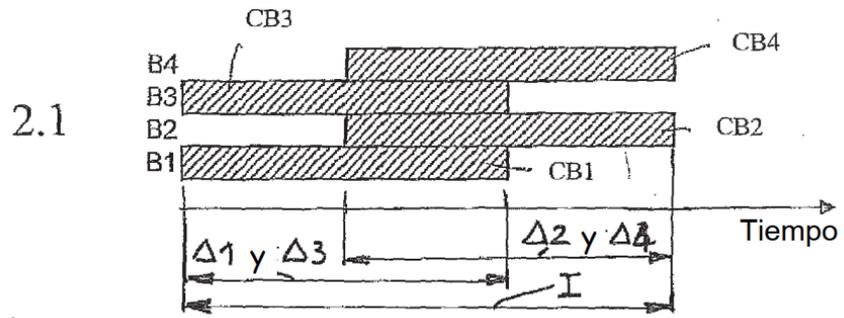


FIG. 2

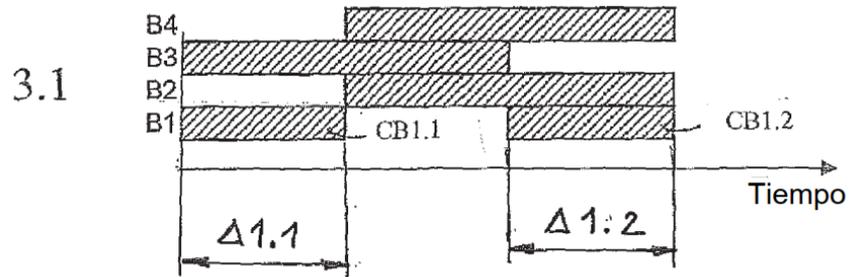
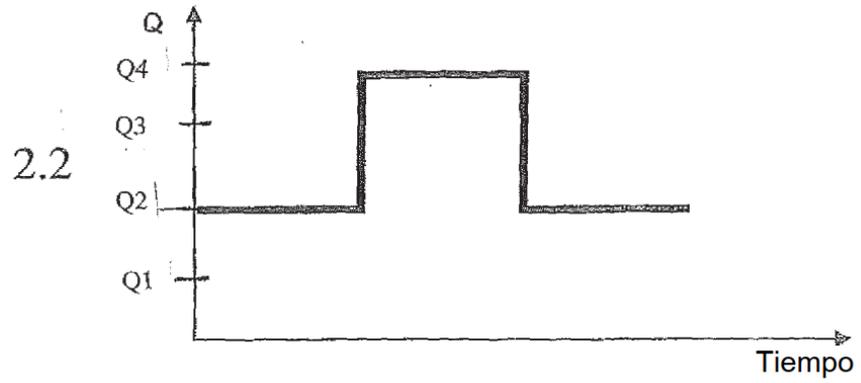


FIG. 3

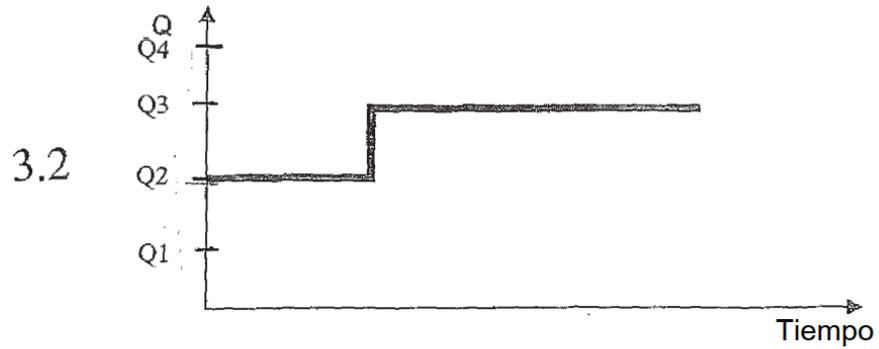


FIG. 4

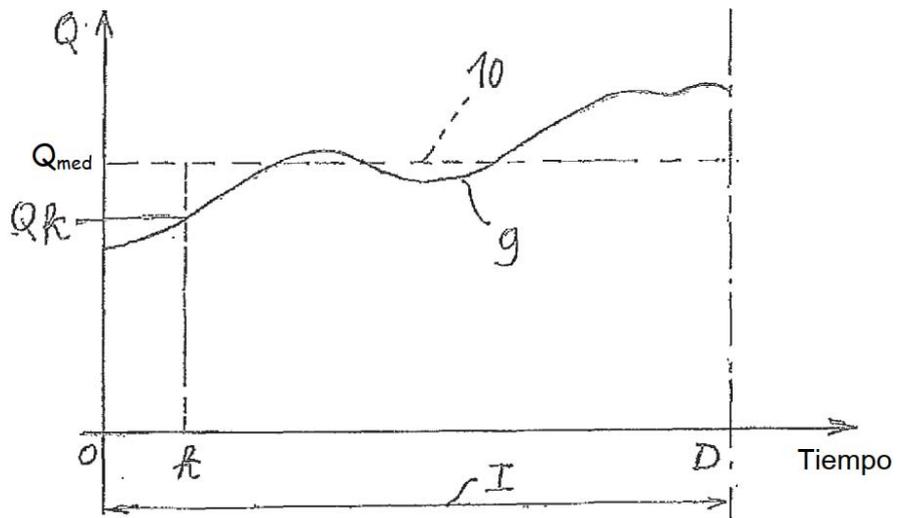


FIG. 5

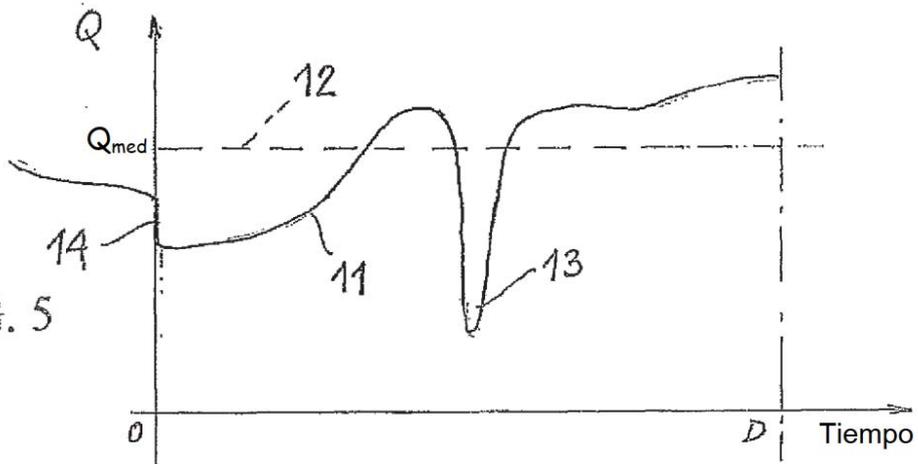


FIG. 6

