

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 392 692**

51 Int. Cl.:

G05D 11/13 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07765961 .3**

96 Fecha de presentación: **29.05.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2030093**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.03.2009**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de control de la elaboración de una mezcla de constituyentes, concretamente de una mezcla con volúmenes muertos de mezclado previo**

30 Prioridad:

31.05.2006 FR 0604868

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

13.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

13.12.2012

73 Titular/es:

**TOTAL RAFFINAGE MARKETING (100.0%)
TOUR TOTAL 24 COURS MICHELET
92800 PUTEAUX, FR**

72 Inventor/es:

**BERNIER, MICHEL;
PETIT, NICOLAS;
CREFF, YANN y
CHEBRE, MÉRIAM**

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 392 692 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

5 Procedimiento y dispositivo de control de la elaboración de una mezcla de constituyentes, concretamente de una mezcla con volúmenes muertos de mezclado previo

La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo de control de la elaboración de una mezcla de constituyentes, concretamente de una mezcla con volúmenes muertos de mezclado previo.

Se aplica más particularmente a la regulación automática de las mezclas de constituyentes en línea, tales como por ejemplo mezclas de productos petrolíferos, en los que las mezclas elaboradas son conformes a un conjunto de especificaciones o de parámetros significativos. En estas aplicaciones, cada producto contenido en la mezcla actúa sobre el conjunto de las características o de los parámetros de la mezcla final obtenida.

15 La invención se aplica concretamente a la elaboración de mezclas en las que las características o los parámetros de los diferentes constituyentes se conocen poco o pueden evolucionar durante la elaboración de la mezcla. Las mezclas de productos petrolíferos en particular, presentan estos aspectos, pero el procedimiento y el dispositivo de la invención pueden aplicarse a mezclas de productos tales como cementos, pinturas, etc.

En todos los casos, se trata de obtener una mezcla que tenga un estado o que presente parámetros de constitución definidos por adelantado. Estos parámetros se refieren a las características fisicoquímicas de las mezclas que deben obtenerse. Para una mezcla de productos petrolíferos, por ejemplo, estos parámetros podrán ser el contenido en azufre de la mezcla, su índice de octanos, etc. Para una mezcla de cementos, los parámetros serán por ejemplo el contenido en cal, el módulo de silicio, el módulo aluminio-férrico, etc.

20 El documento US 6 159 255 A1 describe un dispositivo y un procedimiento para controlar una mezcla en el que se realizan mediciones en la mezcla para determinar sus características principales. Estas mediciones permiten determinar coeficientes que permiten estimar una propiedad intrínseca de la mezcla de constituyentes.

Los documentos US 5 430 295 A1 y US 3 473 008 A1 describen procedimientos para controlar las características de una mezcla que consisten en variar las proporciones de cada constituyente en función de las propiedades medidas de la mezcla obtenida.

30 El documento US 3 385 680 A describe un procedimiento y un dispositivo de control de las características de una mezcla que tienen en cuenta las características de los constituyentes mediante medición directa de estas últimas.

Los procedimientos y dispositivos conocidos en el estado de la técnica permiten elaborar una mezcla en línea o en bucle cerrado, es decir con una retroacción a partir de informaciones medidas en tiempo real, en continuo o de manera periódica, a partir de aparatos de medición (analizadores en línea) dispuestos aguas abajo de la instalación de mezclado (mezcladora). Estos procedimientos y dispositivos se aplican generalmente a flujos de constituyentes procedentes de recipientes de productos intermedios.

40 Una retroacción típica usa la desviación entre una consigna diana y la medida. Se trata de una retroacción mediante retorno de salida.

Otra retroacción típica consiste en corregir las predicciones de las características o los parámetros de la mezcla, añadiéndoles un término que es el resultado de un filtrado de primer orden de la diferencia entre la medida y la predicción sin corrección.

45 Estas retroacciones típicas presentan el inconveniente de aplicarse a la mezcla en la salida de la mezcladora, y no a las características de los constituyentes aguas arriba de la mezcladora.

Las regulaciones usadas tienen generalmente en cuenta limitaciones de calidad de la mezcla que va a fabricarse, así como limitaciones asociadas a las vías de alimentación de constituyentes (por ejemplo, límites asociados a las limitaciones hidráulicas tales como el dimensionamiento de las bombas, limitaciones de homogeneidad en las proporciones calculadas, cuya suma debe ser igual a 1 en el conjunto de las vías). También permiten regular el caudal total de producción de la mezcla.

55 Los dispositivos y procedimientos conocidos presentan el inconveniente de garantizar el contenido de las diferentes especificaciones de la mezcla en función de las propiedades de mezcla integradas (acumuladas o medias en volumen) en un recipiente de destino de la mezcla situado inmediatamente aguas abajo de la mezcladora. La medición de las propiedades de la mezcla se realiza en efecto en general en la mezcla instantánea en la salida de la mezcladora, aguas arriba del recipiente de destino de la mezcla, permitiendo estas medidas obtener una estimación de la calidad integrada (colada a la salida de la mezcladora o en el recipiente) que es el objeto de la regulación en modo integrado de la mezcla o integrado en el recipiente (la definición de estos modos se facilita a continuación).

60

65

Aunque estos procedimientos y dispositivos que funcionan con medición integrada están bien adaptados a áreas de mezclado tradicionales, con recipientes de constituyentes, con colada-descarga eventual, y un recipiente de destino de la mezcla, son insuficientes para un funcionamiento con un flujo continuo directo aguas arriba de los constituyentes, y eventualmente, una expulsión directa en continuo de la mezcla elaborada, sin paso por un recipiente de destino.

En efecto, dependen de las calidades de los constituyentes, que pueden variar, concretamente durante un flujo aguas arriba continuo de los constituyentes.

Por otro lado, en una configuración de flujo aguas abajo continuo directo de la mezcla, las proporciones de los constituyentes de la mezcla obtenida por los dispositivos conocidos se corrigen teniendo en cuenta el volumen de mezcla presente en el recipiente de destino. Así, a lo largo de la elaboración de un volumen dado de mezcla en el recipiente de destino, las propiedades de la mezcla son susceptibles de variar enormemente, lo que no sería aceptable para una expulsión directa en continuo de la mezcla.

Otro inconveniente de los dispositivos y procedimientos conocidos es que difícilmente gestionan las situaciones no realizables mediante solución de equilibrio óptimo. Es decir, cuando no pueden respetarse una o más limitaciones, la solución obtenida conduce a una mezcla de la cual no se controla correctamente la desviación con respecto a las especificaciones requeridas.

Los procedimientos de retroacción tradicionales también son insuficientes para gestionar una sincronización de las instalaciones que comprenden mezclados previos de constituyentes aguas arriba, en particular en caso de mezclados previos múltiples en serie y/o en paralelo. Tales mezclados previos generan en efecto un retardo sobre los flujos de determinados constituyentes que necesitan el uso de márgenes de fabricación importantes con el fin de respetar las especificaciones de la mezcla en el recipiente de destino, pero que inducen un exceso de calidad no necesario y costoso. Además, este defecto de sincronización puede conducir a bombeos (oscilaciones) que conllevan una sollicitación excesiva de los elementos de control que puede conducir a su desgaste prematuro.

Finalmente, los procedimientos y dispositivos conocidos regulan generalmente de manera independiente por un lado la proporción de los constituyentes, por otro lado la inyección de aditivos para ajustar de manera separada las especificaciones de la mezcla. Esta independencia de la regulación no permite ahorrar en inyecciones costosas de aditivos.

Los procedimientos y dispositivos conocidos también garantizan la regulación del caudal total de la mezcladora, teniendo en cuenta limitaciones de límite alto y bajo, asociadas a limitaciones hidráulicas (dimensionamiento de las bombas en las vías elegidas aguas arriba y aguas abajo de la mezcladora) así como a limitaciones económicas (limitaciones de planificación), y permiten concretamente maximizar el caudal para acortar el tiempo de fabricación, al tiempo que se reduce automáticamente la velocidad en el caso de una limitación activa de aplicabilidad de la formulación calculada.

El objetivo de la presente invención es proponer un procedimiento de control de la elaboración de una mezcla, y un dispositivo correspondiente, que solucionen estos inconvenientes.

Concretamente, el procedimiento de control según la invención garantiza una retroacción de regulación de múltiples variables por un observador dinámico que permite una estimación en tiempo real de las propiedades de los constituyentes de la mezcla, suficiente para garantizar la eficacia del bucle de retroacción. Así, se garantizan las propiedades deseadas de la mezcla a pesar de las incertidumbres importantes en cuanto a las propiedades de los constituyentes por un lado, y un conocimiento parcial del proceso de mezclado por otro lado.

Para ello, un primer objeto de la invención se refiere a un procedimiento de control de la elaboración de una mezcla M de n constituyentes, permitiendo el procedimiento determinar las proporciones u de los constituyentes que forman parte de la mezcla de manera que se obtiene un número m de propiedades predeterminadas y de la mezcla cuyos valores están comprendidos entre umbrales mínimos y máximos predeterminados y/o son sensiblemente iguales, para m' de entre ellas ($m' \leq n-1$), a valores diana predeterminados, caracterizado porque comprende las siguientes etapas:

(i) en un instante $t=0$,

(1) determinar una matriz B que representa un número m de propiedades y n constituyentes;

(2) determinar una formulación de referencia \bar{u} a partir de los umbrales mínimos y máximos predeterminados y/o de los valores diana predeterminados, de tal manera que las propiedades $B\bar{u}$ de la mezcla están comprendidas entre dichos umbrales predeterminados, y/o para m' de entre ellas, son iguales a dichos valores diana predeterminados; representando \bar{u} , que es un vector de dimensión n, las proporciones de los

$$\sum_{i=1}^n \bar{u}_i = 1 ;$$

diferentes constituyentes que forman parte de la composición de la mezcla, con

(3) aplicar la formulación \bar{u} a los constituyentes con el fin de elaborar una mezcla M;

5 (ii) en el instante $t' = t + \Delta t$,

(1) medir las propiedades y_{mes} de la mezcla M obtenida aplicando la formulación calculada en el instante anterior,

10 (2) deducir a partir de las mismas una matriz corregida \hat{B} que representa la estimación de las propiedades de los constituyentes,

15 (3) determinar una nueva formulación u , de manera que las propiedades $\hat{B}u$ de la mezcla están comprendidas entre dichos umbrales predeterminados, y/o para m' de entre ellas, son iguales a dichos valores diana predeterminados,

(4) aplicar esta nueva formulación u a los constituyentes,

20 (iii) en el instante $t'' = t' + \Delta t$, reiterar las operaciones (1) a (4) de la etapa (ii) anterior;

(iv) reiterar la etapa (iii) durante toda la duración de la elaboración de la mezcla.

25 Así, en el instante inicial $t=0$, se determina una matriz B, por ejemplo a partir de los datos proporcionados por los fabricantes de los constituyentes, o de medidas de laboratorio, después se actualiza a medida que se elabora la mezcla.

Se observará que los umbrales mínimos y máximos predeterminados, así como los valores diana predeterminados, pueden modificarse a lo largo del mezclado.

30 Este procedimiento presenta la ventaja de reactualizar la estimación de las propiedades de los constituyentes, lo que permite tener en cuenta variaciones de sus propiedades a lo largo del tiempo con el fin de mantener las especificaciones deseadas de la mezcla. Este enfoque original permite liberarse de las imprecisiones e incertidumbres de las propiedades de los constituyentes debidas a errores de medición, a defectos/contaminaciones, a una homogenización incompleta o a una estratificación de los recipientes, a la variabilidad en el tiempo de los diferentes constituyentes. Este procedimiento puede usarse por tanto ventajosamente en instalaciones con un flujo continuo directo aguas arriba de los constituyentes.

40 Ventajosamente, las propiedades y_{mes} de la mezcla medidas a lo largo de la operación (1) de la etapa (ii) se miden por medio de un proceso continuo de medición en la mezcla elaborada. Por proceso continuo de medición, se entiende o bien una medición realizada en continuo cuando su naturaleza lo permite, o bien una sucesión de tomas de muestras y de mediciones de estas muestras.

45 Estas mediciones instantáneas en la mezcla, desde su formación, permiten usar el procedimiento para una instalación cuya mezcla se distribuye directamente en continuo. El procedimiento está entonces en modo instantáneo.

50 El procedimiento según la invención presenta la ventaja de poder funcionar en modo integrado, pudiendo entonces acumularse o calcularse la media en volumen de las medidas en un recipiente de destino de la mezcla. También puede verse bascular del modo integrado al modo instantáneo (o a la inversa) a lo largo de la elaboración de la mezcla.

Por ejemplo, este basculamiento puede realizarse manualmente por un operario con el fin de modificar a lo largo del mezclado el modo de regulación requerido.

55 El basculamiento también puede realizarse automáticamente, en secuencia, por ejemplo al final del mezclado, tras alcanzarse un volumen colado, y teniendo en cuenta el volumen restante que va a fabricarse. Esta configuración se usa concretamente para garantizar una expulsión directa por oleoducto o incluso para garantizar la calidad de la totalidad del producto residual en las tuberías, en el caso de volúmenes de tuberías importantes entre una mezcladora y un recipiente de almacenamiento de productos terminados situado en una zona de almacenamiento alejada.

60

Ventajosamente, en un instante predeterminado a lo largo de la elaboración de la mezcla, se miden una o más propiedades de los constituyentes y se actualiza la matriz B que representa las propiedades de los constituyentes. Así es posible, sin necesidad de reinicializar el procedimiento, actualizar mediante una medición una o más propiedades de un constituyente, lo que permite mejorar la estimación de la o de las propiedades de ese constituyente. La velocidad de actualización puede ser ajustable propiedad a propiedad para cada constituyente.

Preferiblemente, a lo largo de la operación (2) de la etapa (ii), la matriz corregida \hat{B} se determina usando la siguiente ecuación:

$$\frac{d\hat{B}_j^t}{dt} = -\beta_j H u(y_j - y_j^{med}), \quad (1)$$

donde

- la matriz H es una matriz simétrica definida positiva que tiene como objetivo garantizar una normalización de tener en cuenta la desviación medición-predicción que permite el cálculo de la desviación de predicción de la calidad de los constituyentes,

- B_j^t es la traspuesta de B_j ,

- β_j , real estrictamente positivo, es una constante de ajuste del tiempo de convergencia que permite diferenciar la rapidez de convergencia de la estimación, propiedad a propiedad.

Esta constante β_j permite diferenciar la rapidez de convergencia de la estimación, propiedad a propiedad, y concretamente, permite poder tener en cuenta las especificidades de retardo de medición propio de cada propiedad.

A modo de ejemplos de ajustes de β_j , podrán tomarse valores iguales a de dos a cuatro veces el retardo puro.

Por ejemplo, para una propiedad tal como el índice de octanos, asociada a un retardo de medición de 10 minutos, β se ajustará a 20 minutos.

Para una propiedad tal como el porcentaje destilado a 70°C, asociado a un retardo de medición de 40 minutos (cromatógrafo en línea), podrá ajustarse β a 80 minutos.

Son posibles diferentes elecciones de matriz H, que seguirá siendo simétrica y seguirá definiéndose positiva, para garantizar la convergencia de un sistema de este tipo.

Puede usarse por ejemplo la siguiente matriz H, que introduce un factor de normalización basado en la formulación inicial de referencia:

$$\frac{1}{\|\vec{u}\|} \begin{pmatrix} \frac{1}{\vec{u}_1} & & \\ & \ddots & \\ & & \frac{1}{\vec{u}_n} \end{pmatrix}$$

La normalización realizada por la matriz H es particularmente importante para liberarse de los efectos de escalas físicas de una propiedad a otra, y de las sensibilidades de variación diferentes específicas de cada propiedad.

Esta normalización permite a continuación modular mejor las desviaciones de predicción calculadas (tras liberarse de los efectos de escala), pudiendo realizarse esta modulación, por ejemplo, de manera proporcional a un término asociado a la formulación actual, llevado a una formulación de referencia.

Preferiblemente, el procedimiento de control según la invención para la elaboración de una mezcla de constituyentes, en el que se realiza al menos un mezclado previo de al menos dos de los constituyentes antes de la preparación de la mezcla, está caracterizado porque la formulación u determinada a lo largo de la operación (3) de la etapa (ii) tiene en cuenta los retardos debidos a los volúmenes muertos presentes en la instalación a nivel de las zonas de mezclado previo.

Una sincronización de este tipo permite mejorar la elaboración de la mezcla y el respeto de las consignas de

propiedades de la mezcla. También permite reducir los márgenes de fabricación, y así controlar con mayor precisión los flujos de constituyentes, y evitar el exceso de calidad. Finalmente, este control más preciso de los flujos de constituyentes limita los bombeos, y de ese modo una sollicitación abusiva de los elementos de control de la instalación. Esta sincronización también permite una mejor robustez durante variaciones del caudal total de la mezcladora.

Más particularmente, a lo largo de la operación (2) de la etapa (ii), la matriz \hat{B} se determina usando la siguiente ecuación:

$$\frac{d\hat{B}_j^t}{dt} = -\beta_j H u(t) (y_j(t) - y_j^{med}(t)), \quad (2)$$

siendo $U(t) = (U_1(t), \dots, U_n(t))^t$, en el instante t, el vector formulación que tiene en cuenta los volúmenes muertos,

$$y(t) = \sum_{i=1}^n U_i(t) b_i,$$

y siendo b_i vector de las propiedades del constituyente i.

Ventajosamente, las magnitudes de control y de salida que forman parte de esta ecuación están sincronizadas para tener en cuenta el retardo de mezclado previo y el retardo de medición.

Las zonas de mezclado previo y los analizadores inducen en efecto retardos. Según la propiedad medida, los retardos de analizadores pueden considerarse constantes o variables en función del valor medido. Con el fin de compensar estos retardos, el procedimiento según la invención usa un dispositivo de sincronización que predice los valores futuros de las propiedades (a partir de las características de los constituyentes y de los últimos porcentajes calculados), sabiendo que la medida correspondiente que proporcionará el analizador no estará todavía disponible en ese momento debido al retardo de análisis (incluyendo el retardo del bucle de muestreo y el retardo de analizador).

Por ejemplo, en el caso de retardos de medición variables, se usa una tabla de correspondencia que permite asociar diversos valores de retardos en intervalos de funcionamiento dados: se obtiene entonces un perfil de retardo constante por fragmentos, variando automáticamente el nivel de retardo cuando se cambia de intervalo de funcionamiento. Este nivel de retardo induce a continuación una nueva sincronización de las predicciones con las mediciones.

Ventajosamente, en el procedimiento de control según la invención, la formulación u determinada a lo largo de la operación (3) de la etapa (ii) se obtiene por medio de un procedimiento de optimización que comprende las siguientes etapas:

(a) - determinar la solución de un problema de regulación completa P0, consistiendo esta solución en una formulación u optimizada que tiene en cuenta limitaciones sobre las proporciones de los constituyentes y limitaciones sobre las propiedades de la mezcla,

- si el problema de regulación completa P0 puede resolverse, aplicar la formulación u, solución de P0,

(b) - si el problema de regulación completa P0 no puede resolverse, determinar una formulación u para la cual se resuelve un problema de regulación mínima P1, que sólo tiene en cuenta limitaciones del problema P0 definidas como prioritarias, este problema P1 pone en práctica una sucesión de problemas de optimización, normalmente realizables, cuyos criterios consisten en penalizar la violación de dichas limitaciones prioritarias, con el fin de definir nuevos valores alcanzables para esas limitaciones prioritarias,

(c) - si el problema de regulación mínima P1 puede resolverse, determinar una formulación u para la cual se resuelve un problema de regulación P2, que tiene en cuenta dichos nuevos valores alcanzables de las limitaciones prioritarias del problema P0 así como limitaciones no prioritarias del problema P0, este problema P2 pone en práctica un problema de optimización cuyos criterios consisten en penalizar la violación de dichas limitaciones no prioritarias, con el fin de definir nuevos valores alcanzables para esas limitaciones no prioritarias,

- si el problema de regulación mínima P1 no puede resolverse, aplicar la formulación u actual (es decir la formulación aplicada antes de la optimización de la etapa (ii)),

(d) - si el problema de regulación P2 puede resolverse, determinar una formulación u para la cual se resuelve un

5 problema de regulación P3, que tiene en cuenta dichos nuevos valores alcanzables de las limitaciones prioritarias del problema P0 obtenidos en la etapa (b), dichos nuevos valores alcanzables de las limitaciones no prioritarias obtenidos en la etapa (c), así como todas las demás limitaciones no prioritarias del problema P0 y no tratadas por los problemas P1 y P2, este problema P3 pone en práctica una sucesión de problemas de optimización, normalmente realizables, cuyos criterios consisten en penalizar la violación de dichas otras limitaciones no prioritarias, con el fin de definir nuevos valores alcanzables para esas otras limitaciones no prioritarias,

- si el problema de regulación P2 no puede resolverse, aplicar la formulación obtenida por el problema P1,

10 (e) si el problema de regulación P3 puede resolverse, la formulación aplicada es la solución del problema P3, si no, la formulación es la solución del problema P2.

15 Las secuencias de optimización (a) a (e) garantizan una gestión óptima de las prioridades que permite tratar los problemas no realizables degradándolos hasta obtener un conjunto de limitaciones realizables. Estas secuencias de optimización presentan la originalidad de buscar la solución de un problema mínimo si el problema completo no es realizable, después aumentar progresivamente el número de limitaciones, en lugar de disminuir progresivamente el número de limitaciones, como en las secuencias de optimización clásicas. De esta manera, es posible obtener una formulación u que respeta siempre lo mejor posible las limitaciones definidas como prioritarias.

20 Ventajosamente, las limitaciones no prioritarias tratadas por el problema P2 se refieren a las referencias, y se denominan "de regulación" correspondientes a las ecuaciones de regulación con consigna fija.

Ventajosamente, las etapas (b) y (d) son a su vez secuencias de optimización que pueden separarse en etapas, tal como se describe a continuación.

25 La etapa (b) está preferiblemente constituida por las etapas (b_i) en las que se tratan sucesivamente las limitaciones duras (prioritarias) de rango decreciente. A lo largo de cada etapa (b_i), se desea encontrar una relajación óptima que proporciona el valor de todas las limitaciones duras del mismo rango i , que se convierten en limitaciones alcanzables, teniendo en cuenta las limitaciones prioritarias sobre las proporciones de las bases y las limitaciones alcanzables sobre las propiedades de la mezcla de rango $j > i$, eventualmente relajadas en las etapas b_j anteriores a la etapa actual b_i .

35 La etapa (d) está preferiblemente constituida por las etapas (d_i) en las que se tratan sucesivamente las limitaciones blandas (no prioritarias) de rango decreciente. A lo largo de cada etapa (d_i), se desea encontrar una relajación óptima que proporciona el valor de todas las limitaciones blandas del mismo rango i , que se convierten en limitaciones alcanzables, teniendo en cuenta las limitaciones prioritarias sobre las proporciones de las bases, las limitaciones alcanzables sobre las propiedades de la mezcla de rango duro eventualmente relajadas en las etapas (b_i), las limitaciones alcanzables en cuanto a la diana de regulación sobre las propiedades reguladas con diana calculadas en la etapa (c), y finalmente, las limitaciones blandas alcanzables sobre las propiedades de rango $j > i$, eventualmente relajadas en las etapas d_j anteriores a la etapa actual d_i .

45 Ventajosamente, la secuencia de optimización puede comprender una etapa complementaria a lo largo de la cual, si el problema de regulación anterior P3 puede resolverse, se determina una formulación u para la cual se resuelve el problema de regulación P0 teniendo en cuenta dichos nuevos valores alcanzables determinados durante las etapas (b), (c), (d).

50 Así, es posible garantizar una orientación optimizada de formulación calculada, por ejemplo maximizando o minimizando determinados constituyentes, de manera jerarquizada, o minimizando la desviación entre la formulación que va a calcularse y la formulación inicial de referencia, en cuanto que se dispone de suficientes grados de libertad.

Esta etapa complementaria permite, en determinados casos, obtener una orientación óptima de la formulación sobre la totalidad de las limitaciones iniciales parcialmente degradadas a pesar de que el problema completo inicial era no realizable.

55 Ventajosamente, las limitaciones prioritarias tenidas en cuenta para la resolución del problema P1 son limitaciones sobre las proporciones de los constituyentes y limitaciones sobre las propiedades de la mezcla.

60 Las limitaciones sobre las proporciones de los constituyentes incluyen concretamente límites sencillos sobre las proporciones de constituyentes y una limitación sobre la suma de las proporciones de los constituyentes. Las limitaciones prioritarias sobre las propiedades de la mezcla se relajan eventualmente durante iteraciones anteriores de P1. La solución buscada es una formulación u que permite tener en cuenta las limitaciones prioritarias eventualmente relajadas sobre las propiedades de mezcla.

65 En el caso en el que el procedimiento está destinado a una instalación de preparación de una mezcla de n constituyentes y de aditivos, para una propiedad j de la mezcla sobre la que influye el aditivo, el modelo de control

tiene en cuenta el efecto d de la adición de aditivo a lo largo de las operaciones (2) y (3) de la etapa (ii) según:

$$y_j = \hat{B}_j u + d.$$

5 La invención también se refiere a un dispositivo de elaboración y de control de una mezcla de constituyentes, que comprende vías de transporte de los constituyentes que van a mezclarse hacia una vía principal conectada a la ubicación de recepción de la mezcla, medios para controlar los caudales de los constituyentes en cada vía de transporte, medios de medición en continuo en la vía principal de los parámetros representativos de la mezcla en proceso de elaboración, y medios de cálculo de las proporciones de los diferentes constituyentes que forman parte de la mezcla, caracterizado porque comprende un estimador conectado a los medios de cálculo, comprendiendo el
10 estimador medios programados para producir una estimación de las propiedades de los constituyentes usando las medidas de las propiedades de la mezcla medidas por los medios de medición, comprendiendo los medios de cálculo medios programados para calcular por medio de esta estimación las proporciones de los diferentes constituyentes que forman parte de la mezcla con el fin de obtener una mezcla que comprende propiedades predeterminadas.

15 Por medios de medición en continuo se entienden medios adecuados para poner en práctica un proceso continuo de medición, tal como se definió anteriormente.

20 Preferiblemente, el estimador del dispositivo comprende medios programados para poner en práctica las operaciones (1) y (2) de las etapas (i) y (ii) del procedimiento según la invención.

Ventajosamente, el estimador comprende medios de sincronización programados para tener en cuenta los retardos debidos a los volúmenes muertos a nivel de zonas de mezclado previo de al menos dos constituyentes de la mezcla.

25 Como variante, el estimador comprende medios de sincronización programados para tener en cuenta los retardos debidos a los volúmenes muertos a nivel de varias fases, estando al menos una fase constituida por una o más zonas de mezclado previo de al menos dos constituyentes de la mezcla.

30 Dicho de otro modo, una fase está situada entre una llegada de constituyentes, mezclados o no, y una salida de constituyentes, mezclados y no mezclados, y comprende al menos un mezclado previo de al menos dos constituyentes (pudiendo ser cada uno de esos constituyentes a su vez una mezcla de constituyentes) que llegan proporcionando un mezclado previo de esos constituyentes en la salida.

35 Preferiblemente, estos medios de sincronización están programados para poner en práctica la ecuación (2) de la operación (2) de la etapa (ii) del procedimiento según la invención para la elaboración de una mezcla de constituyentes, en el que se realiza al menos un mezclado previo de al menos dos de los constituyentes antes de la preparación de la mezcla.

40 Ventajosamente, el dispositivo comprende un optimizador conectado a los medios de cálculo y a un medio de almacenamiento de objetivos de mezcla, comprendiendo el optimizador medios programados para optimizar la formulación u de las proporciones de los constituyentes determinada por los medios de cálculo en función de objetivos de mezcla almacenados en dicho medio de almacenamiento.

45 Preferiblemente, el optimizador comprende entonces medios programados para poner en práctica el procedimiento de optimización del procedimiento de elaboración descrito anteriormente.

50 Ventajosamente, el dispositivo comprende al menos un recipiente de aditivo conectado mediante una vía de transporte a la vía principal, aguas abajo de la zona de mezclado de los constituyentes, un medio de control del caudal de aditivo asociado al recipiente previsto en la vía de transporte, y un controlador de inyección de aditivo conectado a dicho medio de control, al optimizador y al medio de almacenamiento de objetivos de mezcla, siendo el controlador de inyección de aditivo adecuado, para una propiedad j de la mezcla sobre la que influye un aditivo, para optimizar la proporción del aditivo con el fin de regular dicha propiedad j correspondiente de la mezcla teniendo en cuenta una diana proporcionada por el medio de almacenamiento de objetivos de mezcla.

55 La invención se describe ahora por medio de ejemplos y con referencia a los dibujos adjuntos, no limitativos, en los que:

60 - la figura 1 es una representación esquemática de un dispositivo de elaboración de una mezcla de productos según la invención;

- la figura 2 es un ejemplo de topografía de un mezclado de 6 bases que comprende tres mezclados previos;

- la figura 3 representa un ejemplo de secuenciación de los problemas de optimización;

- la figura 4 representa la evolución en función del tiempo del contenido en azufre de la mezcla del ejemplo 7;

- la figura 5 representa la evolución en función del tiempo de las proporciones de las bases de la mezcla del ejemplo 7;

5 - las figuras 6a-6e representan la evolución en función del tiempo de las proporciones de las bases (figura 6a), y de las calidades de la mezcla de gasolina del ejemplo 8, a saber, regulaciones RVP (figura 6b) y RON (figura 6c) y monitorización de zona para el porcentaje destilado (figura 6d) y para el contenido en benceno (figura 6e);

10 - las figuras 7a-7e representan la evolución en función del tiempo de los siguientes parámetros de la mezcla de gasóleo con regulación mediante inyección de aditivos del ejemplo 9:

figura 7a: perfil de inyección de agente de dopado que influye sobre el índice de cetano,

15 figura 7b: perfil de inyección de agente de dopado que influye sobre la filtrabilidad,

figura 7c: razón de las bases 1 y 3 usadas en la elaboración de la mezcla,

20 figura 7d: índice de cetano de la mezcla,

figura 7e: filtrabilidad de la mezcla,

figura 7f: contenido en azufre de la mezcla.

25 La invención se describe a continuación para instalaciones petroleras que permiten elaborar mezclas que contienen proporciones determinadas de varios constituyentes o bases disponibles, con el fin de que la combinación de las propiedades de esas bases confiera a la mezcla las propiedades deseadas respetando extremos o un valor de consigna.

30 La figura 1 representa un esquema de un dispositivo de control de la elaboración de una mezcla de productos según la invención.

35 Los constituyentes o bases de la mezcla están contenidos en recipientes 1, 2, 3, cuyo número se ha limitado a tres por facilidad de representación. Los constituyentes que van a mezclarse recorren vías de transporte 4, 5, 6 hacia una vía principal 7 dotada de una mezcladora 8, conduciendo la vía principal la mezcla a un recipiente de destino 9. Medios designados por la referencia 10 en la figura 1 permiten controlar los caudales de las bases en cada vía de transporte. Se trata por ejemplo de reguladores de caudal que controlan una válvula.

40 Medios de análisis 11, o medios de medición en continuo, permiten medir de manera repetitiva los parámetros representativos de la mezcla a lo largo de su elaboración. Estos medios 11 están constituidos por ejemplo por analizadores en línea conectados a la mezcladora 8 situada en la vía principal 7.

45 En el caso de una mezcla de productos petrolíferos, estos analizadores miden por ejemplo el contenido en azufre de la mezcla (medidor de azufre), el índice de octano (octano-motor), el índice de cetano (cetano-motor)...

La instalación también comprende medios de cálculo 12 de las proporciones (formulación u) de las bases que forman parte de la mezcla, un estimador 13 y un optimizador 14 que permiten determinar una formulación u de las proporciones de las bases que se transmitirá a los medios de control 10.

50 El papel del estimador 13 es estimar las propiedades de las bases a partir de los análisis de las propiedades de la mezcla realizados por los medios de análisis 11, comprendiendo los medios de cálculo 12 medios programados para calcular, por medio de esta estimación y de valores de consigna de esas propiedades o de valores de limitaciones asociados a esas propiedades, las proporciones de las diferentes bases que forman parte de la mezcla con el fin de obtener una mezcla que comprende propiedades predeterminadas. Las proporciones de las bases que van a aplicarse se calculan de manera repetitiva, a intervalos de tiempo predeterminados, no necesariamente iguales (por ejemplo del orden de 5 minutos), permitiendo así un control preciso de las propiedades de la mezcla.

55 El estimador 13 comprende medios programados para poner en práctica las operaciones de determinación de las propiedades de los constituyentes que forman parte del procedimiento de elaboración de la mezcla según la invención descrito anteriormente.

60 El papel del optimizador 14 es optimizar una formulación u de las proporciones de las bases a partir de las propiedades estimadas de las bases, de limitaciones sobre la formulación u y de limitaciones sobre las propiedades de la mezcla. La formulación u así optimizada sirve para controlar los medios de control 10.

65

El optimizador 14 comprende medios programados para poner en práctica el procedimiento de optimización de la formulación calculada para la puesta en práctica por parte del estimador del procedimiento de control según la invención.

5 El dispositivo comprende además un medio de almacenamiento 15 de objetivos de mezcla. Este medio de almacenamiento de objetivos de mezcla contiene los diferentes objetivos fijados por el usuario para obtener la mezcla deseada. Está conectado al optimizador 14 con el fin de transmitir las dianas deseadas para cada mezcla.

10 En el ejemplo, se trata de la formulación inicial de referencia, de las dianas de tipo consigna o límites superiores e inferiores sobre las propiedades, de las limitaciones mínimas/máximas sobre las proporciones de constituyentes, de los orientaciones deseadas mínimas/máximas sobre los constituyentes, del volumen que debe fabricarse y del modo de regulación elegido (instantáneo, integrado, integrado sobre el recipiente, tal como se definen a continuación).

15 El dispositivo según la invención también puede comprender un recipiente 16 de aditivo conectado, mediante una vía de transporte 17, a la vía principal 7, aguas abajo de la mezcladora 8. También está previsto un medio de control 10 del caudal de aditivo en la vía de transporte 17. Este medio 10 se controla por un controlador de inyección de aditivo 18, conectado al optimizador 14 y al medio de almacenamiento 15 de objetivos de mezcla.

20 El papel del controlador de inyección de aditivo 18 es optimizar una formulación de inyección de agentes de dopado del recipiente 16, con el fin de regular una propiedad dada, en paralelo a la optimización de formulación de los constituyentes 1 a 3 realizada por el optimizador 14, sabiendo que en caso de saturación de inyección de agente de dopado (por ejemplo cuando se alcanza un límite de consumo predefinido por los usuarios), se realiza un basculamiento automático de la propiedad regulada por el agente de dopado sobre la regulación de múltiples variables mediante acción sobre las proporciones de constituyentes, regulada por el optimizador 14.

25 Evidentemente, pueden considerarse varios recipientes 16 de aditivos.

El dispositivo según la invención puede funcionar según dos modos:

30 - Control con análisis integrados (modo integrado).

Este control está bien adaptado al caso en el que la mezcla se cuele en un recipiente de producto terminado (recipiente de destino) aislado. En este caso, la que se controla es la calidad media integrada sobre el conjunto del recipiente.

35 Entonces se controlan las proporciones de las bases de manera que se modifican las propiedades instantáneas de la mezcla con el fin de compensar las desviaciones de calidad constatadas en el pasado de la mezcla, de manera que se llevan las propiedades del conjunto de la mezcla contenida en el recipiente de destino a los valores de consigna, o al interior de las limitaciones.

40 Las acciones de control de las proporciones de las bases aumentan entonces al mismo tiempo que el volumen de la mezcla en el recipiente de destino.

45 Se distingue en este caso un modo "integrado de mezcla" y un modo "integrado de recipiente". Este último tiene en cuenta el volumen y la calidad del fondo de recipiente inicial antes del mezclado, mientras que el modo "integrado de mezcla" funciona sobre el producto fabricado, que se cuele desde la mezcladora, integrándose, es decir acumulándose, las calidades de este producto de mezcla que va a controlarse, calculándose su media desde el comienzo del mezclado.

50 - Control con análisis instantáneos (modo instantáneo)

Este control está bien adaptado en el caso en el que la mezcla se cuele directamente en un oleoducto, un barco, un tren o un camión. Entonces es importante mantener permanentemente los valores instantáneos de los análisis próximos a las consignas o en el interior de las limitaciones. En este caso, las acciones de control de las proporciones de las bases son independientes del volumen de mezcla colado.

60 El funcionamiento del estimador 13 de propiedades es independiente del modo de regulación elegido, instantáneo o integrado. En los dos modos, garantiza de manera instantánea y sincronizada el cálculo de una predicción de propiedades que puede a continuación usarse por el optimizador 14. El procedimiento de optimización puesto en práctica por el optimizador usa ecuaciones de regulación, detalladas a continuación, que hacen intervenir o bien una consigna correspondiente directamente en la diana buscada en el modo instantáneo, o bien una referencia calculada sobre una trayectoria modulada por un horizonte ajustable en el modo integrado.

65 Los ejemplos 1 a 5 describen fórmulas que pueden usarse para poner en práctica la invención.

Estos ejemplos se refieren respectivamente a: una retroacción sin mezclado previo, una retroacción con mezclado previo, secuencias de optimización, una gestión en modo integrado, y una regulación mediante aditivos.

5 La retroacción descrita en el ejemplo 1 permite tener en cuenta analizadores en línea, que es la base del principio de regulación. Permite concretamente una estimación en tiempo real de las propiedades de los constituyentes, según un mecanismo de corrección de las propiedades de los constituyentes según una orientación privilegiada (nuevo análisis de laboratorio de las propiedades de los constituyentes) o no.

10 Esta retroacción se completa en el ejemplo 2 de manera que se permite una sincronización del control, en el caso de múltiples mezclados previos, en paralelo (en una misma fase) o en serie (según varias fases sucesivas de mezclado previo). Esto permite obtener un control más robusto en la práctica, ya que está menos sujeto a las oscilaciones consecutivas de eventuales defectos de sincronización entre la medición y la predicción, y ampliar su uso para los casos de mezclados previos de constituyentes.

15 Las retroacciones presentadas en los ejemplos 1 ó 2 se usan para el cálculo de las predicciones de las propiedades de la mezcla. Estas predicciones se usan como ecuaciones de limitaciones en secuencias de optimización, tales como las presentadas en el ejemplo 3, y permiten el cálculo del control apropiado para alcanzar los objetivos fijados de mezcla.

20 Los ejemplos 1 ó 2 y 3 describen por tanto un ejemplo de cadena de tratamiento requerido en modo instantáneo.

25 El ejemplo 4 permite aportar un complemento específico del tratamiento en modo integrado, que usa el esquema de funcionamiento del modo instantáneo presentado con referencia a los ejemplos 1 a 3, calculando la media de las modificaciones sobre los umbrales (relajaciones de los valores de las limitaciones instantáneas) y sobre las referencias (consignas modificadas mediante trayectorias de referencias).

30 El ejemplo 5 describe una regulación mediante inyección de aditivo, que se añade a los mecanismos de los ejemplos 1 ó 2 y 3, y que puede usar mecanismos similares a los del modo de integración descrito en el ejemplo 4. En el mismo se menciona un principio de basculamiento de la regulación hacia las bases, lo que corresponde a una pasarela del mecanismo descrito en el ejemplo 5 hacia el descrito en los ejemplos 1 a 3.

El ejemplo 6 describe por su parte diferentes opciones de optimización de la formulación.

35 En el caso de una mezcla de n bases (o constituyentes), se usan las siguientes notaciones:

- u, vector de dimensión n, es la formulación que va a calcularse y \bar{u} es la formulación de referencia. La formulación representa las proporciones de las diferentes bases que forman parte de la mezcla: $u \in [0,1]^n$ y

$$\sum_{i=1}^n u_i = 1.$$

- 40 • y, vector de dimensión m, representa las m propiedades estimadas de la mezcla para la formulación u.
- y_j^{med} representa la medida de la propiedad j, con $y_j^{med} = B_j u$, suponiendo que las leyes de mezclado son lineales. Podrá indicarse en este caso que la igualdad $y = Bu$ sólo se aplica en el caso sin mezclado previo (dinámico o estacionario, es decir en régimen transitorio o en régimen establecido) y en el caso estacionario si hay mezclados previos.

- B es la matriz m x n de las propiedades de los constituyentes de la mezcla,

- 50 • \hat{B} es la estimación de B usada en los cálculos, de tal manera que $y = \hat{B}u$.

Las propiedades actuales y de la mezcla en la salida de la mezcladora se denominan propiedades instantáneas. Se miden por los analizadores en línea.

55 Las propiedades actuales del producto colado, indicadas z, se denominan propiedades integradas.

Las propiedades actuales de un recipiente de destino de la mezcla, indicadas zfb, se denominan propiedades integradas de fondo de recipiente.

Ejemplo 1: retroacción sin mezclado previo, control en modo instantáneo.

60 Este ejemplo pretende mostrar cómo la ecuación (1), usada para la puesta en práctica de la operación (2) de la

etapa (ii) del procedimiento de elaboración y de control de una mezcla según la invención, permite calcular una matriz de estimación de las propiedades de las bases. Este ejemplo corresponde al caso en el que las bases se mezclan directamente para elaborar la mezcla, sin mezclado previo.

5 Definiendo el siguiente sistema dinámico para la actualización de \hat{B}_j a partir de u y de la medida y_j^{med} :

$$\frac{d\hat{B}_j^t}{dt} = -\beta_j H u (y_j - y_j^{med}) \quad (1)$$

donde

10

- la matriz H es una matriz simétrica definida positiva y vale en este ejemplo:

$$\frac{1}{\|\bar{u}\|} \begin{pmatrix} \frac{1}{\bar{u}_1} & & \\ & \ddots & \\ & & \frac{1}{\bar{u}_n} \end{pmatrix}$$

15

- B_j^t es la traspuesta de B_j ,
- β_j es un número real estrictamente positivo.

$$\psi(\hat{B}_j) = \frac{1}{2} (\hat{B}_j - B_j) H^{-1} (\hat{B}_j - B_j)^t$$

20

Es posible mostrar que la función $\psi(\hat{B}_j)$ es una función de Lyapunov para el sistema dinámico (1). En efecto, es positiva y su derivada en función del tiempo es negativa:

$$\frac{d\psi}{dt} = -\beta_j (y_j - y_j^{med})^2$$

25

Por tanto \hat{B}_j^t tiende hacia el invariable más grande por el sistema dinámico (1), incluido en $\{\hat{B}_j^t \text{ tal que } d\psi/dt = 0\}$. Por tanto, \hat{B}_j^t tiende hacia un valor tal que $y_j = y_j^{med}$, lo que equivale por definición a $\hat{B}_j u = B_j u$. Por tanto, como

los valores de u están asociados por la limitación de $n \sum_{i=1}^n u_i = 1$, no es posible concluir con la igualdad de \hat{B}_j y B_j .

30

No obstante, cuando un problema de optimización comprende una limitación $\hat{B}_j u = y_j^{ref}$ y cuando existe una solución, entonces de manera asintótica $y_j^{med} = y_j^{ref}$. De manera similar, las limitaciones de desigualdades planteadas sobre la estimación y_j se respetan por la medida y_j^{med} .

35

El uso del sistema dinámico (1) para la actualización de las propiedades de la mezcla constituye por tanto un sistema de retroacción que permite evitar, para las salidas, las desviaciones entre las estimaciones y las mediciones.

Una variante en el uso del sistema dinámico (1) sería usar un término de desviación e en la formulación inicial de referencia y no un término de formulación u en la ecuación diferencial de estimación.

40

Cuando la medición está retardada, y se conoce el retardo, basta con sincronizar las magnitudes u , y_j y y_j^{med} para que las propiedades de convergencia sigan siendo válidas.

Además de los retardos de medición de los analizadores, la sincronización podrá tener en cuenta el/los retardo(s) de constituyentes aguas arriba de la mezcladora.

Se observa un retardo de este tipo por ejemplo en el caso del mezclado previo de constituyentes, tal como se describe a continuación.

5 **Ejemplo 2: retroacción con mezclados previos, control en modo instantáneo.**

Este ejemplo es similar al ejemplo 1, pero corresponde al caso en el que determinadas bases se mezclan previamente antes de su mezclado con otras bases para formar la mezcla deseada.

10 La figura 2 representa un ejemplo de topografía con un mezclado de 6 bases.

Se considera una instalación que comprende p mezclados previos numerados de 1 a p. Se indica:

15 - $Q_i(t)$ el caudal volumétrico de la base i en el instante t, con $i \in \{1, \dots, n\}$;

- $Q_{n+i}(t)$ el caudal volumétrico total que atraviesa el volumen muerto asociado al mezclado previo i en el instante t, con $i \in \{1, \dots, p\}$ (el caudal que entra es siempre igual al caudal que sale);

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n Q_i(t),$$

20 - $Q(t)$ el caudal volumétrico total de la mezcladora en el instante t, n

- V_i , el volumen muerto asociado al mezclado previo i,

25 - b_i , el vector de las propiedades de la base i, $b_j^E(t)$ (respectivamente $b_j^S(t)$) el vector de las propiedades en la entrada (respectivamente la salida) del mezclado previo j en el instante t. Por convenio, para una base b: $b_j^E(t) = b_j^S(t)$.

A todas las bases i, se les asocia un trayecto Π_i , definido por la serie de los p_i volúmenes muertos atravesados a partir de esta base para alcanzar la mezcladora. Este trayecto es una serie de p_i números enteros diferentes que se refieren a los índices de numeración de los mezclados previos, $\Pi_i = \{\pi_i^1, \pi_i^2, \dots, \pi_i^{p_i}\}$, con $\pi_i^j \in \{1, \dots, p\}$ para todo $j \in \{1, \dots, p_i\}$. $\Pi_i = \emptyset$, $p_i = 0$, significa que la base i se inyecta directamente en la mezcladora.

30

En el caso de la figura 2, se tiene:

35
$$\Pi_1 = \{3\}, p_1 = 1,$$

$$\Pi_2 = \{2,3\}, p_2 = 2$$

$$\Pi_3 = \{2;3\}, p_3 = 2$$

40
$$\Pi_4 = \emptyset, p_4 = 0$$

$$\Pi_5 = \{1\}, p_5 = 1$$

45
$$\Pi_6 = \{1\}, p_6 = 1$$

Para todos los mezclados previos i, se define el conjunto Γ_i de sus q_i caudales entrantes. Es un conjunto de q_i números enteros diferentes que se refieren a los índices de numeración de los caudales volumétricos,

$$\Gamma_i = \{\gamma_i^1, \gamma_i^2, \dots, \gamma_i^{q_i}\}, \text{ con } \gamma_i^j \in \{1, \dots, n+p\}, \text{ para todo } j \in \{1, \dots, q_i\}.$$

50 En el caso de la figura 2, se tiene:

$$\Gamma_1 = \{5,6\}, q_1 = 2$$

$$\Gamma_2 = \{2,3\}, q_2 = 2$$

$$\Gamma_3 = \{1,6+3\} = \{1,9\}, q_3 = 2.$$

5 Para $\Pi_i = \emptyset$, las propiedades b_i intervienen en forma ponderada $Q_1(t)/Q(t)b_i$ en la expresión de las propiedades de la mezcla en forma de combinación lineal de las propiedades de las bases.

Se centra ahora el interés en el caso $\Pi_i \neq \emptyset$.

10 Para el mezclado previo π_i^j , el caudal total es $Q_{\pi_i^j}(t) = \sum_{k \in \Gamma_{\pi_i^j}} Q_k(t)$. La propiedad en entrada $b_{\pi_i^j}^E(t)$ se escribe:

$$b_{\pi_i^j}^E(t) = \frac{\sum_{j \in \Gamma_{\pi_i^j}} b_j^E Q_j(t)}{\sum_{j \in \Gamma_{\pi_i^j}} Q_j(t)}$$

15 En esta entrada, el término en b_i interviene en la forma:

$$\frac{Q_i(t)}{\sum_{j \in \Gamma_{\pi_i^j}} Q_j(t)} b_i = \frac{Q_i(t)}{Q_{\pi_i^j}(t)} b_i$$

20 En la salida, se tiene $b_{\pi_i^j}^S(t) = b_{\pi_i^j}^E(t - \delta_{\pi_i^j}(t))$, definiéndose el retardo puro $\delta_{\pi_i^j}(t)$ mediante:

$$V_{\pi_i^j} = \int_{t - \delta_{\pi_i^j}(t)}^t Q_{\pi_i^j}(\tau) d\tau. \quad (3)$$

El término en b_i interviene por tanto en $b_{\pi_i^j}^S(t)$ en la forma

$$\frac{Q_i(t - \delta_{\pi_i^j}(t))}{Q_{\pi_i^j}(t - \delta_{\pi_i^j}(t))} b_i.$$

25

$$\pi_i^2 :$$

De manera similar, se tiene para el mezclado previo

$$b_{\pi_i^2}^E(t) = \frac{\sum_{j \in \Gamma_{\pi_i^2}} b_j^E Q_j(t)}{\sum_{j \in \Gamma_{\pi_i^2}} Q_j(t)},$$

30 Sea, para el término b_i en $b_{\pi_i^2}^S(t)$

$$\frac{Q_{\pi_i^1}(t)}{Q_{\pi_i^2}(t)} \frac{Q_i(t - \delta_{\pi_i^1}(t))}{Q_{\pi_i^1}(t - \delta_{\pi_i^1}(t))} b_i.$$

35 Para $b_{\pi_i^1}^S(t) = b_{\pi_i^1}^E(t - \delta_{\pi_i^1}(t))$ el término en b_i interviene en la forma:

$$\frac{Q_{\pi_i^1}(t - \delta_{\pi_i^2}(t))}{Q_{\pi_i^2}(t - \delta_{\pi_i^2}(t))} \frac{Q_i(t - \delta_{\pi_i^2}(t) - \delta_{\pi_i^1}(t - \delta_{\pi_i^2}(t)))}{Q_{\pi_i^1}(t - \delta_{\pi_i^2}(t) - \delta_{\pi_i^1}(t - \delta_{\pi_i^2}(t)))} b_i.$$

Se observa que aparecen composiciones de retardos sobre los trayectos Π_i . Se definen las funciones:

$\Delta_i^j(t) : t \mapsto t - \delta_{\pi_i^j}(t)$, para todos los π_i^j en Π_i . La composición de estas funciones con j fija se define mediante:

$$\Delta_i^{k,j}(t) \triangleq \Delta_i^k(\Delta_i^j(t)) : t \mapsto t - \delta_{\pi_i^j}(t) - \delta_{\pi_i^k}(t - \delta_{\pi_i^j}(t))$$

y

$$\Delta_i^{l,k,j}(t) \triangleq \Delta_i^l(\Delta_i^{k,j}(t)).$$

Con estas definiciones, la fórmula para el término b_i en $b_{\pi_i^2}^S(t)$ se escribe

$$\frac{Q_{\pi_i^1}(\Delta_i^2(t))}{Q_{\pi_i^2}(\Delta_i^2(t))} \frac{Q_i(\Delta_i^{1,2}(t))}{Q_{\pi_i^1}(\Delta_i^{1,2}(t))} b_i.$$

En la salida del último mezclado previo $\pi_i^{p_i}$, se tiene para $b_{\pi_i^{p_i}}^S(t)$ en b_i

$$\frac{Q_{\pi_i^{p_i-1}}(\Delta_i^{p_i}(t))}{Q_{\pi_i^{p_i}}(\Delta_i^{p_i}(t))} \frac{Q_{\pi_i^{p_i-2}}(\Delta_i^{p_i-1,p_i}(t))}{Q_{\pi_i^{p_i-1}}(\Delta_i^{p_i-1,p_i}(t))} \dots \frac{Q_{\pi_i^1}(\Delta_i^{2,\dots,p_i}(t))}{Q_{\pi_i^2}(\Delta_i^{2,\dots,p_i}(t))} \frac{Q_i(\Delta_i^{1,2,\dots,p_i}(t))}{Q_{\pi_i^1}(\Delta_i^{1,2,\dots,p_i}(t))}$$

y finalmente en la mezcla, indicando $U_i(t)$ el término con factor b_i

$$U_i(t) = \frac{Q_{\pi_i^{p_i}}(t)}{Q(t)} \frac{Q_{\pi_i^{p_i-1}}(\Delta_i^{p_i}(t))}{Q_{\pi_i^{p_i}}(\Delta_i^{p_i}(t))} \frac{Q_{\pi_i^{p_i-2}}(\Delta_i^{p_i-1,p_i}(t))}{Q_{\pi_i^{p_i-1}}(\Delta_i^{p_i-1,p_i}(t))} \dots \frac{Q_{\pi_i^1}(\Delta_i^{2,\dots,p_i}(t))}{Q_{\pi_i^2}(\Delta_i^{2,\dots,p_i}(t))} \frac{Q_i(\Delta_i^{1,2,\dots,p_i}(t))}{Q_{\pi_i^1}(\Delta_i^{1,2,\dots,p_i}(t))}. \quad (4)$$

Entonces $U_i(t) = u_i(t) = Q_i(t)/Q(t)$ para $\Pi_i \neq \emptyset$, y en la salida se escribe:

$$y(t) = \sum_{i=1}^n U_i(t) b_i \quad (5)$$

Por tanto, para los casos de mezclados previos, la ecuación (1) del sistema dinámico se convierte en:

$$\frac{d\hat{B}_j^t}{dt} = -\beta_j H U(t) (y_j(t) - y_j^{\text{med}}(t)), \quad (2)$$

Con $U(t) = (U_1(t), \dots, U_n(t))'$, estando los $U_i(t)$ definidos por la ecuación (4) e $y(t) = (y_1(t), \dots, y_m(t))'$ por la ecuación (5).

La función usada en el caso sin mezclado previo sigue siendo una función de Lyapunov para esta nueva dinámica y permite mostrar la convergencia de $\hat{B}U$ hacia BU .

Ejemplo 3: secuencias de optimización

El procedimiento de control según la invención usa un procedimiento de optimización para determinar la formulación u durante la subetapa (3) de la etapa (ii). Este procedimiento de optimización comprende las etapas (a) a (d) indicadas anteriormente. El procedimiento de optimización se pone en práctica por el optimizador 14 y proporciona una formulación u optimizada al estimador 13 para la determinación de la formulación que va a aplicarse a los medios de control 10 del dispositivo.

A continuación se describe un ejemplo de funcionamiento del procedimiento de optimización usado para optimizar la formulación u, con referencia a la figura 3.

10 Notaciones:

Se consideran los siguientes subconjuntos de $M=\{1,2,\dots,m\}$, conjunto de los índices atribuidos a las salidas:

- 15 ○ R, el subconjunto de los índices de salida para los cuales se especifican referencias calculadas en modo integrado o consignas en modo instantáneo,
- H_m , el subconjunto de los índices de salida para los cuales se especifican límites mínimos denominados “duros”, es decir que deben respetarse con prioridad,
- 20 ○ H_M , el subconjunto de los índices de salida para los cuales se especifican límites máximos duros,
- S_m , el subconjunto de los índices de salida para los cuales se especifican límites mínimos denominados “blandos”, es decir no prioritarios,
- 25 ○ S_M , el subconjunto de los índices de salida para los cuales se especifican límites máximos blandos.

A cada salida, se supone que se le pueden asociar como máximo una referencia (o consigna), un límite mínimo (duro o blando) y un límite máximo (duro o blando). Por tanto, de manera implícita, $H_m \cap S_m = \emptyset$ y $H_M \cap S_M = \emptyset$.

30 Por otro lado, se supone que se tienen en cuenta los efectos estimados de los aditivos en el valor de las referencias y de las limitaciones.

Las igualdades que deben tenerse en cuenta para las referencias y_i^{ref} son:

35
$$y = y_i^{ref}, \forall i \in R.$$

Sea \hat{B}_R la matriz extraída de \hat{B} conservando sólo las líneas que corresponden a los índices que pertenecen a R.

Introduciendo los vectores y_R e y_R^{ref} , este conjunto de desigualdades se escribe $y_R = \hat{B}_R u = y_R^{ref}$. Es una limitación sobre la incógnita u.

40 El conjunto de las limitaciones sobre las salidas se escribe:

$$\begin{cases} y_i \geq y_i^{min} & \forall i \in H_m \\ y_i \leq y_i^{max} & \forall i \in H_M \\ y_i \geq y_i^{min} & \forall i \in S_m \\ y_i \leq y_i^{max} & \forall i \in S_M \end{cases}$$

Sea \hat{B}_{H_m} la matriz extraída de \hat{B} conservando sólo las líneas relativas a los índices que pertenecen a H_m .

Introduciendo los vectores y_{H_m} e $y_{H_m}^{min}$, el primer conjunto de desigualdades se reescribe $y_{H_m} = \hat{B}_{H_m} u \geq y_{H_m}^{min}$.

45 Es una limitación sobre la incógnita u. Mediante notaciones similares,

$$\begin{cases} \hat{B}_{H_m} u \geq y_{H_m}^{\min} \\ \hat{B}_{H_M} u \leq y_{H_M}^{\max} \\ \hat{B}_{S_m} u \geq y_{S_m}^{\min} \\ \hat{B}_{S_M} u \leq y_{S_M}^{\max} \end{cases}$$

Este conjunto de desigualdades es evidentemente equivalente a

$$\begin{cases} -\hat{B}_{H_m} u \leq -y_{H_m}^{\min} \\ \hat{B}_{H_M} u \leq y_{H_M}^{\max} \\ -\hat{B}_{S_m} u \leq -y_{S_m}^{\min} \\ \hat{B}_{S_M} u \leq y_{S_M}^{\max} \end{cases}$$

5

Se observa que:

$$B_H = \begin{pmatrix} -B_{H_m} \\ B_{H_M} \end{pmatrix} \quad B_S = \begin{pmatrix} -B_{S_m} \\ B_{S_M} \end{pmatrix} \quad y_H^{\max} = \begin{pmatrix} -y_{H_m}^{\min} \\ y_{H_M}^{\max} \end{pmatrix} \quad y_S^{\max} = \begin{pmatrix} -y_{S_m}^{\min} \\ y_{S_M}^{\max} \end{pmatrix}$$

10

El conjunto de desigualdades se escribe finalmente:

$$\begin{cases} \hat{B}_H u \leq y_H^{\max} \\ \hat{B}_S u \leq y_S^{\max} \end{cases}$$

15 A continuación, según las notaciones indicadas anteriormente, se usan, para un conjunto cualquiera P de índices asociados a esas salidas, las notaciones $y_p = \hat{B}_p u \leq y_p^{\max}$. Para una única salida de índice j, la notación es sencillamente $y_j = \hat{B}_j u$.

20 El problema de optimización inicial P0 (problema completo), consiste en encontrar la formulación u más próxima a una formulación de referencia \bar{u} , al tiempo que se respeta el conjunto de las limitaciones sobre u. Este problema no tiene necesariamente una solución. Si no la tiene, debe no obstante producirse una nueva formulación, que se obtiene según la invención resolviendo secuencialmente varios problemas de optimización sucesivos:

25 - en un primer momento (problema P1), se buscan los valores admisibles para las limitaciones duras sobre las salidas, procediendo de manera iterativa de las limitaciones duras más prioritarias hacia las limitaciones duras menos prioritarias;

- en un segundo momento (problema P2), se buscan los valores admisibles para las referencias;

30 - finalmente (problema P3), se buscan los valores admisibles para las limitaciones blandas sobre las salidas, procediendo de manera iterativa de las limitaciones blandas más prioritarias hacia las limitaciones blandas menos prioritarias.

La tabla 1 describe un ejemplo de las secuencias de optimización.

35

Tabla 1: secuencias de optimización de P0 a P3

		→			
		P0	P1	P2	P3
Optimización de la formulación		criterio			
Mín/máx de analizador	Blando	limitación			criterio
	Duro	limitación	criterio	limitación alcanzable	limitación alcanzable
Consignas de analizador		limitación		criterio	referencia alcanzable
Velocidad / mín / máx / de bases		limitación	limitación	limitación	limitación

Algunas vías = 100%	limitación	limitación	limitación	limitación
---------------------	------------	------------	------------	------------

Los mínimos/máximos de las bases usadas como limitaciones prioritarias permanentes se llevan a valores en proporciones, sabiendo que los mínimos/máximos hidráulicos se expresan en m³/h, usando el caudal total de la mezcladora.

5 Las velocidades de evolución (ROC) son normalmente del orden del 25%.

10 Para la realización de una mezcla de tipo gasolina, los mínimos duros son normalmente la densidad, el índice de octano, los porcentajes destilados, mientras que los máximos duros son normalmente el contenido en azufre, la densidad, la tensión de vapor, la volatilidad, el contenido en benceno, el contenido en olefinas y el contenido en compuestos aromáticos. Y lo contrario para los mínimos y máximos blandos, salvo para la densidad cuyos umbrales mínimo y máximo se consideran umbrales duros.

15 Para la realización de una mezcla de tipo gasóleo, los mínimos blandos son normalmente el contenido en azufre, la densidad, la filtrabilidad y el punto de turbidez, y los máximos blandos son normalmente el punto de inflamación, el índice de cetano y el porcentaje destilado. Y lo contrario para los mínimos y máximos duros.

20 Para la realización de una mezcla de tipo fuel, los mínimos duros son normalmente la viscosidad, y los máximos duros son normalmente, la viscosidad, el contenido en azufre y la densidad.

Pueden usarse los diferentes problemas sucesivos detallados a continuación.

Problema inicial P0

25 El problema inicial P0 se usa en la puesta en práctica de la etapa (a) del procedimiento de optimización descrito anteriormente. La solución de este problema de regulación completa P0 consiste en una formulación u optimizada que tiene en cuenta limitaciones sobre las proporciones de los constituyentes y limitaciones sobre las propiedades de la mezcla.

30 Este problema consiste en respetar el conjunto de las limitaciones sobre la formulación y sobre las salidas, así como las referencias sobre las salidas, al tiempo que se aleja lo menos posible de la formulación de referencia, en el sentido de los mínimos cuadrados.

35 El problema que debe resolverse es por tanto:

$$\min_u \|u - \bar{u}\|^2$$

$$\begin{cases} u^{\min} \leq u \leq u^{\max} \\ \sum_{i=1}^n u_i = 1 \\ \hat{B}_R u = y_R^{\text{ref}} \\ \hat{B}_H u \leq y_H^{\max} \\ \hat{B}_S u \leq y_S^{\max} \end{cases}$$

40 El problema de optimización formulado en este caso hace aparecer como variable de optimización un vector u de formulación que se desea calcular.

45 Una alternativa consiste en plantear un problema de optimización similar, que tiene como variable de optimización un vector de desviación e entre la formulación inicial de referencia y la formulación u de las proporciones de los constituyentes.

Quando este problema presenta una solución u*, se aplica. En el caso contrario, se resuelven sucesivamente los tres problemas P1 a P3 descritos a continuación.

50 Para este problema P0, las limitaciones que deben respetarse son:

(1) limitaciones sobre las proporciones de las bases:

- o limitaciones hidráulicas (desigualdades): cada vía i puede proporcionar un caudal comprendido entre F_i^{\min} y F_i^{\max} . Para un caudal de aspecto actual F , debe cumplirse, para cada base:

$$u_i^{p,\min} = \frac{F_i^{\min}}{F} \leq u_i \leq u_i^{p,\max} = \frac{F_i^{\max}}{F}$$

- 5
- o limitaciones de planificación (desigualdades): corresponden a las incorporaciones mínimas y máximas para cada base (proporciones cuya suma es igual a 1). Para el modo instantáneo, esto se traduce por limitaciones mínimas $u_i^{o,\min}$ y máximas $u_i^{o,\max}$.
 - o limitaciones de variación de incorporación (desigualdades): la proporción de cada base i no puede evolucionar más de δu_i^b a la baja y más de δu_i^h al alza. Así, si la proporción en la llamada anterior valía u_i , el control actual debe ser superior a $u_i^{s,\min} = u_i(1 - \delta u_i^b)$ e inferior a $u_i^{s,\max} = u_i(1 + \delta u_i^h)$.
 - o limitación de igualdad de caudal total constante (la suma de las proporciones de las bases debe ser igual a 1).
- 10
- 15

(2) limitaciones sobre las propiedades de la mezcla:

- o limitaciones de desigualdades asociadas a las ecuaciones de regulación que expresan que el valor y medido debe alcanzar su consigna y_{sp} (pudiendo eventualmente formularse en forma de limitaciones de desigualdades que calculan la media de la introducción de tolerancias, se requiere una formulación de tipo limitación de igualdad, si no se recurre a esas tolerancias).
 - o limitaciones de desigualdades para mantener los valores de las propiedades medidas en el interior de un intervalo mínimo / máximo, con el fin de respetar las especificaciones y limitar la sobre-especificación.
- 20
- 25

En este problema, el criterio pretendido puede expresarse como una desviación de la formulación inicial que se intentará minimizar al tiempo que se garantiza que se respetan todas las limitaciones precisadas anteriormente.

- o Cuando no puede resolverse el problema P0 (no puede realizarse la mezcla para obtener el conjunto de las especificaciones requeridas), se inicia una secuencia de optimización en tres etapas P1, P2, P3.
- 30

Problema P1 de gestión de las limitaciones duras

- o El problema P1 se pone en práctica a lo largo de la etapa (b) del procedimiento de optimización descrito anteriormente.
- 35

Se determina así una formulación u para la cual se resuelve el problema de regulación mínima P1, que sólo tiene en cuenta limitaciones del problema P0 definidas como prioritarias. Este problema P1 pone en práctica una sucesión de problemas de optimización, normalmente realizables, cuyos criterios consisten en penalizar la violación de dichas limitaciones prioritarias, con el fin de definir nuevos valores alcanzables para esas limitaciones prioritarias.

40

Estos criterios corresponden a limitaciones jerarquizadas prioritarias de tipo desigualdades sobre las propiedades monitorizadas, preferiblemente limitaciones jerarquizadas de rango duro, prioritarias con respecto a los objetivos de regulación, y que inducen costes por no respeto de las especificaciones de calidad.

45

Este problema P1 se refiere a la gestión de las limitaciones duras (limitaciones sobre las proporciones de las bases y limitaciones prioritarias sobre las propiedades de la mezcla), de manera iterativa, mediante prioridades decrecientes. Dado que varias limitaciones pueden tener la misma prioridad, la gestión iterativa trabaja por conjunto de limitaciones de igual prioridad.

50

A cada limitación se le asocia un rango. Por convenio, cuanto menor es el rango asociado a la limitación, menos prioritaria es la limitación. Los rangos denominados positivos se asocian a limitaciones prioritarias, mientras que los rangos denominados negativos se asocian a limitaciones no prioritarias.

55

Sea una división de $H = H_m \cup H_M$ en p subconjuntos H_i todos no vacíos, que agrupan cada uno índices correspondientes a salidas sujetas a limitaciones duras de igual prioridad. Mediante construcción, $p \leq \text{card}(H)$,

$U_{i \neq l}^p H_l = H$ y $H_i \cap H_j = \emptyset, \forall i \neq j$. Las limitaciones relativas a H_j son menos prioritarias que las relativas a H_i ya que $i < j$.
También se observa $H_{i,j} = U_{i=1}^j H_j$.

Iteración 1: tratamiento de las limitaciones más prioritarias, asociadas a H_1 .

5

Debe resolverse:

$$\min_{u, \zeta} \|\hat{B}_{H_1} u + \zeta - y_{H_1}^{\max}\|^2$$

$$\begin{cases} u^{\min} \leq u \leq u^{\max} \\ \zeta \geq 0 \\ \sum_{i=1}^n u_i = 1 \end{cases}$$

10

con ζ el vector de variable de desviación (vector "slack") que permite aumentar la dimensión del vector de optimización (u, ζ) y calcular un rebasamiento óptimo, correspondiente a las relajaciones de las limitaciones.

15 Este problema tiene una solución cuando el valor inicial de u satisface los límites y la limitación de igualdad sobre la suma de sus elementos, lo que siempre es el caso.

La solución (u^*, ζ^*) permite relajar el problema de optimización dado el caso.

20 Iterando sobre los $\text{card}(H_1)$ elementos ζ_j de ζ , los valores alcanzables $y_{H_1}^{\max, alc}$ se definen de la siguiente manera:

- si $\zeta_j > 0$, entonces el valor alcanzable es el valor inicial de la limitación,

- si $\zeta_j = 0$, entonces el valor alcanzable es $\hat{B}_j u^*$.

25

Iteración k+1:

En la iteración de orden $(k+1)$, se resuelve el siguiente problema:

$$\min_{u, \zeta} \|\hat{B}_{H_{k+1}} u + \zeta - y_{H_{k+1}}^{\max}\|^2$$

30

$$\begin{cases} u^{\min} \leq u \leq u^{\max} \\ \zeta \geq 0 \\ \sum_{i=1}^n u_i = 1 \\ \hat{B}_{H_{1,k}} u \leq y_{H_{1,k}}^{\max, alc} \end{cases}$$

35 Este problema siempre tiene una solución, ya que se han definido valores alcanzables en las k iteraciones anteriores para las limitaciones relativas a los conjuntos H_1 a H_k .

Como en las iteraciones anteriores, la solución (u^*, ζ^*) permite relajar el problema de optimización dado el caso.

Iterando los $\text{card}(H_{k+1})$ elementos ζ_j de ζ , los valores alcanzables $y_{H_{k+1}}^{\max, alc}$ se definen de la siguiente manera:

40 - si $\zeta_j > 0$, entonces el valor alcanzable es el valor inicial de la limitación,

- si $\zeta_j = 0$, entonces el valor alcanzable es $\hat{B}_j u^*$.

El problema se resuelve completamente cuando se han abordado los p subconjuntos de limitaciones de prioridades decrecientes a lo largo de p iteraciones.

5 Así, la secuencia P1 permite, mediante optimizaciones sucesivas, resolver las limitaciones duras (limitaciones sobre las proporciones de las bases y limitaciones de rango positivo sobre las propiedades de la mezcla). En caso de no ser realizable, se relajan las limitaciones de rango menos prioritario. Los rangos se usan cuando no puede satisfacerse todo lo que se requiere. Las limitaciones duras tienen un peso más importante que los objetivos de regulación con consigna fija. Las limitaciones blandas de rango negativo se ignoran. La optimización de formulación sigue estando inactiva en esta secuencia.

Problema P2: gestión de las referencias

15 El problema P2 se pone en práctica a lo largo de la etapa (c) del procedimiento de optimización descrito anteriormente.

Se determina así una formulación u para la cual se resuelve el problema de regulación P2, que tiene en cuenta dichos nuevos valores alcanzables de las limitaciones prioritarias del problema P0 así como limitaciones no prioritarias del problema P0. Este problema P2 pone en práctica un problema de optimización cuyos criterios consisten en penalizar la violación de dichas limitaciones no prioritarias, con el fin de definir nuevos valores alcanzables para esas limitaciones no prioritarias.

20 Estos criterios corresponden a limitaciones de igualdades sobre las propiedades reguladas con consigna fija, preferiblemente limitaciones de rango blando no prioritario con respecto a los objetivos de regulación, pero que inducen un exceso de calidad.

25 Esta secuencia comprende el conjunto de las limitaciones duras, con límites cuyo valor se ha relajado eventualmente durante la secuencia P1. El problema P2 intenta satisfacer lo mejor posible las ecuaciones de la regulación, a riesgo, dado el caso, de relajar la consigna para dar una consigna alcanzable. Todas estas ecuaciones se tratan simultáneamente (esta secuencia P2 no es iterativa).

30 No obstante, es posible una orientación de las relajaciones, introduciendo en el criterio un vector de ponderación usando pesos relativos característicos de la importancia relativa de las propiedades, con el fin de relajar de manera preferible las propiedades menos importantes.

35 Las limitaciones blandas de rango negativo se ignoran, y la optimización de la formulación sigue estando inactiva.

Se trata de resolver:

40

$$\min_u \left\| \hat{\mathbf{B}}_R \mathbf{u} - \mathbf{y}_R^{\text{ref}} \right\|^2$$

$$\begin{cases} \mathbf{u}^{\min} \leq \mathbf{u} \leq \mathbf{u}^{\max} \\ \sum_{i=1}^n u_i = 1 \\ \hat{\mathbf{B}}_H \mathbf{u} \leq \mathbf{y}_H^{\max, \text{alc}} \end{cases}$$

45 Este problema siempre tiene una solución u* ya que todas las limitaciones duras se han relajado durante la resolución del problema P1. Las referencias alcanzables se calculan como $\mathbf{y}_R^{\text{ref,alc}} = \hat{\mathbf{B}}_R \mathbf{u}^*$.

Problema P3: gestión de las limitaciones blandas

50 El problema P3 se pone en práctica a lo largo de la etapa (d) del procedimiento de optimización descrito anteriormente.

55 Se determina una formulación u para la cual se resuelve un problema de regulación P3, que tiene en cuenta dichos nuevos valores alcanzables de las limitaciones prioritarias del problema P0 obtenidos en la etapa (b), dichos nuevos valores alcanzables de las limitaciones no prioritarias obtenidos en la etapa (c), así como todas las demás limitaciones no prioritarias del problema P0 y no tratadas por los problemas P1 y P2. Este problema P3 pone en práctica una sucesión de problemas de optimización, normalmente realizables, cuyos criterios consisten en penalizar la violación de dichas otras limitaciones no prioritarias, con el fin de definir nuevos valores alcanzables para esas otras limitaciones no prioritarias.

Estos criterios corresponden a limitaciones jerarquizadas no prioritarias de tipo desigualdad sobre las propiedades monitorizadas.

- 5 Este problema se refiere a la gestión de las limitaciones blandas de manera iterativa, se trata de una gestión secuencial por paquetes de limitaciones de prioridades decrecientes. De manera similar al problema P1, se introducen los subconjuntos S_i de $S = S_m \cup S_M$.

Iteración 1: tratamiento de las limitaciones más prioritarias, asociadas a S_1 .

- 10 Debe resolverse

$$\min_{u, \zeta} \|\hat{B}_{S_1} u + \zeta - y_{S_1}^{\max}\|^2$$

15

$$\begin{cases} u^{\min} \leq u \leq u^{\max} \\ \zeta \geq 0 \\ \sum_{i=1}^n u_i = 1 \\ \hat{B}_H u \leq y_H^{\max,alc} \\ \hat{B}_R u \leq y_R^{\text{ref},alc} \end{cases}$$

La solución (u^*, ζ^*) permite relajar el problema de optimización dado el caso. Iterando los $\text{card}(S_1)$ elementos ζ_j de ζ , los valores alcanzables $y_{S_1}^{\max,alc}$ se definen de la siguiente manera:

- 20 - si $\zeta_j > 0$, entonces el valor alcanzable es el valor inicial de la limitación,
 - si $\zeta_j = 0$, entonces el valor alcanzable es $\hat{B}_j u^*$.

Iteración k+1:

- 25 En la iteración de orden $(k+1)$, se resuelve el siguiente problema:

$$\min_{u, \zeta} \|\tilde{B}_{S_{k+1}} u + \zeta - y_{S_{k+1}}^{\max}\|^2$$

30

$$\begin{cases} u^{\min} \leq u \leq u^{\max} \\ \zeta \geq 0 \\ \sum_{i=1}^n u_i = 1 \\ \hat{B}_H u \leq y_H^{\max,alc} \\ \hat{B}_R u \leq y_R^{\text{ref},alc} \\ \hat{B}_{S_{1,k}} u \leq y_{S_{1,k}}^{\max,alc} \end{cases}$$

Tal como en las iteraciones anteriores, la solución (u^*, ζ^*) permite relajar el problema de optimización dado el caso. Iterando los $\text{card}(S_{k+1})$ elementos ζ_j de ζ , los valores alcanzables $y_{S_{k+1}}^{\max,alc}$ se definen de la siguiente manera:

- 35 - si $\zeta_j > 0$, entonces el valor alcanzable es el valor inicial de la limitación,
 - si $\zeta_j = 0$, entonces el valor alcanzable es $\hat{B}_j u^*$.

El problema se resuelve completamente cuando se han abordado todos los subconjuntos de limitaciones de prioridades decrecientes.

5 Esta secuencia P3 permite tener en cuenta, si es posible, las limitaciones blandas, según su rango, al tiempo que se respetan las ecuaciones de regulación (eventualmente relajadas), con limitaciones sobre las proporciones de las bases y limitaciones duras eventualmente relajadas sobre las propiedades de la mezcla.

10 Las limitaciones de rango idéntico se tratan simultáneamente en las secuencias de optimizaciones. La optimización de formulación sigue estando inactiva.

La resolución global del problema de optimización se termina tras la última iteración del problema P3, cuya parte u^* de la solución es el control calculado, que debe aplicarse a la mezcladora.

15 Preferiblemente, para cada problema, se garantizan la no violación de las limitaciones sobre las proporciones de las bases así como la no violación de la limitación sobre la suma de las proporciones de las bases, que debe valer 1. Estas limitaciones siempre se tienen en cuenta.

La figura 3 representa la secuenciación de los problemas de optimización P0 a P3 definidos anteriormente.

20 Si la resolución numérica del problema inicial P0 no ha proporcionado una solución, se inicia la resolución secuencial de los problemas P1, P2 y P3. Aunque estos problemas teóricamente siempre tienen una solución, su resolución numérica puede fallar. La formulación aplicada en el procedimiento en función de los fallos de resolución es la siguiente (véase la figura 3):

25 caso 1: la formulación aplicada es el resultado del problema de optimización inicial,

caso 2: la formulación aplicada es la formulación actual,

30 caso 3: la formulación aplicada es el resultado del cálculo de P1,

caso 4: la formulación aplicada es el resultado del cálculo de P2,

35 caso 5: la formulación aplicada es el resultado del cálculo de P3.

Durante un fallo de la resolución numérica para los problemas P1 a P3, y durante una relajación persistente de la limitación dura durante la solución del problema P1, se activa una monitorización de las salidas. Esta monitorización consiste en verificar que:

40 - las salidas y_i asociadas a una consigna y_i^c permanecen en la zona comprendida entre $y_i^c - t^c$ e $y_i^c + t^c$, donde t^c es una tolerancia definida por el usuario,

45 - las salidas únicamente asociadas a límites mínimo y^{\min} y/o máximo y^{\max} no superan los valores $y^{\min} - t^{\min}$ y/o $y^{\max} + t^{\max}$, donde t^{\min} y t^{\max} son umbrales definidos por el usuario.

Si se franquea un umbral, se detiene el control de la mezcla.

50 Se observará que los problemas de optimización se codifican usando la desviación e con respecto a la formulación inicial u^0 , y no directamente en la variable u .

En cambio, el estimador de propiedad es el codificado usando una codificación en u y no en la desviación e , lo que permite liberarse de recurrir a las medidas iniciales del comienzo del mezclado, con frecuencia sujetas a imprecisiones.

55 Además, la codificación en la variable u según la invención es perfectamente compatible con la retroacción según la invención descrita anteriormente.

60 Se observará que un ajuste a escala de las ecuaciones que intervienen en los problemas de optimización planteados permite liberarse de problemas de acondicionamiento numérico, teniendo en cuenta órdenes de magnitud eventualmente diferentes de las propiedades consideradas.

Este ajuste a escala consiste en usar un factor de escala multiplicativo aplicado a los miembros de la derecha y de la izquierda de las diferentes limitaciones.

Este factor se ajusta en función de la propiedad considerada.

Este ajuste a escala se realiza en efecto usando como valor de normalización una media entre los valores extremos (mínimos y máximos) de las calidades de los constituyentes (cuando la propiedad no está asociada a un valor de consigna).

Se usará además como valor de normalización una media entre la media de los valores extremos (mínimos y máximos) de las calidades de los constituyentes, por un lado, y un valor de consigna eventual (cuando la propiedad está asociada a un valor de consigna).

Además, también se aplica una normalización en los criterios de optimización P1, P2, P3.

La norma usada corresponde a una forma cuadrática definida por una matriz diagonal, cuyos términos diagonales son los cuadrados de las inversas de los factores de escalas calculados.

Ejemplo 4: optimización en modo integrado

a. Limitaciones sobre las propiedades de la mezcla

Cuando el modo de control es el modo instantáneo, las limitaciones definidas sobre las propiedades de la mezcla por el usuario son las usadas para la optimización, concretamente los objetivos son directamente consignas proporcionadas por el usuario.

En modo de control integrado, el usuario puede considerar que lo que cuenta es la gestión de las limitaciones no sobre las características de la mezcla instantánea, sino sobre las características del volumen total colado en el recipiente desde el comienzo de la mezcla en modo integrado de mezcla, y sobre las características del volumen total del recipiente en modo integrado sobre el recipiente. Esto deja libertad en cuanto a la definición de las limitaciones instantáneas usadas para la optimización.

Evidentemente, es posible tomar los valores definidos por el usuario para las limitaciones asociadas al volumen total colado, pero éstas pueden relajarse, tal como lo detallan las siguientes líneas.

Si el valor integrado actual de la propiedad de la mezcla se indica z^k , y el de la iteración $k+1$, z^{k+1} , para un volumen actual V^k , un caudal actual F^k y un periodo de paso T (o varios periodos asimilados a un horizonte deslizante), el valor actual y^k de la propiedad en la salida de mezcladora permite conectar z^k con z^{k+1} según:

$$V^k z^k + F^k T y^k = (V^k + F^k T) z^{k+1}$$

Si la limitación proporcionada por el usuario es z^{\max} (el tratamiento descrito es similar para las limitaciones mínimas), se necesita que en la iteración actual:

$$y^k \leq \frac{(V^k + F^k T) z^{\max} - V^k z^k}{F^k T}$$

El segundo miembro de esta desigualdad proporciona un límite máximo para y^k que puede ser muy diferente de z^{\max} , pero puede no obstante servir para evitar sobrelimitar el control instantáneo eligiendo $y^{\max} = z^{\max}$. Por el contrario, no es deseable aplicar este límite cuando es demasiado diferente de z^{\max} : no se permite una relajación de y^{\max} mayor que $z^{\max} + t$, siendo z^{\max} la limitación introducida por el usuario y t una tolerancia también definida por el usuario.

b. Gestión de las referencias

En modo instantáneo, las propiedades ajustadas son las propiedades en la salida de la mezcladora. En este caso las referencias usadas durante la optimización son iguales a las consignas definidas por el usuario.

En modo integrado de fondo de recipiente, las propiedades ajustadas son las propiedades del recipiente de destino en el que se cuele la mezcla. Las consignas definidas por el usuario se refieren a las propiedades del recipiente. Para la optimización, se calculan las referencias a partir de esas consignas.

También es posible ajustar determinadas propiedades en modo instantáneo y otras en modo integrado.

- Caso en el que el recipiente de destino de la mezcla está vacío al comienzo del mezclado (o modo integrado de "mezcla", como distinción del "modo integrado en el recipiente").

Notaciones:

- 5 • $y_j(t)$, valor de la propiedad j en la salida de la mezcladora en el instante t ;
- $z_j(t)$, valor de la propiedad j integrado en el volumen colado, correspondiente en este caso a la propiedad j integrada en la mezcla en el instante t ;
- 10 • $V(t)$, volumen colado desde el comienzo del mezclado, correspondiente en este caso al volumen de la mezcla en el instante t ;
- $F(t)$, caudal volumétrico total de la mezcladora en el instante t .

Mediante simple equilibrio de materia,

15

$$\frac{dV(t)}{dt} = F(t) \quad \text{y} \quad \frac{d(V(t)z_j(t))}{dt} = F(t)y_j(t)$$

Sean los instantes t_0 y t_1 , $t_1 \geq t_0$, si y_j y F son constantes entre t_0 y t_1 , entonces:

20

$$V(t_1) = V(t_0) + F(t_0)(t_1 - t_0),$$

y

$$F(t_0)(t_1 - t_0) y_j(t_0) + V(t_0) z_j(t_0) = (V(t_0) + F(t_0)(t_1 - t_0)) z_j(t_1)$$

25

Definir una referencia equivale a calcular el valor constante y_j^{ref} que debe adoptar la propiedad en la salida de la mezcladora, para que al cabo del tiempo H (horizonte deslizante elegido por el usuario) a partir del instante actual t , la propiedad integrada z_j pase de su valor actual $z_j(t)$ a su valor de consigna z_j^c .

30

Por tanto, se necesita que

$$F(t)H y_j^{ref} + V(t)z_j(t) = (V(t) + F(t)H)z_j^c$$

Es decir

35

$$y_j^{ref} = z_j^c + \frac{V(t)}{F(t)H} (z_j^c - z_j(t))$$

En cada iteración, vuelve a actualizarse la referencia a partir de esta fórmula (horizonte deslizante).

40

- Caso en el que el recipiente de destino de la mezcla no está vacío al comienzo del mezclado.

El cálculo de las trayectorias debe modificarse.

Sea V_0 , el volumen inicial, y z_{j0} el valor inicial de la propiedad j en el recipiente, entonces:

45

$$F(t)H y_j^{ref} + V(t)z_j(t) + V_0 z_{j0} = (V_0 + V(t) + F(t)H)z_j^c$$

donde $V(t)$ es el volumen colado desde el comienzo del mezclado, correspondiente en este caso al volumen de la mezcla en el instante t .

50

Con el fin de evitar un salto de la referencia, es preferible tener en cuenta progresivamente, y no en una sola vez, el volumen del fondo del recipiente.

Para ello, se define una consigna virtual z_j^{cv} , tal que:

$$z_j^{cv} = z_j^c + a \frac{V_0}{V(t) + F(t)H} (z_j^c - z_{j0})$$

5 Cuando a vale 0, no hay fondo de recipiente.

Cuando a vale 1, se tiene en cuenta el conjunto del fondo del recipiente. Basta por tanto con hacer pasar a de 0 a 1 siguiendo una determinada trayectoria, predefinida, para tener en cuenta progresivamente el fondo del recipiente.

10 **Ejemplo 5: gestión de los aditivos.**

Los aditivos (o agentes de dopado), inyectados en baja cantidad, actúan esencial, pero fuertemente, sobre una de las propiedades de la mezcla. Cuando no hay limitación sobre el caudal de aditivo, la propiedad dopada puede desviarse completamente del problema de control de múltiples variables de las secuencias de optimización. Entonces se usa un regulador de una única variable que actúa sobre el caudal del aditivo para regular esta propiedad. Se trata por ejemplo del controlador de inyección de aditivo 18 del dispositivo descrito anteriormente. El funcionamiento de un regulador de este tipo se describe a continuación.

Deben indicarse las siguientes observaciones preliminares:

- el efecto sobre la propiedad afectada de la inyección de un agente de dopado se considera instantáneo. No obstante, para cualquier propiedad existe un retardo de medición, que puede depender del valor medido. Se supondrá, lo que sucede en la práctica, que es posible asociar el retardo de medición al valor medido,

- el efecto de un agente de dopado sobre una propiedad se cuantifica bastante mal. Es variable en función del valor actual de la propiedad dopada. Se supondrá que es posible asociar, incluso de manera poco precisa y para cada valor adoptado por la propiedad dopada, la variación del caudal de agente de dopado a la variación del valor de la propiedad dopada.

El modelo usado se escribe:

$$\frac{dy}{dt} = K(y) \frac{dv}{dt},$$

donde

- y es el valor medido de la propiedad dopada
- v es el caudal de agente de dopado,
- K es una ganancia que depende del valor actual de la propiedad dopada. Se supondrá que se dispone de una función de y constante por fragmentos para describir esa ganancia.

Desde un punto de vista discreto, en la iteración k:

$$\Delta y^k = K(y^k) \Delta v^k.$$

Para que la salida, cuyo valor actual es y^k , tienda hacia su valor de referencia $y^{ref,r}$, basta con que $\Delta v^k = (y^{ref,r} - y^k) / K(y^k)$. No obstante el valor de la salida disponible en k no es el valor actual, debido al retardo de medición. Entonces, para el cálculo del control, debe basarse en una estimación \hat{y}^k de la salida, y calcular el control mediante:

$$\Delta v^k = (y^{ref,r} - \hat{y}^k) / K(\hat{y}^k)$$

La estimación \hat{y}^k es la suma de dos términos:

- una estimación en bucle abierto \hat{x}^k (que usa $K(\hat{y}^k)$),

- un sesgo filtrado \bar{b}^k , resultado del filtrado de primer orden de un sesgo instantáneo, desviación sincronizada entre la medición y la predicción en bucle abierto.

5 A todas las medidas y^k les corresponde un retardo de medición δT , donde T es el periodo de toma de muestras del control. Se supone que una función de y constante por fragmentos describe este retardo. La medida y^k corresponde así a una predicción en bucle abierto $\hat{x}^{k-\delta}$, que permite calcular el sesgo instantáneo $b^k = y^k - \hat{x}^{k-\delta}$. El coeficiente de filtrado se fija de manera automática en función del retardo de medición.

10 Para el control, se gestionan las siguientes limitaciones:

- variación máxima de la inyección por paso, al alza o a la baja,

- inyecciones mínima y máxima.

15 En regulación de valor instantánea, no es posible introducir una consigna fuera de los extremos fijados por el usuario.

20 En regulación del valor integrado, la trayectoria de referencia, que incluye eventualmente tener en cuenta los fondos de recipientes, se calcula de manera similar a las puestas en práctica para el control de múltiples variables. En particular, la referencia instantánea calculada a partir de la consigna no puede salirse de los extremos fijados por el usuario. En la práctica, esto permite respetar las limitaciones fijadas sobre la propiedad regulada.

25 Es posible, cuando el caudal de agente de dopado está saturado (cuando el control permanece igual al mínimo o al máximo durante un tiempo predeterminado), bascular hacia una regulación de la propiedad dopada por las bases.

En este caso, el caudal de agente de dopado permanece igual al valor tomado antes del basculamiento.

30 Para una salida dopada, el efecto acumulado debido al agente de dopado entre el instante 0 del comienzo del mezclado y el instante t , se escribe:

$$d = \int_0^t K(\hat{y}(\tau)) \frac{dv}{d\tau}(\tau) d\tau$$

35 Es decir, desde un punto de vista discreto,

$$d^k = d^{k-1} + K(\hat{y}^k) \Delta v^k$$

40 Durante el basculamiento hacia una regulación de la propiedad j por las bases, el modelo de control tiene en cuenta este efecto y se escribe:

$$y_j \cong \hat{B}_j u + d$$

Esta expresión se usa a la vez en las optimizaciones sucesivas y en la dinámica de \hat{B}_j del sistema de retroacción.

45 **Ejemplo 6: optimización de la formulación**

50 Cuando quedan grados de libertad en la resolución de las ecuaciones usadas en la optimización, es posible optimizar la preparación de la mezcla modificando la formulación, es decir las proporciones respectivas de cada base. En este ejemplo se describen diferentes opciones de optimización de la formulación, para las secuencias de optimización descritas en el ejemplo 3.

En el problema de optimización inicial P0 descrito en el ejemplo 3, se trata de minimizar el término $\|u - \bar{u}\|^2$.

55 El valor de la formulación de referencia \bar{u} en esta expresión depende del modo de optimización elegido por el usuario.

(a) En ausencia de optimización

\bar{u} es simplemente igual al valor inicial, es decir la formulación proporcionada por el usuario para el comienzo del mezclado.

5 \bar{u} también puede definirse como una formulación "seguidora", su valor es entonces igual al valor medio de u desde el comienzo del mezclado.

(b) Optimización de la incorporación de determinadas bases

10 Es posible maximizar o minimizar la incorporación de determinadas bases, en exceso o por el contrario poco disponibles en el sitio de producción. En este caso, debe asociarse a la formulación u un vector π de prioridades.

15 Este comprende entradas positivas para las bases que deben maximizarse y entradas negativas para las bases que deben minimizarse. Las bases para las que no es deseable maximizar o minimizar la incorporación tienen una prioridad nula.

Sea por tanto $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_n)^t$ y $|\pi_j| = \max_{i=1, \dots, n} |\pi_i|$, supuesto no nulo.

Indicando u^f el valor filtrado de u , se usa $u = u^f + \pi^f$, siendo π^f el valor filtrado de:

20
$$\pi^f = (\pi_1 / |\pi_j|, \dots, \pi_n / |\pi_j|)^t$$

Este filtrado de π^f permite tener en cuenta de manera progresiva las variaciones de formulación durante el mezclado.

(c) Optimización del coste de la mezcla

25 Se asocia a u un vector de precio, $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_n)^t$. En cada paso se define un coste de la formulación, a partir de la formulación filtrada u^f : $c = \xi^t u^f$.

30 A continuación, (c : no nulo) se define un vector ξ' por:

$$\xi' = ((1 - \xi_1/c), \dots, (1 - \xi_n/c))^t.$$

35 Por tanto ξ'_i , definido mediante $\xi'_i = (1 - \xi_i/c)$, es positivo si el coste de la base es inferior al coste de la formulación filtrada actual: en este caso, debe intentarse incorporar esta base para limitar el coste de la formulación. Por el contrario, ξ'_i es negativo si el coste de la base es superior al coste de la formulación.

Para la optimización, $\bar{u} = u^f + \xi'$.

(d) Saturación de las especificaciones sobre las salidas

40 En este caso, \bar{u} es igual a la formulación inicial, pero de hecho sólo tiene poca importancia. En efecto, si el problema inicial P_0 tiene una solución, entonces se inicia el problema iterativo descrito a continuación.

45 Se considera $M = \{1, 2, \dots, m\}$, el conjunto de los índices atribuidos a las salidas y P , el subconjunto de los índices que indican las salidas implicadas en el proceso de optimización.

A cada elemento j de P se le asocian:

- 50 - un elemento de H , dicho de otro modo:
 - o bien un valor máximo que no debe superarse,
 - o bien un valor mínimo que no debe superarse;
- 55 - un umbral d_j con respecto a la limitación.

Sea una división de P en p subconjuntos P_i todos no vacíos, que agrupan cada uno índices correspondientes a salidas sujetas a necesidades de optimización de igual prioridad. Mediante construcción, $\bigcup_{i=1}^p P_i = P$ y $P_i \cap P_j = \emptyset, \forall j \neq i$.

Las optimizaciones relativas a P_j son menos prioritarias que las relativas a P_i cuando $i < j$. También se indica $P_{i,j} = \bigcup_{i=1}^j H_j$.

5 Iteración 1

En la primera iteración, se intenta aproximar las salidas correspondientes a P_1 a sus limitaciones:

$$\min_u \|\hat{B}_{P_1} u - y_{P_1}^{\max} + d_{P_1}\|^2$$

$$\begin{cases} u^{\min} \leq u \leq u^{\max} \\ \sum_{i=1}^n u_i = 1 \\ \hat{B}_R u = y_R^{\text{ref}} \\ \hat{B}_H u \leq y_H^{\max} \\ \hat{B}_S u \leq y_S^{\max} \end{cases}$$

10

$$y_{P_1}^{\min} = \hat{B}_{P_1} u^*$$

La solución u^* permite calcular

Iteración k+1

15 En la iteración de orden $(k+1)$, se resuelve el siguiente problema:

$$\min_u \|\hat{B}_{P_{k+1}} u - y_{P_{k+1}}^{\max} + d_{P_{k+1}}\|^2$$

$$\begin{cases} u^{\min} \leq u \leq u^{\max} \\ \sum_{i=1}^n u_i = 1 \\ \hat{B}_R u = y_R^{\text{ref}} \\ \hat{B}_H u \leq y_H^{\max} \\ \hat{B}_S u \leq y_S^{\max} \\ \hat{B}_{P_{1k}} u \geq y_{P_{1k}}^{\min} \end{cases}$$

20 El problema se resuelve completamente cuando se han abordado los p subconjuntos de limitaciones de prioridades decrecientes a lo largo de p iteraciones. Entonces, las salidas son las más próximas posibles a sus limitaciones.

Ejemplo 7: regulación de mezcladora de carga de hidrodesulfuración en continuo

25 El ejemplo 7 muestra la regulación del valor instantáneo del contenido en azufre para una mezcla elaborada a partir de varias bases.

En este caso podrá indicarse que esta regulación del azufre está acompañada en paralelo por la regulación y por la monitorización en zona de otras propiedades de la mezcla, en un contexto de control de múltiples variables.

30 Este ejemplo ilustra la capacidad del dispositivo para garantizar un control en modo instantáneo y en continuo, para actuar sobre la composición de carga de una unidad de hidrodesulfuración de los gasóleos, con el fin de regular las propiedades de la mezcla en la salida de la unidad.

35 También ilustra la capacidad del dispositivo para gestionar esquemas aguas arriba de mezcladoras complejas, con varios mezclados previos de los constituyentes.

Se tienen en cuenta los siguientes elementos:

40 - retardos de analizadores: 5 minutos para la densidad, el contenido en azufre (estimador recalado sobre el analizador correspondiente), el porcentaje destilado (calculado), 10 minutos para el punto de inflamación y 15 minutos para el punto de turbidez.

- Volúmenes muertos de tránsito de unidad: 96 m^3 ,

- Volúmenes muertos de mezclado previo: 16,8 m³ y 10,9 m³ en la primera fase, 4,5 m³ en la segunda fase, 10,8 m³ y 1,4 m³ en la tercera fase de mezclado previo.

5 Los constituyentes de carga son los siguientes:

Base 1: queroseno

Base 2: queroseno con bajo contenido en azufre

10

Base 3: gasóleo ligero con bajo y alto contenido en azufre, procedente de una destilación atmosférica

Base 4: gasóleo medio procedente de destilaciones atmosféricas y a vacío

15 Base 5: base olefínica de LLCO de FCC, procedente de un recipiente intermedio

Base 6: gasolina pesada de FCC

20 Otras bases son susceptibles de intervenir en la carga de la unidad: chorros directos de LLCO, HLCO, HCCS de FCC, chorro directo de gasóleo de viscorreducción GOSV (flujo directo de unidad), recirculación de la unidad.

Las características medidas en el laboratorio de las bases 1 a 5 se facilitan en la tabla 2 a continuación:

Tabla 2: características de las bases del ejemplo 7

25

	Base 1	Base 2	Base 3	Base 4	Base 5
Densidad (a 15°C)	0,7995	0,8279	0,8558	0,883	0,835
Punto de inflamación (°C)	42,5	66	77	52,5	50
Punto de turbidez (°C)	-48,09	-19,9	8,401	-29,96	-30,97
Índice de cetano	45,97	54,8	57,77	25,3	23,5
Porcentaje destilado (a 360°C) (%)	100	100	89,8	100	100
Contenido en azufre (ppm)	-19,39	54,9	99,71	40,08	30,03

Los umbrales mínimos son blandos para el conjunto de las propiedades salvo para el punto de inflamación y el índice de cetano.

30 Los umbrales máximos son duros para el conjunto de las propiedades, salvo para el índice de cetano, el punto de inflamación y el porcentaje destilado.

Los valores de estos umbrales máximo y mínimo usados para las diferentes propiedades son los siguientes:

35

Tabla 3: valores de los umbrales máximo y mínimo de las propiedades de la mezcla del ejemplo 7

propiedad:	Umbral máximo	Umbral mínimo
Densidad	0,844	0,82
Punto de inflamación (°C)	65	57
Punto de turbidez (°C)	-6	-15
Índice de cetano	53	46,5
Porcentaje destilado (%)	100	95
Contenido en azufre (ppm)	48	30

40 Los horizontes de trayectoria de referencia usados se definen como iguales a dos veces el retardo del analizador, aumentado de valores parametrizables denominados horizontes reducidos. Los horizontes reducidos usados son los siguientes: 10 minutos para la densidad, el índice de cetano, el contenido en azufre y el porcentaje destilado, 20 minutos para el punto de inflamación y 30 minutos para el punto de turbidez.

45 Los coeficientes de filtrado usados para el ajuste del estimador son los siguientes: 15 minutos para la densidad, el índice de cetano, el porcentaje destilado y el contenido en azufre, 30 minutos para el punto de inflamación y 45 minutos para el punto de turbidez. Estos coeficientes de filtrado (inversas de los β_i que aparecen en las fórmulas (1) y (2) definidas anteriormente) corresponden a los parámetros componentes del vector β usados en las ecuaciones diferenciales del estimador, que permiten regular la dinámica de convergencia (más o menos rápida), propiedad a propiedad.

50 También se usan objetivos de optimización de la formulación para maximizar el uso de las bases 1 (queroseno) y 4

(gasóleo medio de destilación).

Al comienzo del mezclado, los valores mínimo y máximo del contenido en azufre son respectivamente de 30 y 48 ppm. A continuación se modifican los umbrales y pasan respectivamente a 2 y 8 ppm. El azufre se regula "en zona" en el interior de sus límites mínimo y máximo. Es este paso de los umbrales de [30, 48] a [2, 8] lo que permite el basculamiento del escalón de 50 ppm (se pretende en este caso un contenido en azufre próximo a 48 ppm para tener un margen de fabricación de 2 ppm) hacia el escalón de 10 ppm (se pretende en este caso un contenido en azufre próximo a 8 ppm para tener un margen de fabricación de 2 ppm).

La topología de la mezcla se precisa en la tabla 4.

Tabla 4: topología de la mezcla del ejemplo 7

Base 1 (75)	Mezcla A=bases 1+2		Mezcla final = A +C+ base 6
Base 2 (121)			
Base 3 (79)	Mezcla B=bases 3+4	Mezcla C = B + base 5	
Base 4 (74)			
Base 5 (63)			
Base 6 (8)			

La figura 4 muestra la evolución del contenido en azufre de la mezcla durante una transición rápida de escalón de 50 ppm a 10 ppm en función de un número de pasos, correspondiendo cada paso a 5 minutos. Cada paso corresponde a un nuevo inicio del dispositivo según la invención (y por tanto a una nueva iteración del procedimiento de control según la invención), y concretamente a la emisión de una nueva formulación calculada por el dispositivo y aplicada sobre los equipos.

Esta transición de consigna se garantiza de hecho por la modificación de los umbrales, mínimo y máximo, sabiendo que la regulación del azufre se realiza en este caso en zona, es decir entre su mínimo y su máximo: esta calidad de contenido en azufre no tiene por tanto una diana fija de tipo consigna, sino que son las limitaciones de límites superior e inferior sobre esta calidad de contenido en azufre las que se tienen en cuenta en este caso por el optimizador, y que definen un dominio de evolución diana para esta calidad.

Se constatará que el contenido en azufre de la mezcla permanece en todo momento próximo al valor deseado, y sigue rápidamente al control de disminución de la consigna, sin experimentar grandes desviaciones bruscas de valor.

El estimador según la invención permite garantizar no sólo la regulación del azufre en la salida de la unidad, sino también la regulación en zona de la densidad, del punto de inflamación, de la turbidez, del cetano, porcentaje destilado (el punto de inflamación es una limitación mínima, el azufre y la turbidez son limitaciones máximas).

La figura 5 muestra por su parte la evolución del consumo de las bases 2 a 4 usadas a lo largo de la modificación del control del contenido en azufre, no inyectándose las bases 1, 5 y 6 para la realización de la mezcla. Los perfiles de proporción calculados sobre los constituyentes que se representan en la figura permiten obtener los resultados deseados sobre las propiedades en la salida de la unidad.

Ejemplo 8: mezcla de gasolina en modo integrado con fondo de recipiente (sin mezclado previo)

Las figuras 6a-e muestran la evolución en el tiempo de las razones de las bases (figura 6a), de las regulaciones sobre el índice de octano de investigación (RON: "Research Octane Number") y sobre la tensión de vapor (RVP: "Reid Vapor Pressure") (figuras 6c y 6b respectivamente), y de la monitorización en zona del porcentaje destilado a 100°C (figura 6d) y del contenido en benceno (figura 6e).

En las figuras 6a a 6c se representan los valores integrados en el recipiente, los valores instantáneos, así como las consignas.

Los valores relativos al contenido en benceno, al porcentaje destilado a 100°C, al índice de octano-motor (MON), al índice de octano de investigación (RON) y a la tensión de vapor (RVP) se notifican en la siguiente tabla para las diferentes bases de constituyente:

Tabla 5: valores de las propiedades de las bases del ejemplo 8

	Base 1	Base 4	Base 5	Base 6	Base 7
Contenido en benceno (%)	1,050	0	1,130	0	0
Porcentaje destilado a 100°C (%)	64,9	29,6	6,9	100,0	125,0

MON	80,0	93,0	91,5	101,0	86,0
RON	89,90	95,10	102,40	113,00	96,00
RVP (mbar)	565,89	454,00	186,37	551,90	4000,59

Este ejemplo pone en evidencia el funcionamiento de la regulación con compensación de fondo de recipiente. Hay convergencia de dos calidades de tensión de vapor y de índice de octano, y mantenimiento de otras dos calidades: porcentaje destilado a 100°C y contenido en benceno, en el interior de su dominio admisible.

5 Los valores mínimos y máximos de las calidades reguladas y monitorizadas se proporcionan en forma [mín, máx] y son los siguientes:

10 contenido en benceno (%): [0, 0,95],

porcentaje destilado a 100°C (%): [47, 70]

RON: [95,199, 96,50] con, como consigna, el valor mínimo de 95,199

15 RVP (mbar): [459,99, 599,86] con una consigna igual a 598,86.

Puede constatar que hacia el paso 70 en la segunda mitad de la mezcla una actividad aumentada de las bases, ya que al haber alcanzado la calidad del porcentaje destilado a 100°C su límite inferior (mín), la formulación se modifica automáticamente para hacer que su valor vuelva a subir y mantenerlo por encima de su umbral mínimo, al tiempo que se mantienen las demás propiedades reguladas y monitorizadas en su diana.

25 Este ejemplo ilustra la capacidad del dispositivo para garantizar un control de la mezcla en modo integrado con compensación de fondo de recipiente, permitiendo regular a la vez calidades reguladas con consigna fija y calidades monitorizadas en su zona de mínimo/máximo.

Ejemplo 9: mezcla de gasóleo, regulación de los agentes de dopado (sin mezclado previo)

Figura 7

30 Este ejemplo pone en evidencia el funcionamiento de la regulación mediante inyección de aditivos o agentes de dopado.

35 En este caso se regulan mediante agentes de dopado dos propiedades: índice de cetano y filtrabilidad. Una tercera propiedad (contenido en azufre) se regula en paralelo mediante el mezclado de dos bases, estando bloqueada una tercera base en una razón fija.

La siguiente tabla proporciona los valores relativos al contenido en azufre, la filtrabilidad y el índice de cetano de las tres bases.

40 Tabla 6: propiedades de las bases del ejemplo 9

	Base 1	Base 3	Base bloqueada
Contenido en azufre (ppm)	30	246	3
Filtrabilidad (°C)	0	-30	-12
Índice de cetano	52	52	-1e ⁺⁶

La base denominada “bloqueada” se inyecta a una razón constante del 1,5%.

45 El contenido en azufre se regula con una consigna a 45 ppm, la filtrabilidad con una consigna a -16°C y el índice de cetano a 52.

Tal como se representa en las figuras 7a-e:

50 La figura 7a muestra que se reduce la inyección de pro-cetano, hasta cortar esta inyección en mitad del mezclado, para hacer que baje la integral de cetano (figura 7d), que alcanza suavemente su consigna y se mantiene en la misma.

55 La figura 7b muestra las inyecciones de agente de dopado de filtrabilidad, con 3 picos correspondientes a las pequeñas oscilaciones de la filtrabilidad integrada, constatadas en la figura 7e, lo que indica una regulación ajustada de manera reactiva.

La figura 7c facilita los perfiles de las bases usadas para la regulación del azufre. Estos perfiles son bastante estables, excepto por un pico en la mitad del mezclado consecuencia del pico constatado en la medición instantánea del azufre en la figura 7f, asociado con una perturbación puntual.

- 5 El azufre integrado se confunde con su consigna en la figura 7f y no se ha visto afectado por la perturbación puntual de la mitad del mezclado.

- 10 Este ejemplo ilustra la capacidad del dispositivo para garantizar un control en modo integrado en la mezcla, de manera simultánea a los constituyentes de la mezcla y mediante inyección de varios aditivos para regular diferentes propiedades de mezcla.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de la elaboración de una mezcla M de n constituyentes, permitiendo el procedimiento determinar las proporciones u de los constituyentes que forman parte de la mezcla de manera que se obtiene un número m de propiedades predeterminadas y de la mezcla cuyos valores están comprendidos entre umbrales mínimos y máximos predeterminados y/o son sensiblemente iguales, para m' de entre ellas (m' ≤ n-1), a valores diana predeterminados, **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

(i) en un instante t=0,

(1) determinar una matriz B que representa un número m de propiedades y n constituyentes;
 (2) determinar una formulación de referencia \bar{u} a partir de los umbrales mínimos y máximos predeterminados y/o de los valores diana predeterminados, de tal manera que las propiedades $B\bar{u}$ de la mezcla están comprendidas entre dichos umbrales predeterminados, y/o para m' de entre ellas, son iguales a dichos valores diana predeterminados; representando \bar{u} , que es un vector de dimensión n, las proporciones de los diferentes constituyentes que forman parte de la composición de la mezcla,

$$\sum_{i=1}^n \bar{u}_i = 1 ;$$

con

(3) aplicar la formulación \bar{u} a los constituyentes con el fin de elaborar una mezcla M;

(ii) en el instante t' = t+Δt,

(1) medir las propiedades y_{mes} de la mezcla M obtenida aplicando la formulación calculada en el instante anterior,

(2) deducir a partir de las mismas una matriz corregida \hat{B} que representa la estimación de las propiedades de los constituyentes,

(3) determinar una nueva formulación u, de manera que las propiedades $\hat{B}u$ de la mezcla están comprendidas entre dichos umbrales predeterminados, y/o para m' de entre ellas, son iguales a dichos valores diana predeterminados,

(4) aplicar esta nueva formulación u a los constituyentes,

(iii) en el instante t'' = t' + Δt, reiterar las operaciones (1) a (4) de la etapa (ii) anterior;

(iv) reiterar la etapa (iii) durante toda la duración de la elaboración de la mezcla.

2. Procedimiento de control según la reivindicación 1, en el que las propiedades y_{mes} de la mezcla medidas a lo largo de la operación (1) de la etapa (ii) se miden por medio de un proceso continuo de medición en la mezcla elaborada.

3. Procedimiento de control según la reivindicación 1 ó 2, en el que, en un instante predeterminado a lo largo de la elaboración de la mezcla, se miden una o más propiedades de los constituyentes y se actualiza la matriz B que representa las propiedades de los constituyentes.

4. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque**, a lo largo de la operación (2) de la etapa (ii), se determina la matriz corregida \hat{B} usando la siguiente ecuación:

$$\frac{d\hat{B}_j^t}{dt} = -\beta_j H u (y_j - y_j^{med}), \quad (1)$$

donde

- la matriz H es una matriz simétrica definida positiva que tiene como objetivo garantizar una normalización de tener en cuenta la desviación medición-predicción que permite el cálculo de la desviación de predicción de la calidad de los constituyentes,

- B_j^t es la traspuesta de B_j ,

- β_j , real estrictamente positivo, es una constante de ajuste del tiempo de convergencia que permite diferenciar la rapidez de convergencia de la estimación, propiedad a propiedad, expresándose el valor

de β_j , en unidades de tiempo para cada propiedad, igual a de dos a cuatro veces el retardo de medición de la propiedad considerada.

5. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones 1 a 4, para la elaboración de una mezcla de constituyentes, en el que se realiza al menos un mezclado previo de al menos dos de los constituyentes antes de la preparación de la mezcla, **caracterizado porque** la formulación u determinada a lo largo de la operación (3) de la etapa (ii) tiene en cuenta los retardos debidos a los volúmenes muertos presentes en la instalación a nivel de las zonas de mezclado previo.
6. Procedimiento de control según la reivindicación 5, **caracterizado porque**, a lo largo de la operación (2) de la etapa (ii), se determina la matriz \hat{B} usando la siguiente ecuación:

$$\frac{d\hat{B}_j^t}{dt} = -\beta_j HU(t)(y_j(t) - y_j^{\text{med}}(t)), \quad (2)$$

siendo $U(t) = (U_1(t), \dots, U_n(t))^t$, en el instante t, un vector de formulación que tiene en cuenta los volúmenes muertos

$$y(t) = \sum_{i=1}^n U_i(t) b_i,$$

y , siendo b_i el vector de las propiedades del constituyente i.

7. Procedimiento de control según la reivindicación 6, **caracterizado porque** las magnitudes de control y de salida que forman parte de esta ecuación están sincronizadas para tener en cuenta el retardo de mezclado previo y el retardo de medición.

8. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** la formulación u determinada en la subetapa (3) de la etapa (ii) se obtiene por medio de un procedimiento de optimización que comprende las siguientes etapas:

(a) - determinar la solución de un problema de regulación completa P0, consistiendo esta solución en una formulación u optimizada que tiene en cuenta limitaciones sobre las proporciones de los constituyentes y limitaciones sobre las propiedades de la mezcla,

- si el problema de regulación completa P0 puede resolverse numéricamente, aplicar la formulación u, solución de P0,

(b) - si el problema de regulación completa P0 no puede resolverse numéricamente, determinar una formulación u para la que un problema de regulación mínima P1 se resuelve teóricamente, que sólo tiene en cuenta limitaciones del problema P0 definidos como prioritarias, este problema P1 pone en práctica una sucesión de problemas de optimización, normalmente realizables, cuyos criterios consisten en penalizar la violación de dichas limitaciones prioritarias, con el fin de definir nuevos valores alcanzables para esas limitaciones prioritarias,

(c) - si el problema de regulación mínima P1 puede resolverse numéricamente, determinar una formulación u para la que un problema de regulación P2 se resuelve teóricamente, que tiene en cuenta dichos nuevos valores alcanzables de las limitaciones prioritarias del problema P0 así como limitaciones no prioritarias del problema P0, este problema P2 pone en práctica un problema de optimización cuyos criterios consisten en penalizar la violación de dichas limitaciones no prioritarias, con el fin de definir nuevos valores alcanzables para esas limitaciones no prioritarias,

- si el problema de regulación mínima P1 no puede resolverse numéricamente, aplicar la formulación u actual,

(d) - si el problema de regulación P2 puede resolverse numéricamente, determinar una formulación u para la cual un problema de regulación P3 se resuelve teóricamente, que tiene en cuenta dichos nuevos valores alcanzables de las limitaciones prioritarias del problema P0 obtenidos en la etapa (b), dichos nuevos valores alcanzables de las limitaciones no prioritarias obtenidos en la etapa (c), así como todas las demás limitaciones no prioritarias del problema P0 y no tratadas por los problemas P1 y P2, este problema P3 pone en práctica una sucesión de problemas de optimización, normalmente realizables, cuyos criterios consisten en penalizar la violación de dichas otras limitaciones no prioritarias, con el fin de definir nuevos valores alcanzables para esas otras limitaciones no prioritarias,

- si el problema de regulación P2 no puede resolverse numéricamente, aplicar la formulación obtenida mediante el problema P1,

- 5 (e) si el problema de regulación P3 puede resolverse numéricamente, la formulación aplicada es la solución del problema P3, si no, la formulación es la solución del problema P2.
9. Procedimiento de control según la reivindicación 8, **caracterizado porque** este procedimiento comprende una etapa complementaria a lo largo de la cual, si el problema de regulación anterior P3 puede resolverse numéricamente, se determina una formulación u para la cual el problema de regulación P0 se resuelve numéricamente teniendo en cuenta dichos nuevos valores alcanzables determinados durante las etapas (b), (c), (d).
10. Procedimiento de control según la reivindicación 8 ó 9, **caracterizado porque** las limitaciones prioritarias tenidas en cuenta para la resolución del problema P1 son limitaciones sobre las proporciones de los constituyentes y limitaciones sobre las propiedades de la mezcla.
11. Procedimiento de control según una de las reivindicaciones 1 a 10, destinado a una instalación de preparación de una mezcla de n constituyentes y de aditivos, **caracterizado porque**, para una propiedad j de la mezcla sobre la que influye el aditivo, el modelo de control tiene en cuenta el efecto d de la adición de aditivo a lo largo de las operaciones (2) y (3) de la etapa (ii) según: $y_j = \hat{B}_j u + d$.
12. Dispositivo de elaboración y de control de una mezcla de constituyentes, que comprende vías de transporte (4, 5, 6) de los constituyentes (1, 2, 3) que van a mezclarse hacia una vía principal (7) conectada a la ubicación (9) de recepción de la mezcla, medios (10) para controlar los caudales de los constituyentes en cada vía de transporte, medios de medición (11) en continuo en la vía principal de los parámetros representativos de la mezcla en proceso de elaboración, y medios de cálculo (12) de las proporciones de los diferentes constituyentes que forman parte de la mezcla, **caracterizado porque** comprende un estimador (13) conectado a los medios de cálculo, comprendiendo el estimador medios programados para producir una estimación de las propiedades de los constituyentes usando las medidas de las propiedades de la mezcla medidas por los medios de medición (11), comprendiendo los medios de cálculo medios programados para calcular por medio de esta estimación las proporciones de los diferentes constituyentes que forman parte de la mezcla con el fin de obtener una mezcla que comprende propiedades predeterminadas, comprendiendo el estimador (13) medios programados para poner en práctica las operaciones (1) y (2) de las etapas (i) y (ii) del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4.
13. Dispositivo según la reivindicación 12, **caracterizado porque** el estimador (13) comprende medios de sincronización programados para tener en cuenta los retardos debidos a los volúmenes muertos a nivel de zonas de mezclado previo de al menos dos constituyentes de la mezcla.
14. Dispositivo según la reivindicación 12, **caracterizado porque** el estimador (13) comprende medios de sincronización programados para tener en cuenta los retardos debidos a los volúmenes muertos a nivel de varias fases, estando al menos una fase constituida por una o más zonas de mezclado previo de al menos dos constituyentes de la mezcla.
15. Dispositivo según la reivindicación 13 ó 14, **caracterizado porque** los medios de sincronización están programados para poner en práctica la operación (2) de la etapa (ii) del procedimiento según la reivindicación 6.
16. Dispositivo según una de las reivindicaciones 12 a 15, **caracterizado porque** comprende un optimizador (14) conectado a los medios de cálculo (12) y a un medio de almacenamiento (15) de objetivos de mezcla, comprendiendo el optimizador medios programados para optimizar la formulación u de las proporciones de los constituyentes determinada por los medios de cálculo (12) en función de objetivos de mezcla almacenados en dicho medio de almacenamiento (15), concretamente el optimizador (14) comprende medios programados para poner en práctica el procedimiento de optimización del procedimiento de control según una de las reivindicaciones 8 a 10.
17. Dispositivo según la reivindicación 16, **caracterizado porque** comprende al menos un recipiente (16) de aditivo conectado mediante una vía de transporte (17) a la vía principal (7), aguas abajo de la zona de mezclado de los constituyentes (1, 2, 3), un medio de control (10) del caudal de aditivo asociado al recipiente (16) previsto en la vía de transporte (17), y un controlador de inyección de aditivo (18) conectado a dicho medio de control (10), al optimizador (14) y al medio de almacenamiento de objetivos de mezcla (15), siendo el controlador de inyección de aditivo (18) adecuado, para una propiedad j de la mezcla sobre la que influye un aditivo, para optimizar la proporción del aditivo con el fin de regular dicha propiedad j

correspondiente de la mezcla teniendo en cuenta una diana proporcionada por el medio de almacenamiento de objetivos de mezcla.

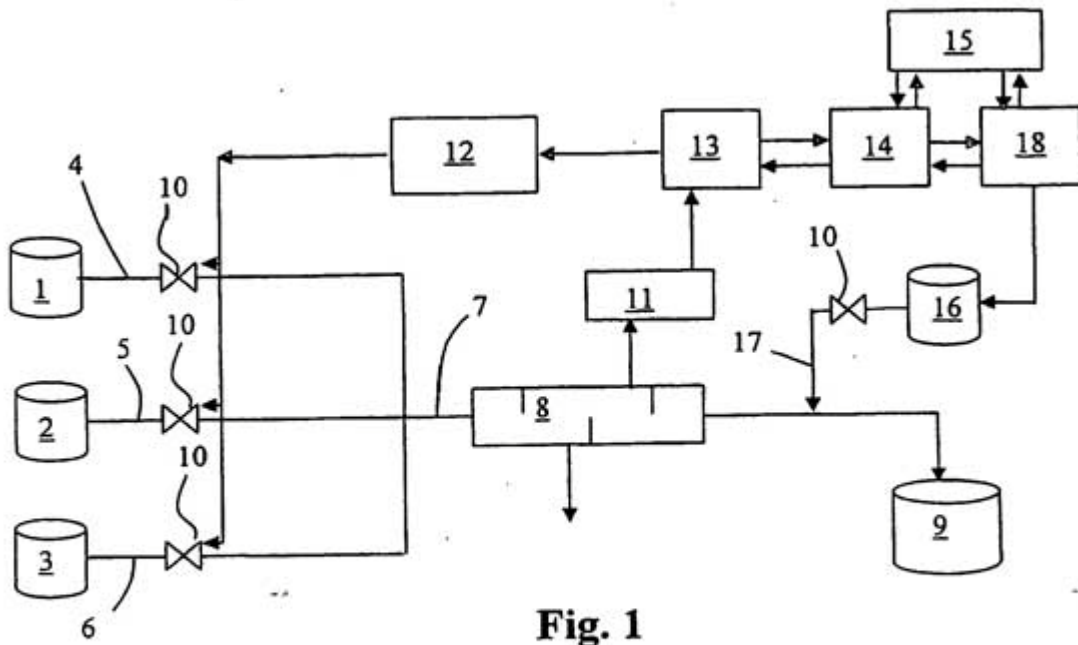


Fig. 1

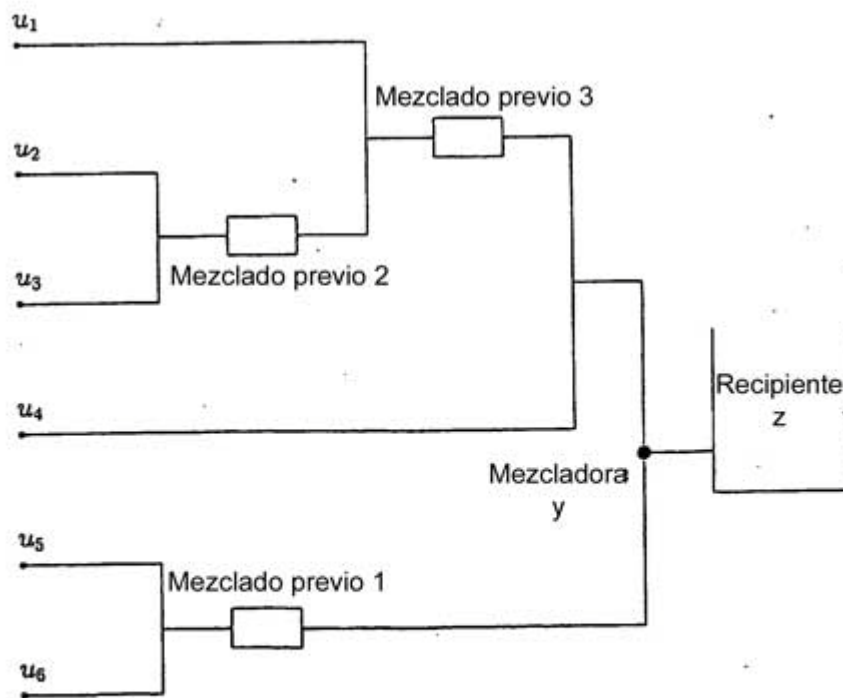


Fig. 2

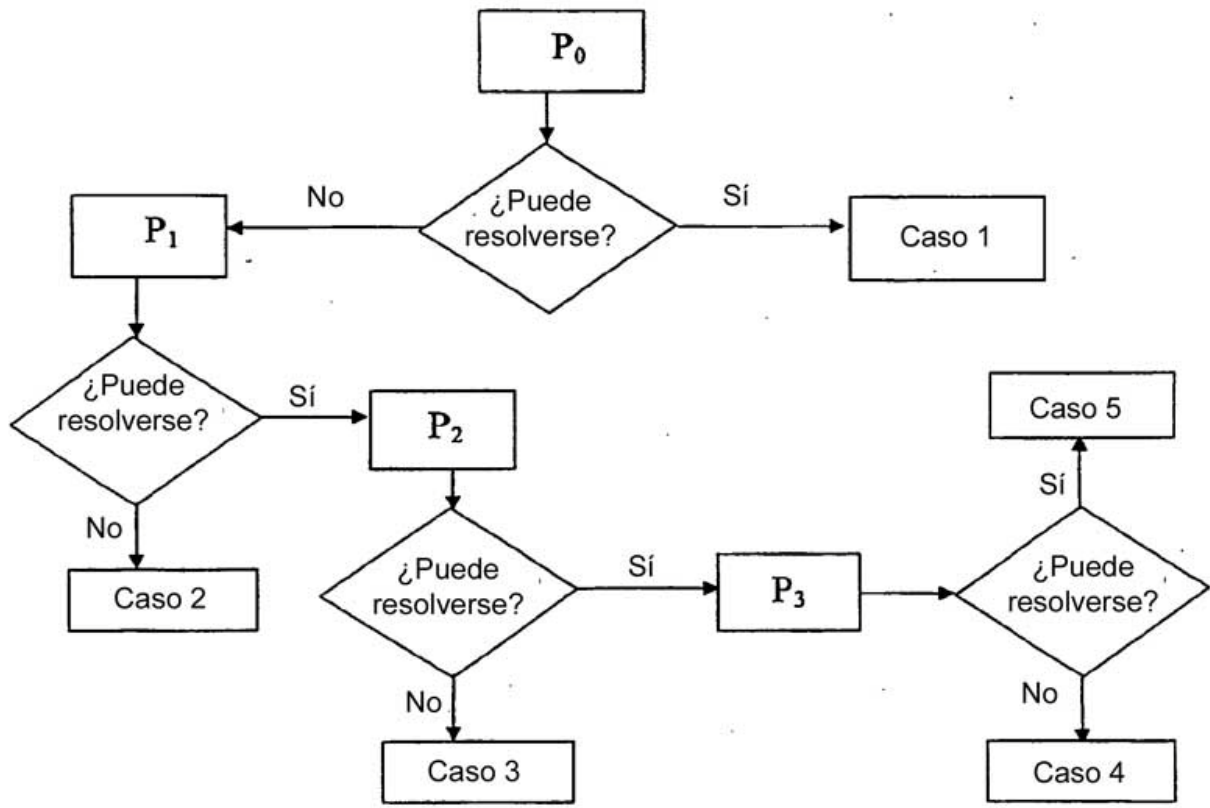


Fig. 3

fig. 4

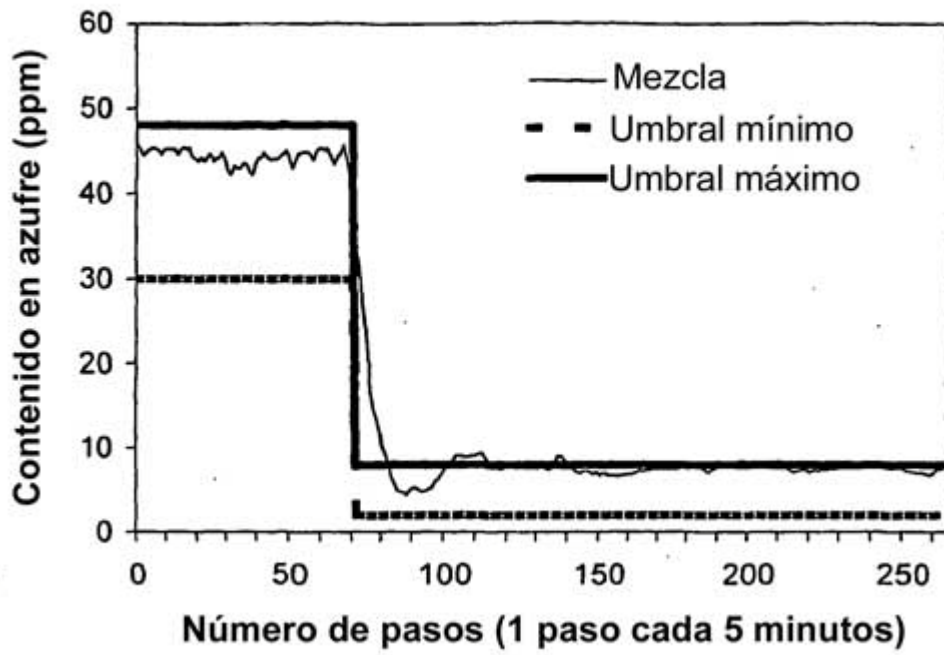


fig. 5

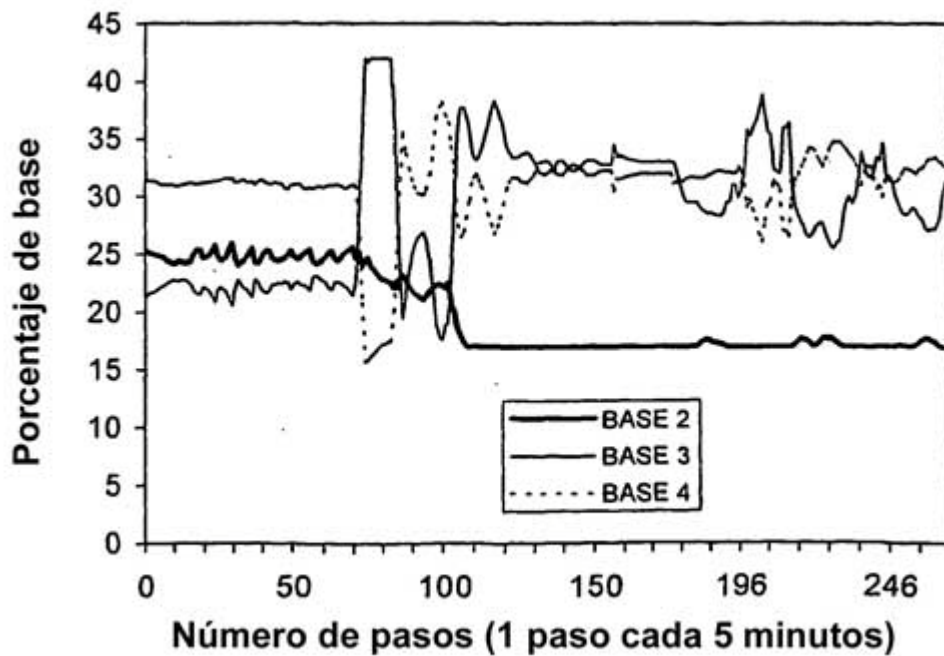


fig. 6a

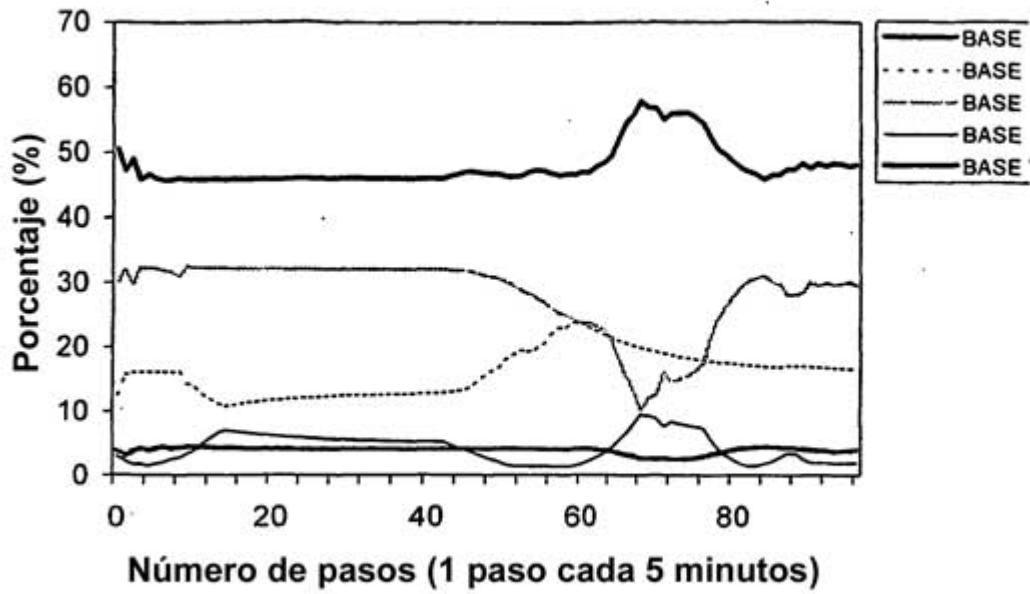


fig. 6b

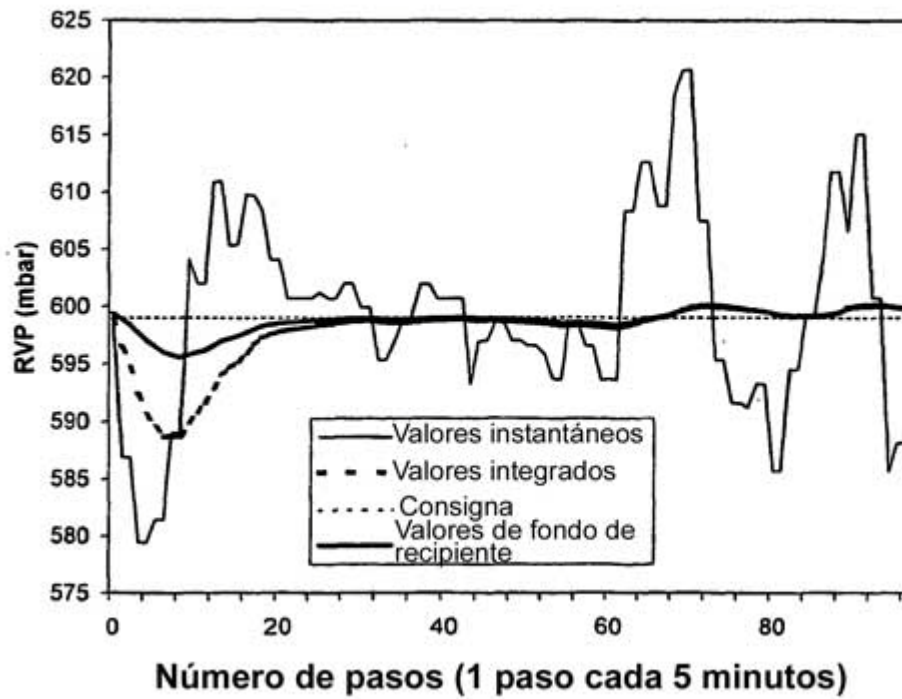


fig. 6c

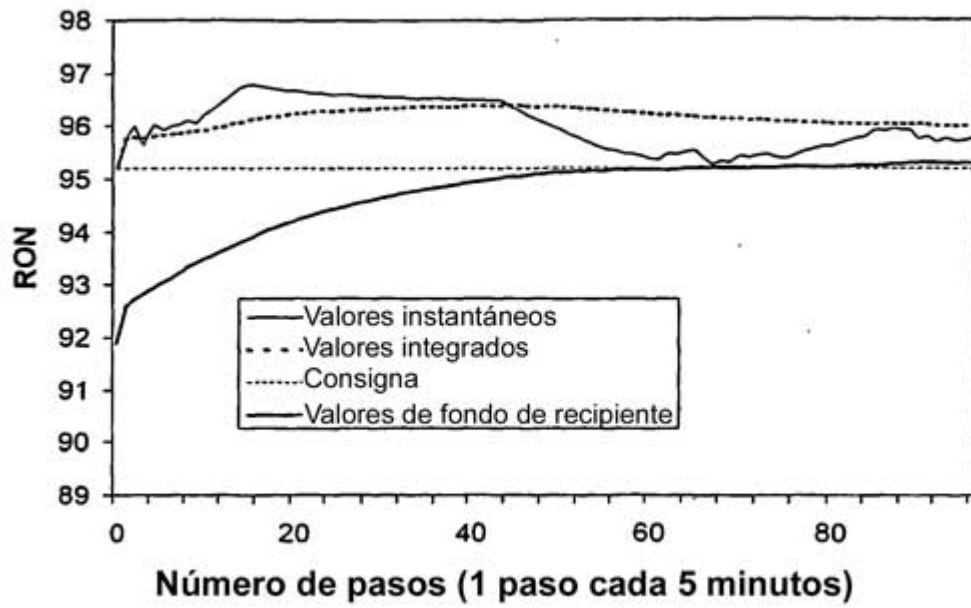


fig. 6d

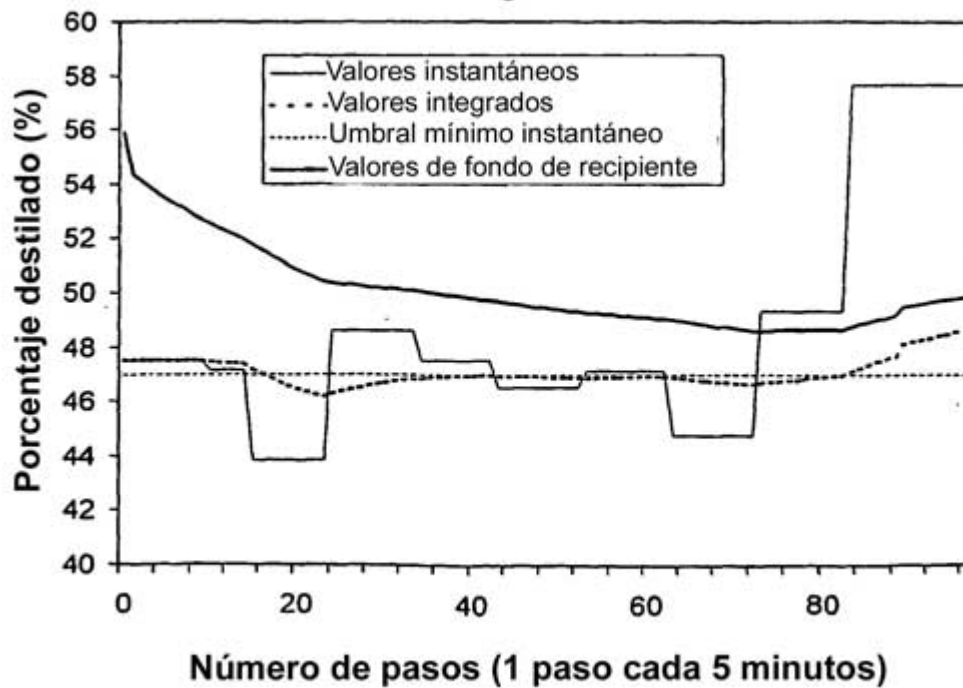


Fig. 6e

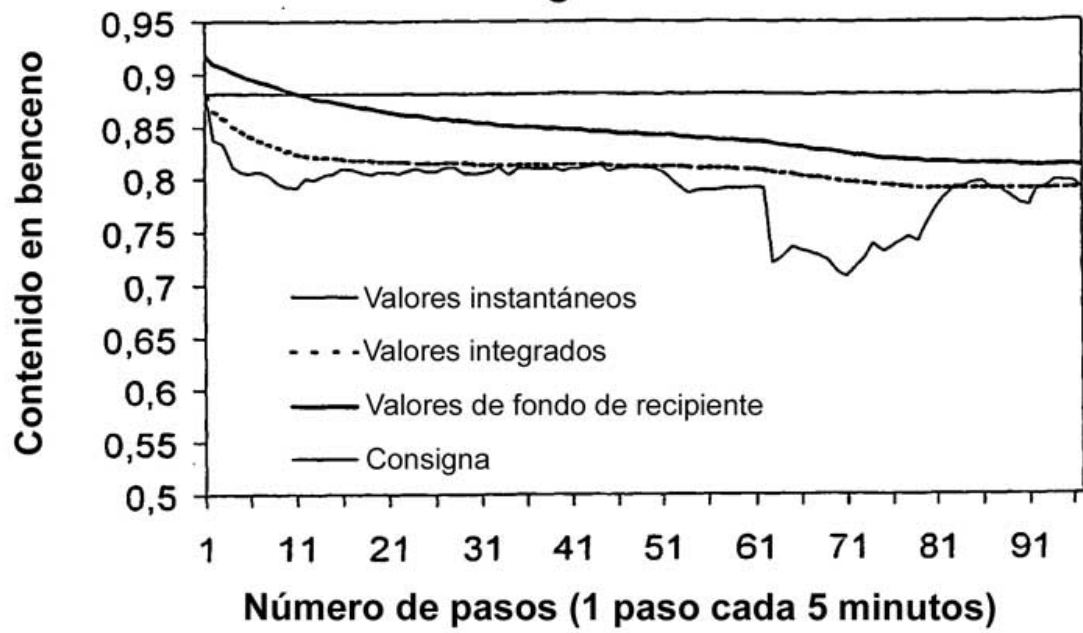


Fig. 7a

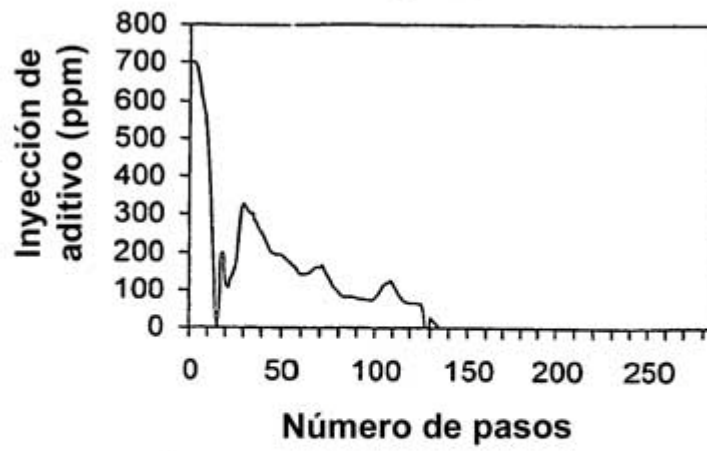


Fig 7b

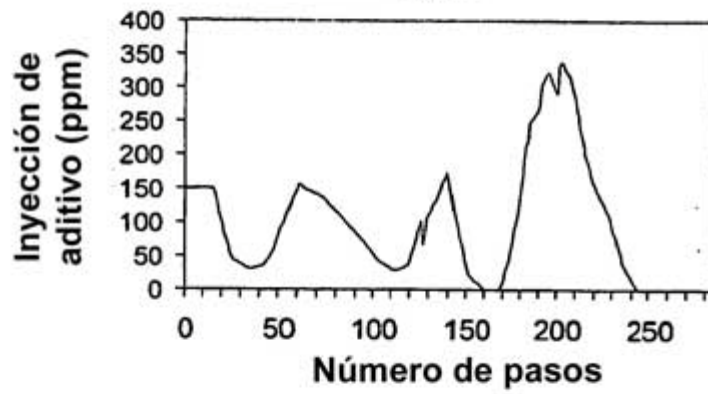


Fig 7c

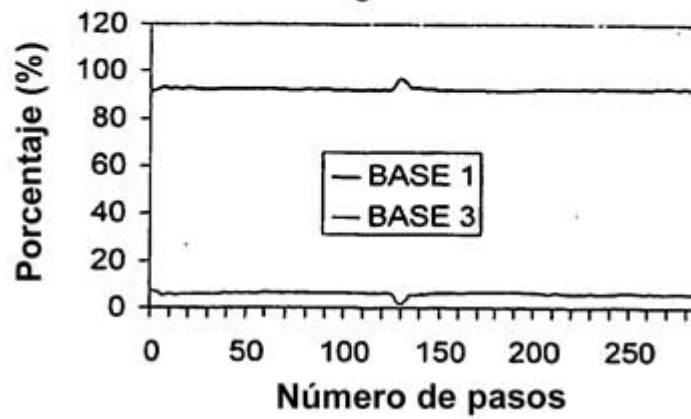


Fig 7d

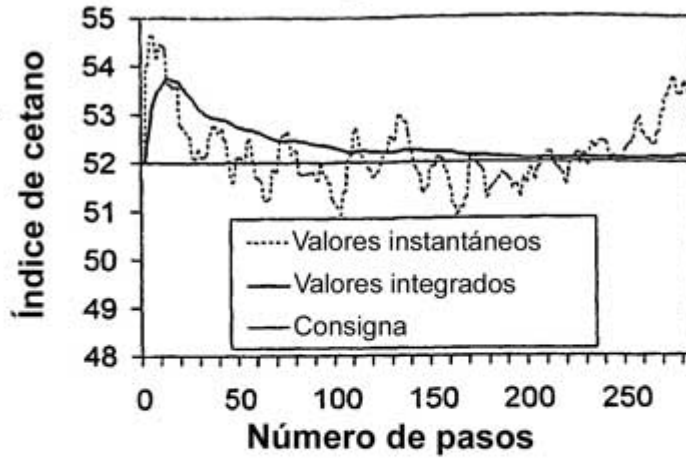


Fig 7e
Número de pasos

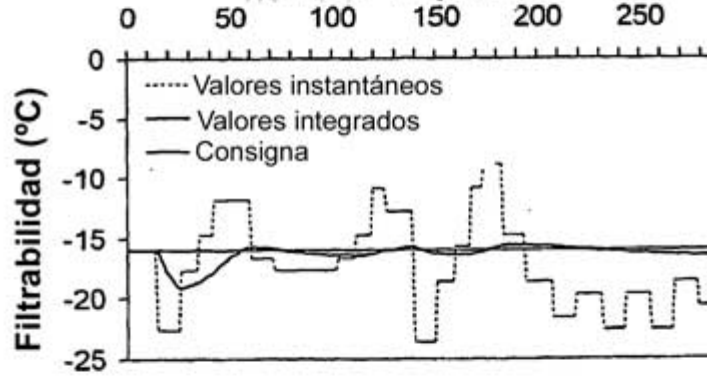


Fig. 7f

