

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 960 010**

51 Int. Cl.:

G05B 23/02 (2006.01)

G01N 33/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2020** **E 20382341 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2023** **EP 3904986**

54 Título: **Método, sistema y producto programa informático para la supervisión en línea de una refinería de petróleo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.02.2024

73 Titular/es:

PETROLEOS DEL NORTE, S.A. (100.0%)
Barrio San Martin s/n.
48550 Muskiz, Bizkaia, ES

72 Inventor/es:

CEREZO RANCAÑO, JUAN FRANCISCO;
SALAS SIERRA, BEATRIZ;
REGIL HERRERO, AINHOA;
UNZUETA ETXEITA, ELÍAS;
ORBE GUIJARRO, LUCÍA;
MAIZA, MIKEL;
ODRIOZOLA, JUAN;
ARTETXE, ARKAITZ;
GARCÍA, IGOR;
FLÓREZ, JULIÁN;
QUARTULLI, MARCO;
GOICOLEA, JUAN y
VILLANUEVA, UNAI

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 960 010 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

Método, sistema y producto programa informático para la supervisión en línea de una refinería de petróleo

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere al campo del procesamiento de petróleo. En particular, la misma se refiere a procesos para refinar petróleo crudo. La invención contempla un método y sistema para la supervisión en línea de una planta de refino de petróleo por medio de un sensor virtual, tal como la supervisión de un parámetro de operación de producción en procesos de refino de petróleo.

Estado de la técnica

En el campo del procesamiento de petróleo, la gestión de desempeño óptima de una refinería de petróleo es un objetivo continuo. En última instancia, el desempeño económico es una métrica clave que depende de la complejidad de la planta de refino y del impacto económico de cada proceso de la planta. En una planta de refino de petróleo, la unidad de coquización es un proceso clave en términos de la importancia económica y, por lo tanto, su funcionamiento óptimo es imprescindible. El control óptimo del funcionamiento de la unidad de coquización depende sumamente de un parámetro de operación de producción crítico: el valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío. La unidad de destilación al vacío es la unidad en la planta de refino de petróleo en la que tienen lugar procesos de refino secundarios a continuación del principal (realizado en las unidades de destilación principales). Su residuo, una corriente de mezcla de petróleo crudo, se introduce en la unidad de coquización, que se hace funcionar de forma óptima si se obtiene un valor de penetración óptimo del residuo de la unidad de destilación al vacío.

El valor de penetración de una mezcla de petróleo crudo es, en términos generales, una medida de su dureza o consistencia. Más específicamente, el valor de penetración de una mezcla de petróleo crudo se define como la distancia vertical recorrida o penetrada por una aguja convencional en la mezcla de petróleo crudo en unas condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura. Esta distancia se mide en décimas de milímetro (mm) ($1 \text{ mm} = 10^{-3}$ metros (m)). Cuanto más corta es la distancia, menor es el valor de penetración, por lo que más dura es la mezcla de petróleo crudo; cuanto más larga es la distancia, mayor es el valor de penetración, por lo que más blanda es la mezcla de petróleo crudo. Por lo tanto, la unidad de coquización se hace funcionar de forma óptima si se obtiene un residuo de la unidad de destilación al vacío que tiene una dureza o consistencia óptima. Por lo tanto, conseguir un valor de penetración óptimo implica hacer funcionar de forma óptima la unidad de destilación al vacío. Para conseguir un valor de penetración óptimo, debe hacerse lo siguiente: (i) en primer lugar, una estructuración sensible y correcta de valores iniciales de una pluralidad de parámetros de operación de producción debe estimarse en el tiempo de planificación de producción; (ii) en segundo lugar, deben configurarse unos lazos de control robustos y precisos; (iii) en tercer lugar, se necesita una realimentación frecuente y fiable del valor de penetración.

En la actualidad, el método convencional para medir el valor de penetración es por medio de un análisis de laboratorio tedioso, costoso y que consume mucho tiempo: el así denominado método de penetración de aguja. Este requiere equipos de laboratorio específicos que incluyen un recipiente, una aguja, un baño de agua, un plato de transferencia, un aparato de penetración, un peso, un dispositivo de medición de temperatura y un dispositivo de medición de tiempo. El método incluye (i) preparar la muestra de mezcla de petróleo crudo calentando la misma hasta una consistencia de vertido y agitándola hasta que se vuelva homogénea y esté libre de burbujas de aire y agua, (ii) verter la misma en el recipiente, protegiéndola del polvo y otras partículas en la atmósfera y dejar que se enfríe en una atmósfera de temperatura controlada durante un período de tiempo dado, (iii) colocar el mismo junto con el plato de transferencia en el baño de agua a una temperatura dada, llenar el plato de transferencia con agua procedente del baño de agua, colocar la muestra en el mismo y llevarlo a la plataforma de aparato de penetración, (iv) limpiar la aguja con un compuesto químico líquido, secar la misma y cargarla con el peso, (v) ajustar la aguja para hacer contacto con la superficie de la muestra, (vi) llevar el puntero del indicador de medida a cero, (vii) liberar la aguja durante un tiempo fijo, (viii) ajustar el aparato de penetración para medir la distancia penetrada, (ix) hacer un número fijo de lecturas en diferentes puntos en la superficie de la muestra y, por último, después de la compleción de cada prueba, (x) devolver la muestra y el plato de transferencia al baño de agua, limpiar la aguja con un compuesto químico líquido y volver a secarla. El proceso de medición en laboratorio lleva 4-5 horas, más un plan de producción, también denominado estructura de petróleo crudo, que lleva 2-3 días. Además, para lograr su valor óptimo, habitualmente se necesitan 4-5 mediciones de laboratorio.

Se han desarrollado varios métodos para estimar propiedades de mezclas de petróleo crudo, basándose, por ejemplo, en datos de caracterización de resonancia magnética nuclear (RMN), espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) u otras técnicas de medición dependientes de equipos complejos, junto con técnicas numéricas computarizadas. Sin embargo, los datos que necesitan estos métodos no están disponibles habitualmente en los análisis de petróleo crudo regulares, siendo necesario, por lo tanto, realizar continuamente mediciones de laboratorio complejas. Se divulgan ejemplos de tales métodos, por ejemplo, en los documentos US6477516B1 y WO2008/135411A1. De forma similar, Jaimes y col. describen en "*Prediction of the Penetration Grade and Softening Point of Vacuum Residues and Asphalts by Nuclear Magnetic Resonance and Chemometric Methods*", *Energy Fuels* 2019, 33, 6264-6272, un modelo de predicción del grado de penetración y el punto de ablandamiento de residuos de vacío (VR) y asfaltos de pavimento

usando técnicas numéricas computarizadas. Sin embargo, el método propuesto es sumamente dependiente de los datos estructurales obtenidos con resonancia magnética nuclear de protones (RMN de H) y datos de relaxometría obtenidos a través de resonancia magnética nuclear de bajo campo (RMN de CB). Por lo tanto, este necesita equipos de espectroscopía de RMN. Además, el mismo requiere realizar mediciones específicas del grado de penetración y el punto de ablandamiento de cada muestra usada para construir los modelos de predicción por medio de equipos y métodos analíticos de laboratorio convencionales.

En el documento US2014180650A1 se divulga un método para predecir propiedades de asfalto usando mediciones de la viscosidad cinemática de una fracción de asfalto e información de la pizarra de crudos. Faranda y col. han descrito, en "*Neural software to estimate vacuum residue quality*", PTQ, otoño de 2002, un método para predecir el valor de penetración de los betunes (modo de operación de asfalto) usando una técnica numérica computarizada basándose en una red neuronal. Sin embargo, este necesita realizar mediciones de penetración específicas en laboratorio muy frecuentemente (3-4 veces al día).

En suma, se ha hallado que varios métodos son capaces de correlacionar características de petróleos crudos con propiedades que han de predecirse de petróleos crudos procesados o mezclas de petróleo crudo que derivan de los mismos. Sin embargo, los métodos notificados, en particular los que tienen el objetivo de predecir el valor de penetración de una mezcla de petróleo crudo, son fuertemente dependientes de la realización regular de análisis de laboratorio específicos.

Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar un método menos costoso, que no consuma tanto tiempo y que sea menos dependiente de equipos de laboratorio, en suma, más eficiente para medir o predecir el valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío en cualquier momento dado.

Descripción de la invención

El sistema y método implementado por ordenador para supervisar una planta de refino de petróleo descrito en la presente invención pretende resolver las deficiencias de los métodos y sistemas de la técnica anterior para ello. El método predice el valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío de la planta de refino de petróleo. El método se implementa en un sistema que puede integrarse directamente en una planta de producción de refinería de petróleo. La predicción se realiza en línea. Esto significa que la predicción se realiza sustancialmente de forma continua, por ejemplo, cada pocos minutos. La predicción se realiza a partir de datos de producción actuales de la refinería de petróleo y a partir de datos de producción históricos de la misma. Los datos de producción actuales incluyen datos operativos de control de producción, datos de laboratorio (tales como datos derivados de experimentos analíticos realizados en laboratorio) y datos de petróleo crudo (datos de programación de producción). Los datos de producción históricos de la refinería de petróleo incluyen datos históricos del valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío.

El método y sistema no necesitan realizar mediciones de laboratorio nuevas ni tomar muestras de laboratorio nuevas, ni usar equipos de medición nuevos (tales como equipos de laboratorio, analizadores o sensores), con respecto a las mediciones y equipos usados convencionalmente en la planta. Más bien, el método y sistema tienen la capacidad de usar la información de planta de producción disponible regularmente, incluyendo información de programación/planificación de producción (que puede considerarse información que varía a medio plazo), información de análisis de laboratorio (que puede considerarse información que varía de bajo a medio plazo) e información operativa de control de producción en tiempo real (información que varía rápidamente) de la planta. En el contexto de la presente invención, la expresión "tiempo real" se refiere a un tiempo comprendido dentro de un intervalo que varía entre 0,1 segundo y 30 minutos, tal como un intervalo que varía entre 1 segundo y 30 minutos, o un intervalo que varía entre 1 segundo y 15 minutos, o un intervalo que varía entre 1 segundo y 10 minutos, o un intervalo que varía entre 1 segundo y 5 minutos, o un intervalo que varía entre 1 segundo y 2 minutos. Un experto en la materia entenderá que la evolución de la tecnología puede posibilitar reducir el valor mínimo de 1 segundo a un valor más pequeño, tal como 0,5 segundos o 0,1 segundos.

Un primer aspecto de la invención se refiere a un método implementado por ordenador para supervisar una planta de refino de petróleo de acuerdo con la reivindicación 1.

En realizaciones de la invención, la información de producción de la planta de refino de petróleo se procesa como sigue: procesar de forma independiente la información de programación de producción, la información de análisis de laboratorio y la información operativa de control de producción; procesar conjuntamente la información de producción procesada de forma independiente, construyendo de este modo un conjunto de datos principal que comprende una pluralidad de muestras de datos.

En realizaciones de la invención, la fase de procesar conjuntamente la información de producción procesada de forma independiente comprende: calcular un tiempo de respuesta entre información que son datos de entrada a la unidad de destilación al vacío y datos de salida desde la misma, comprendiendo los datos de entrada al menos una temperatura de zona de evaporación instantánea de la unidad de destilación al vacío, comprendiendo los datos de salida un valor real del valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío; promediar los datos

comprendidos en la información operativa de control de producción que va a usarse para obtener un valor de predicción, de acuerdo con una ventana de tiempo determinada por dicho tiempo de respuesta y con un tiempo de muestreo del valor real del valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío; y unir la información de producción procesada de forma independiente que incluye los datos promediados correspondientes a la fuente de información operativa de control de producción, construyendo de este modo un conjunto de datos principal que comprende una pluralidad de muestras de datos.

En realizaciones de la invención, la información de programación de producción representa información cualitativa acerca de los petróleos crudos introducidos en la refinería de petróleo como materia prima, siendo dicha información cualitativa los nombres de los petróleos crudos y sus porcentajes.

En realizaciones de la invención, el al menos un parámetro de caracterización de crudo incluido en la información de análisis de laboratorio es una de: cantidad de azufre de petróleo crudo (% en peso), cantidad de rendimiento de residuo atmosférico (% en volumen o % en peso), cantidad de asfaltenos de residuo de vacío (% en peso) y cantidad de rendimiento de diésel pesado (% en volumen o % en peso).

En realizaciones de la invención, el al menos un parámetro de temperatura de la unidad de destilación al vacío es una temperatura relacionada con la columna de destilación principal de la unidad de destilación al vacío, y el al menos un parámetro de caudal de la unidad de destilación al vacío es la carga a la unidad de destilación al vacío. La temperatura relacionada con la columna de destilación principal de la unidad de destilación al vacío es preferiblemente la temperatura de zona de evaporación instantánea de la unidad de destilación al vacío.

En realizaciones de la invención, la información operativa de control de producción incluye además al menos un parámetro de presión de la unidad de destilación al vacío, siendo preferiblemente dicho al menos un parámetro de presión de la unidad de destilación al vacío la presión de columna de zona de evaporación instantánea en la unidad de destilación al vacío.

En realizaciones de la invención, el algoritmo numérico basándose en técnicas de aprendizaje automático comprende los siguientes modelos de regresión de apilamiento: un primer modelo de regresión que aplica técnicas de filtrado adaptativo para captar información de dinámica que varía rápidamente contenida dentro de la información operativa de control de producción; un segundo modelo de regresión que aplica técnicas de regresión basadas en redes neuronales para captar información cuasiestática contenida dentro de la información de análisis de laboratorio; y un tercer modelo de regresión que aplica técnicas de regresión basadas en refuerzo de gradiente para captar información que varía lentamente contenida dentro de la información de programación de producción.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema - también denominado sensor virtual - para supervisar una planta de refino de petróleo, de acuerdo con la reivindicación 10.

En realizaciones de la invención, el sistema comprende además: unos medios para recopilar dicha información de la planta de refino de petróleo; unos medios para procesar la información de programación de producción; unos medios para procesar la información de análisis de laboratorio; unos medios para procesar la información operativa de control de producción; unos medios para procesar conjuntamente la información de producción procesada de forma independiente, construyendo de este modo un conjunto de datos principal que comprende una pluralidad de muestras de datos.

En realizaciones de la invención, el sistema comprende además unos medios de almacenamiento para almacenar la información de producción de la planta de refino de petróleo, el modelo predictivo y métricas de evaluación de modelo correspondientes, la pluralidad de muestras de datos del conjunto de datos principal y el valor de predicción obtenido.

En realizaciones de la invención, el sistema comprende además unos medios para presentar visualmente al menos el valor de predicción obtenido, siendo dichos medios uno de un monitor de ordenador o una pantalla de ordenador portátil, o una pantalla de teléfono móvil, proporcionando una interfaz gráfica de usuario.

El sistema puede materializarse mediante un único sistema informático común o puede materializarse mediante varios sistemas informáticos conectados.

Un tercer aspecto de la invención se refiere a un producto de programa informático que comprende instrucciones/código de programa informático para realizar el método del primer aspecto de la invención.

Un cuarto aspecto de la invención se refiere a una memoria/medio legible por ordenador que almacena instrucciones/código de programas para realizar el método del primer aspecto de la invención.

Se ha divulgado un sistema completo que puede integrarse directamente en una planta de producción de refinería de petróleo para la predicción (supervisión) en línea del valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío. No es necesario ni que incorpore mediciones nuevas - de muestras nuevas - ni que use equipos de medición (equipos de laboratorio, analizadores o sensores) nuevos. Más bien, este usa la información de planta de producción

disponible regularmente, incluyendo información de programación/planificación de producción, información de análisis de laboratorio e información operativa de control de producción en tiempo real. En otras palabras, este usa información estática, información que varía de medio a largo plazo e información que varía rápidamente de la planta.

- 5 Gracias al método y sistema de la presente invención, el desempeño de la unidad de destilación al vacío de una refinería de petróleo se mejora logrando un valor óptimo del valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío en el tiempo más corto. Por lo tanto, también se mejora el desempeño de la unidad de coquización de la refinería de petróleo, así como el desempeño de la refinería de petróleo.
- 10 Además, se logra una reducción en el número de mediciones de laboratorio basadas en el método de penetración de aguja realizadas regularmente del valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío. Esta reducción es posible gracias al predictor fiable (sensor virtual) que proporciona continuamente predicciones de penetración.
- 15 Ventajas y características adicionales de la invención se harán evidentes a partir de la descripción detallada que sigue y se señalarán particularmente en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

- 20 Para completar la descripción y para proporcionar un mejor entendimiento de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman una parte integrante de la descripción e ilustran una realización de la invención, que no debería interpretarse como que restringe el alcance de la invención, sino simplemente como un ejemplo de cómo puede llevarse a cabo la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

- 25 La figura 1 muestra un diagrama general de una refinería de petróleo, en la que habitualmente se introducen petróleos crudos como materia prima y se emiten diferentes proporciones de productos petrolíferos, tales como productos refinados y subproductos transformados.

- 30 La figura 2 muestra esquemáticamente una unidad de destilación de petróleo crudo, que destila el petróleo crudo entrante en diversas fracciones de destilado atmosférico, y cuyo residuo atmosférico se procesa en otras unidades, habitualmente en una así denominada unidad de destilación al vacío.

- 35 La figura 3 muestra esquemáticamente una unidad de destilación al vacío, en la que se destila adicionalmente el petróleo residual procedente de una unidad de destilación de petróleo crudo. Esta emite, entre otros productos, residuo de vacío, que se procesa adicionalmente en otras unidades, habitualmente en la así denominada unidad de coquización.

- La figura 4 muestra esquemáticamente una unidad de coquización que convierte residuo de vacío procedente de la unidad de destilación al vacío en gases, subproductos de coquizador y coque de petróleo.

- 40 La figura 5A muestra un diagrama de bloques que representa un sistema para supervisar en línea una refinería de petróleo, que comprende un sistema informático, de acuerdo con una realización de la presente invención.

- 45 Las figuras 5B a 5D muestran diferentes realizaciones del sistema de la invención, en las que el sistema informático se implementa mediante un único sistema informático físico (la figura 5B), o mediante un único sistema informático virtual (la figura 5C) o mediante una red informática física o virtual (la figura 5D).

- 50 Las figuras 5E a 5G muestran diferentes realizaciones del sistema de la invención, en las que el sistema informático se implementa mediante un único sistema informático virtual y el monitor de ordenador es una pantalla de ordenador portátil (la figura 5E), una pantalla de ordenador de tipo tableta (la figura 5F) o una pantalla de teléfono móvil (la figura 5G).

- La figura 6 muestra un diagrama de flujo que representa el método para supervisar en línea una refinería de petróleo de acuerdo con una realización de la invención.

- 55 La figura 7 muestra un diagrama de flujo que incluye fases de captura y recopilación de datos para conseguir datos desde diferentes fuentes: fuente de información de programación/planificación de producción, fuente de información de análisis de laboratorio y fuente de información operativa de control de producción en tiempo real, de acuerdo con realizaciones de la invención.

- 60 La figura 8 muestra un diagrama de flujo que incluye fases de procesamiento de datos de acuerdo con realizaciones de la invención.

- 65 La figura 9 muestra un diagrama de flujo que incluye fases para identificar el estado operativo, o bien en marcha o bien parado, de una unidad de destilación al vacío de una refinería de petróleo, de acuerdo con realizaciones de la invención.

La figura 10 muestra un diagrama de flujo que incluye fases para un procesamiento de datos conjunto de acuerdo con realizaciones de la invención.

La figura 11 muestra un diagrama de flujo que incluye fases para construir/mejorar un modelo predictivo y calcular métricas de evaluación de modelo, de acuerdo con realizaciones de la invención.

La figura 12 muestra un diagrama de flujo que incluye fases para determinar el valor de penetración de un residuo de destilación al vacío, de acuerdo con realizaciones de la invención.

La figura 13 muestra un diagrama de flujo que incluye fases para almacenar conjuntos de datos, el modelo predictivo y métricas de evaluación de modelo correspondientes, y la predicción determinada por el modelo predictivo, de acuerdo con realizaciones de la invención.

La figura 14 muestra un diagrama de flujo que incluye fases para construir y representar una GUI, de acuerdo con realizaciones de la invención.

Descripción de una forma para llevar a cabo la invención

La figura 1 muestra esquemáticamente un diagrama general de una refinería de petróleo 100, en donde habitualmente se introducen los petróleos crudos 101 como materia prima y se emiten diferentes proporciones de productos petrolíferos 102. Los productos petrolíferos 102 de salida son habitualmente productos refinados o subproductos transformados. Estos se agrupan habitualmente en cuatro categorías: destilados ligeros (GLP, gasolina, nafta); destilados medios (queroseno, combustible para aviones de reacción, diésel); destilados pesados; y residuos (fuelóleo pesado, aceites lubricantes, cera, asfalto).

La presente invención se refiere en particular a las siguientes unidades de una refinería de petróleo: la unidad de destilación de petróleo crudo, la unidad de destilación al vacío y la unidad de coquización. La figura 2 muestra una unidad de destilación de petróleo crudo 200, también denominada unidad de destilación atmosférica, que destila el petróleo crudo 201 entrante en diversas fracciones de destilado atmosférico 202, habitualmente nafta ligera, nafta pesada, combustible para aviones de reacción y/o queroseno, gasóleo y gasóleo atmosférico. La unidad de destilación de petróleo crudo 200 produce el residuo atmosférico 203, que habitualmente sale desde la parte de debajo de la unidad 200. El residuo atmosférico 203 se procesa adicionalmente en otras unidades, habitualmente en la unidad de destilación al vacío 300. En una refinería de petróleo puede haber más de una unidad de destilación de petróleo crudo 200. Por ejemplo, puede haber dos unidades de destilación de petróleo crudo, representadas generalmente con la referencia 200 en la figura 2.

La figura 3 muestra una unidad de destilación al vacío 300, que es una unidad de destilación intermedia adicional en donde el residuo atmosférico 301 procedente de la parte de debajo de la unidad de destilación de petróleo crudo 200 se destila adicionalmente. En este proceso, se obtienen fracciones de destilado de vacío 302, tales como gasóleo de vacío ligero y gasóleo de vacío pesado. Se evacúan los gases no condensables 304 - habitualmente desde la parte de arriba de la unidad 300 - y se emite el residuo de vacío 303, habitualmente desde la parte de debajo de la unidad 300. El residuo de vacío 303 se procesa adicionalmente en otras unidades, habitualmente en la unidad de coquización 400. La figura 4 muestra una unidad de coquización 400, en la que el residuo de vacío 401 procedente de la unidad de destilación al vacío 300 se convierte en varios productos: coque de petróleo 403, que es el producto principal de coquizador; subproductos de coquizador 402, tales como nafta de coquizador, gasóleo de coquizador ligero y gasóleo de coquizador pesado; y gases de hidrocarburo de peso molecular bajo 404.

El método y el sistema de la presente invención se refieren al residuo de vacío 303 obtenido en la unidad de destilación al vacío 300 y procesado en la unidad de coquización 400. En particular, se han desarrollado un método y sistema para la supervisión en línea del valor de penetración 305 del residuo de vacío 303 en la unidad de destilación al vacío 300. El valor de penetración 305 del residuo de vacío 303 es un parámetro de operación de producción crítico en los procesos de refinado de petróleo. El método y sistema de la invención también se denominan sensor virtual. El método y sistema son válidos para cualquier modo de operación de producción (producción de asfalto y no de asfalto). Esto significa que el mismo es válido para todo el intervalo de valores de penetración (hasta las décimas de milímetro).

Un sistema para implementar el método para la supervisión en línea del valor de penetración 305 del residuo de vacío 303 (en lo sucesivo, el valor de penetración) se representa esquemáticamente en la figura 5A. El sistema implementa un sensor virtual 500. En otras palabras, este es un sistema de supervisión en línea basado en sensor virtual 500 para refinerías de petróleo 100. El sistema 500 está formado por un sistema informático 600 y una interfaz de entrada/salida 700, implementada, por ejemplo, por un monitor de ordenador, que presenta visualmente la interfaz gráfica de usuario 611. La interfaz de entrada/salida 700 permite supervisar en tiempo real la predicción del valor de penetración y una o más variables (parámetros) de producción relevantes en relación con el valor de penetración. La supervisión de una o más de tales variables contribuye a interpretar correctamente las predicciones. La figura 5A muestra un diagrama de bloques del sistema informático 600, cuyos elementos o bloques principales se describen a continuación.

El sistema informático 600 incluye unos primeros, unos segundos y unos terceros medios de captura y recopilación

de datos 601a, 601b y 601c, implementados por unos fragmentos respectivos de código informático a cargo de capturar y recopilar información desde unas fuentes de información de producción de planta 602a, 602b y 602c, respectivamente. La información almacenada en estas fuentes son datos introducidos en o emitidos desde la refinería de petróleo 100. Esta información puede usarse para construir un modelo de predicción para el valor de penetración.

La fuente de información 602a representa información de programación/planificación de producción. Habitualmente, los datos recogidos de la fuente de información 602a representan información cualitativa acerca de los petróleos crudos 101 introducidos en la refinería de petróleo 100 como materia prima. En otras palabras, los datos recopilados desde la fuente 602a se refieren a variables o parámetros que definen cualitativamente los petróleos crudos. Preferiblemente, los datos recopilados desde la fuente 602a comprenden los nombres de los crudos específicos (o de tipos de los mismos) y sus porcentajes (por encima de una cantidad total representada como un 100 %) como se define en el plan de producción real. Son ejemplos no limitantes de tipos de crudo que pueden recopilarse desde la fuente 602a: AMENAM, AGBAMI, BASRAH, BASRAH PESADO, BONGA, CASTILLA, ESSIDER, FORTIES, IRAN PESADO, KIRKUK, MAYA, MORICHAL, PEREGRINO, RONCADOR HEAVY, SANKOFA y URAL PRIMORSK. Para construir un modelo de predicción para el valor de penetración, se usa un plan de producción que incluye uno o más tipos de crudo desde la fuente 602a (y su(s) porcentaje[s]). Se usarán los crudos y porcentajes de este plan. La cantidad de cada crudo varía entre el 0 % y el 100 %, siendo sustancialmente el 100 % la suma de todos los crudos incluidos en un plan de producción. La fuente 602a se actualiza a una frecuencia de tasa media, tal como cada pocos días, por ejemplo, cada 1-3 días, tal como una vez al día, o cada dos días, o cada tres días.

La fuente de información 602b representa información de análisis de laboratorio. Los datos recopilados desde la fuente 602b incluyen información correspondiente a valores históricos del valor de penetración 305 del residuo de vacío 303 de la unidad de destilación al vacío 300. En particular, el valor de penetración 305 representa datos de salida desde la unidad de destilación al vacío 300. Los datos recopilados desde la fuente 602b también incluyen características de caracterización de petróleo crudo que representan información cuantitativa acerca de los petróleos crudos 101 introducidos en la refinería de petróleo 100 como materia prima. Pueden obtenerse características de caracterización de petróleo crudo experimentalmente (por ejemplo, a partir de mediciones hechas en laboratorio), a partir de bases de datos, a partir de modelos físicos o a partir de combinaciones de las metodologías anteriores. Son ejemplos no limitantes de características de caracterización de petróleo crudo que pueden recopilarse desde la fuente 602b: densidad de petróleo crudo, cantidad de azufre de petróleo crudo (% en peso), cantidad de rendimiento de nafta (% en peso o % en volumen), cantidad de rendimiento de queroseno (% en peso o % en volumen), cantidad de rendimiento de diésel ligero (% en peso o % en volumen), cantidad de rendimiento de diésel pesado (% en peso o % en volumen), cantidad de rendimiento de gasóleo (% en peso o % en volumen), cantidad de rendimiento de residuo atmosférico (% en peso o % en volumen), cantidad de rendimiento de gasóleo ligero (% en peso o % en volumen), cantidad de rendimiento de gasóleo pesado (% en peso o % en volumen), cantidad de rendimiento de residuo de vacío (% en peso o % en volumen), densidad de residuo atmosférico, densidad de residuo de vacío, cantidad de azufre de residuo atmosférico (% en peso), cantidad de azufre de residuo de vacío (% en peso), cantidad de CCR (residuo de carbón Conradson) de residuo atmosférico (% en peso), cantidad de CCR (residuo de carbón Conradson) de residuo de vacío (% en peso), cantidad de asfaltenos de residuo atmosférico (% en peso), cantidad de asfaltenos de residuo de vacío (% en peso), penetración de residuo de vacío (mm/10) y penetración de residuo atmosférico (mm/10). Además de valores históricos del valor de penetración, para construir un modelo de predicción para el valor de penetración, al menos la cantidad de asfaltenos de residuo de vacío (% en peso) se usa preferiblemente desde la fuente 602b. En una realización más preferida, se usa al menos una característica de caracterización de petróleo crudo adicional, seleccionada de entre las siguientes: cantidad de azufre de petróleo crudo (% en peso) y cantidad de rendimiento de residuo atmosférico (% en peso o % en volumen). En una realización aún más preferida, las características de caracterización de petróleo crudo usadas son la cantidad de asfaltenos de residuo de vacío (% en peso), la cantidad de azufre de petróleo crudo (% en peso), la cantidad de rendimiento de residuo atmosférico (% en peso o % en volumen) y la cantidad de rendimiento de diésel pesado (% en peso o % en volumen). Opcionalmente, pueden recopilarse características de caracterización de petróleo crudo adicionales. La fuente 602b se actualiza a una frecuencia media-baja: mientras que la mayoría de las funciones de caracterización de petróleo crudo se actualizan a una frecuencia de tasa baja, tal como cada pocos meses, por ejemplo, una vez cada 3-6 meses, los valores históricos del valor de penetración 305 se mejoran a una frecuencia más rápida, tal como entre cada varias horas y cada pocos días.

La fuente de información 602c representa información operativa de control de producción en tiempo real obtenida en diferentes puntos de la planta de refino de petróleo. Los datos recopilados desde la fuente 602c representan habitualmente la captura de una pluralidad de sensores, accionadores y/o controladores usados para controlar variables operativas de la planta de refino de petróleo, tales como la temperatura, la presión y/o el caudal (la carga). Para construir un modelo de predicción para el valor de penetración, pueden usarse parámetros de temperatura, presión y caudal (carga) medidos en la unidad de destilación al vacío, en cualquier unidad que afecte a la línea de crudo-vacío-coquizador, o en cualquier otra unidad en la planta de refino de petróleo. Son ejemplos no limitantes de información operativa de control de producción en tiempo real que puede recopilarse desde la fuente 602c:

En relación con la carga (el caudal): carga a una unidad de vacío, cargas desde depósitos en una unidad de vacío, cargas de unidad de vacío procedentes de unidades de destilación previas (tales como cargas desde unidades de crudo), cargas de carril de unidad de vacío (tales como cargas a diferentes carriles de carga de una unidad de

vacío), sobrecargas en una unidad de vacío (tales como sobrecargas a depósitos en una unidad de vacío), producción de residuos y productos en una unidad de vacío (tales como producción de residuo total, residuos de parte de debajo de la columna de destilación principal y gasóleo pesado de lavado, en una unidad de vacío), producción de vapores y gases en una unidad de vacío (tales como vapor de agotamiento de parte de debajo de la columna de destilación principal, vapor de eyector desde los diferentes eyectores en la unidad, gases incondensables a hornos, en una unidad de vacío) y caudales y cargas desde otras corrientes o unidades aguas arriba o aguas abajo de la unidad de vacío (tales como cargas a las unidades de crudo, cargas a depósitos de mezclado, reflujo de gasóleo atmosférico en unidades de crudo, vapor de destilación con arrastre en la parte de debajo de unidades de crudo, vapor de destilación con arrastre en unidades de crudo, sobrecargas a depósitos en unidades de crudo).

En relación con la presión: presiones de carga en una unidad de vacío (tales como presiones de carga desde diferentes depósitos en una unidad de vacío), presiones desde diferentes zonas de la unidad de vacío (tales como presión de descarga de la columna de destilación, presión de columna de zona de evaporación instantánea, en la unidad de vacío) y presiones desde otras corrientes o unidades aguas arriba o aguas abajo de la unidad de vacío (tales como presión de zona de evaporación instantánea de las columnas de destilación principales en unidades de crudo).

En relación con la temperatura: temperaturas de carga en una unidad de vacío (tales como temperaturas de carga desde los diferentes intercambiadores de calor en una unidad de vacío), temperaturas desde diferentes zonas de la unidad de vacío, especialmente las relacionadas con la columna de destilación principal (tales como temperatura de columna de destilación de parte de debajo, temperatura de extracción de parte de debajo de la columna de destilación (principal), temperatura de zona de evaporación instantánea, en la unidad de vacío) y temperaturas desde otras corrientes o unidades aguas arriba o aguas abajo de la unidad de vacío (tales como temperatura de salida de gasóleo atmosférico en unidades de crudo, temperaturas de placas de extracción de gasóleo atmosférico en unidades de crudo, temperatura de evaporación instantánea en unidades de crudo, temperatura de reflujo frío de gasóleo atmosférico para la columna de destilación en unidades de crudo, temperaturas de diversas placas para las diferentes columnas de destilaciones en unidades de crudo, especialmente la columna de destilación principal de las unidades de crudo).

Preferiblemente, se usan al menos un parámetro de temperatura y al menos un parámetro de caudal (carga). El al menos un parámetro de temperatura es preferiblemente una temperatura medida en la unidad de vacío, más preferiblemente una temperatura relacionada con la columna de destilación principal de la unidad de vacío. Aún más preferiblemente, esta temperatura es la temperatura de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío. El al menos un parámetro de caudal (carga) es preferiblemente la carga a una unidad de vacío. Se destaca que puede usarse en su lugar, respectivamente, cualquier otro parámetro de temperatura o parámetro de caudal (carga) que se correlacione respectivamente con la temperatura de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío o con la carga a una unidad de vacío.

Más preferiblemente, se usan al menos un parámetro de temperatura, al menos un parámetro de presión y al menos un parámetro de caudal (carga). El al menos un parámetro de temperatura es preferiblemente una temperatura medida en la unidad de vacío, más preferiblemente una temperatura relacionada con la columna de destilación principal de la unidad de vacío. Aún más preferiblemente, esta temperatura es la temperatura de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío (o un parámetro de temperatura correlacionado con la misma). El al menos un parámetro de caudal (carga) es preferiblemente la carga a una unidad de vacío (o un parámetro de caudal (carga) correlacionado con la misma). El al menos un parámetro de presión es preferiblemente una presión de carga en la unidad de vacío, más preferiblemente la presión de columna de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío (o un parámetro de presión correlacionado con la misma).

Otros parámetros de carga, de presión y de temperatura que pueden usarse adicionalmente para construir un modelo de predicción para el valor de penetración son: carga a una unidad de vacío, cargas desde depósitos en una unidad de vacío, cargas desde unidades de crudo, cargas a diferentes carriles de carga de una unidad de vacío, sobrecargas a depósitos en una unidad de vacío, producción de residuo total en una unidad de vacío, residuos de parte de debajo de la columna de destilación principal en una unidad de vacío, gasóleo pesado de lavado, en una unidad de vacío, vapor de agotamiento de parte de debajo de la columna de destilación principal en una unidad de vacío, vapor de eyector desde los diferentes eyectores en una unidad de vacío, gases incondensables a hornos, en una unidad de vacío, cargas a unidades de crudo, cargas a depósitos de mezclado, reflujo de gasóleo atmosférico en unidades de crudo, vapor de destilación con arrastre en la parte de debajo de unidades de crudo, vapor de destilación con arrastre en unidades de crudo, sobrecargas a depósitos en unidades de crudo; presiones de carga desde diferentes depósitos en una unidad de vacío, presión de descarga de la columna de destilación en la unidad de vacío, presión de columna principal de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío, presión de zona de evaporación instantánea de una columna de destilación principal en unidades de crudo; temperatura de carga a una unidad de vacío, temperatura de columna de parte de debajo en la unidad de vacío, temperatura de columna de destilación principal de parte de debajo en la unidad de vacío, temperatura de salida de gasóleo atmosférico en diferentes unidades de crudo, temperaturas de placas de extracción de gasóleo atmosférico en diferentes unidades de crudo, temperaturas de evaporación instantánea de diversas placas en diferentes unidades de crudo, temperatura de evaporación instantánea

de gradiente de extracción de gasóleo atmosférico en diferentes unidades de crudo, temperatura de reflujo frío de gasóleo atmosférico para la columna de destilación en diferentes unidades de crudo, temperaturas de diversas placas en la columna de destilación principal en diferentes unidades de crudo, temperatura de salida de parte de debajo de diferentes columnas de destilación en diferentes unidades de crudo, temperatura de zona de evaporación instantánea en la columna de destilación principal en diferentes unidades de crudo. En una realización particular, todos los parámetros disponibles de temperatura, presión y carga (caudal) de la línea de crudo-vacío-coquizador, se usan para construir el modelo de predicción.

La fuente 602c se actualiza a una frecuencia de tasa alta, tal como cada pocos segundos o minutos, por ejemplo, una vez entre 1 segundo y 30 minutos, o una vez entre 1 segundo y 15 minutos, o una vez entre 1 segundo y 10 minutos, o una vez entre 1 segundo y 5 minutos, o una vez entre 1 segundo y 2 minutos. Seleccionando las variables (características de modelo) preferidas, puede obtenerse más adelante un modelo predictivo preciso y robusto.

El sistema informático 600 también incluye tres primeros medios de procesamiento de información 603a, 603b y 603c, implementados por unos fragmentos respectivos de código informático a cargo de procesar de forma independiente la información recopilada por separado, a sus frecuencias respectivas, por los medios de captura y recopilación de datos 601a, 601b y 601c respectivos. La información procesada por separado por los primeros medios de procesamiento de información 603a, 603b y 603c se introduce entonces en los segundos medios de procesamiento de información 604. El procesamiento de información en los bloques 603a, 603b, 603c incluye quitar valores atípicos y datos erróneos acaecidos de los datos recopilados correspondientes y, si se requiere, llenar lagunas y datos faltantes en la fuente respectiva (la fuente de información de planificación/programación de producción 602a, la fuente de información de análisis de laboratorio 602b y la fuente de información operativa de control de producción en tiempo real 602c). Los segundos medios de procesamiento de información 604 se implementan mediante uno o más fragmentos de código informático a cargo de procesar conjuntamente la información procesada de forma independiente en los primeros medios de procesamiento de información 603a, 603b y 603c.

En los segundos medios de procesamiento 604, un conjunto de datos de entrada fusionado principal 605 en forma de una serie de tiempo se construye uniando los datos procesados de forma independiente por los primeros medios de procesamiento 603a, 603b y 603c. Para lograr esto, se aplican técnicas de sincronización de tiempo basándose en el tiempo de muestreo de los datos de salida (que es el parámetro de operación de producción que va a predecirse, es decir, el valor de penetración 305 del residuo 303 de la unidad de destilación al vacío 300), recopilados/muestreados/actualizados a una tasa de frecuencia de entre varias horas y cada pocos días), incluidos en los datos recopilados desde la fuente 602b y procesados posteriormente por los medios de procesamiento 603b, y los datos correspondientes a la información operativa de control de producción en tiempo real 602c representada por los datos correspondientes procesados (es decir, promediados) previamente, obtenidos en el bloque 603c. En otras palabras, se realiza una sincronización de tiempo entre las muestras del valor de penetración (recopiladas desde 602b) y muestras promediadas de variables operativas de control de producción (recopiladas desde 602c). No es necesario que los datos que provienen originalmente de la fuente de información de programación/planificación de producción 602a y otros datos (diferentes del valor de penetración) procedentes de la fuente de información de análisis de laboratorio 602b se consideren para el proceso de sincronización de tiempo debido a que estos datos son estáticos con respecto a la valor de penetración 305 y, por lo tanto, ya están sincronizados con respecto al mismo.

El conjunto de datos principal 605 comprende diferentes subconjuntos en forma de una serie de tiempo y dispuestos en un formato de trama de datos: un primer conjunto de datos de entrada fusionado auxiliar 605a (también denominado primer subconjunto 605a) y un segundo conjunto de datos de entrada fusionado auxiliar 605b (también denominado segundo subconjunto 605b). Un conjunto de datos de variables operativas de control de producción 605c (también denominado tercer subconjunto 605c) también puede estar comprendido en el conjunto de datos principal 605. Estos subconjuntos 605a, 605b, 605c se usarán posterior y correspondientemente para construir un modelo predictivo, ejecutar predicciones y, opcionalmente, presentar visualmente variables operativas de control de producción en la GUI 611, como se describirá más adelante.

El conjunto de datos principal 605 puede representarse en forma de una matriz que tiene R filas y K columnas, siendo R, K números naturales. Hay una columna por variable desde las fuentes 602a, 602b, 602c. Si, por ejemplo, hay A variables (parámetros) diferentes en la fuente 602a, B variables (parámetros) diferentes en la fuente 602b y C variables (parámetros) diferentes en la fuente 602c, entonces el número de columnas K en la matriz es $K = A + B + C$. En relación con las filas R, hay una fila por captura temporal, incluyendo las capturas recopiladas en el instante de tiempo lo más reciente, t . Pueden hacerse capturas temporales, por ejemplo, cada 15 minutos. En otras palabras, el número total de filas R representa los datos históricos de las fuentes 602a, 602b, 602c.

En particular, el primer subconjunto 605a será consumido por los medios de construcción de modelos predictivos 606, no explicados todavía con detalle. El primer subconjunto 605a incluye los datos requeridos para entrenar el modelo de predicción. El primer subconjunto 605a puede representarse en forma de una matriz que tiene K columnas (una por variable o parámetro) y tantas filas R_a como el número de muestras reales disponibles de penetración de vacío tomadas en el laboratorio en diferentes instantes de tiempo. En otras palabras, en este caso hay tantas filas R_a como muestras históricas y reales de penetración de vacío. Debido a que el primer subconjunto 605a se usa para entrenar (construir) el modelo, los datos relevantes para entrenar el modelo son los datos recopilados en los instantes de tiempo

en los que se han obtenido, en un laboratorio, valores de penetración de vacío reales. Por lo tanto, cada vez que se realiza una nueva muestra del valor de penetración en el laboratorio, se añade una nueva fila a esta matriz, lo que implica que puede volverse a entrenar (reconstruirse) el modelo predictivo. Entre los diferentes elementos de una nueva fila (elementos que representan valores de las variables A, B y C), algunos de los mismos pueden actualizarse con respecto a la fila previa (elementos correspondientes a variables que han sido actualizadas) y algunos de los mismos pueden permanecer inalterados (elementos correspondientes a variables que se actualizan a una frecuencia media-baja). Los datos se sincronizan de acuerdo con el proceso de sincronización de datos como se ha explicado previamente, es decir, se realiza una sincronización de tiempo entre las muestras del valor de penetración tomadas en el laboratorio y muestras promediadas de variables operativas de control de producción.

A su vez, el segundo subconjunto 605b será consumido por los medios de determinación de predicción 608, no explicados todavía con detalle. El segundo subconjunto 605b incluye la última muestra del conjunto de datos compuesto por las variables usadas para realizar la predicción, y entonces se añade a la recopilación de datos ya almacenada para volver a entrenar el modelo cuando se requiera. El segundo subconjunto 605b puede representarse en forma de matriz de una única fila y $K - 1$ columnas (se representan todas las variables o parámetros excepto la variable que va a predecirse, es decir, la penetración del residuo de vacío). En otras palabras, el subconjunto 605b es un vector de $K - 1$ elementos. El subconjunto 605b se actualiza a una frecuencia alta. De hecho, este se actualiza en tiempo real, es decir, se actualiza con una frecuencia que varía entre 0,1 segundos y 30 minutos, tal como cada 15 minutos o cada 5 minutos, o incluso más frecuentemente. Si, por ejemplo, se hace una nueva predicción cada 15 minutos, este segundo subconjunto 605b se actualiza cada 15 minutos. Considerando dos subconjuntos 605b consecutivos, no todos los valores de sus elementos se modifican con respecto a un subconjunto 605b previo. Entre los elementos comprendidos en un subconjunto 605b, los que habitualmente pueden cambiar con respecto al subconjunto 605b previo (por ejemplo, construido 15 minutos antes) son la información operativa de control de producción (desde la fuente 602c), debido a que los parámetros obtenidos desde la fuente 602c se actualizan a una frecuencia de tasa alta (por ejemplo, una vez entre 1 segundo y 30 minutos, tal como cada 15 minutos o incluso cada minuto). Otros elementos comprendidos en el subconjunto 605b que también pueden cambiar, pero menos a menudo, con respecto al subconjunto 605b previo son: información de programación de producción (desde la fuente 602a), pero solo cambiará si hay una nueva programación, lo que puede suceder en una frecuencia de tasa media (por ejemplo, cada 1-3 días, tal como una vez al día); e información de análisis de laboratorio (desde la fuente 602b) que no sea el valor de penetración, pero se actualiza a una frecuencia de tasa baja, tal como cada pocos meses, por ejemplo, una vez cada 3-6 meses.

Por último, el tercer subconjunto 605c puede ser consumido por los medios de construcción de visualización 610, no explicados todavía con detalle y, por lo tanto, por los medios de presentación visual 700. El tercer subconjunto 605c puede representarse en forma de una matriz que tiene R filas (datos históricos disponibles) y tantas columnas como variables (parámetros) que presentar visualmente en una GUI. En una realización particular, solo unas pocas variables de la información de operación de control de producción (desde la fuente 602c) están comprendidas en el subconjunto 605c y, por lo tanto, están disponibles para su visualización. Son ejemplos no limitantes de variables que van a estar comprendidas en el subconjunto 605c: la temperatura de evaporación instantánea de la unidad de destilación al vacío 300, la presión de la unidad de destilación al vacío 300 en la región de evaporación instantánea y la carga a la unidad de destilación al vacío 300. En una realización más particular, puede presentarse visualmente solo una de estas variables, por ejemplo, la temperatura de evaporación instantánea de la unidad de destilación al vacío 300, la presión de la unidad de destilación al vacío 300 en la región de evaporación instantánea o la carga a la unidad de destilación al vacío 300. En otras realizaciones particulares, se presentan visualmente dos de ellas, o las tres de las mismas. Asimismo, pueden presentarse visualmente otras variables diferentes de estas. Al igual que en el subconjunto 605a, en el subconjunto 605c hay una fila por captura temporal, incluyendo las capturas recopiladas en el instante de tiempo lo más reciente, t . Pueden hacerse capturas temporales, por ejemplo, cada 15 minutos.

El sistema informático 600 también comprende uno o más fragmentos de código informático para implementar diferentes bloques: unos medios 606 para construir un modelo predictivo 607 para predecir el valor de penetración 305 del residuo 303 (residuo de vacío) - como se ilustra, por ejemplo, en las figuras 3 y 4 - y calcular métricas de evaluación de modelo; unos medios 608 para determinar una predicción para el valor de penetración 305 ejecutando el modelo predictivo 607 y, opcionalmente, unos medios 610 para la construcción de visualización, para construir y representar una interfaz gráfica de usuario 611 que muestra, por ejemplo, la evolución en el tiempo y en línea del valor de predicción de la penetración 305 del residuo de vacío determinado por el modelo predictivo 607, las métricas de evaluación de modelo predictivo y la evolución en el tiempo y en línea de al menos algunas de las variables operativas de control de producción 605c requeridas para determinar el valor óptimo del valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío en el tiempo más corto. Más adelante se describirán detalles de estos bloques 606, 608, 610 junto con flujos de datos correspondientes.

El sistema informático 600 también tiene unos medios de almacenamiento de información 609, tales como uno o más fragmentos de memoria, para almacenar diferentes informaciones implicadas en los diferentes bloques del sistema informático 600, tales como la predicción previamente determinada para el valor de penetración 305, una marca de tiempo de un paso de tiempo t de predicción, en donde t representa el paso de tiempo actual, valores de los datos que componen el primer y el segundo subconjuntos 605a, 605b para el momento de predicción asociado (el tiempo t del conjunto de datos 605b con el que se hace la predicción), el modelo predictivo 607 y métricas de evaluación de modelo

correspondientes, y valores del conjunto de datos de variables operativas de control de producción 605c, requeridos para determinar el valor óptimo del valor de penetración 305 en el tiempo más corto o para interpretar correctamente las predicciones.

- 5 En cada ciclo de ejecución del sistema informático 600, se mejoran automáticamente los conjuntos de datos 605 (incluyendo 605a, 605b, 605c), el modelo predictivo 607 y métricas de evaluación de modelo correspondientes, la predicción del valor de penetración 305, el almacenamiento del modelo predictivo 607 y todos los datos anteriores, y el proceso acaeceder de construcción y representación de la interfaz gráfica de usuario 611, de acuerdo con cada nueva información de producción generada en la planta. Sin embargo, esta acción de mejora automática puede
10 ignorarse cuando se detecta una parada de operación para la unidad de destilación al vacío de la refinería de petróleo.

El sistema 500 puede materializarse siguiendo diferentes implementaciones. Las figuras 5B a 5G ilustran implementaciones ilustrativas del sistema 500. En la figura 5B, el sistema informático 600 es un único sistema informático físico (hardware), tal como un ordenador personal que tiene una CPU (procesador único o procesador de múltiples núcleos) ensamblada en un único elemento de equipo de hardware. En la figura 5C, el sistema informático 600 es un único sistema informático virtual, tal como un servidor ubicado en la nube. En la figura 5D, el sistema informático 600 es una red informática que comprende generalmente $m \times n$ procesadores separados, o bien físicos (por ejemplo, desplegados dentro de la planta sometida a supervisión) o bien virtuales (por ejemplo, ubicados en la nube y distribuidos a lo largo de diferentes procesadores o servidores separados). En los ejemplos 5B a 5D, el
20 ordenador o grupo de ordenadores 600 está conectado a un monitor de ordenador 700, que actúa como la GUI 611. En la figura 5E, el sistema informático 600 es un único sistema informático virtual y el monitor de ordenador 700 es una pantalla de ordenador portátil. En la figura 5F, el sistema informático 600 es un único sistema informático virtual y el monitor de ordenador 700 es una pantalla de ordenador de tipo tableta. En la figura 5G, el sistema informático 600 es un único sistema informático virtual y el monitor de ordenador 700 es una pantalla de teléfono móvil. La conexión entre el sistema informático 600 y el monitor 700 que actúa como GUI puede hacerse de forma o bien cableada o bien inalámbrica. En una cualquiera de las posibles implementaciones del sistema 500, el sistema informático comprende unos medios de procesamiento, tales como uno o más procesadores, que tienen integrado un código de programa informático para ejecutar el método para la supervisión en línea de una refinería de petróleo de la presente invención. Los diferentes bloques identificados en la figura 5A - los primeros, los segundos y los terceros medios de captura y recopilación de datos 601a-601c, los tres primeros medios de procesamiento de información 603a-603c, los segundos
30 medios de procesamiento de información 604, los medios de construcción de modelos predictivos 606, los medios de determinación de predicción 608, los medios de almacenamiento de información 609 y los medios de construcción de visualización 610 - pueden implementarse en uno o varios medios de procesamiento, tales como uno o más procesadores. Un experto en la materia entenderá que un único procesador puede integrar varios de estos medios o, como alternativa, un único medio puede integrarse en una pluralidad de procesadores distribuidos, o cualquier otra combinación de los mismos.

Las figuras 6 a 14 muestran diferentes diagramas de flujo que representan diferentes fases del método implementado por ordenador para predecir el valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío.

40 La figura 6 muestra un diagrama de flujo general que representa el método de la invención a través de las fases 1000 a 2000. Estas fases se explican con detalle con referencia adicional a las figuras 7-14. La ejecución del método se inicia en el paso de tiempo t (la fase 1000), en donde los medios de captura y recopilación de datos 601a, 601b y 601c establecen una conexión segura a las fuentes de información 602a, 602b y 602c, respectivamente (las fases 1010a, 1010b y 1010c) y recopilan datos, en tiempo real, desde las mismas. Por ejemplo, si los parámetros operativos de control de producción se actualizan en la fuente 602c cada minuto, los valores de estos parámetros pueden recopilarse sustancialmente sin retardo (por ejemplo, un retardo de 1 segundo) si se interroga a la fuente 602c cada segundo. Esto se explica con detalle en relación con la figura 7. La información recopilada en las fases 1010a, 1010b y 1010c es procesada por los primeros medios de procesamiento de información 603a, 603b y 603c, de forma independiente, en las fases 1020a, 1020b y 1020c, respectivamente. Esto se explica con detalle en relación con la figura 8. Entonces, se lleva a cabo una tarea de identificación del estado operativo de la unidad de destilación al vacío 300 de la refinería de petróleo 100 (la fase 1030). El estado operativo puede ser en marcha (en funcionamiento) o parado. Esto se explica con detalle en relación con la figura 9. A continuación, se lleva a cabo una tarea de comprobación de si se detecta la parada de una unidad (la fase 1040): si se detecta una parada de unidad ("NO" en la fase 1040), entonces se ignora la ejecución de todas las fases y tareas asociadas posteriores para el paso de tiempo actual t y se inicia la ejecución del método para el paso de tiempo $t + 1$ (la fase 1000), en donde $t + 1$ representa el siguiente paso de tiempo; de lo contrario ("SÍ" en la fase 1040), entonces continúa la ejecución de tareas. La información proporcionada de forma independiente por las fases 1020a, 1020b y 1020c es procesada adicionalmente, de forma conjunta, por los segundos medios de procesamiento de información 604 (la fase 1050), en donde se construye un conjunto de datos de entrada fusionado principal 605. Esto se explica con detalle en relación con la figura 10. El conjunto de datos 605 incluye principalmente dos subconjuntos: el primer subconjunto 605a y el segundo subconjunto 605b ya divulgados, en forma de una serie de tiempo. El conjunto de datos 605 también puede incluir el tercer subconjunto 605c ya divulgado. Estos subconjuntos representan los conjuntos de datos principales que van a ser usados por fases posteriores para la construcción de un modelo predictivo (la fase 1060), realizar una predicción (la fase 1070), el almacenamiento (la fase 1080) y la presentación visual (la fase 1090), como ya se ha explicado. El primer subconjunto 605a incluye los datos requeridos para entrenar el modelo de predicción (el bloque 606 en la figura 5A). El segundo subconjunto 605b incluye

los datos requeridos para realizar una predicción (el bloque 608 en la figura 5A). El segundo subconjunto 605b incluye la última muestra del conjunto de datos compuesto por las variables usadas para realizar la predicción. Una vez que se ha hecho la predicción, esta muestra se añade entonces a la recopilación de datos ya almacenada para volver a entrenar el modelo cuando se requiera. El tercer subconjunto 605c puede usarse para su visualización y presentación visual más adelante. Por lo tanto, en la fase 1060, el primer subconjunto 605a obtenido en la fase 1050 se usa para construir el modelo predictivo 607 y para calcular un conjunto de métricas de evaluación de modelo correspondientes. Construir el modelo predictivo 607 debería entenderse o bien como construir el mismo por primera vez si ($t = 0$) o bien como mejorarlo, si ($t > 0$). Esto se explica con detalle en relación con la figura 11. En la fase 1070, el segundo subconjunto 605b, también obtenido en la fase 1050, se usa para determinar una predicción para el valor de penetración 305 ejecutando el modelo predictivo 607 obtenido en la fase 1060 previa. Esto se explica con detalle en relación con la figura 12. Entonces, en la fase 1080 se almacenan datos. En particular, los conjuntos de datos 605a, 605b y 605c, el modelo predictivo 607 y métricas de evaluación de modelo correspondientes y el valor de penetración predicho pueden almacenarse, preferiblemente en una memoria persistente (el bloque 609 en la figura 5A). Esto se explica con detalle en relación con la figura 13. Por último, en la fase 1090, los datos almacenados se proporcionan opcionalmente para su visualización, por ejemplo, en la GUI 611 en un monitor de ordenador 700. Esto se explica con detalle en relación con la figura 14. La ejecución del método para el paso de tiempo t finaliza en la fase 2000.

La figura 7 muestra un diagrama de flujo que representa cómo se recopilan datos desde unas fuentes respectivas, según se introducen en las fases 1010a, 1010b y 1010c en la figura 6. En particular, la figura 7 se refiere a la recopilación de datos mediante los medios de captura y recopilación de datos 601a (la figura 5A) desde la fuente de información de programación/planificación de producción 602a. Estas tareas se implementan a través de las fases 1010a a 1019a. Aunque no se muestran por razones de concisión, se aplican diagramas de flujo similares, cambiando lo que se deba cambiar, a los medios de captura y recopilación de datos 601b y 601c, con el objetivo de conseguir datos de la fuente de información de análisis de laboratorio 602b y la fuente de información operativa de control de producción en tiempo real 602c, respectivamente. En otras palabras, la figura 7 muestra cómo son recopilados datos por uno cualquiera de los bloques 601a, 601b y 601c. Se describe a continuación con referencia al bloque 601a. La ejecución se inicia en el paso de tiempo t (la fase 1010a), en donde se intenta una conexión segura a la fuente de información 602a (la fase 1011a). En la fase 1012a, se comprueba si se establece, o no, la conexión segura: en caso negativo, entonces se ignora la ejecución de todas las fases y tareas asociadas posteriores para el paso de tiempo actual t y se inicia la ejecución del método para el paso de tiempo $t + 1$; en caso afirmativo, entonces continúa la ejecución de tareas. En la fase 1013a, se comprueba si ($t = 0$) o ($t > 0$): si ($t = 0$), entonces se realiza una solicitud para capturar todos los datos históricos (1014a); si ($t > 0$), entonces se realiza una solicitud para capturar el último registro de datos (1016a). En la fase 1015a/1017a, se comprueba si se recopila, o no, algún dato: en caso negativo, entonces se ignora la ejecución de todas las fases y tareas asociadas posteriores para el paso de tiempo actual t y se inicia la ejecución del método para el paso de tiempo $t + 1$; en caso afirmativo, entonces continúa la ejecución de tareas. En la fase 1018a, a los datos recopilados en la fase 1014a/1016a se les da formato de trama de datos y se almacenan en los medios de memoria 609 en el sistema informático 600, tal como en una memoria principal o RAM (memoria de acceso aleatorio), de tal modo que fases de método posteriores pueden consumirlos. En la fase 1019a finaliza la recopilación de datos para el paso de tiempo t . El mismo método se aplica, cambiando lo que se deba cambiar, a la recopilación de datos desde las fuentes de información 602b y 602c, llevada a cabo en las fases 1010b y 1010c, respectivamente (véase la figura 6). Seleccionando las variables (características de modelo) preferidas, se obtiene más adelante un modelo predictivo 607 preciso y robusto.

La figura 8 muestra un diagrama de flujo que representa las tareas de procesamiento de datos, llevadas a cabo por los primeros medios de procesamiento de información 603a (la figura 5A), con el objetivo de quitar valores atípicos y datos erróneos de, y llenar lagunas y datos faltantes en, la fuente de información de programación/planificación de producción 602a. Estas tareas se implementan a través de las fases 1020a a 1027a. Aunque no se muestran por razones de concisión, se aplican diagramas de flujo similares, cambiando lo que se deba cambiar, a los primeros medios de procesamiento de información 603b y 603c, con el objetivo de quitar valores atípicos y datos erróneos de, y llenar lagunas y datos faltantes en, la fuente de información de análisis de laboratorio 602b y la fuente de información operativa de control de producción en tiempo real 602c, respectivamente. En otras palabras, la figura 8 muestra los detalles de las tareas de procesamiento de datos llevadas a cabo en uno cualquiera de los bloques 603a, 603b y 603c. Se describe a continuación con referencia al bloque 603a. La ejecución se inicia en el paso de tiempo t (la fase 1020a). En primer lugar, en la fase 1021a, se lee la trama de datos almacenada en los medios de memoria 609 en la fase 1010a previa. Entonces, se comprueba (la fase 1022a) si existen, o no, valores atípicos o datos erróneos, para lo que se usan, preferiblemente, técnicas de análisis estadístico. En caso afirmativo, entonces se quitan los valores atípicos y/o datos erróneos identificados (la fase 1023a); en caso negativo, entonces continúa la ejecución de tareas. En segundo lugar, se comprueba (la fase 1024a) si existen, o no, lagunas o datos faltantes, para lo que se usan, preferiblemente, técnicas de análisis de robustez de series de tiempo. En caso afirmativo, entonces se llenan las lagunas y/o datos faltantes identificados (la fase 1025a), para lo que se usan, preferiblemente, técnicas de imputación de datos; en caso negativo, entonces continúa la ejecución de tareas. En otras palabras, este procesamiento independiente (separado del procesamiento de los otros dos medios de procesamiento) en los bloques 603a, 603b, 603c respectivos incluye quitar valores atípicos y datos erróneos acaecidos de los datos recopilados correspondientes y, si se requiere, llenar lagunas y datos faltantes en la fuente respectiva (602a, 602b, 602c). En el bloque 603c, se promedian preferiblemente los valores de variables operativas de control de producción en tiempo real, recopiladas desde la fuente 602c. En la fase 1026a, los datos resultantes (datos procesados) se mantienen en

un formato de trama de datos y se almacenan en los medios de memoria 609, tales como una memoria principal o RAM, de tal modo que fases posteriores pueden usar estos datos. El procesamiento de datos para el paso de tiempo t finaliza en la fase 1027a.

- 5 La identificación del estado operativo (en marcha o parado) de la unidad de destilación al vacío se explica con detalle con referencia a la figura 9 y se lleva a cabo a través de las fases 1030 a 1034. La ejecución se inicia en el paso de tiempo t (la fase 1030). En primer lugar, en la fase 1031, los valores de una o varias variables operativas de la unidad de destilación al vacío 300 se leen desde la fuente 602c y se almacenan en los medios de memoria 609 en la fase de procesamiento de datos 1020c previa. Las variables operativas cuyos valores se leen son preferiblemente al menos
- 10 un parámetro de temperatura medido en la unidad de vacío (más preferiblemente, una temperatura relacionada con la columna de destilación principal de la unidad de vacío, tal como la temperatura de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío) para determinar si la unidad de destilación al vacío está, o no, en funcionamiento. Opcionalmente, también puede leerse al menos un parámetro de presión en la unidad de vacío (más preferiblemente, una presión de carga en la unidad de vacío, tal como la presión de columna de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío) y/o al menos un parámetro de carga (caudal) en la unidad de vacío (tal como la carga a una unidad de vacío) para determinar si la unidad de destilación al vacío está, o no, en funcionamiento. En segundo lugar (la fase 1032), se comprueban y se procesan los valores de las variables operativas seleccionadas. En esta fase, se define una variable que define el estado (en marcha o parado) de la unidad de destilación al vacío a partir de las variables operativas seleccionadas. Preferiblemente, se comprueba si los valores de las variables leídas (tales como la
- 20 temperatura de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío y, opcionalmente, la presión de columna de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío y/o la carga a la unidad de vacío) están, o no, dentro de un umbral respectivo y, dependiendo del resultado se determina que la unidad de destilación al vacío está en marcha (en funcionamiento) o que está parada. En tercer lugar (la fase 1033), la variable definida (acerca del estado de la unidad de destilación al vacío) se almacena correspondientemente en los medios de memoria 609, de tal modo que fases de método posteriores, tales como la fase 1040, pueden usarla. La identificación del estado operativo de la unidad de
- 25 destilación al vacío 300 de la refinería de petróleo 100 se finaliza entonces para el paso de tiempo t (la fase 1034).

- La figura 10 muestra un diagrama de flujo que representa cómo los datos procesados de forma independiente en las fases 1020a, 1020b y 1020c previas (la figura 6) y los bloques 603a, 603b y 603c (la figura 5A) se procesan
- 30 conjuntamente en el bloque 604 en la figura 5A, para construir un conjunto de datos de entrada fusionado principal 605 (también denominado conjunto de datos principal 605) en forma de una serie de tiempo. El conjunto de datos principal 605 comprende el primer conjunto de datos de entrada fusionado auxiliar 605a (el primer subconjunto 605a), el segundo conjunto de datos de entrada fusionado auxiliar 605b (el segundo subconjunto 605b) y el tercer conjunto de datos 605c (el tercer subconjunto 605c). Estas tareas se implementan a través de las fases 1050 a 1055. La ejecución se inicia en el paso de tiempo t (la fase 1050). Ya se ha descrito una posible implementación de estos conjuntos de datos 605a, 605b, 605c.

- En primer lugar (la fase 1051), se calcula un tiempo de respuesta o desplazamiento de tiempo entre cierta información considerada como datos de entrada a la unidad de destilación al vacío 300 (por ejemplo, la temperatura de zona de evaporación instantánea en la unidad de destilación al vacío 300, la presión de la unidad de destilación al vacío 300 en la región de evaporación instantánea y la carga a la unidad de destilación al vacío 300) y datos de salida desde la unidad de destilación al vacío 300. Los datos de salida son representados por el valor real (obtenido analíticamente en el laboratorio) del parámetro de operación de producción que va a predecirse, es decir, el valor de penetración 305 del residuo 303 de la unidad de destilación al vacío 300. Esto se hace debido a que las unidades de producción de la refinería de petróleo 100 en general, y la unidad de destilación al vacío 300 en particular, tienen/tiene un volumen dado y, por lo tanto, un tiempo de retención hidráulica (HRT) dado que relaciona flujos de salida con flujos de entrada, lo que significa finalmente que esa relación de tiempo entre el valor de penetración 305, de entre otras salidas, y los datos de entrada a la unidad de destilación al vacío 300, no es instantánea y debe determinarse. Por lo tanto, debe determinarse esta relación de tiempo (denominada tiempo de respuesta o desplazamiento de tiempo). Esto se hace
- 40 preferiblemente ejecutando un análisis de correlación de tiempo profundo entre los datos de entrada a la unidad de destilación al vacío 300 y datos de salida desde la unidad de destilación al vacío 300, preferiblemente validados por último mediante un análisis de HRT.

- En segundo lugar (la fase 1052), los datos correspondientes a la información operativa de control de producción en tiempo real 602c, usados para predecir un valor de penetración en los medios de determinación de predicción 608, se promedian de acuerdo con una ventana de tiempo determinada por el tiempo de respuesta o desplazamiento de tiempo calculado previamente y el tiempo de muestreo (a una frecuencia de preferiblemente entre varias horas y unos pocos días) del valor real del valor de penetración 305 (obtenido analíticamente en el laboratorio). Este promediado se requiere debido a que el tiempo de respuesta o desplazamiento de tiempo previamente determinado representa
- 55 prácticamente el tiempo eficaz más reciente a partir del cual los cambios en las variables operativas de control 602c empiezan a tener una influencia considerable sobre el valor de penetración 305 y, por lo tanto, deberían considerarse preferiblemente los valores tomados por las variables operativas 602c dentro de la ventana de tiempo previamente determinada, estando representados estos por su valor promedio correspondiente a dicha ventana de tiempo.

- 60 En tercer lugar (la fase 1053), un conjunto de datos principal 605 en forma de una serie de tiempo se construye uniendo los datos procesados de forma independiente por los primeros medios de procesamiento de información 603a, 603b

y 603c. Esto se hace a través de la aplicación de técnicas de sincronización de tiempo basándose en el tiempo de muestreo del valor real del valor de penetración 305 (obtenido analíticamente en el laboratorio) del residuo 303 de la unidad de destilación al vacío 300, y el tiempo de muestreo de los datos correspondientes a la información operativa de control de producción en tiempo real 602c representada por los datos correspondientes promediados previamente.

5 No es necesario que los datos correspondientes a la fuente de información de programación/planificación de producción 602a y la fuente de información de análisis de laboratorio 602b (diferentes del valor de penetración real) se consideren para el proceso de sincronización de tiempo puesto que dichos datos son estáticos en relación con el valor de penetración 305 del residuo 303 de la unidad de destilación al vacío 300 y, por lo tanto, ya están sincronizados con respecto al mismo.

10 Por último (la fase 1054), se construyen el primer subconjunto 605a, el segundo subconjunto 605b y el tercer subconjunto 605c, derivados del conjunto de datos de entrada fusionado principal 605. Estos subconjuntos 605a, 605b, 605c están en forma de serie de tiempo, dispuestos en un formato de trama de datos. Ya se ha explicado una posible forma de construir estos subconjuntos. Los mismos se almacenan en los medios de memoria 609, de tal modo que
15 fases de método posteriores pueden consumirlos. Más específicamente, el primer subconjunto 605a será usado por los medios de construcción de modelos predictivos 606 en la fase 1060 y los medios de almacenamiento de información 609 en la fase 1080; el segundo subconjunto 605b será usado por los medios de determinación de predicción 608 en la fase 1070 y los medios de almacenamiento de información 609 en la fase 1080; y el conjunto de datos de variables operativas de control de producción 605c será usado opcionalmente por los medios de
20 almacenamiento de información 609 en la fase 1080 y los medios de construcción de visualización 610 y, por lo tanto, los medios de presentación visual 700 en la fase 1090.

El primer subconjunto 605a contiene el tipo de información (valores de variables) que se necesita para construir un modelo de aprendizaje supervisado, es decir, una pluralidad de muestras de valores reales de la variable que va a
25 predecirse, también denominada variable objetivo (en este caso, el valor de penetración 305 del residuo 303 de la unidad de destilación al vacío 300), y un número equivalente de valores reales de variables de entrada correspondientes consideradas como influyentes, también denominadas características de modelo, obtenidas de las fuentes 602a-602c. Los valores reales de la variable objetivo (el valor de penetración 305) se obtienen aplicando el
30 así denominado y bien conocido método de penetración de aguja realizado a través de análisis de laboratorio. Por lo tanto, las muestras de estos valores reales usados para construir el modelo predictivo se incluyen en la fuente de información 602b que representa información de análisis de laboratorio. Por ejemplo, debido a que el primer subconjunto 605a comprende datos históricos obtenidos desde las fuentes 602a-602c, habitualmente está comprendida en este subconjunto 605a una pluralidad de valores históricos de cada parámetro implicado.

35 A su vez, las características de modelo son una pluralidad de variables de entrada procedentes de las fuentes de información 602a, 602b y 602c (la figura 5A). Las características de modelo procedentes de la fuente de información 602a representan información cualitativa acerca de los petróleos crudos 101 introducidos en la refinería de petróleo 100 como materia prima. Preferiblemente, tales características de modelo son los nombres de los crudos específicos y sus porcentajes como se define en el plan de producción real, como se divulga con referencia a la figura 5A. Las
40 características de modelo procedentes de la fuente de información 602b son características de caracterización de petróleo crudo que representan información cuantitativa acerca de los petróleos crudos 101 introducidos en la refinería de petróleo 100 como materia prima, como se divulga con referencia a la figura 5A. Las características de modelo procedentes de la fuente de información 602c representan mediciones capturadas con una pluralidad de sensores, accionadores y controladores usados para controlar variables operativas de la unidad de destilación al vacío 300, tales
45 como la temperatura, la presión y el caudal, como se divulga con referencia a la figura 5A. Seleccionando características de modelo adecuadas, se obtiene un modelo predictivo 607 preciso y robusto. En suma, el primer subconjunto 605a contiene las variables requeridas para entrenar, someter a prueba y validar un algoritmo de regresión de apilamiento.

50 Entre las características de modelo procedentes de la fuente 602b, además de valores históricos del valor de penetración, para construir un modelo de predicción para el valor de penetración, se usa preferiblemente al menos la cantidad de asfaltenos de residuo de vacío (% en peso). En una realización más preferida, se usa al menos una característica de caracterización de petróleo crudo adicional, seleccionada de entre las siguientes: cantidad de azufre de petróleo crudo (% en peso) y cantidad de rendimiento de residuo atmosférico (% en volumen). En una realización
55 aún más preferida, las características de caracterización de petróleo crudo usadas son la cantidad de asfaltenos de residuo de vacío (% en peso), la cantidad de azufre de petróleo crudo (% en peso), la cantidad de rendimiento de residuo atmosférico (% en volumen) y la cantidad de rendimiento de diésel pesado (% en volumen). Opcionalmente, pueden recopilarse características de caracterización de petróleo crudo adicionales.

60 Entre las características de modelo procedentes de la fuente 602c, preferiblemente, se usan al menos un parámetro de temperatura y al menos un parámetro de caudal (carga). El al menos un parámetro de temperatura es preferiblemente una temperatura medida en la unidad de vacío, más preferiblemente una temperatura relacionada con la columna de destilación principal de la unidad de vacío. Aún más preferiblemente, esta temperatura es la temperatura de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío. El al menos un parámetro de caudal (carga) es
65 preferiblemente la carga a una unidad de vacío. Se destaca que puede usarse en su lugar, respectivamente, cualquier otro parámetro de temperatura o parámetro de caudal (carga) que se correlacione respectivamente con la temperatura

de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío o con la carga a una unidad de vacío. Más preferiblemente, se usan al menos un parámetro de temperatura, al menos un parámetro de presión y al menos un parámetro de caudal (carga). El al menos un parámetro de temperatura es preferiblemente una temperatura medida en la unidad de vacío, más preferiblemente una temperatura relacionada con la columna de destilación principal de la unidad de vacío. Aún más preferiblemente, esta temperatura es la temperatura de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío (o un parámetro de temperatura correlacionado con la misma). El al menos un parámetro de caudal (carga) es preferiblemente la carga a una unidad de vacío (o un parámetro de caudal (carga) correlacionado con la misma). El al menos un parámetro de presión es preferiblemente una presión de carga en la unidad de vacío, más preferiblemente la presión de columna de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío (o un parámetro de presión correlacionado con la misma). Otros parámetros de carga, de presión y de temperatura pueden usarse adicionalmente para construir un modelo de predicción para el valor de penetración.

Los datos comprendidos en el segundo subconjunto 605b corresponden a las mismas variables usadas para formar el primer conjunto de datos, excepto la variable que representa los valores reales de la penetración 305 del residuo 303 de la unidad de vacío 300. El tamaño de registro del conjunto de datos 605b corresponde al tamaño del último registro de los datos de entrada a la unidad de destilación al vacío 300, para el paso de tiempo t . En otras palabras, el subconjunto 605b contiene los valores más actualizados de las variables contenidas en el subconjunto 605a, excepto el valor de penetración del residuo, que no se incluye en el subconjunto 605b. Se debe hacer notar que, aunque las variables usadas para formar el segundo conjunto de datos 605b y las usadas para formar el primer conjunto de datos 605a son las mismas, excepto la variable que representa los valores reales de la penetración 305 del residuo 303 de la unidad de vacío 300, que no se incluye en el conjunto de datos 605b, los datos contenidos en estos dos conjuntos de datos no son los mismos: los datos usados para formar el segundo conjunto de datos 605b corresponden al último registro de datos del conjunto de datos principal 605 en el tiempo t , mientras que los datos usados para formar el primer conjunto de datos 605a corresponden a los datos históricos del conjunto de datos 605 hasta el penúltimo registro de datos del conjunto de datos principal 605 en el tiempo t , es decir, el registro de datos, hasta el último, del conjunto de datos principal 605 en el tiempo $(t - 1)$.

Los datos en el tercer subconjunto 605c comprenden variables operativas de control de producción. Estas se usan, preferiblemente, para la visualización más adelante en, por ejemplo, una interfaz gráfica de usuario 611. Esta visualización puede contribuir a validar las predicciones obtenidas.

El tamaño de registro del conjunto de datos principal 605 depende del tamaño de registro de los conjuntos de datos contruidos por los primeros medios de procesamiento de información 603a, 603b, 603c, es decir, de las tramas de datos almacenadas correspondientemente en unos medios de memoria en las fases 1020a, 1020b y 1020c. Por lo tanto, en el paso de tiempo t , el tamaño de registro varía dependiendo de si $(t = 0)$ o $(t > 0)$, como sigue. Si $(t = 0)$, entonces el tamaño de registro del conjunto de datos principal 605 corresponde al tamaño de registro de todos los datos históricos disponibles. En otras palabras, la primera vez $(t = 0)$ que se ejecuta el método, se lee todo el conjunto de datos históricos. Si $(t > 0)$, entonces el tamaño de registro del conjunto de datos principal 605 corresponde preferiblemente al tamaño de registro del último registro de datos. En otras palabras, todo el conjunto de datos históricos está disponible, pero solo se lee la última muestra, para ganar eficiencia. A su vez, el tamaño de registro del primer subconjunto 605a y el conjunto de datos de variables operativas de control de producción 605c dependen del tamaño de registro del conjunto de datos principal 605 y, por lo tanto, del paso de tiempo t . Por último, el tamaño de registro del segundo subconjunto 605b, usado por ejemplo por los medios de determinación de predicción 608 en la fase 1070, para cualquier paso de tiempo t , es siempre el mismo: 1 registro. La predicción del valor de penetración 305 en el paso de tiempo t depende del modelo predictivo 607 en el paso de tiempo t y del último registro del conjunto de datos 605 en el paso de tiempo t , es decir, de los valores del subconjunto 605b en el paso de tiempo t . Por lo tanto, el tamaño de registro del segundo subconjunto 605b siempre corresponde al tamaño de registro del último registro de datos del conjunto de datos 605. Entonces, el procesamiento conjunto finaliza para el paso de tiempo t (la fase 1055).

La figura 11 muestra un diagrama de flujo que representa la construcción/mejora de un modelo predictivo 607 y tareas de cálculo de métricas de evaluación de modelo correspondientes, llevadas a cabo por los medios 606, de acuerdo con una realización de la invención. Tal construcción/mejora se implementa a través de las fases 1060 a 1068. El modelo predictivo 607 se crea por medio de una técnica numérica computarizada, basándose en algoritmos de aprendizaje automático, y se aplica al primer subconjunto 605a derivado del conjunto de datos principal 605. El subconjunto 605a representa un conjunto parcial del conjunto de datos principal 605, es decir, el subconjunto 605a corresponde a un período de tiempo parcial del período de tiempo completo cubierto por el conjunto de datos principal 605. En el subconjunto 605a, no se incluye al menos la muestra de datos lo más reciente (en el tiempo). En asociación con el modelo predictivo 607 construido, se calculan algunas métricas de evaluación de modelo. La ejecución se inicia en el paso de tiempo t (la fase 1060).

En primer lugar (la fase 1061), se lee el primer subconjunto 605a. La información (muestras de valores reales del valor de penetración 305 y muestras de valores reales de características de modelo que representan información cuantitativa acerca de los petróleos crudos 101 introducidos en la refinería de petróleo 100 como materia prima) procedente de la fuente 602b que representa información de análisis de laboratorio, usada para construir el modelo predictivo, pertenece a (o se obtiene de) ensayos de laboratorio de petróleo crudo convencionales realizados regularmente en la planta. De forma similar, muestras de valores reales de características de modelo procedentes de

la fuente de información 602a y muestras de valores reales de características de modelo procedentes de la fuente de información 602c, también son parte de la información de programación/planificación de producción y de la información operativa de control de producción en tiempo real, respectivamente, gestionadas regularmente en la planta. En otras palabras, toda la información usada para construir el modelo predictivo de la invención es información creada/obtenida como resultado de la gestión regular y diaria de la planta. En otras palabras, la información en la que se basa el método de la invención no se crea específicamente para implementar el método.

Una vez que se ha leído el primer subconjunto 605a (la fase 1061), se construye el modelo predictivo 607 (la fase 1062). Dependiendo del paso de tiempo t , el modelo predictivo 607 se construye por primera vez (si $t = 0$) o se mejora (si $t > 0$). El modelo predictivo 607 se construye como sigue: se selecciona una anchura de ventana de tiempo óptima W_t ; se calculan unas métricas de evaluación de modelo teniendo en cuenta la anchura de ventana de tiempo óptima W_t ; y se calcula una función objetivo. Este proceso se representa como un problema de optimización en el que la variable libre es la anchura de ventana de tiempo W_t . El algoritmo de optimización es preferiblemente un algoritmo genético. La anchura de ventana de tiempo óptima W_t tiene asociados ciertos valores de métricas de evaluación de modelo MAE_{opt} , MSE_{opt} y R^2_{opt} , que se consideran óptimas, y en donde MAE significa Error Absoluto Medio, MSE significa Error Cuadrático Medio y R^2 significa Coeficiente de Determinación. Por lo tanto, cuando ($t = 0$), se llevan a cabo las siguientes tareas para construir el modelo predictivo (la fase 1063):

(i) para un conjunto de datos de construcción de modelos D , en donde el conjunto de datos de construcción de modelos D es un subconjunto de todos los datos históricos disponibles del primer subconjunto 605a, se determina el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} de D , en donde el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo W_t se refiere a las últimas W_t muestras de datos leídas desde el conjunto de datos 605a, en el paso de tiempo t . Preferiblemente, para determinar W_{opt} , se resuelve un problema de optimización matemática, cuya función objetivo es minimizar una función multivariante ponderada F , que es una función de MAE , MSE y R^2 , y en el que la variable libre es W_t ; es decir, $F = f(MAE, MSE, R^2)$. Para optimizar W_t (y, por lo tanto, obtener W_{opt}), se crean diferentes versiones de modelo para diferentes tamaños de W_t , hasta que se obtiene el óptimo W_{opt} . Entonces, el modelo siempre se construirá considerando esta ventana de tiempo W_{opt} , hasta que esta ventana de tiempo W_{opt} ya no es óptima y necesita una reoptimización. En otras palabras, el tamaño del conjunto de datos de construcción de modelos D es W_{opt} . Mientras se están leyendo nuevos valores reales de penetración (y, por lo tanto, se están incorporando a 605a), el contenido del conjunto de datos D se actualiza, pero su tamaño sigue siendo W_{opt} . Esto significa que D se compone de la última muestra de datos más $W_{opt} - 1$ muestras. La ventana es, por lo tanto, una ventana móvil.

(ii) calcular métricas de evaluación de modelo, tales como métricas de evaluación de modelo convencional, de regresión y de aprendizaje automático MAE (Error Absoluto Medio), MSE (Error Cuadrático Medio) y R^2 (Coeficiente de Determinación), para crear el modelo predictivo 607. La métrica de bondad de ajuste óptima G_{opt} del modelo predictivo 607 se determina de este modo. Preferiblemente, el algoritmo matemático usado para resolver el problema de optimización (para obtener un valor óptimo de W_t) es un algoritmo genético. Los valores de MAE , MSE y R^2 para W_{opt} se denominan MAE_{opt} , MSE_{opt} y R^2_{opt} , respectivamente. En otras palabras, se usan preferiblemente los valores de MAE , MSE y R^2 asociados al valor óptimo de W_{opt} . Más específicamente, se determina un indicador de desempeño clave ponderado G_{opt} , que es una función de MAE_{opt} , MSE_{opt} y R^2_{opt} , representando este la métrica de bondad de ajuste óptima G_{opt} del modelo predictivo 607; es decir, $G_{opt} = f(MAE_{opt}, MSE_{opt}, R^2_{opt})$. Una vez que se han determinado W_{opt} y G_{opt} (la fase 1063), el modelo predictivo 607 para el valor de penetración 305 del residuo 303 se ha construido y puede ser usado por fases posteriores.

El modelo de predicción propuesto aplica algoritmos de regresión basándose en técnicas de aprendizaje automático para predecir la penetración de vacío. En una realización preferida, el modelo de predicción propuesto se basa en un modelo de regresión en donde un conjunto de datos D usado para construir el modelo predictivo se divide en tres conjuntos de datos parciales adicionales: un conjunto de datos de entrenamiento de modelo D' ; un conjunto de datos de puesta a prueba de modelo D'' ; y un conjunto de datos de validación de modelo D''' . Más específicamente, el modelo de regresión se construye basándose en un metarregresor de aprendizaje por conjuntos para un método de regresión de apilamiento. Preferiblemente, el modelo de predicción se basa en tres algoritmos de regresión diferentes. Todavía más específicamente, el método de regresión de apilamiento se basa en tres métodos de construcción de modelos de regresión diferentes y complementarios, respectivamente capaces de captar: (i) la información de dinámica que varía rápidamente contenida dentro de las características de modelo procedentes de la fuente de información 602c; (ii) la información de patrones de variación de desempeño cuasiestática contenida dentro de las características de modelo procedentes de la fuente de información 602b, y; (iii) la información que varía lentamente contenida dentro de las características de modelo procedentes de la fuente de información 602a. Los tres métodos de construcción de modelos de regresión diferentes y complementarios pueden implementarse respectivamente por medio de: (i) un algoritmo de filtro adaptativo; (ii) un algoritmo de regresión basado en redes neuronales, y; (iii) un algoritmo de regresión basado en refuerzo de gradiente. El algoritmo de filtro adaptativo puede ser, por ejemplo, un algoritmo de *Minimos Cuadrados Recursivos* (RLS), que es un algoritmo adaptativo muy dinámico, capaz de adaptarse a diferentes perturbaciones que puede sufrir el sistema. Este usa unas pocas variables de producción para construir el modelo predictivo correspondiente. El algoritmo de regresión basado en refuerzo de gradiente (XGBOOST) es un regresor que produce varios modelos predictivos relativamente débiles de forma iterativa (árboles de regresión), que contribuyen a construir un único predictor robusto. Este usa más variables de producción que el algoritmo de filtro adaptativo. La red neuronal

(NN) representa una red que comprende un conjunto de funciones, denominadas neuronas, organizadas en capas y conectadas entre sí, en donde cada neurona tiene capacidad de cómputo. Al igual que XGBOOST, esta usa más variables de producción que el algoritmo de filtro adaptativo.

- 5 Se destaca que, con la información proporcionada por la métrica de bondad de ajuste óptima G_{opt} , los operadores de la planta de refino pueden reducir, de una forma controlada, el número de mediciones de laboratorio para el valor de penetración 305 que se realizan regularmente, y ver el efecto sobre la métrica de bondad de ajuste G_t del modelo predictivo 607 correspondiente en el paso de tiempo t .
- 10 Volviendo a la figura 11, cuando ($t > 0$) y, por lo tanto, puede mejorarse el modelo predictivo 607, cada vez que se obtiene un nuevo valor de penetración 305 real del residuo 303 (la fase 1064) desde la fuente de información 602b de información de análisis de laboratorio y, por lo tanto, este valor está comprendido en el subconjunto de datos 605a, se actualizan el modelo predictivo 607 y la métrica de bondad de ajuste G_t correspondiente, para $W_t = W_{opt}$, mientras ($G_t \leq pG_{opt}$), entonces el modelo predictivo 607 y el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} asociado se consideran óptimos. Por lo tanto, puede reducirse el número de mediciones de laboratorio para el valor de penetración 305 realizadas regularmente. En una realización preferida, $1 \leq p \leq 1,20$, tal como $1 \leq p \leq 1,15$, o $1,02 \leq p \leq 1,15$, o $1,02 \leq p \leq 1,10$. Por ejemplo, $p = 1,05$. Si ($G_t > pG_{opt}$), entonces puede crearse y presentarse visualmente una información de advertencia en la GUI 611, que indica que no se consideran óptimos ni el modelo predictivo 607 ni el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} asociado, ni la reducción lograda por el número de mediciones de laboratorio para el valor de penetración 305 realizadas regularmente. Cuando esto sucede, se ejecutan nuevamente las tareas para determinar W_{opt} y G_{opt} . Con el tiempo, una vez que se han determinado W_{opt} y G_{opt} en la fase 1063, puede decirse que el modelo predictivo 607 para el valor de penetración 305 del residuo 303 se ha construido y puede ser usado por fases posteriores.
- 25 Cuando ($t > 0$), en la fase 1065, se supone que se determinan W_{opt} y G_{opt} y, por lo tanto, se actualizarán un modelo predictivo 607 ya existente y la métrica de bondad de ajuste G_t correspondiente cuando se obtenga un nuevo valor de penetración 305 real desde la fuente de información 602b (la fase 1064), en donde $G_t = f(MAE_t, MSE_t, R^2_t)$. En este caso, el conjunto de datos de construcción de modelos D incluirá el último registro de datos leído en el paso de tiempo t , es decir, el contenido del conjunto de datos 605a en el paso de tiempo t , más los ($W_{opt} - 1$) registros de datos previos leídos desde el conjunto de datos 605a, que en ($t > 0$) pueden capturarse de los medios de almacenamiento de información 609. Si ($G_t \leq pG_{opt}$), entonces el modelo predictivo 607 y el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} asociado se consideran óptimos y no se emprende ninguna acción adicional (la opción SÍ de la fase 1066). Si ($G_t > pG_{opt}$), entonces ni el modelo predictivo 607 ni el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} asociado se consideran óptimos, por lo que las tareas para determinar W_{opt} y G_{opt} en la fase 1063 se ejecutan nuevamente (la opción NO de la fase 1066). Con el tiempo, una vez que W_{opt} y G_{opt} se determinan nuevamente en la fase 1063, el modelo predictivo 607 se ha mejorado y puede ser usado por fases posteriores.
- 40 Por último, el modelo predictivo 607 y métricas de evaluación de modelo correspondientes, incluyendo estas W_{opt} , G_{opt} y G_t , correspondientemente creados/mejorados y calculados en las fases 1063 a 1065, se almacenan todos ellos en los medios de memoria 609, tales como RAM (la fase 1067), de tal modo que fases posteriores pueden consumirlos. La construcción o mejora del modelo predictivo y el cálculo de métricas de evaluación de modelo han finalizado para el paso de tiempo t (la fase 1068).

- 45 Habitualmente, en el paso de tiempo ($t = 0$) ya existe en una refinería de petróleo 100 una gran base de datos histórica que incluye datos procedentes de las fuentes 602a, 602b y 602c. Esto significa que estará disponible un conjunto de datos de construcción de modelos D lo bastante grande con el objetivo de obtener un tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} en el paso de tiempo ($t = 0$). En este caso, se distribuye de forma óptima la contribución del algoritmo de filtro adaptativo, el algoritmo de regresión basado en refuerzo de gradiente y el algoritmo de regresión basado en redes neuronales, respectivamente, al método de regresión de apilamiento. Sin embargo, el método de regresión de apilamiento divulgado basándose en los tres algoritmos de construcción de modelos de regresión diferentes y complementarios anteriores también es aplicable a las refinerías de petróleo 100 en donde no existe ningún dato histórico o solo existen datos históricos cortos; en este caso, cuanto más alta sea la dinámica del algoritmo de construcción de modelos de regresión correspondiente, entonces más alta será su contribución al método de regresión de apilamiento, puesto que más corto será el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} que necesita el algoritmo correspondiente para construir un modelo predictivo. Más específicamente, cuando no existen ningunos datos históricos o solo existen unos datos históricos cortos en la refinería de petróleo 100, entonces la construcción del modelo predictivo 607 se basa completamente o se basa en su mayor parte en la contribución del algoritmo de filtro adaptativo, debido a que este último es aquél de los tres algoritmos de construcción de modelos de regresión anteriores que necesita el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} más corto para construir un modelo predictivo. Todavía más específicamente, en una realización particular en la que no existe ningún dato histórico en la refinería de petróleo 100, puede usarse un método de regresión de apilamiento basándose completamente en el algoritmo de filtro adaptativo partiendo de una anchura de ventana de tiempo óptima W_{opt} de 1 (1 registro de datos históricos, el primer registro de datos históricos existente de la refinería de petróleo 100) en el paso de tiempo ($t = 0$) para construir el modelo predictivo 607. Entonces, a medida que la refinería de petróleo funciona y, por lo tanto, se recopilan datos históricos, el modelo predictivo 607 se construye preferiblemente teniendo en cuenta la contribución de los tres algoritmos mencionados (el algoritmo de filtro adaptativo, el algoritmo de regresión basado

en refuerzo de gradiente y el algoritmo de regresión basado en redes neuronales).

En resumen, la construcción de un modelo predictivo 607 puede comprender: aplicar técnicas de construcción de modelos de aprendizaje supervisados para construir un modelo predictivo de regresión; aplicar técnicas de filtrado adaptativo para captar la información de dinámica que varía rápidamente contenida dentro de características de modelo procedentes de la fuente de información 602c; aplicar técnicas de regresión basadas en refuerzo de gradiente para captar la información de patrones de variación de desempeño que varía lentamente contenida dentro de las características de modelo procedentes de la fuente de información 602a; aplicar técnicas de regresión basadas en redes neuronales para captar la información cuasiestática contenida dentro de las características de modelo procedentes de la fuente de información 602b; calcular métricas de evaluación de modelo convencional, de regresión y de aprendizaje automático MAE (Error Absoluto Medio), MSE (Error Cuadrático Medio) y R^2 (Coeficiente de Determinación) para determinar una métrica de bondad de ajuste $G_t = f(MAE_t, MSE_t, R_t^2)$, para el paso de tiempo t ; aplicar técnicas de optimización matemática basándose en algoritmos genéticos para determinar el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} del conjunto de datos de construcción de modelos D. Cuando no existe ningún dato histórico en la refinería de petróleo, el modelo predictivo puede construirse usando un método de regresión de apilamiento basándose completamente en técnicas de filtrado adaptativo partiendo de una anchura de ventana de tiempo óptima W_{opt} de 1 en el paso de tiempo ($t = 0$).

Por lo tanto, ejecutando el algoritmo representado en la figura 11, se obtiene una predicción del valor de penetración 305 del residuo de la unidad de destilación al vacío en un tiempo t dado, para cualquier modo de operación de producción (producción de asfalto y no de asfalto), por ejemplo cubriendo el intervalo completo de valores de penetración (hasta las décimas de milímetro). En otras palabras, el método propuesto tiene una gran capacidad de generalización, basándose en la información de producción disponible regularmente de la planta, es decir, la información de programación/planificación de producción 602a, la información de análisis de laboratorio 602b y la información operativa de control de producción en tiempo real 602c. Además, el método propuesto permite la reducción del número de mediciones de laboratorio basadas en el método de penetración de aguja realizadas regularmente del valor de penetración, usadas habitualmente para el funcionamiento regular de la planta.

La figura 12 muestra un diagrama de flujo que incluye fases para realizar una predicción del valor de penetración de un residuo de destilación al vacío, de acuerdo con realizaciones de la invención. Esto se realiza en el bloque 608 en la figura 5A. Se obtiene una predicción aplicando el modelo predictivo 607 construido previamente al segundo subconjunto 605b derivado del conjunto de datos principal 605, que corresponde a un período de tiempo parcial (preferiblemente, el más reciente) del período de tiempo completo cubierto por el conjunto de datos principal 605. En el subconjunto 605b, se incluye al menos la muestra de datos lo más reciente (en el tiempo). Preferiblemente, en el subconjunto 605b no se incluye ninguna muestra de datos ya incluida en el primer subconjunto 605a usado para construir el modelo predictivo 607.

La ejecución se inicia en el paso de tiempo t (la fase 1070). En primer lugar (la fase 1071), se leen el segundo subconjunto 605b (la muestra actual) y el modelo predictivo 607 y las métricas de evaluación de modelo W_{opt} , G_{opt} y G_t , almacenados en los medios de memoria 609. En segundo lugar (la fase 1072), el segundo subconjunto 605b se introduce en el modelo predictivo 607, de tal modo que el algoritmo de regresión asociado (tal como un algoritmo de regresión de apilamiento) puede determinar un nuevo valor de penetración 305 predicho. En tercer lugar (la fase 1073), se ejecuta el modelo predictivo 607 y, por lo tanto, también se ejecuta el algoritmo de regresión asociado para los datos introducidos. Como consecuencia, se determina un valor de penetración 305 predicho del residuo 303 de la unidad de destilación al vacío 300 para el paso de tiempo t . Por último (la fase 1074), la predicción se almacena en los medios de memoria 609, de tal modo que fases de método posteriores pueden consumirla. Se finalizan las tareas de predicción de un nuevo valor de penetración para el paso de tiempo t (la fase 1075).

La figura 13 muestra un diagrama de flujo que esquematiza cómo almacenar en una memoria persistente los conjuntos de datos 605a, 605b y 605c, el modelo predictivo 607 y las métricas de evaluación de modelo W_{opt} , G_{opt} y G_t correspondientes, y una predicción determinada por el modelo predictivo 607. La ejecución se inicia en el paso de tiempo t (la fase 1080). En primer lugar (la fase 1081), se lee toda la información desde los medios de memoria 609 (tal como una RAM). En segundo lugar (la fase 1082) se da formato a los datos de tal modo que los mismos pueden almacenarse fácilmente en una memoria persistente. Esto puede hacerse como sigue: (i) el primer conjunto de datos de entrada fusionado auxiliar 605a y un valor de marca de tiempo del paso de tiempo t correspondiente se unen entre sí en un primer conjunto de datos de salida de sistema fusionado único, todavía más específicamente en un primer formato de trama de datos único; (ii) el segundo conjunto de datos de entrada fusionado auxiliar 605b, la predicción determinada por el modelo predictivo 607 y un valor de marca de tiempo del paso de tiempo t correspondiente se unen entre sí en un segundo conjunto de datos de salida de sistema fusionado único, todavía más específicamente en un segundo formato de trama de datos único; (iii) el conjunto de datos de variables operativas de control de producción 605c y un valor de marca de tiempo del paso de tiempo t correspondiente se unen entre sí en un tercer conjunto de datos de salida de sistema fusionado único, todavía más específicamente en un tercer formato de trama de datos único; (iv) las métricas de evaluación del modelo predictivo y un valor de marca de tiempo del paso de tiempo t correspondiente se unen entre sí en un cuarto conjunto de datos de salida de sistema fusionado único, todavía más específicamente en un cuarto formato de trama de datos único. Por último (la fase 1083), los conjuntos de datos a los

que se ha dado formato y el modelo predictivo 607 se almacenan correspondientemente en una memoria persistente, tal como en un formato de almacenamiento de datos convencional. Si ($t = 0$), entonces los formatos de almacenamiento de datos correspondientes se crean por primera vez con los conjuntos de datos a los que se ha dado formato para el paso de tiempo t ; si ($t > 0$), entonces los formatos de almacenamiento de datos correspondientes ya existen y los conjuntos de datos a los que se ha dado formato para el paso de tiempo t se adjuntan a los conjuntos de datos a los que se ha dado formato previamente existentes. En relación con el modelo predictivo 607, preferiblemente solo su versión más reciente (mejora) se almacena en una memoria persistente. Las tareas de almacenamiento para el paso de tiempo t finalizan en la fase 1084.

En realizaciones de la invención, los conjuntos de datos a los que se ha dado formato pueden almacenarse en un formato de valores separados por comas convencional. El modelo predictivo 607 puede almacenarse en un formato de conversión a flujo de bits de serialización de modelo convencional. En realizaciones de la invención, los conjuntos de datos a los que se ha dado formato y el modelo predictivo pueden almacenarse en un formato json convencional, o en un formato xml convencional, o en un formato de base de datos convencional. En realizaciones de la invención, la memoria persistente puede implementarse como un disco duro o memoria secundaria; o como un disco duro externo; o en la nube.

Para facilitar la supervisión de la planta de refino de petróleo por operadores, pueden proporcionarse visualmente valores de predicción - y otros datos relevantes - producidos continuamente por el método y sistema divulgados. La figura 14 resume cómo puede presentarse visualmente una predicción determinada por el modelo predictivo 607, sus métricas de evaluación de modelo y el conjunto de datos de variables operativas de control de producción 605c, por ejemplo en la GUI 611, de acuerdo con una realización de la invención. Preferiblemente, el conjunto de datos 605c se presenta visualmente debido a que este puede usarse como una referencia para validar el modelo predictivo (y las predicciones obtenidas). La ejecución se inicia en el paso de tiempo t (la fase 1090). En primer lugar (la fase 1091), se lee información desde unos medios de memoria, tales como un disco duro o memoria secundaria. En segundo lugar (la fase 1092), se construye y se representa una GUI 611 mediante los medios de construcción de visualización 610. Esta GUI representa la interfaz gráfica de usuario que va a ser presentada en última instancia por los medios de presentación visual 700. La GUI 611 incluye la evolución en el tiempo y en línea del valor de predicción determinado por el modelo predictivo 607, las métricas de evaluación de modelo predictivo G_{opt} y G_t , es decir, la métrica de bondad de ajuste óptima G_{opt} del modelo predictivo y la métrica de bondad de ajuste de modelo predictivo G_t actual del paso de tiempo t , y la evolución en el tiempo y en línea de las variables operativas de control de producción 605c, relevantes para valorar la predicción de penetración. El valor de predicción 305 se expresa preferiblemente en décimas de milímetro. Junto con el valor de predicción, puede presentarse visualmente un valor de predicción de referencia P_{Ref} , especificado por el usuario. Preferiblemente, en la representación gráfica de evolución en el tiempo correspondiente también se muestran adicionalmente una primera sombra de $[P_{Ref} \pm 2]$ décimas de milímetro que representa el error de repetibilidad de medición de valor de predicción de laboratorio real, más una segunda sombra de $[P_{Ref} \pm 3]$ décimas de milímetro que representa el error de reproducibilidad de medición de valor de predicción de laboratorio real, más las mediciones de laboratorio reales del valor de penetración 305 hechas para el funcionamiento regular de la planta. Además de la representación gráfica de líneas que muestra la evolución en el tiempo del valor de predicción 305, preferiblemente también se muestra su valor numérico del paso de tiempo t . Cada una de las variables operativas de control 605c se expresa preferiblemente en su unidad de medición correspondiente. Las métricas de evaluación de modelo predictivo G_{opt} y G_t se expresan preferiblemente en forma de relación G_t/G_{opt} , en donde una relación de ($G_t/G_{opt} \leq \rho$) representa una métrica de bondad de ajuste óptima G_t del modelo predictivo 607, no siendo necesario emprender ninguna acción adicional, y una relación de ($G_t/G_{opt} > \rho$) representa una métrica de bondad de ajuste no óptima G_t del modelo predictivo 607, siendo necesario emprender acciones adicionales, lo que implica determinar nuevamente el tamaño de registro o anchura de ventana de tiempo óptimo W_{opt} y la métrica de bondad de ajuste óptima G_{opt} para el modelo predictivo 607 en la fase 1060, es decir, mejorar el modelo predictivo 607. El tiempo puede expresarse en un formato de fecha-hora y también puede mostrarse una ventana de tiempo móvil correspondiente a los últimos diez días de producción que puede moverse hacia atrás y hacia delante. Por último (la fase 1093), la GUI 611 construida y representada se envía a los medios de presentación visual 700, de tal modo que la GUI puede presentarse visualmente en los mismos. Son ejemplos no limitantes de los medios de presentación visual 700 un monitor de ordenador, una pantalla de ordenador portátil, una pantalla de ordenador de tipo tableta y una pantalla de teléfono móvil. La presentación visual de tareas para el paso de tiempo t finaliza en la fase 1094.

A partir de los valores de penetración de predicción obtenidos por el método y sistema de la invención, puede realizarse una acción sobre la planta de refino 100. Por ejemplo, en caso de que el valor predicho se desvíe de un valor objetivo más de una cierta cantidad, se toma una decisión sobre la planta 100. Tal decisión puede implicar actuar sobre uno o más medios de accionamiento para modificar una o más variables de operación. Por ejemplo, los operadores pueden ajustar una o más variables de control de proceso de una forma rápida y dinámica, para obtener un valor de penetración deseado de forma inmediata. Opcionalmente, tal accionamiento puede realizarse automáticamente, es decir, sin intervención humana directa. Por ejemplo, las variables de control sobre las que puede actuarse son un parámetro de temperatura, un parámetro de presión y/o un parámetro de carga, tal como la temperatura de evaporación instantánea de la columna de la unidad de destilación al vacío 300, la presión de la unidad de destilación al vacío 300 en la región de evaporación instantánea y la carga a la unidad de destilación al vacío 300.

En resumen, se han divulgado un método y sistema para supervisar en línea una refinería de petróleo. Estos posibilitan

mejorar el desempeño de la unidad de destilación al vacío logrando un valor óptimo del valor de penetración del residuo de la unidad de destilación al vacío en el tiempo más corto. Opcionalmente, los mismos posibilitan actuar sobre un parámetro de la refinería de petróleo, por ejemplo, cuando el valor de penetración predicho se aparta de un valor esperado. Gracias al sensor virtual de la invención, en el que el valor de penetración se supervisa en línea, los operadores de planta obtienen una medición continua del valor de penetración, en lugar de tener que esperar una medición de análisis de laboratorio, que puede llevar como promedio de cuatro a cinco horas. Por lo tanto, los operadores son capaces de ajustar variables de control de proceso de una forma rápida y dinámica. En otras palabras, se ha proporcionado una herramienta de toma de decisiones rápida, dinámica y clave, de tal modo que el valor de penetración deseado se obtiene en el tiempo más corto. El método y sistema propuesto también posibilita mejorar el desempeño de la unidad de coquización de una refinería de petróleo logrando un funcionamiento óptimo de la unidad de coquización en el tiempo más corto, debido a que determinar el valor óptimo del valor de penetración en el tiempo más corto permite que los operadores de planta lleven la unidad de coquización a su punto de funcionamiento óptimo también en el tiempo más corto. Por lo tanto, la unidad de coquización trabaja en condiciones óptimas en períodos de tiempo más prolongados, mejorando de este modo su desempeño. Como consecuencia, también se mejora el desempeño de la refinería de petróleo.

Además, el método posibilita una reducción en el número de mediciones de laboratorio basadas en el método de penetración de aguja realizadas regularmente del valor de penetración 305 del residuo 303 de la unidad de destilación al vacío 300, realizadas habitualmente para supervisar el funcionamiento regular de la planta. Tal reducción es posible gracias al predictor fiable (sensor virtual) que proporciona continuamente predicciones de penetración.

El método y sistema de la invención se han validado en producción, en una planta de refino de petróleo real, en la que se ha integrado y validado en producción un sistema implementado de acuerdo con el sistema 500 y se ha supervisado en línea el valor de penetración del residuo de acuerdo con el método divulgado cada 15 minutos. A continuación se explica un ejemplo de implementación en una planta de refino de petróleo real.

Se han desarrollado un método y sistema de acuerdo con la invención para supervisar una planta de refino de petróleo real. Se ha construido un sistema para supervisar continuamente el valor de penetración del residuo de vacío y un modelo de predicción para predecir la penetración de residuo de vacío a partir de: datos de planificación/programación de producción históricos (combinación de crudos y porcentajes respectivos como se define en cada plan de producción); un conjunto de características de caracterización de petróleo crudo que incluyen la cantidad de azufre de petróleo crudo (% en peso), la cantidad de rendimiento de diésel pesado (% en volumen), la cantidad de rendimiento de residuo atmosférico (% en volumen) y la cantidad de asfaltenos de residuo de vacío (% en peso), además de valores históricos (reales) del valor de penetración; y un conjunto de variables operativas de control de producción que incluyen la temperatura de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío, la presión de columna de zona de evaporación instantánea en la unidad de vacío y la carga a una unidad de vacío.

Se ha construido un modelo predictivo a partir de estos datos, usando un metarregresor que comprende un filtro adaptativo, una red neuronal y un algoritmo de regresión basado en refuerzo de gradiente. Se han obtenido los siguientes valores óptimos: $W_{opt} = 250$, $MAE_{opt} = 2,510$, $MSE_{opt} = 10,508$ y $R^2_{opt} = 0,515$. Se ha construido una GUI, que muestra, al menos: (i) la predicción continua de 15 minutos de la penetración del residuo de vacío en una ventana de tiempo móvil de 10 días que también se actualiza con una frecuencia de 15 minutos, representada junto con los valores reales de la penetración obtenidos en el laboratorio durante el período de tiempo correspondiente a la ventana móvil actual, una primera sombra de $[P_{Ref} \pm 2]$ décimas de milímetro que representa el valor real del error de repetibilidad del valor de penetración en el laboratorio y una segunda sombra de $[P_{Ref} \pm 3]$ décimas de milímetro que representa el valor real del error de reproducibilidad del valor de penetración en el laboratorio, en donde $P_{Ref} = 12$; (ii) las métricas de evaluación G_{opt} y G_t del modelo de penetración predictivo en cada punto en el tiempo; y (iii) la evolución en el tiempo de al menos la temperatura de evaporación instantánea de la unidad de vacío, la presión de la unidad de vacío en la región de evaporación instantánea y la carga a la unidad de vacío.

El modelo predictivo se ha aplicado a un conjunto de datos compuesto por las mismas variables que el conjunto de datos usado para construir el modelo predictivo (excluyendo el valor real de la penetración de residuo de vacío), durante un período de tiempo de 16 semanas, que también se actualiza con una frecuencia de 15 minutos, de forma que, cada vez que se actualiza el conjunto de datos, se hace una nueva predicción de la penetración de residuo de vacío, y las acciones de verificación correspondientes para actualizar el tamaño de ventana (W_{opt}) se realizan para actualizar el modelo predictivo y los indicadores de modelo predictivo MAE_{opt} , MSE_{opt} y R^2_{opt} . Durante el período de aplicación, se ha verificado que los valores actualizados de MAE_t , MSE_t y R^2_t en cada momento han estado siempre cerca de los valores óptimos previamente indicados de $MAE_{opt} = 2,510$, $MSE_{opt} = 10,508$ y $R^2_{opt} = 0,515$, por lo que en todo momento se ha mantenido la expresión $(G_t \leq \rho G_{opt})$, para un valor de $\rho = 1,05$. Durante el período de aplicación de 16 semanas, los técnicos de operación de procesos de la refinería han sido capaces de verificar la fiabilidad del sistema de supervisión para predecir la penetración del residuo de vacío indicado anteriormente.

Una vez que se ha probado la fiabilidad del método y sistema de supervisión, las predicciones que se obtienen continuamente - en este caso cada 15 minutos - se usan para optimizar la producción de la planta de refino de petróleo. En otras palabras, las predicciones del sensor virtual empiezan a usarse activamente para optimizar la planta de refino de petróleo. Por ejemplo, las predicciones obtenidas se tienen en cuenta continuamente para decidir si debería

modificarse, o no, una variable operativa de control de producción. Por ejemplo, durante la ejecución de la siguiente planificación de producción:

Unidad de crudo	Crudo, mb/d	C1/C2, % en volumen	Composición de carga a crudo, % en volumen						SUMA	
			AMENAM	RONCADOR HEAVY	BASRAH	PEREGRINO	MAYA	ESSIDER		SANKOFA
C1	140	63.6	13.8	15.1	32	26.1	10.7	1.8	0.41	100
C2	80	36.4	60.7	36.3			0.5	0.2	2.3	100
C1 + C2	220	100	31.5	23	20	16.3	6.9	1.2	1.1	100

en la que se consideraron los siguientes parámetros de caracterización de crudo: la cantidad de azufre de petróleo crudo (% en peso) fue del 2,15 % en peso, la cantidad de rendimiento de diésel pesado (% en volumen) fue del 0,08 % en volumen, la cantidad de rendimiento de residuo atmosférico (% en volumen) fue del 0,55 % en volumen y la cantidad de asfaltenos de residuo de vacío (% en peso) fue del 15,87 % en peso,

se usó el mencionado modelo predictivo y se llevaron a cabo predicciones de 15 minutos, así como las acciones de verificación correspondientes para actualizar el tamaño de ventana W_{opt} para actualizar el modelo predictivo y los indicadores MAE_{opt} , MSE_{opt} y R^2_{opt} del modelo predictivo. Por ejemplo, el valor de la penetración de residuo de vacío proporcionado por el modelo predictivo en un instante t fue de 14 mm/10. Los valores de la temperatura de evaporación instantánea de la unidad de vacío, la presión de la unidad de vacío en la región de evaporación instantánea y la carga a la unidad de vacío fueron, en ese instante t , 393,2 °C, 41,31 mmHg.a y 462,41 m³/h, respectivamente. El último valor conocido de las mediciones de laboratorio de la penetración de residuo de vacío, obtenido en el laboratorio varias horas antes, era de 13 mm/10, mientras que este plan de producción se programa para optimizar la unidad a 15 mm/10. Basándose en el valor de 14 mm/10 proporcionado por el modelo predictivo, los técnicos de operación de procesos decidieron bajar la temperatura de evaporación instantánea de la columna de vacío 1,0 °C (de 393,2 °C a 392,2 °C) y modificar de este modo las condiciones de funcionamiento de la columna para adaptar las mismas a un funcionamiento óptimo. Una muestra experimental posterior de la penetración de residuo de vacío desde el laboratorio registró un valor de 15 mm/10, lo que significa que la planta se ha optimizado basándose en el método y sistema de supervisión en línea de la invención. Otras acciones, tales como modificar otras variables operativas de control de producción, se han llevado a cabo adicionalmente cuando se ha requerido, aprovechando las predicciones obtenidas continuamente.

De principio a fin de este documento, no se ha de interpretar que la palabra "comprende" y variantes de la misma (tales como "que comprende", etc.) tengan un significado exclusivo, en otras palabras, no excluyen la posibilidad de lo que se esté describiendo incorpore otros elementos, etapas, fases, etc.

Al mismo tiempo, la invención no está limitada a las realizaciones específicas descritas en el presente documento y también se extiende, por ejemplo, a variantes que pueden ser materializadas por un experto promedio en la materia (por ejemplo, con respecto a la elección de fuentes de información, datos de proceso, algoritmos, formatos, dispositivos, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance de lo que se infiere de las reivindicaciones.

La invención evidentemente no está limitada a la realización o realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que también abarca cualquier variación que pueda considerarse por un experto en la materia (por ejemplo, en lo que respecta a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance general de la invención como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por ordenador para supervisar una planta de refino de petróleo (100) que comprende:

5 a partir de un primer conjunto de datos (605a) de información de producción histórica de la planta de refino de petróleo (100), en donde el primer conjunto de datos (605a) de información de producción histórica comprende una pluralidad de muestras de un valor de penetración (305) de un residuo (303) de una unidad de destilación al vacío (300) que se obtiene a partir de un análisis de laboratorio, y una pluralidad de muestras de variables que comprenden información de programación de producción (602a), información de análisis de laboratorio (602b) e
10 información operativa de control de producción (602c), en donde la información de análisis de laboratorio (602b) incluye además del valor de penetración (305) del residuo (303) de la unidad de destilación al vacío (300), al menos un parámetro de caracterización de crudo, y en donde la información operativa de control de producción (602c) incluye al menos un parámetro de temperatura y al menos un parámetro de caudal de la unidad de destilación al vacío (300): construir (1060, 606) un modelo predictivo (607) aplicando un algoritmo numérico computarizado basándose en técnicas de aprendizaje automático; y calcular métricas de evaluación de modelo;
15 obtener un valor de predicción (1070) para el valor de penetración (305) del residuo (303) de la unidad de destilación al vacío (300) aplicando el modelo predictivo construido (607) a un segundo conjunto de datos (605b) que comprende una muestra de datos lo más reciente de información de la planta de refino de petróleo (100), comprendiendo el segundo conjunto de datos (605b) muestras de las mismas variables usadas para formar el primer conjunto de datos (605a), excepto por la variable que representa la penetración (305) del residuo (303) de la unidad de vacío (300);
20 dependiendo del valor de predicción obtenido (1070), actuar, o no, sobre al menos una variable operativa de control de producción de la planta de refino de petróleo (100).

25 2. El método de la reivindicación 1, en donde el método comprende además procesar la información de producción histórica de la planta de refino de petróleo (100) para construir el modelo predictivo como sigue:

procesar de forma independiente la información de programación de producción (602a), la información de análisis de laboratorio (602b) y la información operativa de control de producción (602c);
30 procesar conjuntamente (1050, 604) la información de producción procesada de forma independiente, construyendo de este modo un conjunto de datos principal (605) que comprende una pluralidad de muestras de datos.

35 3. El método de la reivindicación 2, en donde la fase de procesar conjuntamente (1050, 604) la información de producción procesada de forma independiente comprende:

calcular un tiempo de respuesta entre información que son datos de entrada a la unidad de destilación al vacío (300) y datos de salida desde la misma, comprendiendo los datos de entrada al menos una temperatura de zona de evaporación instantánea de la unidad de destilación al vacío (300), comprendiendo los datos de salida un valor de penetración (305) del residuo (303) de la unidad de destilación al vacío (300) que se obtiene a partir de un análisis de laboratorio;
40 promediar los datos comprendidos en la información operativa de control de producción (602c) que va a usarse para obtener un valor de predicción (1070), de acuerdo con una ventana de tiempo determinada por dicho tiempo de respuesta y con un tiempo de muestreo del valor de penetración (305) del residuo (303) de la unidad de destilación al vacío (300) que se obtiene a partir de un análisis de laboratorio; y
45 unir la información de producción procesada de forma independiente que incluye los datos promediados correspondientes a la fuente de información operativa de control de producción (602c), construyendo de este modo el conjunto de datos principal (605) que comprende una pluralidad de muestras de datos.

50 4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde dicha información de programación de producción (602a) representa información cualitativa acerca de los petróleos crudos (101) introducidos en la refinería de petróleo (100) como materia prima, siendo dicha información cualitativa los nombres de los petróleos crudos (101) y sus porcentajes.

55 5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el al menos un parámetro de caracterización de crudo incluido en la información de análisis de laboratorio (602b) es una de: cantidad de azufre de petróleo crudo (% en peso), cantidad de rendimiento de residuo atmosférico (% en volumen o % en peso), cantidad de asfaltenos de residuo de vacío (% en peso) y cantidad de rendimiento de diésel pesado (% en volumen o % en peso).

60 6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde el al menos un parámetro de temperatura de la unidad de destilación al vacío (300) es una temperatura relacionada con la columna de destilación principal de la unidad de destilación al vacío (300), y el al menos un parámetro de caudal de la unidad de destilación al vacío (300) es la carga a la unidad de destilación al vacío (300).

65 7. El método de la reivindicación 6, en donde la temperatura relacionada con la columna de destilación principal de la unidad de destilación al vacío (300) es la temperatura de zona de evaporación instantánea de la unidad de destilación

al vacío (300).

8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde la información operativa de control de producción (602c) incluye además al menos un parámetro de presión de la unidad de destilación al vacío (300), siendo preferiblemente dicho al menos un parámetro de presión de la unidad de destilación al vacío (300) la presión de columna de zona de evaporación instantánea en la unidad de destilación al vacío (300).

9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde el algoritmo numérico basándose en técnicas de aprendizaje automático comprende los siguientes modelos de regresión de apilamiento: un primer modelo de regresión que aplica técnicas de filtrado adaptativo para captar información de dinámica que varía rápidamente contenida dentro de la información operativa de control de producción (602c); un segundo modelo de regresión que aplica técnicas de regresión basadas en redes neuronales para captar información cuasiestática contenida dentro de la información de análisis de laboratorio (602b); y un tercer modelo de regresión que aplica técnicas de regresión basadas en refuerzo de gradiente para captar información que varía lentamente contenida dentro de la información de programación de producción (602a).

10. Un sistema para supervisar una planta de refino de petróleo (100), que comprende:

unos medios (606) para, a partir de un primer conjunto de datos (605a) de información de producción histórica de la planta de refino de petróleo (100), en donde el primer conjunto de datos (605a) de información de producción histórica comprende una pluralidad de muestras de un valor de penetración (305) de un residuo (303) de una unidad de destilación al vacío (300) que se obtiene a partir de un análisis de laboratorio, y una pluralidad de muestras de variables que comprenden información de programación de producción (602a), información de análisis de laboratorio (602b) e información operativa de control de producción (602c), en donde la información de análisis de laboratorio (602b) incluye además del valor de penetración (305) del residuo (303) de la unidad de destilación al vacío (300), al menos un parámetro de caracterización de crudo, y en donde la información operativa de control de producción (602c) incluye al menos un parámetro de temperatura y al menos un parámetro de caudal de la unidad de destilación al vacío (300); construir (1060, 606) un modelo predictivo (607) aplicando un algoritmo numérico computarizado basándose en técnicas de aprendizaje automático; y calcular métricas de evaluación de modelo;

unos medios (608) para obtener un valor de predicción (1070) para el valor de penetración (305) del residuo (303) de la unidad de destilación al vacío (300) aplicando el modelo predictivo construido (607) a un segundo conjunto de datos (605b) que comprende una muestra de datos lo más reciente de información de la planta de refino de petróleo (100), comprendiendo el segundo conjunto de datos (605b) muestras de las mismas variables usadas para formar el primer conjunto de datos (605a), excepto por la variable que representa la penetración (305) del residuo (303) de la unidad de vacío (300);

unos medios para, dependiendo del valor de predicción obtenido (1070), actuar, o no, sobre al menos una variable operativa de control de producción de la planta de refino de petróleo (100).

11. El sistema de la reivindicación 10, que comprende además:

unos medios (601a, 601b, 601c) para recopilar dicha información histórica de la planta de refino de petróleo (100); unos medios (603a) para procesar la información de programación de producción (602a);

unos medios (603b) para procesar la información de análisis de laboratorio (602b);

unos medios (603c) para procesar la información operativa de control de producción (602c);

unos medios (604) para procesar conjuntamente la información de producción procesada de forma independiente, construyendo de este modo un conjunto de datos principal (605) que comprende una pluralidad de muestras de datos.

12. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10-11, que comprende además:

unos medios de almacenamiento (609) para almacenar información de producción de la planta de refino de petróleo (100), el modelo predictivo (607) y métricas de evaluación de modelo correspondientes, y el valor de predicción obtenido; y

unos medios (700) para presentar visualmente al menos el valor de predicción obtenido, siendo dichos medios (700) uno de un monitor de ordenador o una pantalla de ordenador portátil, o una pantalla de teléfono móvil, proporcionando una interfaz gráfica de usuario (611).

13. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10-12, que se materializa mediante un único sistema informático común (600) o que se materializa mediante varios sistemas informáticos (600) conectados.

14. Un producto de programa informático que comprende instrucciones de programa informático que, cuando son ejecutadas por un ordenador, hacen que el ordenador lleve a cabo el método de la reivindicación 1.

15. Un medio legible por ordenador que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por un ordenador, hacen que el ordenador lleve a cabo el método de la reivindicación 1.

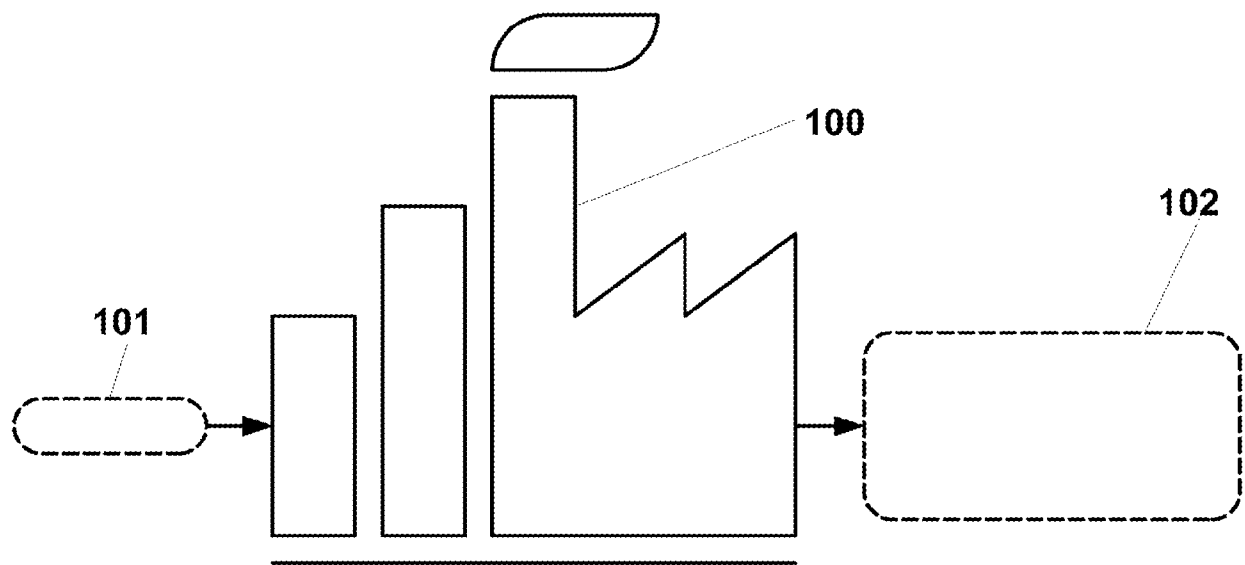


FIG. 1

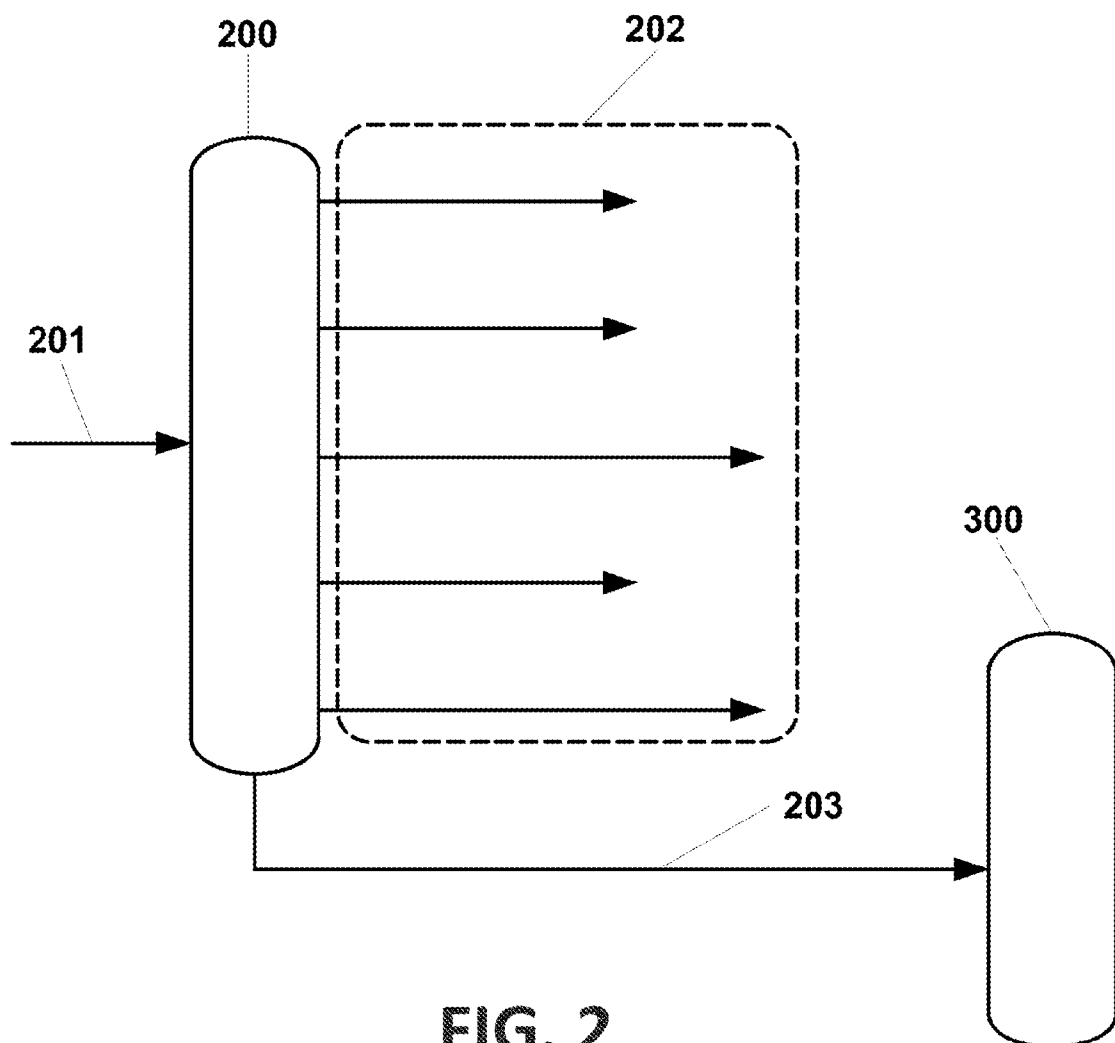


FIG. 2

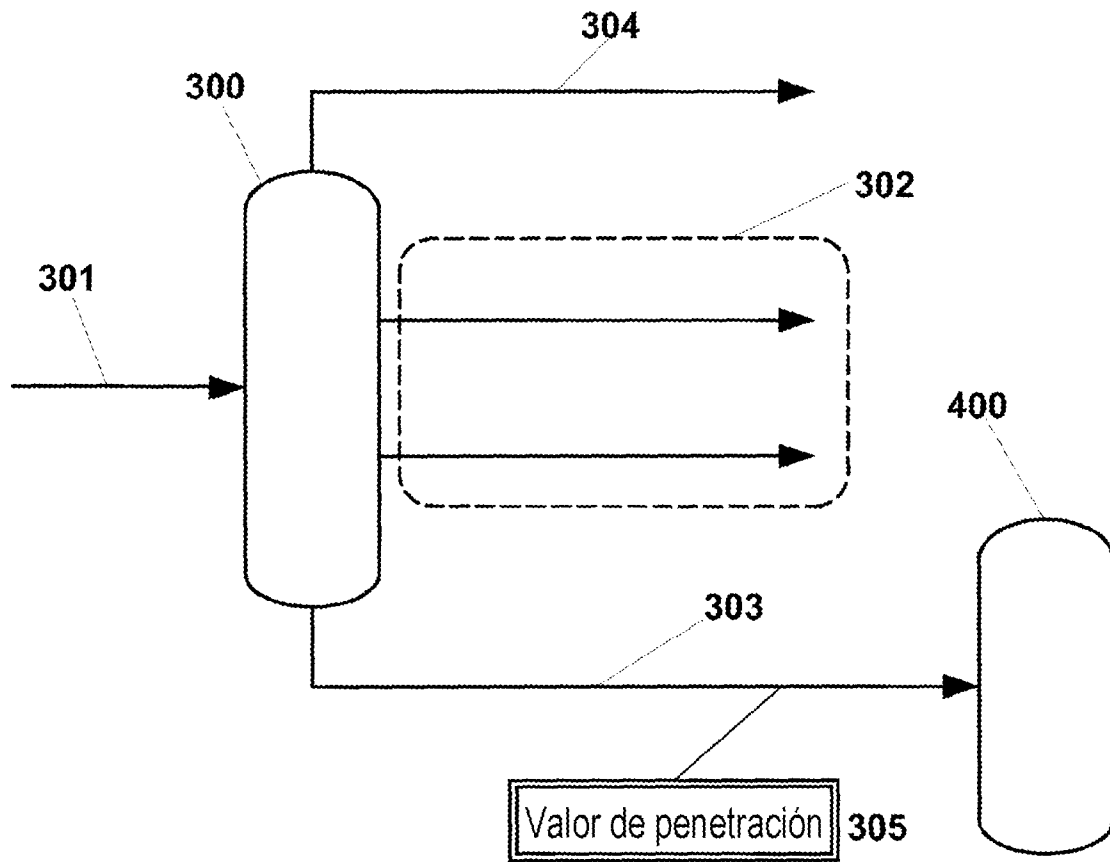


FIG. 3

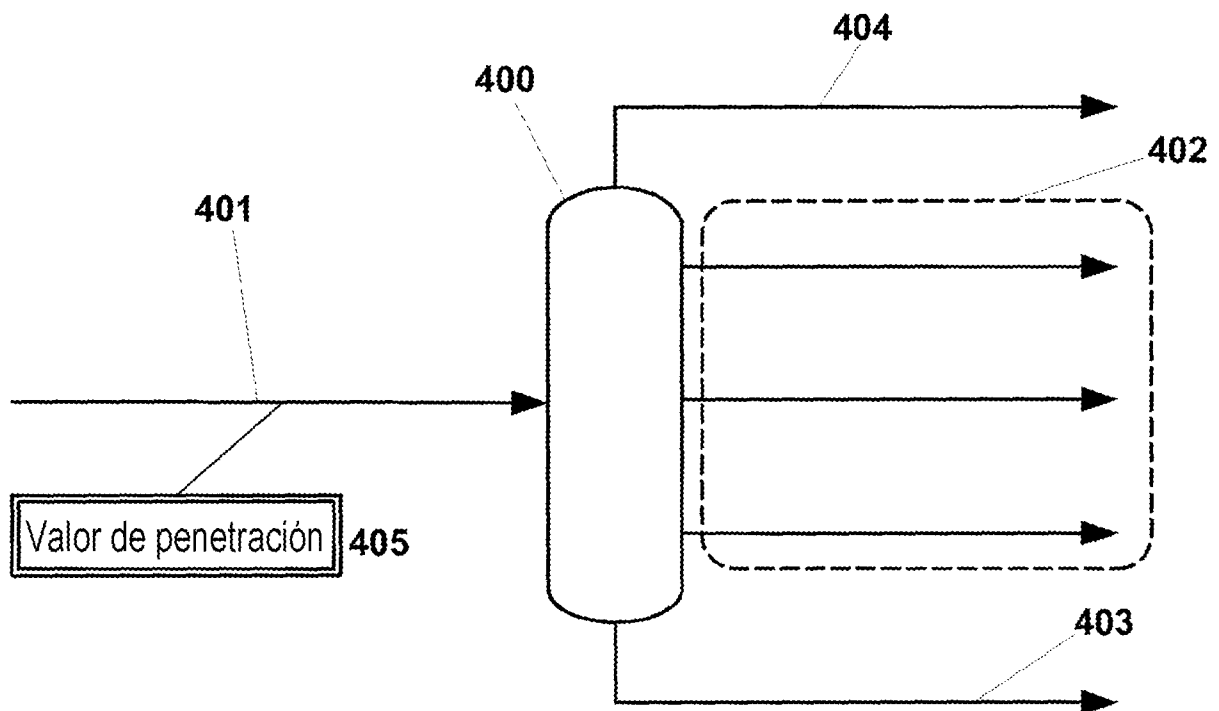


FIG. 4

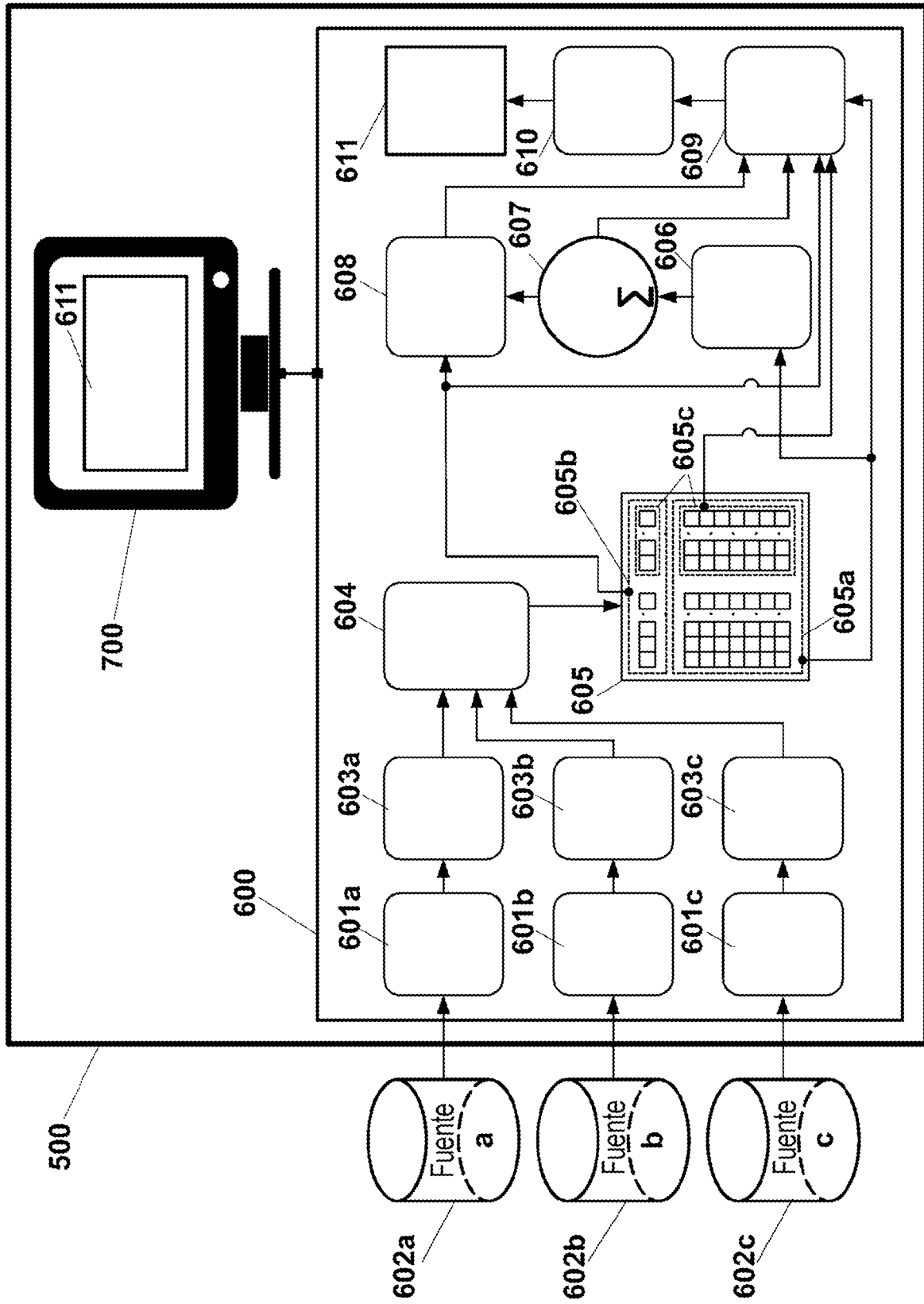


FIG. 5A

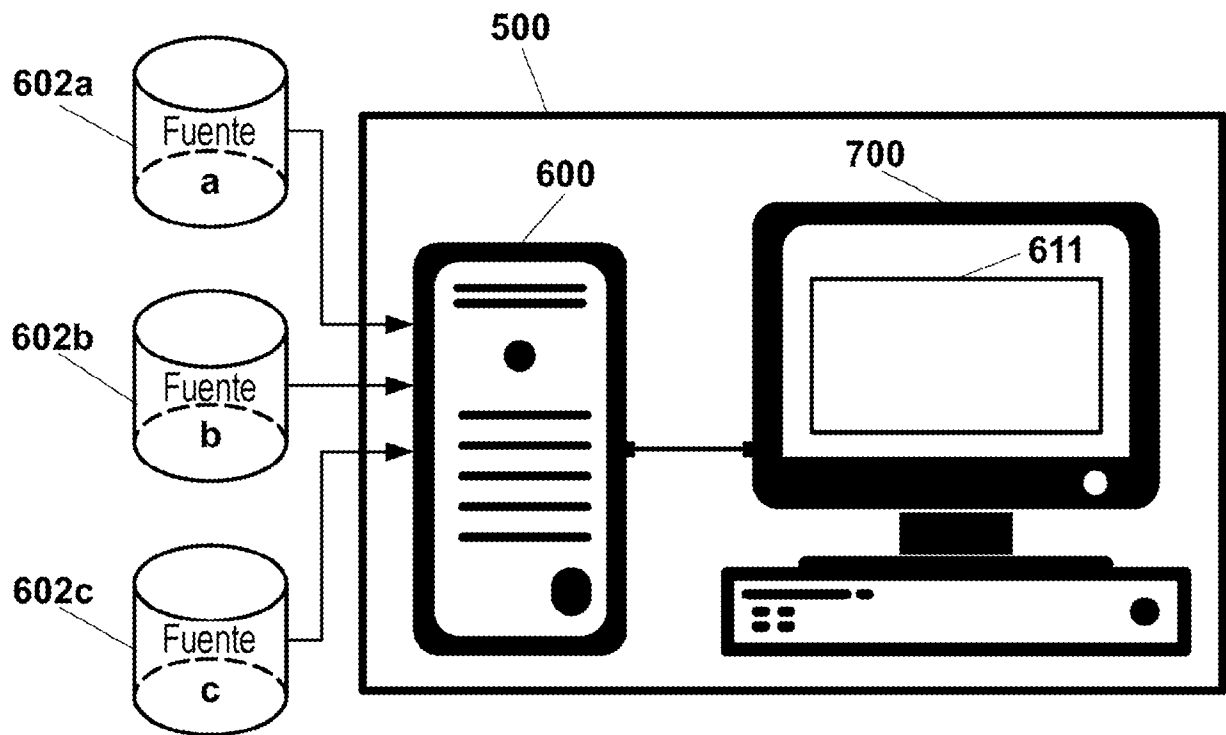


FIG. 5B

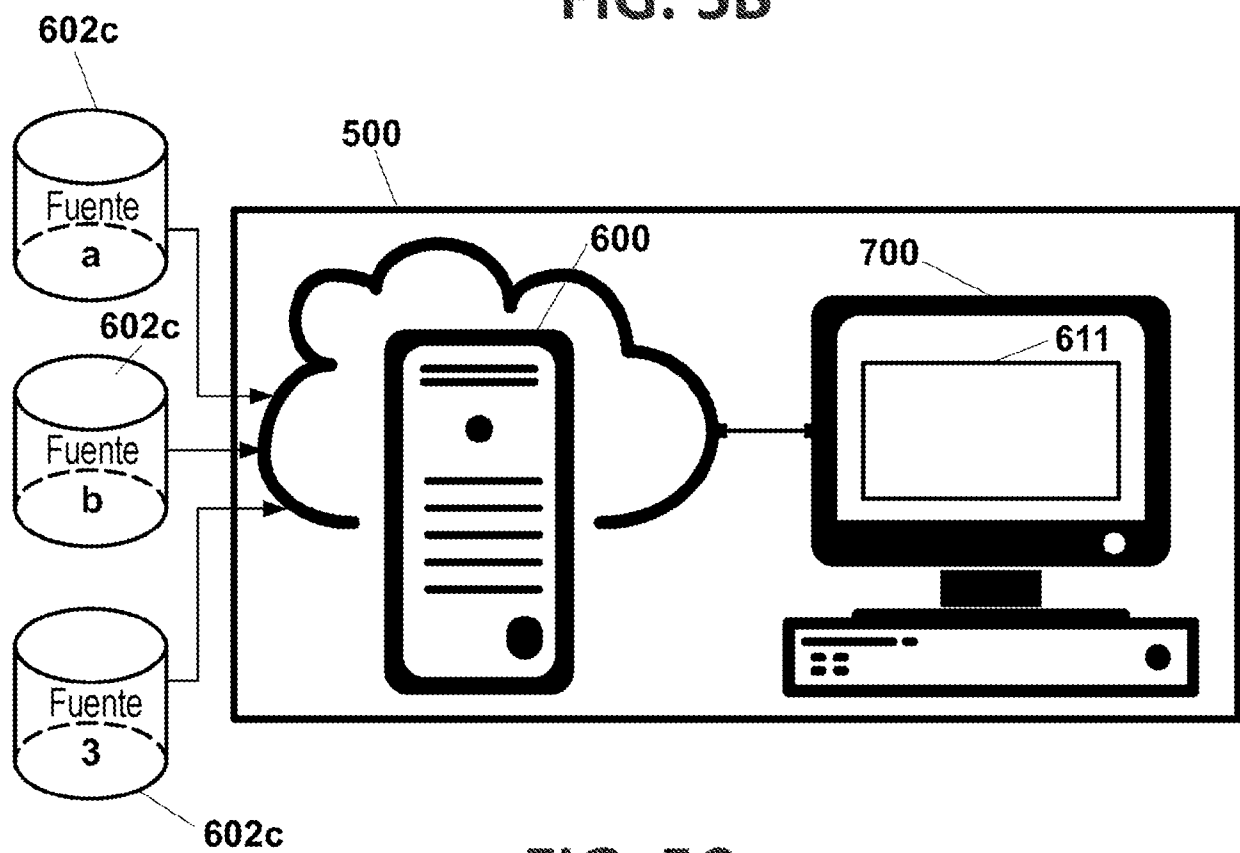


FIG. 5C

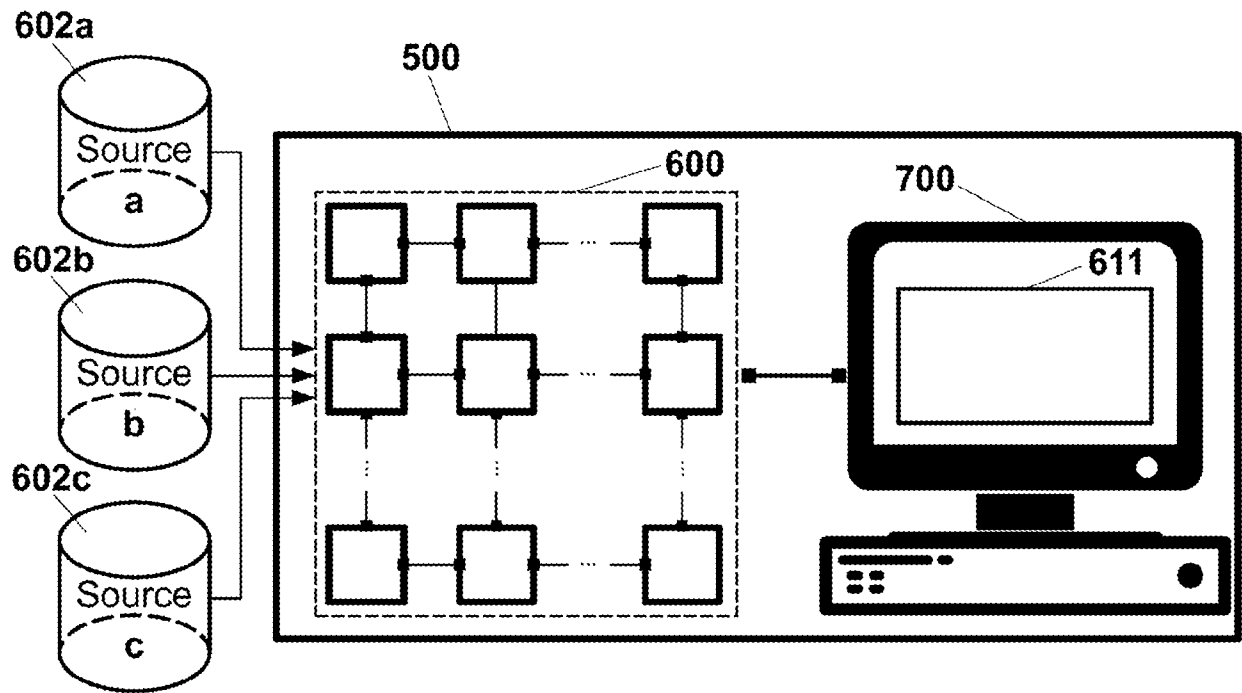


FIG. 5D

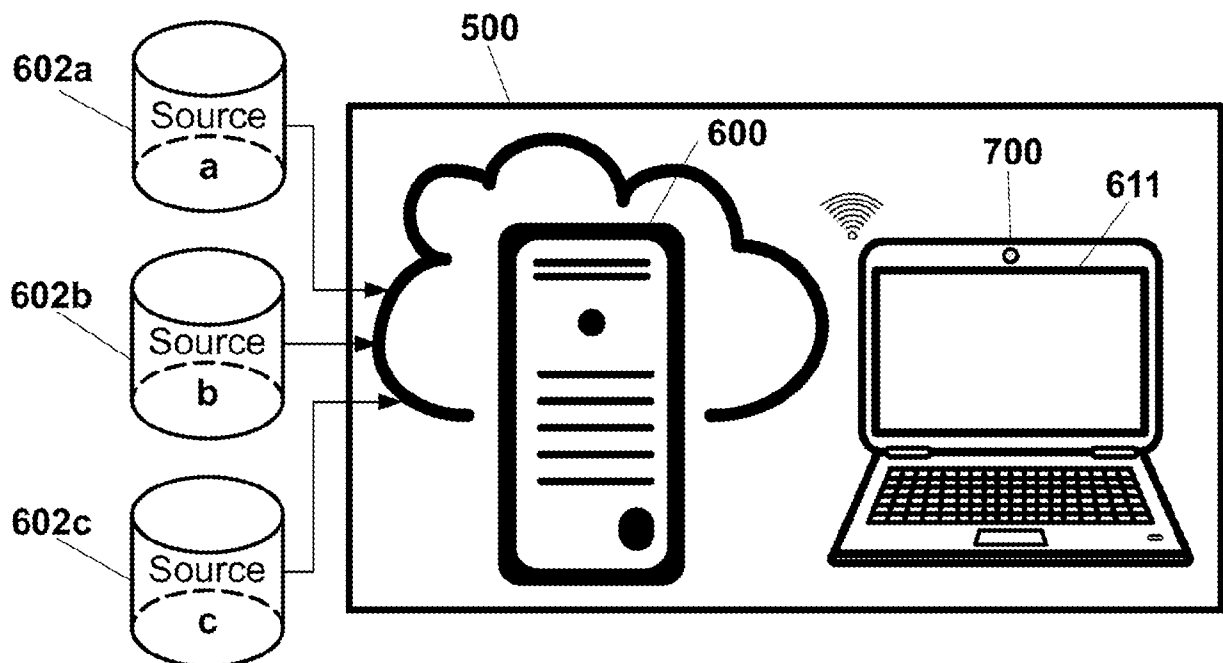


FIG. 5E

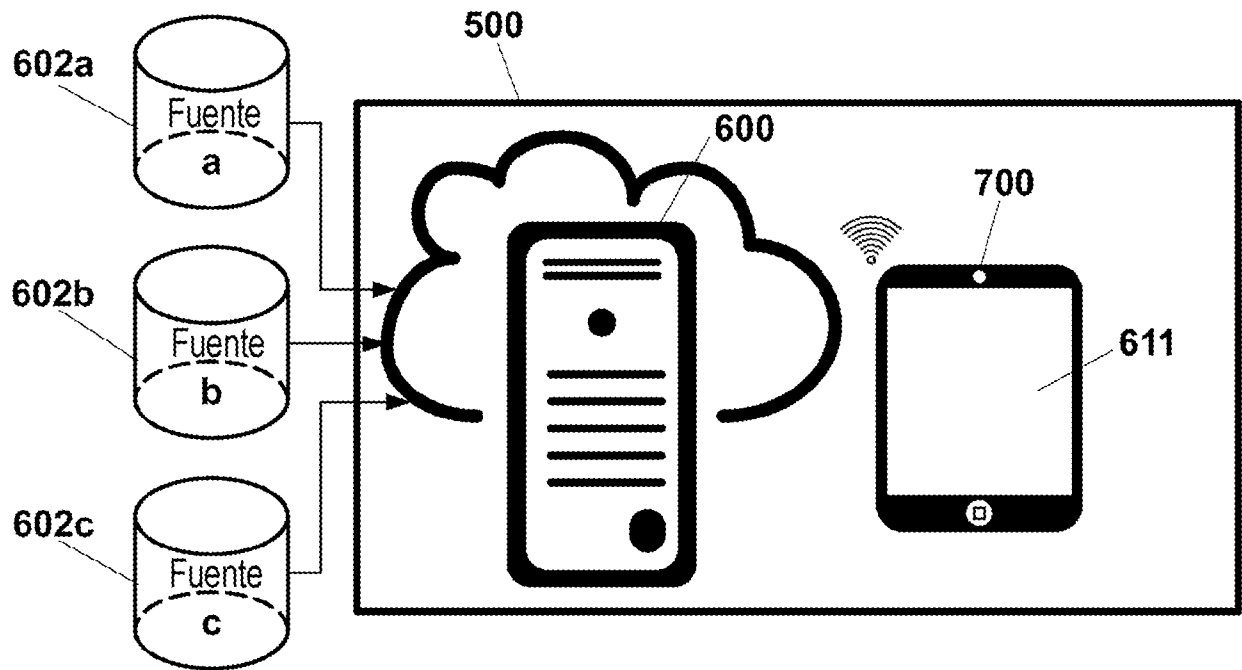


FIG. 5F

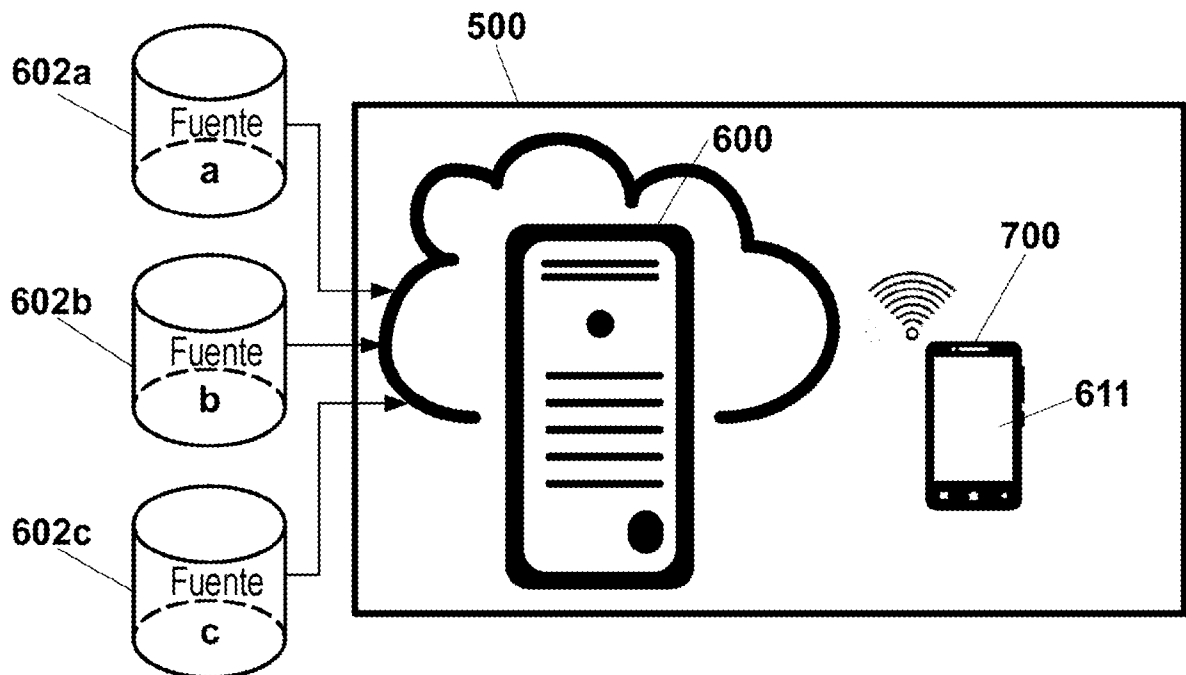


FIG. 5G

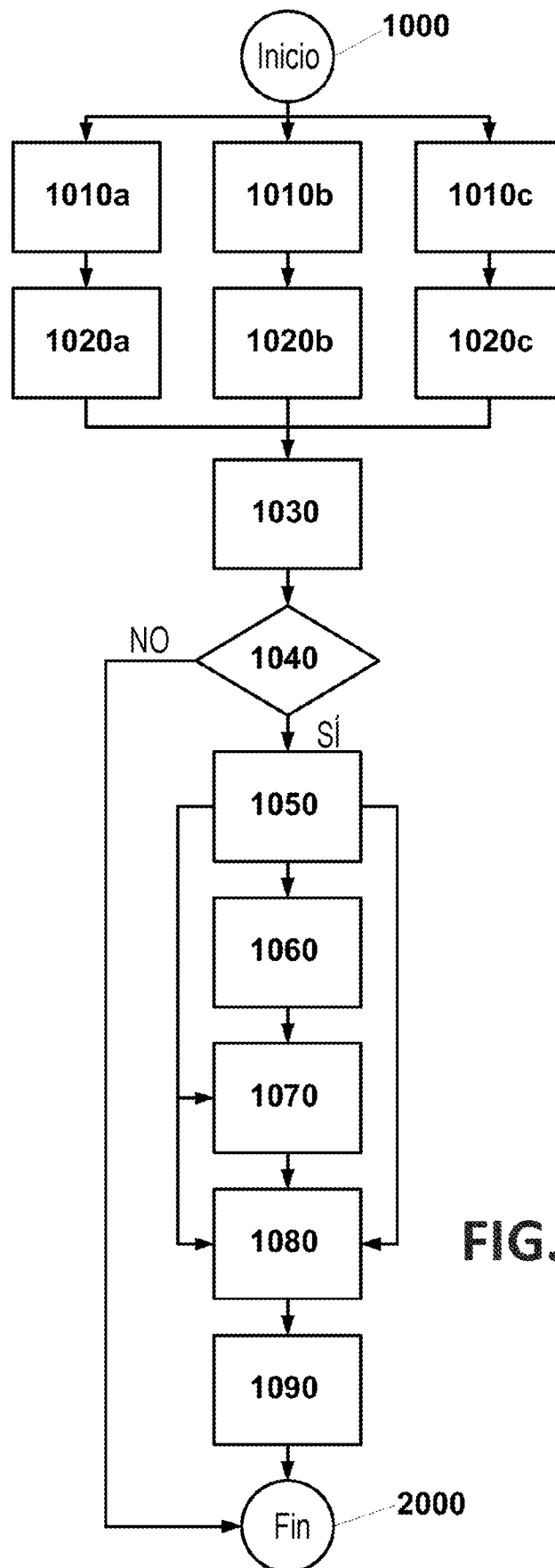


FIG. 6

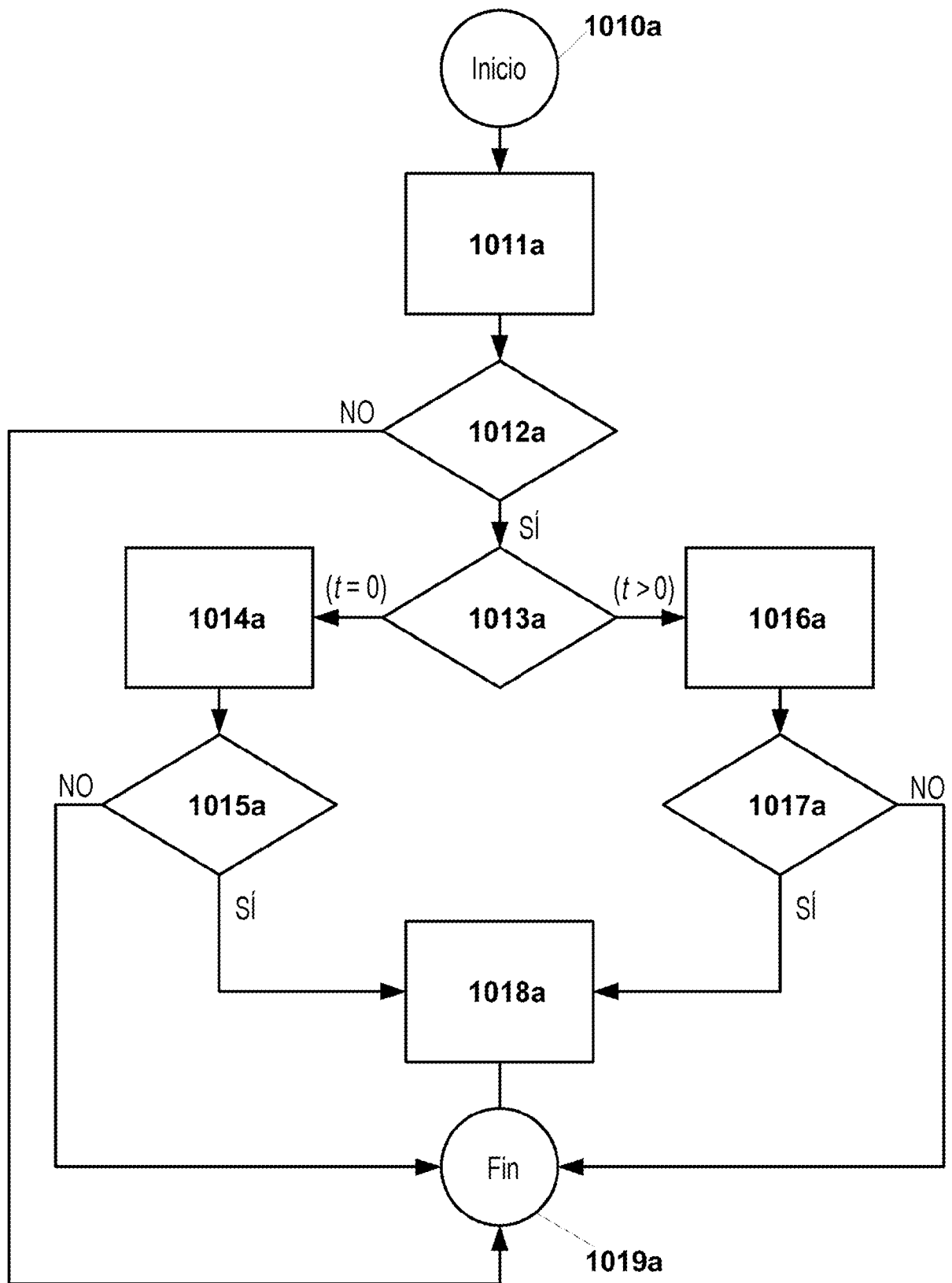


FIG. 7

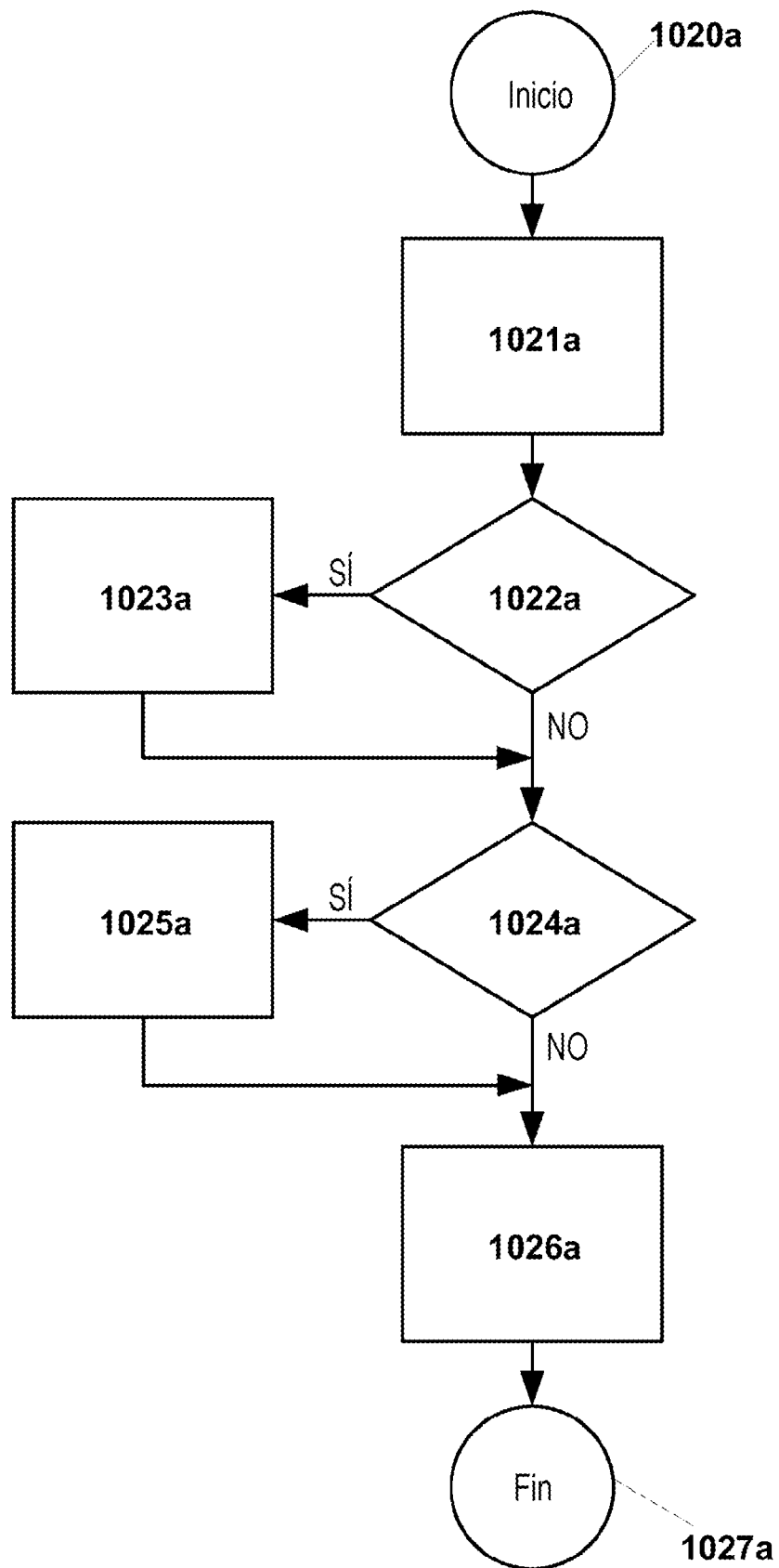


FIG. 8

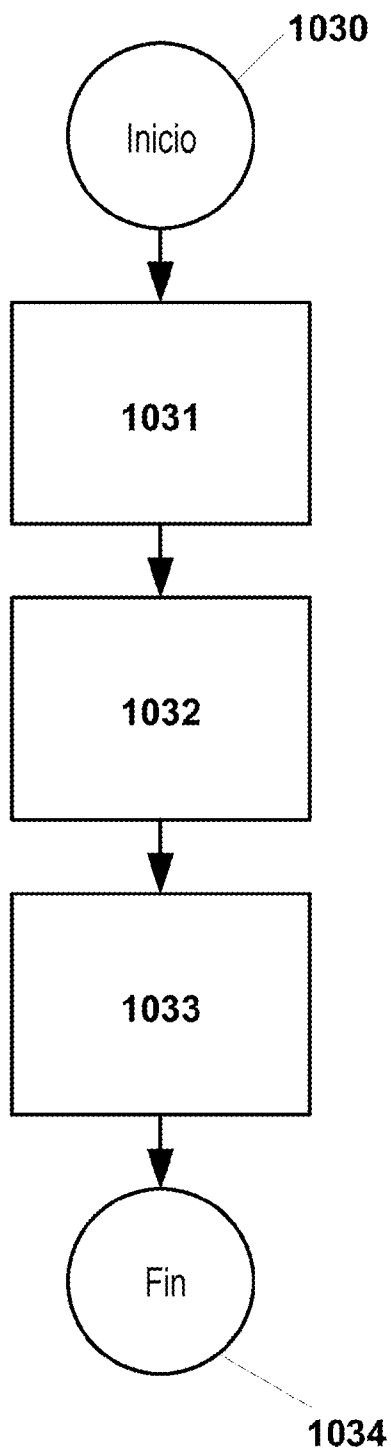


FIG. 9

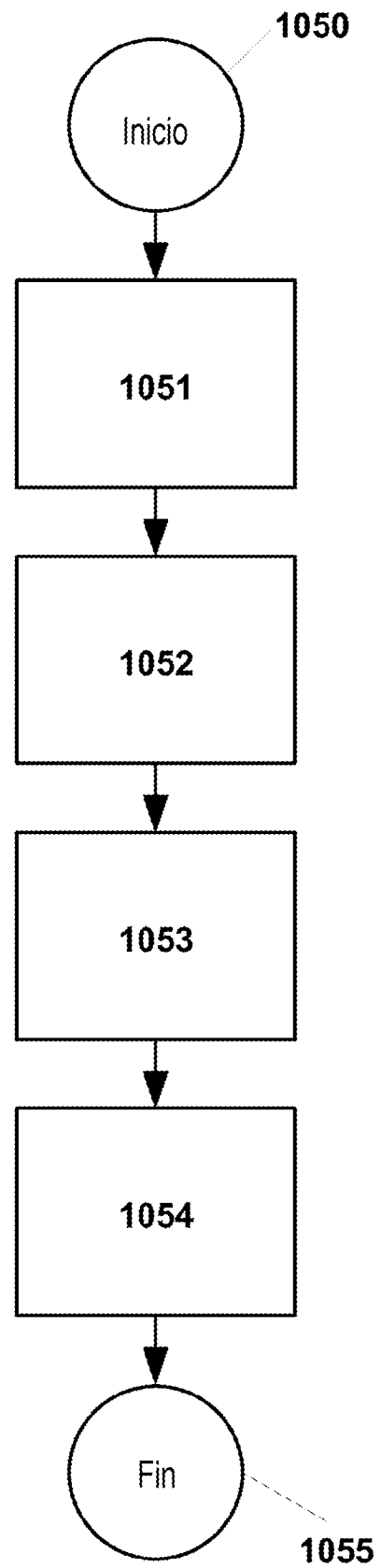


FIG. 10

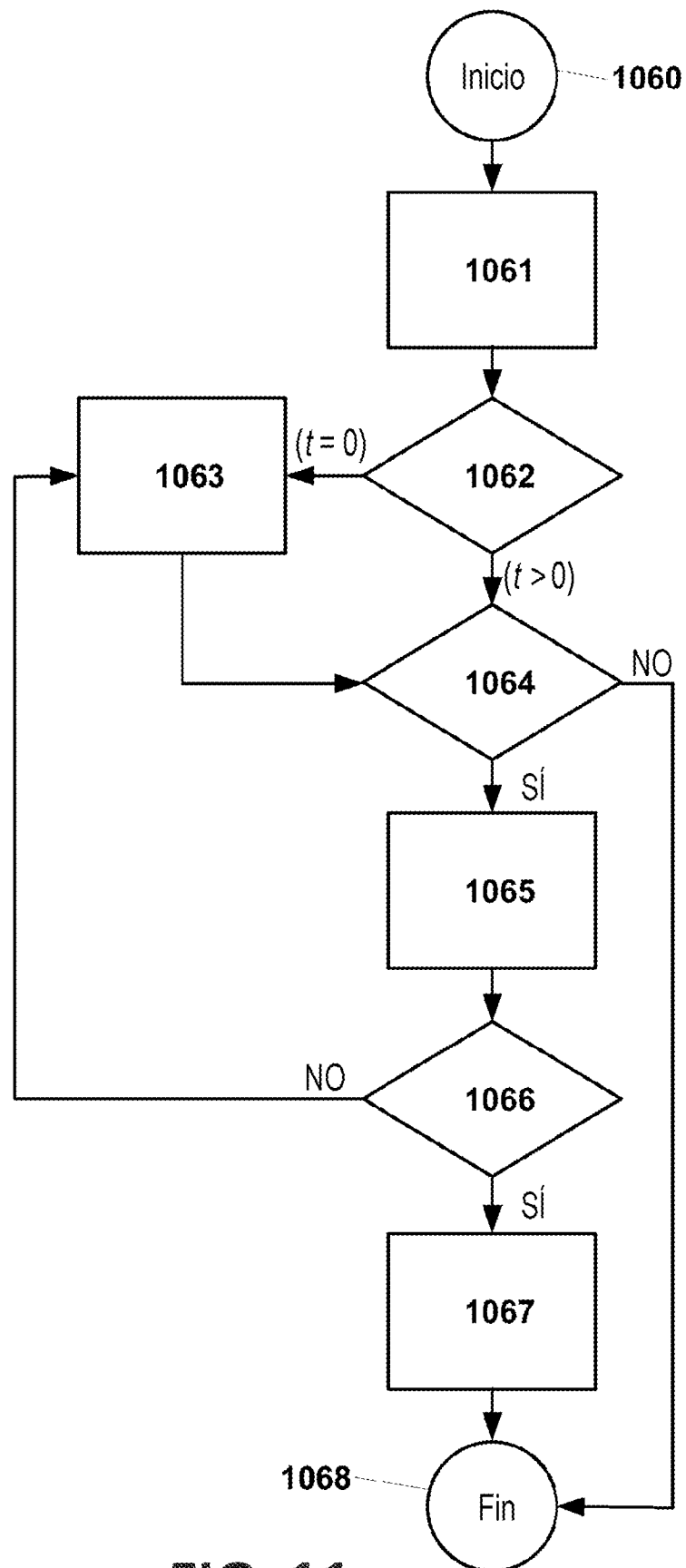


FIG. 11

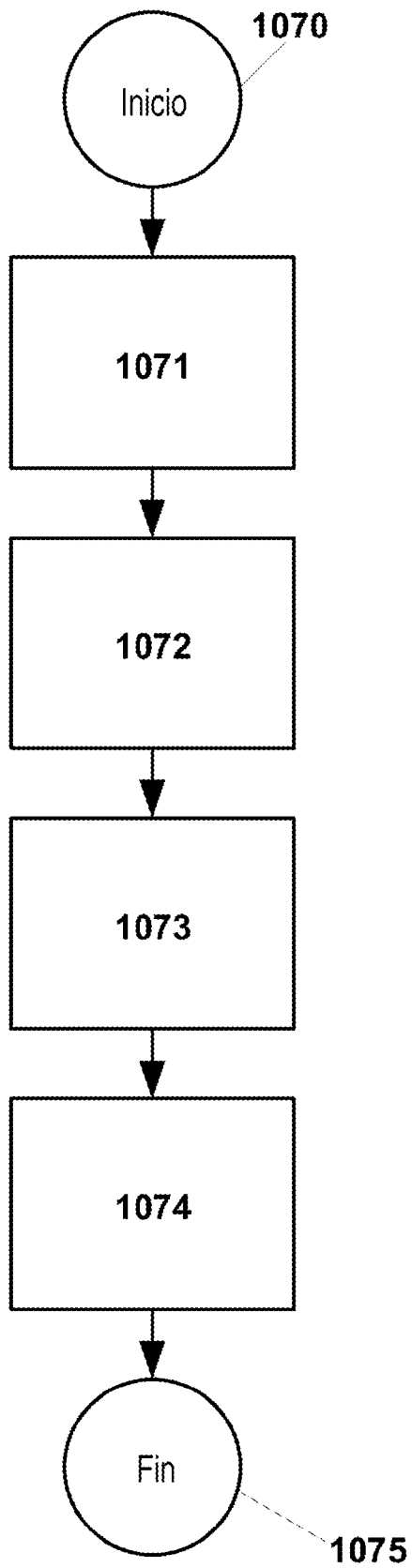


FIG. 12

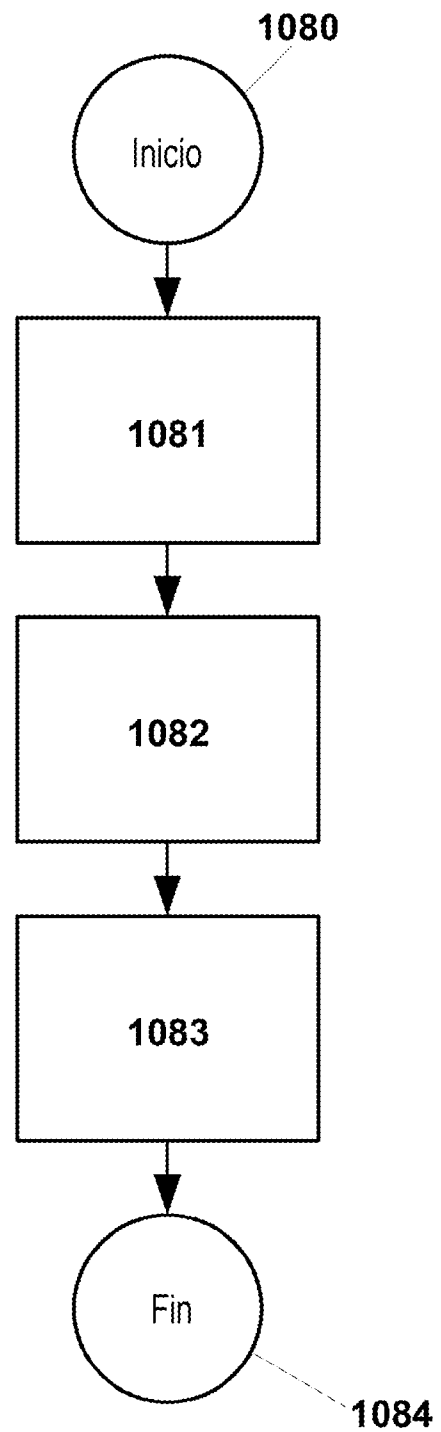


FIG. 13

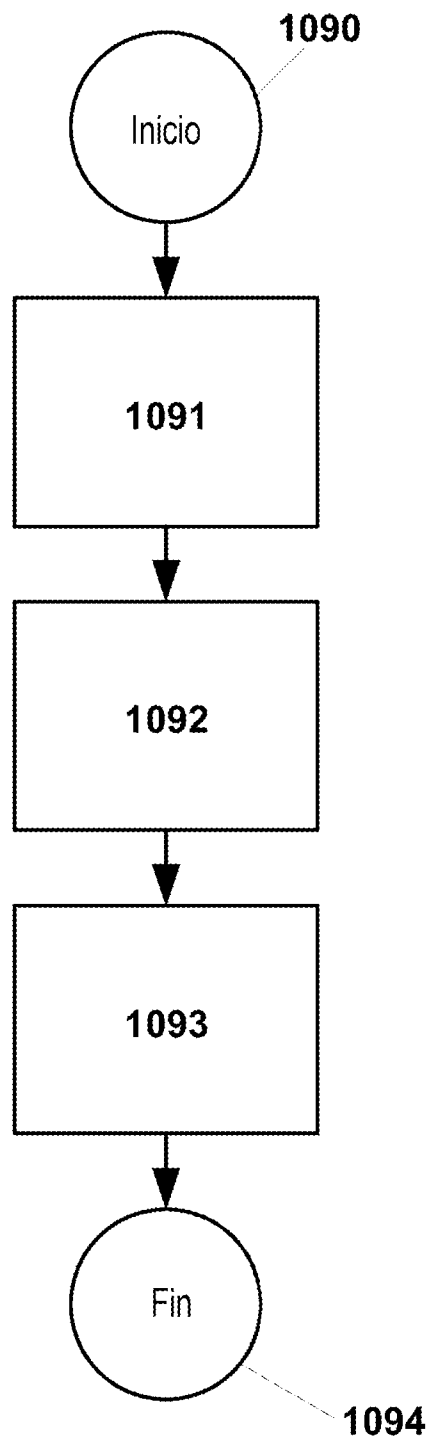


FIG. 14