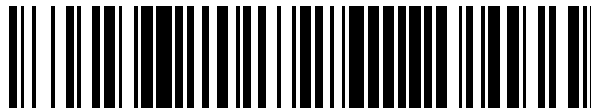


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 541 277**

51 Int. Cl.:

G05B 23/02 (2006.01)

B01D 53/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.12.2012** **E 12199361 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2015** **EP 2746884**

54 Título: **Aparato y métodos para monitorizar y controlar unidades de proceso cíclico en un entorno estable de planta**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.07.2015

73 Titular/es:

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, PA 18195-1501, US

72 Inventor/es:

ARSLAN, ERDEM;
NEOGI, DEBASHIS;
LI, XIANMING JIMMY y
MIRSA, PRATIK

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 541 277 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

Aparato y métodos para monitorizar y controlar unidades de proceso cíclico en un entorno estable de planta

5 CAMPO DE LA INVENCION

Sistema y métodos para monitorizar y analizar los datos de las prestaciones de unidades de producción cíclica asincrónica multilínea (por ejemplo, adsorción por oscilación de presión (PSA, *pressure swing adsorption*), plantas de producción de hidrógeno) que permiten el diagnóstico de anomalías funcionales, ambientales y de fallos de equipos para prevenir un fallo total de la línea de producción.

10

ANTECEDENTES

La detección de signos tempranos de problemas en el funcionamiento de una planta compleja es equivalente a prevenir una interrupción en los procesos de fabricación/producción. Es deseable que una planta de producción mantenga una tendencia funcional de estado estable (por ejemplo, las instalaciones de fabricación de hidrógeno). Sin embargo, en la práctica los cambios de un día a otro en la planta de producción afectarán a los funcionamientos de la planta y a menudo estresarán los funcionamientos de la planta (por ejemplo, el aumento del nivel de producción para cumplir la demanda del cliente, variaciones de composición de la alimentación de materia prima, e incluso las condiciones climáticas pueden afectar al funcionamiento de la planta). Otro factor contribuyente que hace que una producción de estado estable sea un desafío y que dificulta la detección de fallos es la naturaleza inherente de un sistema de producción cíclica pero asincrónica (por ejemplo sistemas de producción de PSA).

20

En la técnica anterior se describen varios métodos y sistemas para abordar los problemas potenciales en las plantas de producción mediante el ajuste de variables de proceso en base a cambios en los parámetros medidos de proceso. Por ejemplo, la patente de EE.UU. 8.016.914, Belanger et al., la patente de EE.UU. 7.674.319, Lomax et al., y la patente de EE.UU. 7.789.939, Boulin, enseñan diversos métodos para medir una impureza y ajustar una variable de proceso, tal como el tiempo de alimentación, para controlar esa impureza en un lecho de un sistema de PSA. Tal único control de lecho de PSA se utiliza extensamente y ha llegado a ser una práctica de la industria.

25

Se han descubierto e implementado otros métodos de detección de fallos de planta de producción. Por ejemplo, como se describe en el artículo titulado "Finding the Source of Nonlinearity in a Process With Plant-Wide Oscillation", Nina F. Thornhill, 2005, Thornhill propone un índice de falta de linealidad que puede utilizarse para detectar una causa primordial de la oscilación para un sistema dinámico que tiene una pluralidad de circuitos de control interactuando. Este método puede utilizarse para detectar oscilaciones causadas por ciclos límite autosostenidos en un circuito de control. Tales oscilaciones a menudo se originan en un circuito pero se propagan a los otros circuitos. Con esta práctica actual, la medición desarrollada de falta de linealidad produce valores altos para el circuito de control de fuente y valores más bajos para las oscilaciones secundarias que permiten realizar un análisis de causa primordial. El método se basa en la comparación de datos sustitutos y datos verdaderos de planta. Con esta práctica actual, los datos sustitutos se obtienen al aplicar una transformada de Fourier discreta (DFT, *discrete Fourier transform*) a datos verdaderos y luego aleatorizando los argumentos de la DFT y manteniendo constante la amplitud. A continuación en el método, se aplica una DFT inversa para producir los datos sustitutos. Los datos verdaderos con acoplamiento de fase producen tendencias más estructuradas y más previsibles que los datos sustitutos. Por consiguiente, con esta práctica existente, el índice de falta de linealidad explota la diferencia en los datos que significa utilizar análisis de series temporales. Thornhill describe un método que se utiliza prácticamente para detectar la oscilación por toda la planta debida a circuitos de control interactuando y ayuda a afinar los controladores para tener unas óptimas prestaciones de planta. Además, el documento WO-A-2006/086894 describe un dispositivo de diagnóstico para diagnóstico de dispositivo de proceso. Dentro de un sistema de control de proceso se utiliza un método estadístico para diagnóstico para monitorizar dispositivos tales como una bomba o una válvula.

30

35

40

45

Las prácticas existentes son insuficientes, sin embargo, para identificar qué etapa de un proceso de producción asincrónica cíclica es la causa primordial de un fallo o problema de producción generalmente observada. Aunque las prácticas actuales descritas en la técnica anterior utilizan una DFT para generar los datos sustitutos para uso en la identificación de fallos de proceso, no abordan diversos puntos clave como el procesamiento de variables de planta de producción en estado estable. Específicamente, con fluctuaciones de ciclo de producción, las variables pueden tener una base de "oscilación autosostenida" debida a un efecto primario/secundario de un circuito de control o que proviene del ruido. Sería ventajoso tener un sistema y un método de detección que manejen los datos cíclicos de estado estable cuando la oscilación es el funcionamiento normal. Tales sistemas y métodos podrían funcionar para comparar características de oscilación en diversas partes de las líneas de producción en una planta de producción (por ejemplo, diversos "lechos" de producción de una planta de PSA) en la que las partes de líneas de producción entre líneas de producción similares funcionarían para tener una oscilación similar con diferente fase (por ejemplo, planta de producción de PSA multilecho que tiene unas etapas de producción asincrónica entre una pluralidad de líneas de producción). Por otra parte, sería ventajoso tener un sistema y un método de monitorización aplicados continua y automáticamente en un proceso de producción en la totalidad de una planta de producción en estado estable.

50

55

60

A modo de ejemplo, un sistema y un método ventajosos podrían funcionar en el contexto de una planta de PSA con medición de variación de lecho a lecho, y relacionar esas variaciones con procesos dentro y fuera del propio proceso de PSA, tal como el cambio de composición de alimentación, anomalías de etapas de producción de planta y/o

65

deficiencias funcionales, tales como equipos rotos (por ejemplo, una válvula rota en el propio sistema de PSA). El método deseado podría proporcionar unas etapas para detectar cualquier desviación en un sistema cíclico (por ejemplo, PSA) fuera de fase con varias subunidades (por ejemplo, lechos). El objetivo es asegurar que cada unidad se comporte idénticamente a todas las demás cuando se transponga en la misma fase. El propio sistema cíclico fuera de fase (por ejemplo, PSA), a su vez, se ve afectado funcionalmente por otros procesos de la planta y los sistemas y los métodos deseados tendrían en cuenta tales variables ambientales y funcionales.

Por lo tanto, existe la necesidad de sistemas y métodos para monitorizar y analizar los datos que rodean la ejecución de un sistema normalmente cíclico pero asíncrono junto con un proceso de producción normalmente en estado estable.

COMPENDIO

Las realizaciones descritas satisfacen la necesidad en la técnica al proporcionar un aparato y un método para monitorización y análisis que permiten monitorizar un proceso de producción cíclica asíncrona multietapa que tiene múltiples unidades de producción en un entorno estable de planta. En una implementación ilustrativa, un módulo de monitorización y análisis coopera con una distribución de sensores que se acoplan electrónicamente a uno o más componentes de unidad de producción y/o equipos para recopilar datos funcionales, ambientales y de fallo. En la implementación ilustrativa, el módulo de monitorización y análisis también puede conectarse a un sistema del control que coopera con diversos controles de automatización que controlan diversos equipos y/o componentes de unidad de producción.

En un funcionamiento ilustrativo, el módulo de monitorización y análisis funciona para recopilar datos de la distribución de sensores. Tales datos de monitorización pueden comprender datos de condiciones ambientales, datos funcionales y datos de componentes/equipos de unidad de producción. En el funcionamiento ilustrativo, los datos recopilados se recopilan en el dominio de tiempo. A los datos recopilados en el dominio de tiempo se les aplica una transformada de Fourier discreta para generar datos de monitorización en dominio de frecuencia. Los datos transformados son analizados entonces según un protocolo de datos de detección de fallos. En la implementación ilustrativa, el protocolo de detección de fallos comprende varias etapas que incluyen definir unos intervalos superior e inferior de datos (por ejemplo, en los dominios de tiempo y de frecuencia) para el funcionamiento normal/optimizado de uno o más de los componentes/equipos de unidad de producción. Ilustrativamente, los intervalos normales/optimizados superior e inferior de datos son definidos por observación física de uno o más componentes/equipos de unidad de producción cuando funcionan en condiciones normales/óptimas y para generar un nivel predeterminado de producción.

En el funcionamiento ilustrativo, los datos transformados de por lo menos dos componentes de unidad de producción se comparan entre sí según una escala seleccionada (por ejemplo, el logaritmo de la razón de valores de amplitud, razones de exponentes, razones de valores absolutos, etc.) y se analizan para generar los datos de determinación de fallo. En el funcionamiento ilustrativo, tales comparaciones se realizan según un intervalo de tiempo seleccionado. Si los datos de determinación de fallo están fuera del intervalos definidos de datos normales/optimizados de protocolo, se establece una marca para ese componente/equipo específico de unidad de producción para el intervalo de tiempo observado. En los otros intervalos de tiempo seleccionados se realizan comparaciones subsiguientes. Si los datos de determinación de fallo continúan estando fuera del intervalo normal/optimizado de protocolo, se asocia un estado de fallo para el componente/equipo específico de unidad de producción y puede ser comunicado a un sistema del control cooperativo para una acción subsiguiente, que incluye suspender la línea de producción que mantiene el componente/equipo defectuoso de unidad de producción. Ilustrativamente, la determinación de estado de fallo puede ser realizada utilizando uno o más algoritmos que cuando se aplica a acontecimientos estadísticamente significativos de identificación de datos.

Hay varios aspectos del aparato y el método tal como se plantean a continuación.

Aspecto 1 - Un aparato para monitorización y análisis para uso en una planta de producción, el aparato comprende un procesador de cómputo que puede funcionar para:

recibir datos funcionales de uno o más sensores que funcionan para percibir y comunicar los datos representativos del funcionamiento de por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona, utilizados en el proceso de producción en un intervalo de tiempo seleccionado;

procesar los datos funcionales recibidos para transformar los datos funcionales recibidos desde un dominio de tiempo a datos generados en dominio de frecuencia que tienen armónicos;

procesar los datos en dominio de frecuencia para calcular un valor de amplitud de cada uno del por lo menos un pico de los armónicos de los datos en dominio de frecuencia;

identificar el valor de la amplitud del pico de un armónico significativo de los datos en dominio de frecuencia para cada uno de los por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona;

aplicar una función matemática de normalización de datos a los valores identificados de amplitud para calcular anomalías en los valores identificados de amplitud entre dos componentes seleccionados de unidad de producción cíclica asíncrona de los por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona en comparación con datos representativos de valores de amplitud de funcionamiento

normal para generar datos procesados de monitorización de componente de unidad de producción para los dos componentes seleccionados de unidad de producción cíclica asíncrona; y almacenar los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción.

5 Aspecto 2 - Un aparato de monitorización y análisis para uso en una planta de producción, que comprende:

un procesador de cómputo; y una memoria de cómputo acoplada comunicativamente con el procesador de cómputo, la memoria de cómputo tiene almacenada en ella unas instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador de cómputo, hacen que el procesador de cómputo realice operaciones que comprenden:

10 recibir datos funcionales de uno o más sensores que funcionan para percibir y comunicar los datos representativos del funcionamiento de por lo menos dos componentes de unidad de producción, utilizados en el proceso de producción en un intervalo de tiempo seleccionado;

15 procesar los datos funcionales recibidos para transformar los datos funcionales recibidos desde un dominio de tiempo a datos generados en dominio de frecuencia que tienen armónicos;

procesar los datos en dominio de frecuencia para calcular un valor de amplitud de cada uno de por lo menos un pico de los armónicos de los datos en dominio de frecuencia;

20 identificar el valor de la amplitud del pico de un armónico significativo de los datos en dominio de frecuencia para cada uno de los por lo menos dos componentes de unidad de producción;

25 aplicar una función matemática de normalización de datos a los valores identificados de amplitud para calcular anomalías en los valores identificados de amplitud entre dos componentes seleccionados de unidad de producción de los por lo menos dos componentes de unidad de producción en comparación con datos representativos de valores de amplitud de funcionamiento normal para generar datos procesados de monitorización de componente de unidad de producción para los dos componentes

seleccionados de unidad de producción; y

almacenar los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción.

30 Aspecto 3 - El aparato según el Aspecto 1 o 2, en donde la transformada utilizada para generar los datos en dominio de frecuencia se selecciona del grupo de una transformada de Fourier discreta (DFT), transformada de Laplace e histograma.

35 Aspecto 4 - El aparato según el Aspecto 1, 2 o 3, en donde la transformada utilizada para generar los datos en dominio de frecuencia es una transformada de Fourier discreta (DFT).

40 Aspecto 5 - El aparato según cualquiera de los Aspectos 1 a 4, en donde cada uno de los por lo menos dos componentes de unidad de producción comprende un lecho de adsorción por oscilación de presión (PSA).

45 Aspecto 6 - El aparato según cualquiera de los Aspectos 1 a 5, en donde cada uno del uno o más sensores es un sensor de presión y los datos representativos del funcionamiento de por lo menos dos componentes de unidad de producción comprenden datos de presión.

50 Aspecto 7 - El aparato según cualquiera de los Aspectos 1 a 6, en donde el pico del armónico significativo tiene una frecuencia que es igual al inverso de la duración de una única etapa de un proceso de producción realizada por cada uno de los por lo menos dos componentes de unidad de producción.

55 Aspecto 8 - El aparato según cualquiera de los Aspectos 1 a 7, en donde la función matemática de normalización de datos comprende calcular el logaritmo de la razón de los valores identificados de amplitud, el logaritmo de los datos de razón de amplitud representativos del logaritmo de la razón de los valores identificados de amplitud entre los dos componentes seleccionados de unidad de producción de los por lo menos dos componentes de unidad de producción para generar los datos procesados de monitorización de componente de unidad de producción para los dos componentes seleccionados de unidad de producción.

60 Aspecto 9 - El aparato según cualquiera de los Aspectos 1 a 8, que funciona además para definir unos límites de datos funcionales representativos de un intervalo deseado de funcionamiento para las por lo menos dos unidades de producción y para procesar los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción para determinar si los datos están dentro de los límites definidos de datos funcionales.

65 Aspecto 10 - El aparato según el Aspecto 9, que puede funcionar además para generar datos de alarma representativos de casos cuando los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción se encuentran fuera de los límites funcionales definidos.

Aspecto 11 - El aparato según el Aspecto 10, que puede funcionar además para comunicar los datos generados de alarma a un aparato de control cooperativo de componente de unidad de producción para uso en proporcionar operaciones automatizadas de control a los por lo menos dos componentes de unidad de producción.

ES 2 541 277 T3

Aspecto 12 - El aparato según el Aspecto 10 u 11, que comprende además un aparato de control de componente de unidad de producción que puede funcionar para controlar el funcionamiento de una o más unidades de producción en respuesta a dichos datos de alarma.

5 Aspecto 13 - El aparato según cualquiera de los Aspectos 9 a 12, en donde los límites funcionales de datos son calculados por procesamiento de los datos históricos recibidos de componente de unidad de producción.

10 Aspecto 14 - Una planta de producción que comprende una pluralidad de unidades de producción, uno o más sensores que funcionan para percibir y comunicar los datos representativos del funcionamiento de dichas unidades de producción, y un aparato de monitorización y análisis según cualquiera de los Aspectos 1 a 13.

Aspecto 15 - Un método para monitorizar y analizar los datos funcionales de una planta de producción que comprende:

15 recibir datos funcionales de uno o más sensores que funcionan para percibir y comunicar los datos representativos del funcionamiento de por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona, utilizados en el proceso de producción en un intervalo de tiempo seleccionado;

20 procesar los datos funcionales recibidos para transformar los datos funcionales recibidos desde un dominio de tiempo a datos generados en dominio de frecuencia que tienen armónicos;

20 procesar los datos en dominio de frecuencia para calcular un valor de amplitud de cada uno de por lo menos un pico de los armónicos de los datos en dominio de frecuencia;

25 identificar el valor de la amplitud del pico de un armónico significativo de los datos en dominio de frecuencia para cada uno de los por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona;

25 aplicar una función matemática de normalización de datos a los valores identificados de amplitud para calcular anomalías en los valores identificados de amplitud entre dos componentes seleccionados de unidad de producción cíclica asíncrona de los por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona en comparación con los datos representativos de valores de amplitud de funcionamiento normal para generar datos procesados de monitorización de componente de unidad de producción para los dos componentes seleccionados de unidad de producción cíclica asíncrona; y

30 almacenar los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción.

35 Aspecto 16 - El método según el Aspecto 15, que comprende además calcular el logaritmo de la razón de los valores identificados de amplitud, el logaritmo de los datos de razón de amplitud representativos del logaritmo de la razón de los valores identificados de amplitud entre los dos componentes seleccionados de unidad de producción de los por lo menos dos componentes de unidad de producción para generar los datos procesados de monitorización de componente de unidad de producción para los dos componentes seleccionados de unidad de producción.

40 Aspecto 17 - El método según el Aspecto 15 o el Aspecto 16, que comprende además definir unos límites de datos funcionales representativos de un intervalo deseado de funcionamiento para las por lo menos dos unidades de producción y procesar los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción para determinar si los datos están dentro de los límites definidos de datos funcionales.

45 Aspecto 18 - El método según el Aspecto 17, que comprende además generar datos de alarma representativos de casos cuando los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción se encuentran fuera de los límites funcionales definidos.

50 Aspecto 19 - El método según cualquiera de los Aspectos 17 o 18, que comprende además aplicar un algoritmo estadístico seleccionado a los datos procesados generados de componente de unidad de producción para identificar estadísticamente casos significativos cuando los datos procesados generados de componente de unidad de producción están fuera de los límites funcionales de datos.

55 Aspecto 20 - El método según el Aspecto 18, que comprende además comunicar los datos generados de alarma a un sistema de control cooperativo de componente de unidad de producción para la utilización para proporcionar operaciones automatizadas de control a los por lo menos dos componentes de unidad de producción.

60 Aspecto 21 - El método según cualquiera de los Aspectos 17 a 20, en donde los límites funcionales de datos son calculados por procesamiento de los datos históricos recibidos de componente de unidad de producción.

65 Aspecto 22 - El método según cualquiera de los Aspectos 15 a 21, que comprende además generar datos procesados de monitorización de componente de unidad de producción en por lo menos dos períodos de tiempo discretos seleccionados para los dos componentes seleccionados de unidad de producción para generar una ventana móvil de datos representativa de los funcionamientos continuos de los dos componentes seleccionados de unidad de producción.

5 Aspecto 23 - El método según cualquiera de los Aspectos 15 a 22, en donde el armónico significativo de los datos transformados en dominio de frecuencia comprende el armónico que tiene una frecuencia y el inverso de la frecuencia del último armónico significativo de los datos transformados en dominio de frecuencia es mayor que el tiempo necesario para completar una única etapa de un ciclo de producción del proceso de producción.

10 Aspecto 24 - El método según cualquiera de los Aspectos 15 a 23, en donde la etapa de recepción comprende recibir los datos funcionales de uno o más sensores que funcionan para percibir y comunicar datos representativos del funcionamiento de por lo menos dos componentes de unidad de producción utilizados en el proceso de producción en un intervalo de tiempo seleccionado, cada una de las unidades de producción comprende un lecho de adsorción.

15 Aspecto 25 - El método según cualquiera de los Aspectos 15 a 24, en donde la etapa de recepción comprende recibir los datos funcionales de uno o más sensores que funcionan para percibir y comunicar datos representativos del funcionamiento de por lo menos dos componentes de unidad de producción utilizados en el proceso de producción en un intervalo de tiempo seleccionado, el proceso de producción comprende un proceso de adsorción por oscilación de presión (PSA).

20 Aspecto 26 - El método según cualquiera de los Aspectos 15 a 25, en donde la etapa de recepción comprende recibir los datos funcionales de uno o más sensores que funcionan para percibir y comunicar la presión para por lo menos dos componentes de unidad de producción utilizados en el proceso de producción en un intervalo de tiempo seleccionado.

25 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DIVERSAS VISTAS DE LOS DIBUJOS**

La Figura 1 es un diagrama de bloques de una planta de producción según la instalación de un sistema y unos métodos descritos en esta memoria;

La Figura 1a es un diagrama de bloques de un ejemplo de planta de producción de adsorción por oscilación de presión (PSA) según el sistema y los métodos descritos en esta memoria;

30 La Figura 2 es un gráfico que muestra la oscilación de presión en un ejemplo de lecho de PSA con un segundo intervalo de medición;

La Figura 3 es un gráfico que muestra una transformada de Fourier discreta (DFT) tal como se aplica a un muestreo seleccionado de datos variables de producción (por ejemplo, datos de presión);

La Figura 4 es un gráfico que muestra un logaritmo de la razón de amplitudes de los terceros picos de un ejemplo de lecho A de PSA y un ejemplo de lecho G de PSA en funcionamiento normal;

35 La Figura 5 es un gráfico que muestra tiempos de ciclo de PSA durante un período de tiempo seleccionado;

La Figura 6 es un gráfico que muestra tasas de producción durante un período de tiempo seleccionado;

La Figura 7 es un gráfico que muestra un logaritmo de la razón de amplitudes de los terceros picos de un ejemplo de lecho A de PSA y de un ejemplo de lecho G de PSA durante un período de tiempo seleccionado;

40 La Figura 8 es un gráfico que muestra un logaritmo de la razón de amplitudes de los terceros picos de un ejemplo de lecho A de PSA y de un ejemplo de lecho G de PSA durante un segundo período de tiempo seleccionado;

La Figura 9 es un gráfico que muestra un logaritmo de la razón de amplitudes de los terceros picos de un ejemplo de lecho A de PSA y de un ejemplo de lecho G de PSA durante un tercer período de tiempo seleccionado;

45 La Figura 10 es un diagrama de flujo de un método ilustrativo de monitorización según el sistema y los métodos descritos en esta memoria;

La Figura 11 es un diagrama de bloques de un ejemplo de entorno de cómputo según el sistema y los métodos descritos en esta memoria; y

50 La Figura 12 es un diagrama de bloques de un ejemplo de entorno de cómputo en red según el sistema y los métodos descritos en esta memoria.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

55 La subsiguiente descripción detallada de los ejemplos de realizaciones preferidas proporcionará a los expertos en la técnica una descripción habilitante para implementar los ejemplos de realizaciones preferidas de la invención.

60 Los artículos "un" y "uno" tal como se emplean en esta memoria significan uno o más cuando se aplican a cualquier característica en las realizaciones de la presente invención descrita en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones. El uso de "un" y "uno" no limita el significado a una única característica a menos que tal límite sea indicado específicamente. El artículo "el" precediendo a nombres o frases nominales singulares o plurales denota una característica específica particular o unas características específicas particulares y puede tener una connotación singular o plural dependiendo del contexto en el que se utilice. El adjetivo "cualquiera" significa uno, algunos o todos sin discriminación de la cantidad que sea. El término "y/o" colocado entre una primera entidad y una segunda entidad significa uno de (1) la primera entidad, (2) la segunda entidad, y (3) la primera entidad y la segunda entidad. El término "y/o" colocado entre las últimas dos entidades de una lista de 3 o más entidades significa por lo menos una de las entidades en la lista que incluye alguna combinación específica de entidades de esta lista.

Para ayudar a describir la invención, en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones pueden utilizarse términos direccionales para describir partes de la presente invención (por ejemplo, superior, inferior, izquierdo, derecho, etc.). Estos términos direccionales solamente están pensados para ayudar a describir y reivindicar la invención y no están pensados para limitar la invención de ninguna manera. Además, los números de referencia que se introducen en la memoria descriptiva asociados con una figura de dibujo pueden repetirse en una o más figuras subsiguientes sin una descripción adicional en la memoria descriptiva para proporcionar contexto para otras características.

En las reivindicaciones, pueden utilizarse letras para identificar las etapas reivindicadas (por ejemplo (a), (b) y (c)). Estas letras se utilizan para ayudar a referirse a las etapas de método y no están pensadas para indicar el orden con el que se realizan las etapas reivindicadas, a menos que y solo hasta el punto que tal orden sea indicado específicamente en las reivindicaciones.

Visión general:

El sistema y los métodos descritos en esta memoria proporcionan monitorización y análisis de datos en tiempo real de una planta de producción asíncrona cíclica multietapa que tiene múltiples líneas de producción. A modo de ejemplo, los métodos descritos en esta memoria se describirán en el contexto de monitorización, mediante implementación ilustrativa, de unidades H2-PSA en una planta de producción de HyCO. Esta implementación ilustrativa solamente se describe por contexto y un experto en la técnica apreciará que el sistema y los métodos descritos en esta memoria pueden aplicarse para monitorizar y analizar datos relativos a diversas plantas de producción que tienen múltiples líneas de producción asíncrona que mantienen procesos de producción cíclica multietapa.

En una implementación ilustrativa, el sistema y los métodos descritos en esta memoria pueden aplicarse para el diagnóstico de unidades de H2-PSA en plantas de HyCO. En la implementación ilustrativa, el sistema y los métodos descritos en esta memoria proporcionan una manera robusta para medir simultáneamente las prestaciones de unidades completas de PSA y lechos individuales de PSA, advertir a los operarios de planta de producción de cualquier desviación de las prestaciones óptimas y permitir el análisis estadístico por toda la planta mediante la captura de características de estado estable de un proceso PSA periódicamente estable.

En un funcionamiento ilustrativo, el método puede implementarse bajo condiciones de funcionamiento variables en las plantas de HyCO, incluyendo pero sin limitarse a tiempo de ciclo cambiante, tasa de producción, modo reducido de lecho, etc. Funcionalmente, el método minimiza las falsas alarmas pero no pone en peligro la sensibilidad para capturar pequeños cambios funcionales y/o ambientales en una o más unidades de producción de una planta de producción (por ejemplo, cambios funcionales/cambios ambientales en uno o más lechos de PSA de un ejemplo de planta de producción de HyCO).

En el funcionamiento ilustrativo, hay varios resultados ventajosos cuando el sistema y los métodos descritos en esta memoria son implementados en plantas de producción de estado estable. A modo de ejemplo, las advertencias automáticas permiten una detección temprana de problemas menores de modo que puedan ser arreglados antes de ocasionar fallos mayores de los equipos y mantener las prestaciones de PSA en un nivel óptimo. A la larga, esto puede aumentar la productividad y la fiabilidad medias de la planta. Adicionalmente, cuando se implementa el sistema y los métodos descritos en esta memoria, puede reducirse el tiempo de diagnóstico para viajes en planta, permitiendo que los datos funcionales de PSA sean integrados en el análisis estadístico general de planta y proporcionando información detallada sobre los lechos individuales de PSA.

En una implementación ilustrativa, el sistema y los métodos descritos en esta memoria implican el uso de transformada de Fourier discreta (DFT) de los datos recopilados de uno o más sensores que monitorizan uno o más equipos/componentes de producción de un proceso de producción asíncrona cíclica multietapa (por ejemplo, proceso de PSA). En un funcionamiento ilustrativo, se capturan los datos acerca de los parámetros característicos para cada componente o equipo de proceso de producción (por ejemplo, lecho de PSA) que pueda representar las prestaciones de componente/equipo. En el funcionamiento ilustrativo, se recopilan datos variables de componente/equipo (por ejemplo, datos de presión de lecho de PSA) de una distribución de sensores cooperativos (o de un sistema cooperativo de control de planta de producción - por ejemplo, de una base de datos) para el preprocesamiento de componentes/equipos individuales de planta de producción (por ejemplo, para lechos individuales de PSA).

La aplicación de las DFT se conoce en general, y no es esencial en el sistema y los métodos descritos en esta memoria, dado que también podrían utilizarse otras transformaciones matemáticas que conviertan datos en dominio de tiempo a datos en dominio de frecuencia, incluidos, pero no limitados a, transformada de Laplace y técnicas de histograma. El sistema y los métodos descritos en esta memoria pueden funcionar para identificar un conjunto de características a partir de los datos transformados que tienen relaciones únicas con variables físicas. Por ejemplo, en el contexto de una planta de producción de PSA (por ejemplo, proceso reformador de metano mediante vapor de agua que utiliza una PSA como etapa final de purificación de producto), el tercer pico de los datos de espectro de potencia (es decir, los datos de presión en dominio de tiempo transformados a datos de presión en dominio de frecuencia) pueden ponerse en correlación con el tiempo de adsorción en un PSA. Por otra parte, pueden ser necesarias transformaciones adicionales de modo que tales características identificadas sean invariables bajo condiciones normales de proceso. Por ejemplo, son las razones de las terceras intensidades pico de unidades diferentes, en lugar de las propias intensidades, las que son invariables a variaciones normales de proceso. Como tal, los datos

recopilados y transformados de tercer pico de presión de dos unidades interdependientes de producción (por ejemplo, lechos de PSA) pueden utilizarse para mostrar variantes en el proceso de producción.

Adicionalmente, se conoce bien que un proceso, tal como el proceso de reformación de metano mediante vapor de agua que utiliza un PSA como una etapa final de purificación de producto, típicamente se somete a muchos cambios, tales como oscilaciones diurnas de temperatura, variación de materia prima, cambio de intensidad de la luz solar y oscilación de la demanda del cliente. Estos cambios provocarán variaciones en el proceso y posiblemente oleadas a través de toda la planta. El método propuesto de monitorización y análisis puede absorber tales variaciones esperadas y normales sin provocar falsas alarmas, e incluso puede ser suficientemente sensible para captar desviaciones verdaderas y adoptar acciones tempranas para prevenir una grave interrupción del funcionamiento.

Las patentes de EE.UU., Belanger et al. (US8016914), Lomax et al. (US7674319) y Blouin (US7789939) se preocupan por la medición de una impureza y el ajuste de una variable de proceso, tal como el tiempo de alimentación, para controlar esa impureza en un lecho de un sistema de PSA. Tal único control de lecho PSA es de la técnica anterior y de la práctica en la industria. El sistema y los métodos descritos en esta memoria se dirigen sin embargo a la medición de la variación de lecho a lecho, y a relacionar esas variaciones con los propios procesos dentro y fuera del proceso de producción (por ejemplo, PSA), tal como el cambio de composición de alimentación, trastornos en algún lugar en la planta, o en una válvula rota en el propio sistema de la planta de producción (por ejemplo, PSA). La distinción clave es, en el contexto de una planta de producción de PSA, que hay variación de lecho a lecho, y el funcionamiento deseado de planta es que todos los lechos en un sistema de PSA multilecho se comporten idénticamente. De este modo el método descrito en esta memoria detecta cualquier desviación en un sistema cíclico fuera de fase (en este ejemplo, un sistema de PSA) con varias subunidades (en este ejemplo lechos de adsorción). El objetivo es asegurar que cada unidad se comporte idénticamente a todas las demás cuando se transponga en la misma fase. El propio sistema cíclico fuera de fase (PSA), a su vez, se ve afectado por otros procesos en la planta.

Haciendo referencia a las Figuras 1-13, la Figura 1 muestra un diagrama de bloques de un ejemplo de planta de producción cíclica asíncrona multietapa 100. Como se muestra, la planta de producción 100 comprende unas unidades de producción cíclica asíncrona multietapa 110, una distribución de sensores 120, un módulo de monitorización y análisis de acontecimientos funcionales/ambientales/de fallo 130 (de ahora en adelante, módulo de monitorización y análisis 130), un módulo de control 140 de unidad de producción y unos controles automatizados 150.

En un funcionamiento ilustrativo, el módulo de monitorización y análisis 130 coopera funcionalmente con una distribución de sensores 120 para recopilar datos de una o más condiciones/variables de uno o más componentes/equipos que se encuentran en unidades de producción (por ejemplo, la presión en una válvula, la temperatura en una válvula, etc.). Los datos recopilados son procesados y analizados según los métodos descritos en esta memoria para comparar los datos recopilados entre varios componentes en el proceso de producción e identificar condiciones, estadísticamente significativas, de acontecimientos funcionales/ambientales/de fallo que sean dignas de mención y que puedan impactar en el producto resultante producido en la planta. Por otra parte, los datos recopilados y analizados pueden ser procesados aún más para proporcionar unas representaciones gráficas de la condición funcional de uno o más componentes/equipos de unidad de producción como se describe en la solicitud de patente de EE.UU. 2008/0109090 A1 titulada, "System and Method for Process Monitoring".

En el funcionamiento ilustrativo, el módulo ilustrativo de monitorización y análisis de acontecimientos puede cooperar funcionalmente con el módulo de control 140 de unidad de producción para proporcionar datos de alarma relativos a los funcionamientos fuera de intervalo para uno o más componentes/equipos de unidad de producción. A su vez, en el funcionamiento ilustrativo, el módulo de control 140 de unidad de producción puede cooperar funcionalmente con unos controles automatizados 150 para proporcionar instrucciones de control y controlar el funcionamiento del uno o más componentes/equipos de unidad de producción que funcionan fuera de un intervalo funcional predeterminado.

La Figura 1A muestra un ejemplo de planta de producción 100 de adsorción por oscilación de presión (PSA). Como se muestra, la planta de producción 100 comprende un módulo de monitorización y análisis 130, un sistema de control 160, unos dispositivos de cómputo cooperativos 165 y unas unidades de producción 180. Como se muestra además, las unidades de producción pueden comprender varios subsistemas en cascada. A modo de descripción ilustrativa, la planta de producción 100 comprende además varios componentes/equipos de unidad de producción dentro de cada uno de los subsistemas mostrados. Las unidades de producción pueden comprender unos lechos de PSA 10A, 10B, 20A, 20B, 30A, 30B, 40A, 40B, 50A, 50B y unas válvulas 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 51, 52, 53, 54, 55, 56 y 57. En un funcionamiento ilustrativo, la materia prima se puede introducir mediante la alimentación 81 en los lechos de unidad de producción y la presión de los lechos se puede regular utilizando las válvulas descritas como parte de un proceso típico de adsorción por oscilación de presión conocido generalmente en la técnica para separar gases y producir un producto deseado 103 (por ejemplo, hidrógeno) y un subproducto 101 (por ejemplo, gas residual de PSA, que típicamente se utiliza como combustible).

Como se muestra en la Figura 1A, las válvulas se conectan funcionalmente al módulo de monitorización y análisis 130 a través de varios sensores electrónicos (por ejemplo, mostrados como sensores de presión "P" en la Figura 1A) que pueden funcionar para recopilar datos acerca del funcionamiento de las válvulas y la presión experimentada por uno o más de los lechos de unidad de producción a los que se conectan mecánica y/o eléctricamente las válvulas. En un

funcionamiento ilustrativo, los datos de presión percibidos por los sensores electrónicos (por ejemplo, mostrados como sensores de presión "P" en la Figura 1A) se comunican (por ejemplo, por una red de comunicaciones - no se muestra) al módulo de monitorización y análisis 130 para permitir la monitorización del funcionamiento de las válvulas de presión así como los valores en uno o en más de los lechos de unidad de producción. En una implementación ilustrativa, un programa informático que ejecuta el módulo de monitorización y análisis procesa los datos recopilados de sensor de presión como parte del protocolo de monitorización ambiental, funcional y de acontecimiento de fallo como se describe más adelante. Los datos procesados, ilustrativamente, pueden comprender datos en dominio de tiempo transformados a datos en dominio de frecuencia que permiten al programa de monitorización normalizar los datos para permitir un procesamiento, navegación y manipulación más fáciles.

Como se muestra en la Figura 1A, el módulo de monitorización y análisis 130 se conecta funcionalmente al sistema de control 160 que puede cooperar con el módulo de monitorización y análisis 130 para recibir datos de monitorización representativos de un fallo de equipo o funcionamiento fuera del intervalo del uno o más de los componentes/equipos de unidad de producción. Tales datos pueden utilizarse entonces para afectar a la cantidad de materia prima introducida a través de la alimentación 81 para asegurar que se está produciendo la cantidad deseada de producto 103. Adicionalmente, en un funcionamiento ilustrativo, el sistema de control 160 puede proporcionar instrucciones de control por una red de comunicación (no se muestra) a los componentes/equipos de unidad de producción para ajustar el funcionamiento de tales componentes/equipos de unidad de producto (por ejemplo, aumentar o disminuir la presión) a través de una unidad de control (no se muestra) ubicada en cada uno de los valores descritos de presión que puede funcionar para abrir y cerrar una válvula deseada.

Adicionalmente, como se muestra en la Figura 1A, el módulo de monitorización y análisis 130 puede funcionar para exponer los datos monitorizados y analizados mediante una o más representaciones gráficas 170 y 175 a unos usuarios/operarios participativos para permitir a los usuarios y operarios obtener condiciones de acontecimientos ambientales, funcionales y de fallo de la planta de producción de una manera eficiente y óptima. Tales datos pueden exponerse localmente al módulo de monitorización y análisis 130 y/o a uno o más dispositivos cooperativos de cómputo 165 que podrían tener características de mayor movilidad.

Un experto en la técnica apreciará que aunque la planta de producción descrita en la Figura 1A es una planta de producción de HyCO por PSA, esto es solamente ilustrativo, y los conceptos inventivos descritos en esta memoria pueden ser aplicados a cualquier planta de producción que tenga una línea de producción que tenga múltiples etapas y tenga unidades de producción cíclica asíncrona.

Las Figuras 2 - 9 son diversos gráficos representativos de diversos datos recopilados y procesados según los métodos descritos en esta memoria. La Figura 2 muestra los datos recopilados de oscilación de presión observados en una planta de producción (por ejemplo, planta de producción por PSA) de un sensor de presión en el que se toman mediciones con una tasa de una lectura por segundo. Como se muestra, en la Figura 2, los datos recopilados de presión 200 comprenden una representación basada en dominio de tiempo 205 de valores de presión 220 que son trazados en unidades seleccionadas de valor de presión (por ejemplo, Pa o MPa) 215 a lo largo de un intervalo de tiempo seleccionado 210.

La Figura 3 muestra un trazado gráfico de los datos de presión que han sido transformados del dominio de tiempo al dominio de frecuencia por la aplicación de una transformada de Fourier discreta (DFT). Como se muestra en la Figura 3, el trazado gráfico 300 comprende una representación en dominio de frecuencia 305 de los datos transformados de presión (por ejemplo, cuatro horas de datos de presión que tienen un intervalo de un segundo). El trazado gráfico 300 muestra esos datos transformados registrados en cuatro amplitudes armónicas substancialmente significativas 320, 325, 330, 335 que son trazados en unidades seleccionadas de amplitud 315 a lo largo de un intervalo seleccionado de frecuencia 310. En la Figura 3, los picos armónicos transformados representan los armónicos primario, secundario, terciario y cuarto de los datos de presión oscilatoria descritos en la Figura 2. Ilustrativamente, cada armónico representa la duración de una o más etapas de un proceso de producción asíncrona cíclica que emplea varias unidades de producción en cascada necesarias para generar producto a partir de una alimentación específica (como se muestra en la Figura 1A) (por ejemplo, una planta de producción de PSA). En una implementación ilustrativa, el armónico fundamental (por ejemplo, armónico primario) representa el funcionamiento de la presión para la totalidad de un ciclo completo de producción. Cada armónico subsiguiente representa funcionamientos de presión de etapas más discretas del ciclo de producción.

En un funcionamiento ilustrativo, los datos transformados pueden ser analizados para determinar qué pico de armónico y su frecuencia de los datos transformados representan la etapa más corta del ciclo de producción. Esta determinación puede ser realizada calculando el inverso de la frecuencia del pico armónico identificado y comparando con la duración en tiempo de la etapa más corta del ciclo de producción. En el funcionamiento ilustrativo, este pico de armónico llega a ser el último pico de armónico de interés dado que los picos de armónicos adicionales observados describen datos (por ejemplo, datos de presión de una planta de PSA) para menos que una etapa completa del proceso de producción.

La Figura 4 muestra un trazado gráfico 400 que muestra el logaritmo de la razón de amplitudes de los terceros picos de los datos transformados de producción (por ejemplo, datos de presión) de un ejemplo de lecho A de PSA y un ejemplo

de lecho G de PSA en funcionamientos normales de planta. Como se muestra, los datos trazados 420 representan los valores 415 calculados como el logaritmo de la razón de amplitudes del último pico armónico significativo (por ejemplo, tercer pico) de los datos transformados de producción, como se describe en la Figura 3 para dos unidades de producción (por ejemplo, dos lechos de PSA), a lo largo de unidades seleccionadas de tiempo 410. Adicionalmente, como se muestra en la Figura 4, el trazado gráfico 400 comprende un límite superior 425 y un límite inferior 430. En una implementación ilustrativa, el límite superior 425 y el límite inferior 430 pueden ser calculados mediante la recopilación de datos de planta de producción para el funcionamiento normal observado de una planta de producción en un periodo de tiempo dado de tal manera que la planta de producción genere el rendimiento deseado de producto teniendo en cuenta las fluctuaciones en condiciones funcionales y/o ambientales. En una implementación ilustrativa, tales datos normales de funcionamiento de planta pueden ser observados por un operario de planta y ser almacenados por el módulo de monitorización y análisis 130 de la Figura 1. Además, como se muestra, los casos 440 y 445 de cuando los datos trazados 420 (es decir, el logaritmo calculado de la razón de amplitudes) pasan más allá del límite inferior 430 y del límite superior 425, respectivamente, pueden ser determinados para mostrar cuando los datos procesados de proceso de producción se encuentran fuera del intervalo establecido de funcionamiento normal. La línea central entre los límites superior e inferior se muestra con la línea 435.

Un experto en la técnica apreciará que aunque el método de monitorización y análisis se describe utilizando el logaritmo de la razón de amplitudes, podrían utilizarse otras transformadas de normalización para comparar las características funcionales de dos unidades de producción interdependientes cooperativas de una planta de producción según los conceptos inventivos descritos en esta memoria.

La Figura 5 muestra el trazado gráfico 500 de los datos temporales de ciclo de producción 520 para un proceso de producción (por ejemplo, tiempo de ciclo de una PSA) durante un periodo de tiempo seleccionado. Como se muestra, los datos temporales de ciclo de producción 520 se trazan según unas unidades seleccionadas de valor de tiempo de ciclo 515 en unas unidades seleccionadas de tiempo 510. En una implementación ilustrativa, el tiempo de ciclo es de interés para un operario dado que puede utilizarse para determinar si hay funcionamientos anómalos dentro de la planta de producción por comparación de tiempos de ciclo con rendimientos observados de producto en un periodo de tiempo dado.

La Figura 6 muestra un trazado gráfico 600 de los datos de la tasa de producción 620 del proceso de producción descrito en la Figura 5. Como se muestra, el trazado gráfico 600 comprende datos de tasa de producción 620 que es trazado según una escala seleccionada de unidad de tasa de producción 615 a lo largo de unas unidades seleccionadas de tiempo 610. En una implementación ilustrativa, la tasa de producción es de interés para un operario dado que puede utilizarse para determinar si hay funcionamientos anómalos dentro de la planta de producción por comparación de las tasas de producción con tiempos observados de ciclo de producción en un periodo de tiempo dado.

La Figura 7 muestra un trazado gráfico 700 que muestra el logaritmo de la razón de amplitudes de los terceros picos de datos transformados de producción (por ejemplo, los datos de presión de una planta de PSA) del ejemplo de lecho A de PSA y del ejemplo de lecho G de PSA de la Figura 4 en un punto subsiguiente en el tiempo (es decir, aproximadamente cuatro meses). Como se muestra, los datos trazados 720 representan los valores 715 calculados como el logaritmo de la razón de amplitudes del último pico armónico significativo (por ejemplo, tercer pico) de los datos transformados de producción, como se describe en la Figura 3 para dos unidades de producción (por ejemplo, dos lechos de PSA), a lo largo de unidades seleccionadas de tiempo 710. Adicionalmente, como se muestra en la Figura 7, el trazado gráfico 700 comprende un límite superior 725 y un límite inferior 730. En una implementación ilustrativa, el límite superior 725 y el límite inferior 730 pueden ser calculados mediante la recopilación de datos de planta de producción para el funcionamiento normal observado de una planta de producción en un periodo de tiempo dado de tal manera que la planta de producción genere el rendimiento deseado de producto teniendo en cuenta las fluctuaciones en condiciones funcionales y/o ambientales. En una implementación ilustrativa, tales datos normales de funcionamiento de planta pueden ser observados por un operario de planta y ser almacenados por el módulo de monitorización y análisis 130 de la Figura 1. Además, como se muestra, los casos 740 y 745 de cuando los datos trazados 720 (es decir, el logaritmo calculado de la razón de amplitudes) pasan más allá del límite inferior 730 y del límite superior 725, respectivamente, pueden ser determinados para mostrar cuando los datos procesados de proceso de producción se encuentran fuera del intervalo establecido de funcionamiento normal.

Como se muestra en la Figura 7, el funcionamiento del proceso de producción observado y trazado en el trazado gráfico 700 indica un número substancial de casos en los que los datos de proceso de producción se encuentran fuera del intervalo de funcionamiento normal. En un funcionamiento ilustrativo, al leer el trazado gráfico 700, un operario tendrá una impresión inmediata de que hay varias anomalías en el funcionamiento de una de las unidades de producción observadas (por ejemplo, lecho de PSA). Tal información puede utilizarse para controlar la unidad de producción para eliminar la anomalía.

La Figura 8 muestra un trazado gráfico 800 que muestra el logaritmo de la razón de amplitudes de los terceros picos de datos transformados de producción (por ejemplo, los datos de presión de una planta de PSA) del ejemplo de lecho A de PSA y del ejemplo de lecho G de PSA de la Figura 4 en un punto en el tiempo subsiguiente al de la Figura 7 (es decir, aproximadamente un mes). Como se muestra, los datos trazados 820 representan los valores 815 calculados

como el logaritmo de la razón de amplitudes del último pico armónico significativo (por ejemplo, tercer pico) de los datos transformados de producción, como se describe en la Figura 3 para dos unidades de producción (por ejemplo, dos lechos de PSA), a lo largo de unidades seleccionadas de tiempo 810. Adicionalmente, como se muestra en la Figura 8, el trazado gráfico 700 comprende un límite superior 825 y un límite inferior 830. En una implementación ilustrativa, el límite superior 825 y el límite inferior 830 pueden ser calculados mediante la recopilación de datos de planta de producción para el funcionamiento normal observado de una planta de producción en un periodo de tiempo dado de tal manera que la planta de producción genere el rendimiento deseado de producto teniendo en cuenta las fluctuaciones en condiciones funcionales y/o ambientales. En una implementación ilustrativa, tales datos normales de funcionamiento de planta pueden ser observados por un operario de planta y ser almacenados por el módulo de monitorización y análisis 130 de la Figura 1. Además, como se muestra, los casos 845 y 840 de cuando los datos trazados 820 (es decir, el logaritmo calculado de la razón de amplitudes) pasan más allá del límite inferior 830 y del límite superior 825, respectivamente, pueden ser determinados para mostrar cuando los datos procesados de proceso de producción se encuentran fuera del intervalo establecido de funcionamiento normal.

Como se muestra en la Figura 8, el funcionamiento del proceso de producción observado y trazado en el trazado gráfico 800 indica un número substancial de casos en los que los datos de proceso de producción se encuentran fuera del intervalo de funcionamiento normal. En un funcionamiento ilustrativo, al leer el trazado gráfico 800, un operario tendrá una impresión inmediata de que hay varias anomalías en el funcionamiento de una de las unidades de producción observadas (por ejemplo, lecho de PSA). Tal información puede utilizarse para controlar la unidad de producción para eliminar la anomalía.

La Figura 9 muestra un trazado gráfico 900 que muestra el logaritmo de la razón de amplitudes de los terceros picos de datos transformados de producción (por ejemplo, los datos de presión de una planta de PSA) del ejemplo de lecho A de PSA y del ejemplo de lecho G de PSA de la Figura 4 en un punto en el tiempo subsiguiente al de la Figura 8 (es decir, aproximadamente un mes). Como se muestra, los datos trazados 920 representan los valores 915 calculados como el logaritmo de la razón de amplitudes del último pico armónico significativo (por ejemplo, tercer pico) de los datos transformados de producción, como se describe en la Figura 3 para dos unidades de producción (por ejemplo, dos lechos de PSA), a lo largo de unidades seleccionadas de tiempo 910. Adicionalmente, como se muestra en la Figura 9, el trazado gráfico 900 comprende un límite superior 925 y un límite inferior 930. En una implementación ilustrativa, el límite superior 925 y el límite inferior 930 pueden ser calculados mediante la recopilación de datos de planta de producción para el funcionamiento normal observado de una planta de producción en un periodo de tiempo dado de tal manera que la planta de producción genere el rendimiento deseado de producto teniendo en cuenta las fluctuaciones en condiciones funcionales y/o ambientales. En una implementación ilustrativa, tales datos normales de funcionamiento de planta pueden ser observados por un operario de planta y ser almacenados por el módulo de monitorización y análisis 130 de la Figura 1. Además, como se muestra, los casos 945 y 940 de cuando los datos trazados 920 (es decir, el logaritmo calculado de la razón de amplitudes) pasan más allá del límite inferior 930 y del límite superior 925, respectivamente, pueden ser determinados para mostrar cuando los datos procesados de proceso de producción se encuentran fuera del intervalo establecido de funcionamiento normal.

Como se muestra en la Figura 9, el funcionamiento del proceso de producción observado y trazado en el trazado gráfico 900 indica un número substancial de casos en los que los datos de proceso de producción se encuentran fuera del intervalo de funcionamiento normal. En un funcionamiento ilustrativo, al leer el trazado gráfico 900, un operario tendrá una impresión inmediata de que hay varias anomalías en el funcionamiento de una de las unidades de producción observadas (por ejemplo, lecho de PSA). Tal información puede utilizarse para controlar la unidad de producción para eliminar la anomalía.

Al revisar las Figuras 7, 8 y 9, los trazados gráficos muestran el logaritmo de la razón de amplitudes de los terceros picos de datos transformados de producción (por ejemplo, los datos de presión de una planta de PSA) del ejemplo de lecho A de PSA y del ejemplo de lecho G de PSA de la Figura 4 en tres periodos de tiempo distintos que abarcan aproximadamente tres meses. Se apreciará que a medida que avanza el tiempo, el valor del logaritmo de la razón de amplitudes aumenta uniformemente y sale de los límites de control. Armados con estos datos, los operarios pueden trabajar rápidamente para identificar las unidades de producción que trabajan anómalamente y corregir su funcionamiento para evitar fallos en cascada entre unidades de producción interdependientes (por ejemplo, lechos de producción de una planta de PSA), y, lo que es más importante, para evitar un cierre total de la planta de producción.

La Figura 10 representa el ejemplo de método de monitorización y análisis 1000. Como se muestra, el procesamiento para el método de monitorización y análisis 1000 comienza en el bloque 1005 y continúa al bloque 1010, en el que se recopilan datos de sensor durante un periodo de tiempo predeterminado según una tasa predeterminada de muestreo. En una implementación ilustrativa, los datos de sensor son representativos del funcionamiento de un componente/equipo de unidad de producción de una línea de producción cíclica asíncrona multietapa (por ejemplo, la válvula de una línea de producción de PSA que tiene múltiples lechos de producción). El procesamiento continúa entonces al bloque 1015, en el que se filtran los datos recopilados (por ejemplo, utilizando funciones de ventanas tal como ventanas de Hann, de Hamming y de Tukey que funcionan ilustrativamente para eliminar efectos de extremo en señales de tamaño finito) como preparación para aplicar una transformada de Fourier discreta (DFT) que ocurre en el bloque 1020. Los datos transformados son procesados aún más en el bloque 1025 en el que se identifican los picos, las frecuencias y las amplitudes pertinentes de los datos transformados. En una implementación ilustrativa, un pico

5 pertinente puede comprender un pico del que la inversa de su frecuencia es más larga que la etapa más corta en el proceso de producción multietapa. Una vez que se identifican los picos pertinentes, en una implementación ilustrativa, en el bloque 1030 se calcula un logaritmo de la razón de las amplitudes ("razones de amplitudes") de los picos identificados. En el bloque 1035 se determinan los límites aceptables, superior e inferior, para el logaritmo calculado de la razón de amplitud aplicados a datos pico.

10 En una implementación ilustrativa, los límites aceptables, superior e inferior, pueden ser determinados prácticamente por observación del funcionamiento normal/óptimo de uno o más componentes/equipos de producción. El procesamiento continúa entonces al bloque 1040, en el que se calculan los logaritmos de las razones de amplitudes de los datos que representan los datos monitorizados para otros componentes/equipos de unidad de producción. El procesamiento continúa entonces al bloque 1045 en el que se realiza una comparación para cada uno de los logaritmos calculados de las razones de amplitudes para determinar si los valores están dentro de los límites superior e inferior identificados en el bloque 1035. Si la comparación indica que el logaritmo calculado de las razones de amplitudes está fuera de los límites definidos, superior e inferior, el procesamiento continúa al bloque 1050 en el que se realiza una comprobación para determinar si el logaritmo identificado de la razón de amplitudes calculada en el bloque 1045 es estadísticamente significativo. En una implementación ilustrativa, puede aplicarse uno o más algoritmos y metodologías estadísticas más comúnmente practicados para ayudar a determinar si el logaritmo calculado de intervalo excesivo identificado de la razón de amplitudes es estadísticamente significativo en el contexto del funcionamiento de un componente/equipo individual de unidad de producción y en el contexto del funcionamiento de la planta de producción en su conjunto (por ejemplo, ilustrativamente, puede definirse una ventana de funcionamiento normal basada en el conocimiento, que tiene el personal de una planta, de un proceso que funciona bien. La desviación típica y media de la cantidad de interés - en este caso, el logaritmo de la razón de amplitudes de terceros picos de dos DFT de señales de presión de lechos de PSA — se puede calcular en la ventana de funcionamiento normal. Entonces los límites de funcionamiento bueno se pueden definir como la media más y menos tres veces la desviación típica. Para datos nuevos, si la cantidad de interés está fuera de los límites identificados antes, puede considerarse estadísticamente diferente al funcionamiento normal. Para evitar falsas alarmas debidas a fluctuaciones repentinas, el funcionamiento puede marcarse como funcionamiento fuera de los límites de funcionamiento normal si la señal permanece continuamente fuera de los límites durante un periodo de tiempo preseleccionado). Si la comprobación en el bloque 1050 indica que el resultado de la comparación realizada en el bloque 1045 es estadísticamente significativa, el procesamiento continúa al bloque 1055, en el que se genera una alarma. En una implementación ilustrativa, la alarma generada puede ser comunicada a un sistema de control cooperativo para permitir al sistema de control suspender el funcionamiento de uno o más componentes/equipos de unidad de producción. El procesamiento vuelve entonces al bloque 1040 y continúa desde allí.

35 Sin embargo, si la comprobación en el bloque 1045 indica que la comparación del logaritmo calculado de las razones de amplitudes está dentro de los límites identificados, superior e inferior, el procesamiento vuelve al bloque 1040 y continúa desde allí. Similarmente, si la comprobación en el bloque 1050 indica que el resultado de la comparación realizada en el bloque 1045 no es estadísticamente significativa, el procesamiento vuelve al bloque 1040 y continúa desde allí.

40 Aunque el ejemplo de método de monitorización y análisis 1000 se describe como aplicación del logaritmo de la razón de amplitudes a los picos relativos identificados de los datos transformados, tal procesamiento es meramente ilustrativo y un experto en la técnica podría aplicar otros tipos de manipulaciones matemáticas, tal como cálculo de la raíz cuadrática media, cálculo de promedio y otras manipulaciones matemáticas que tengan como resultado la normalización de datos.

50 La Figura 11 representa un ejemplo de sistema de cómputo 1100 según el sistema y los métodos descritos en esta memoria. El sistema de cómputo 1100 es capaz de ejecutar una variedad de aplicaciones de cómputo 1180. Las aplicaciones de cómputo 1180 pueden comprender aplicaciones de cómputo, subprogramas de cómputo, programas de cómputo y otros conjuntos de instrucciones que funcionan en el sistema de cómputo 1100 para realizar por lo menos una función, operación y/o procedimiento. El ejemplo de sistema de cómputo 1100 es controlado principalmente por instrucciones legibles por ordenador, que pueden ser en forma de software. Las instrucciones legibles por ordenador pueden contener instrucciones para que el sistema de cómputo 1100 almacene y acceda a las propias instrucciones legibles por ordenador. Tal software puede ser ejecutado dentro de una unidad de procesamiento central (CPU) 1110 para hacer que el sistema de cómputo 1100 trabaje. En muchos servidores informáticos, estaciones de trabajo y ordenadores personales conocidos, la CPU 1110 se implementa mediante unas CPU de chip microelectrónico llamados microprocesadores. Un coprocesador 1115 es un procesador opcional, distinto de la CPU 1110 (es decir, la CPU principal), que realiza funciones adicionales o ayuda a la CPU 1110. La CPU 1110 puede conectarse al coprocesador 1115 mediante la interconexión 1112. Un tipo común de coprocesador es el coprocesador de coma flotante, también llamado coprocesador numérico o matemático, que está diseñado para realizar cálculos numéricos de manera más rápida y mejor que una CPU de uso general.

65 En funcionamiento, la CPU 1110 trae, decodifica y ejecuta instrucciones, y transfiere información hacia y desde otros recursos a través del recorrido principal de transferencia de datos del ordenador, bus de sistema 1105. Tal bus de sistema conecta los componentes en el sistema de cómputo 1100 y define el medio para el intercambio de datos. Los dispositivos de memoria acoplados al bus de sistema 1105 incluyen memoria de acceso aleatorio (RAM) 1125 y

memoria de solo lectura (ROM) 1130. Tales memorias incluyen circuitos que permiten almacenar y recuperar información. La ROM 1130 contiene generalmente datos almacenados que no pueden ser modificados. Los datos almacenados en la RAM 1125 pueden ser leídos o cambiados por la CPU 1110 u otros dispositivos de hardware. El acceso a la RAM 1125 y/o a la ROM 1130 puede ser controlado por un controlador 1120 de memoria. El controlador 1120 de memoria puede proporcionar una función de traducción de direcciones que traduce las direcciones virtuales en direcciones físicas a medida que se ejecutan las instrucciones.

Además, el sistema de cómputo 1100 puede contener un controlador 1135 de periféricos responsable de comunicar instrucciones desde la CPU 1110 a los periféricos, tal como impresora 1140, teclado 1145, ratón 1150 y unidad de almacenamiento 1155 de datos. La pantalla 1165, que es controlada por un controlador 1163 de pantalla, se utiliza para exponer una salida visual generada por el sistema de cómputo 1100. Tal salida visual puede incluir texto, gráficos, gráficos animados y vídeo. El controlador 1163 de pantalla incluye componentes electrónicos necesarios para generar una señal vídeo que es enviada a la pantalla 1165. Además, el sistema de cómputo 1100 pueden contener un adaptador de red 1170 que puede utilizarse para conectar el sistema de cómputo 1100 a una red externa de comunicaciones 1160.

El sistema de cómputo 1100, descrito arriba, puede instalarse como parte de una red informática. En general, la descripción antes mencionada para entornos de cómputo se aplica tanto a ordenadores de servidor como a ordenadores de cliente instalados en un entorno de red.

La Figura 12 ilustra un ejemplo ilustrativo de entorno de cómputo 1200 en red, con un servidor en comunicación con ordenadores cliente a través de una red de comunicaciones, en el que puede emplearse el aparato y los métodos descritos en esta memoria. Como se muestra en la Figura 12, un entorno de cómputo de servidor 1205 puede interconectarse a través de una red externa de comunicaciones 1160 (que puede ser cualquiera o una combinación de una LAN de cables fijos o inalámbrica, una WAN, intranet, extranet, red entre iguales (*peer-to-peer*), red privada virtual, internet u otra red de comunicaciones) con varios entornos de cómputo de cliente tal como un ordenador personal en tableta 1210, teléfono móvil 1215, teléfono 1220, sistema informático 1100 y PDA (*personal digital assistant*) 1225. En un entorno de red en el que la red externa de comunicaciones 1160 es internet, por ejemplo, el entorno de cómputo de servidor 1205 pueden ser unos servidores dedicados de entorno de cómputo que funcionan para procesar y comunicar datos hacia y desde el sistema de cómputo 1100, ordenador personal en tableta 1210, teléfono móvil 1215, teléfono 1220, PDA (*personal digital assistant*) 1225 y sistema de control 1230 a través de cualquiera de varios protocolos conocidos, tal como protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP), protocolo de transferencia de archivos (FTP), protocolo simple de acceso a objetos (SOAP), protocolo de aplicaciones inalámbricas (WAP) o protocolo de internet (IP). Adicionalmente, el entorno de cómputo 1200 en red puede utilizar diversos protocolos de seguridad de datos, tales como capa de conexión segura (SSL) o privacidad bastante buena (PGP). El sistema de cómputo 1100, ordenador personal en tableta 1210, teléfono móvil 1215, teléfono 1220, PDA (*personal digital assistant*) 1225 y sistema de control 1230 pueden estar equipados, cada uno, con un sistema operativo que puede funcionar para soportar una o más aplicaciones de cómputo, tal como un navegador de internet (no se muestra), u otra interfaz gráfica (no se muestra), aplicación de exposición/navegación de datos de entorno o un entorno de escritorio móvil (no se muestra) para obtener acceso al entorno de cómputo de servidor 1205.

En funcionamiento, un usuario (no se muestra) puede interactuar con una aplicación de cómputo que se ejecuta en un entorno de cómputo de cliente para obtener los datos y/o aplicaciones de cómputo deseados. Los datos y/o las aplicaciones de cómputo pueden ser almacenados en un entorno de cómputo de servidor 1205 y comunicarse a usuarios cooperativos a través del sistema de cómputo 1100, ordenador personal en tableta 1210, teléfono móvil 1215, teléfono 1220, PDA (*personal digital assistant*) 1225, o sistema de control 1230 en un ejemplo de red externa de comunicaciones 1160. Un usuario participativo puede solicitar acceso a datos y aplicaciones específicos alojados en el total o en parte del entorno de cómputo de servidor 1205. Estos datos pueden ser comunicados entre el sistema de cómputo 1100, ordenador personal en tableta 1210, teléfono móvil 1215, teléfono 1220, PDA (*personal digital assistant*) 1225, sistema de control 1230 y entorno de cómputo de servidor 1205 para el procesamiento y el almacenamiento. El entorno de cómputo de servidor 1205 puede albergar aplicaciones de cómputo, procesos y subprogramas para la generación, autenticación, codificación y comunicación de datos y aplicaciones y puede cooperar con otros entornos de cómputo de servidor (no se muestra), proveedores de internet de terceros (no se muestra), almacenamiento conectado a red (NAS) y las redes de área de almacenamiento (SAN) para realizar transacciones de aplicaciones/datos.

También cabe señalar que los sistemas y los métodos descritos en esta memoria pueden implementarse en una variedad de entornos electrónicos (incluidos los entornos informáticos inalámbricos y no inalámbricos, incluidos los teléfonos móviles y videollamada), entornos de cómputo parcial y entornos del mundo real. Las diversas técnicas descritas en esta memoria pueden implementarse en hardware o software, o en una combinación de los dos. Preferiblemente, las técnicas se implementan en entornos de cómputo que mantienen ordenadores programables que incluyen una red informática, procesador, servidores, un medio de almacenamiento legible por el procesador (incluidos memoria volátil y no volátil y/o elementos de almacenamiento), por lo menos un dispositivo de entrada y por lo menos un dispositivo de salida. La lógica de hardware de cómputo que coopera con diversos conjuntos de instrucciones se aplica a los datos para realizar las funciones descritas arriba y para generar información de salida. La información de salida se aplica a uno o más dispositivos de salida. Los programas utilizados por el ejemplo de hardware de cómputo

pueden implementarse preferiblemente en diversos lenguajes de programación, que incluye lenguaje de programación de alto nivel procesal u orientado a objetos para comunicarse con un sistema informático. Ilustrativamente el aparato y los métodos descritos en esta memoria pueden implementarse en lenguaje ensamblador o de máquina, si se desea. En todo caso, el lenguaje puede ser un lenguaje compilado o interpretado. Cada uno de esos programas informáticos se almacena preferiblemente en un soporte o dispositivo de almacenamiento (por ejemplo, ROM o disco magnético) que es legible por un ordenador programable de uso general o especial para configurar y manejar el ordenador cuando el soporte o dispositivo de almacenamiento son leídos por el ordenador para realizar los procedimientos descritos arriba. El aparato también puede ser considerado para ser implementado como un soporte de almacenamiento legible por ordenador, configurado con un programa informático, en el que el soporte de almacenamiento configurado así hace que un ordenador funcione de una manera específica y predefinida.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Aparato para monitorización y análisis (130) para el uso en una planta de producción (100), el aparato comprende un procesador de cómputo que puede funcionar para:

10 recibir datos funcionales de uno o más sensores (120) que funcionan para percibir y comunicar los datos representativos del funcionamiento de por lo menos dos componentes (110) de unidad de producción cíclica asíncrona, utilizados en el proceso de producción en un intervalo de tiempo seleccionado;

15 procesar los datos funcionales recibidos para transformar los datos funcionales recibidos desde un dominio de tiempo a datos generados en dominio de frecuencia que tienen armónicos;

20 procesar los datos en dominio de frecuencia para calcular un valor de amplitud de cada uno del por lo menos un pico de los armónicos de los datos en dominio de frecuencia;

identificar el valor de la amplitud del pico de un armónico significativo de los datos en dominio de frecuencia para cada uno de los por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona;

25 aplicar una función matemática de normalización de datos a los valores identificados de amplitud para calcular anomalías en los valores identificados de amplitud entre dos componentes seleccionados de unidad de producción cíclica asíncrona de los por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona en comparación con datos representativos de valores de amplitud de funcionamiento normal para generar datos procesados de monitorización de componente de unidad de producción para los dos componentes seleccionados de unidad de producción cíclica asíncrona; y

30 almacenar los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción.
- 35 2. El aparato según la reivindicación 1, en donde la transformada utilizada para generar los datos en dominio de frecuencia se selecciona del grupo de una transformada de Fourier discreta (DFT), transformada de Laplace e histograma.
- 40 3. El aparato según la reivindicación 1 o 2, en donde cada uno de los por lo menos dos componentes de unidad de producción comprende un lecho de adsorción por oscilación de presión (PSA).
- 45 4. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde cada uno del uno o más sensores es un sensor de presión y los datos representativos del funcionamiento de por lo menos dos componentes de unidad de producción comprenden datos de presión.
- 50 5. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el pico del armónico significativo tiene una frecuencia que es igual al inverso de una duración de una única etapa de un proceso de producción realizada por cada uno de los por lo menos dos componentes de unidad de producción.
- 55 6. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que funciona además para definir unos límites de datos funcionales representativos de un intervalo deseado de funcionamiento para las por lo menos dos unidades de producción y para procesar los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción para determinar si los datos están dentro de los límites definidos de datos funcionales.
- 60 7. El aparato según la reivindicación 6, que puede funcionar además para generar datos de alarma representativos de casos cuando los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción se encuentran fuera de los límites funcionales definidos.
- 65 8. El aparato según la reivindicación 7, que puede funcionar además para comunicar los datos generados de alarma a un aparato de control cooperativo de componente de unidad de producción para uso en proporcionar operaciones automatizadas de control a los por lo menos dos componentes de unidad de producción.
9. Una planta de producción que comprende una pluralidad de unidades de producción, uno o más sensores que funcionan para percibir y comunicar los datos representativos del funcionamiento de dichas unidades de producción, y un aparato de monitorización y análisis según cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
- 70 10. Un método para monitorizar y analizar los datos funcionales de una planta de producción (100) que comprende:

75 recibir datos funcionales de uno o más sensores (120) que funcionan para percibir y comunicar los datos representativos del funcionamiento de por lo menos dos componentes (110) de unidad de producción cíclica asíncrona, utilizados en el proceso de producción en un intervalo de tiempo seleccionado;

80 procesar los datos funcionales recibidos para transformar los datos funcionales recibidos desde un dominio de tiempo a datos generados en dominio de frecuencia que tienen armónicos;

85 procesar los datos en dominio de frecuencia para calcular un valor de amplitud de cada uno de por lo menos un pico de los armónicos de los datos en dominio de frecuencia;

identificar el valor de la amplitud del pico de un armónico significativo de los datos en dominio de frecuencia para cada uno de los por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona;

90 aplicar una función matemática de normalización de datos a los valores identificados de amplitud para calcular

- 5 anomalías en los valores identificados de amplitud entre dos componentes seleccionados de unidad de producción cíclica asíncrona de los por lo menos dos componentes de unidad de producción cíclica asíncrona en comparación con datos representativos de valores de amplitud de funcionamiento normal para generar datos procesados de monitorización de componente de unidad de producción para los dos componentes seleccionados de unidad de producción cíclica asíncrona; y almacenar los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción.
- 10 11. El método según la reivindicación 10, que comprende además calcular el logaritmo de la razón de los valores identificados de amplitud, el logaritmo de los datos de razón de amplitud representativos del logaritmo de la razón de los valores identificados de amplitud entre los dos componentes seleccionados de unidad de producción de los por lo menos dos componentes de unidad de producción para generar los datos procesados de monitorización de componente de unidad de producción para los dos componentes seleccionados de unidad de producción.
- 15 12. El método según la reivindicación 10 o la reivindicación 11, que comprende además definir unos límites de datos funcionales representativos de un intervalo deseado de funcionamiento para las por lo menos dos unidades de producción y procesar los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción para determinar si los datos están dentro de los límites definidos de datos funcionales.
- 20 13. El método según la reivindicación 12, que comprende además generar datos de alarma representativos de casos cuando los datos procesados generados de monitorización de componente de unidad de producción se encuentran fuera de los límites funcionales definidos.
- 25 14. El método según la reivindicación 12 o la reivindicación 13, que comprende además aplicar un algoritmo estadístico seleccionado a los datos procesados generados de componente de unidad de producción para identificar estadísticamente casos significativos cuando los datos procesados generados de componente de unidad de producción están fuera de los límites funcionales de datos.
- 30 15. El método según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en donde los límites funcionales de datos son calculados por procesamiento de los datos históricos recibidos de componente de unidad de producción.
16. El método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, en donde el armónico significativo de los datos transformados en dominio de frecuencia comprende el armónico que tiene una frecuencia y el inverso de la frecuencia del último armónico significativo de los datos transformados en dominio de frecuencia es mayor que el tiempo necesario para completar una única etapa de un ciclo de producción del proceso de producción.

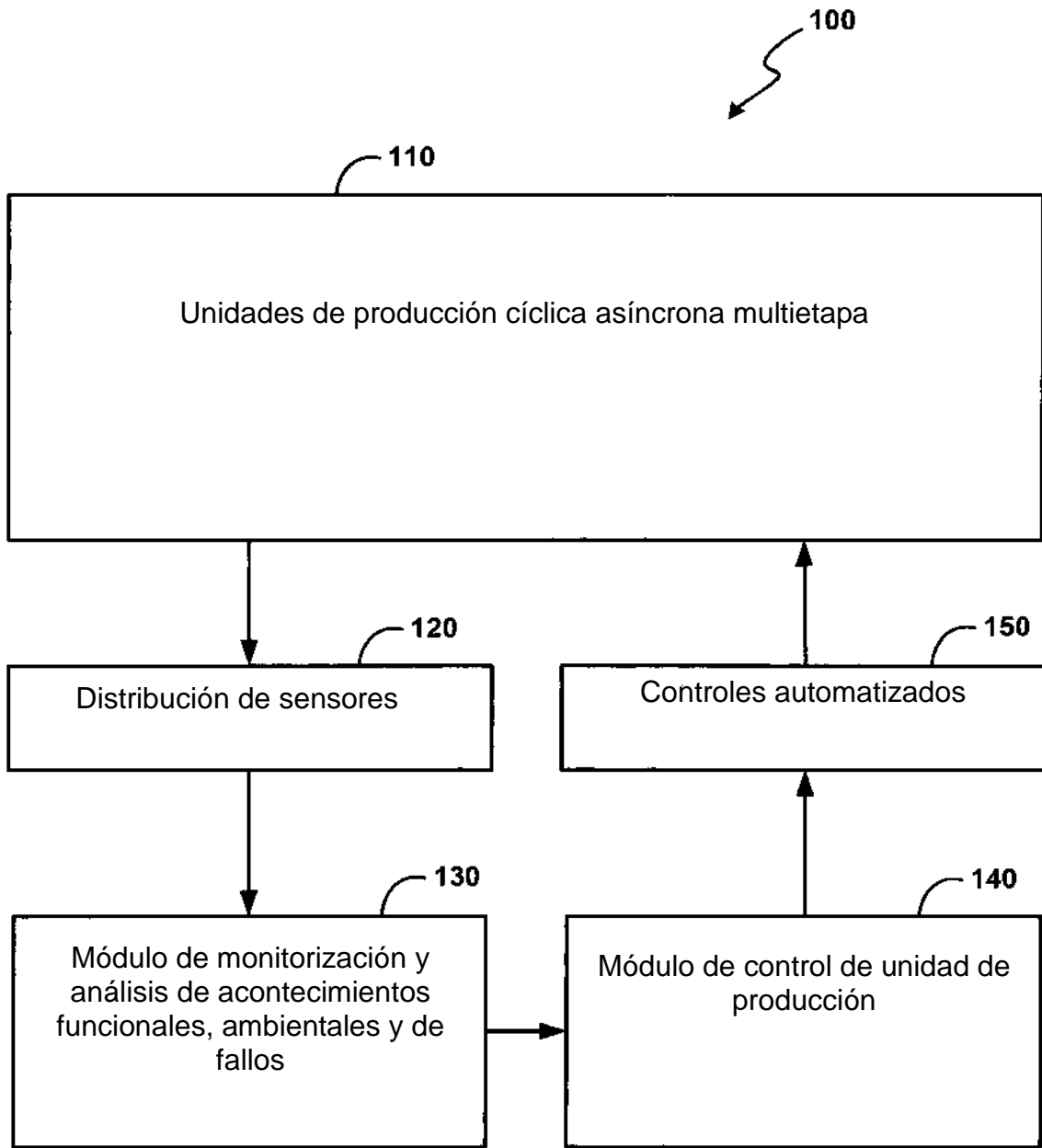


Fig. 1

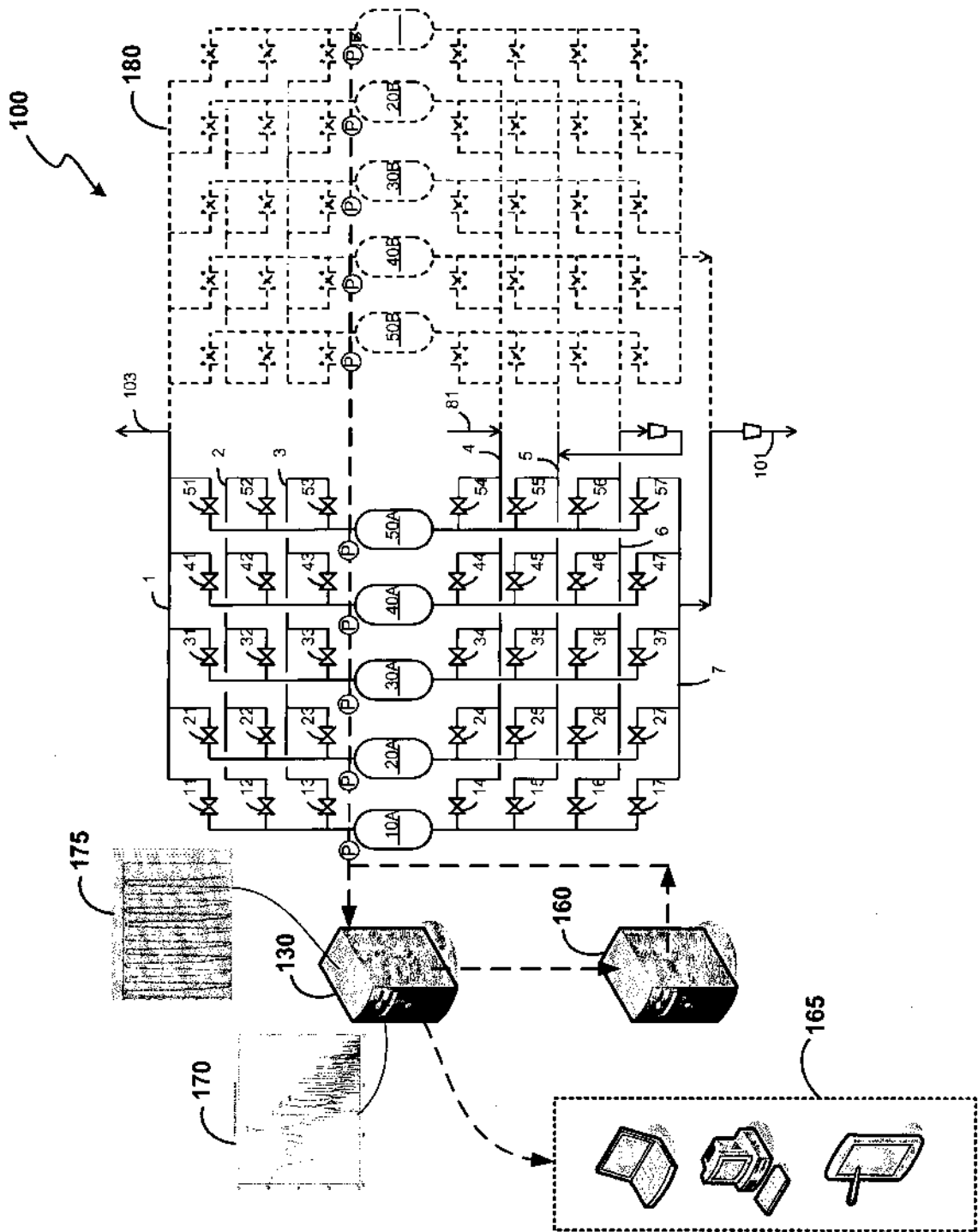


Fig. 1A

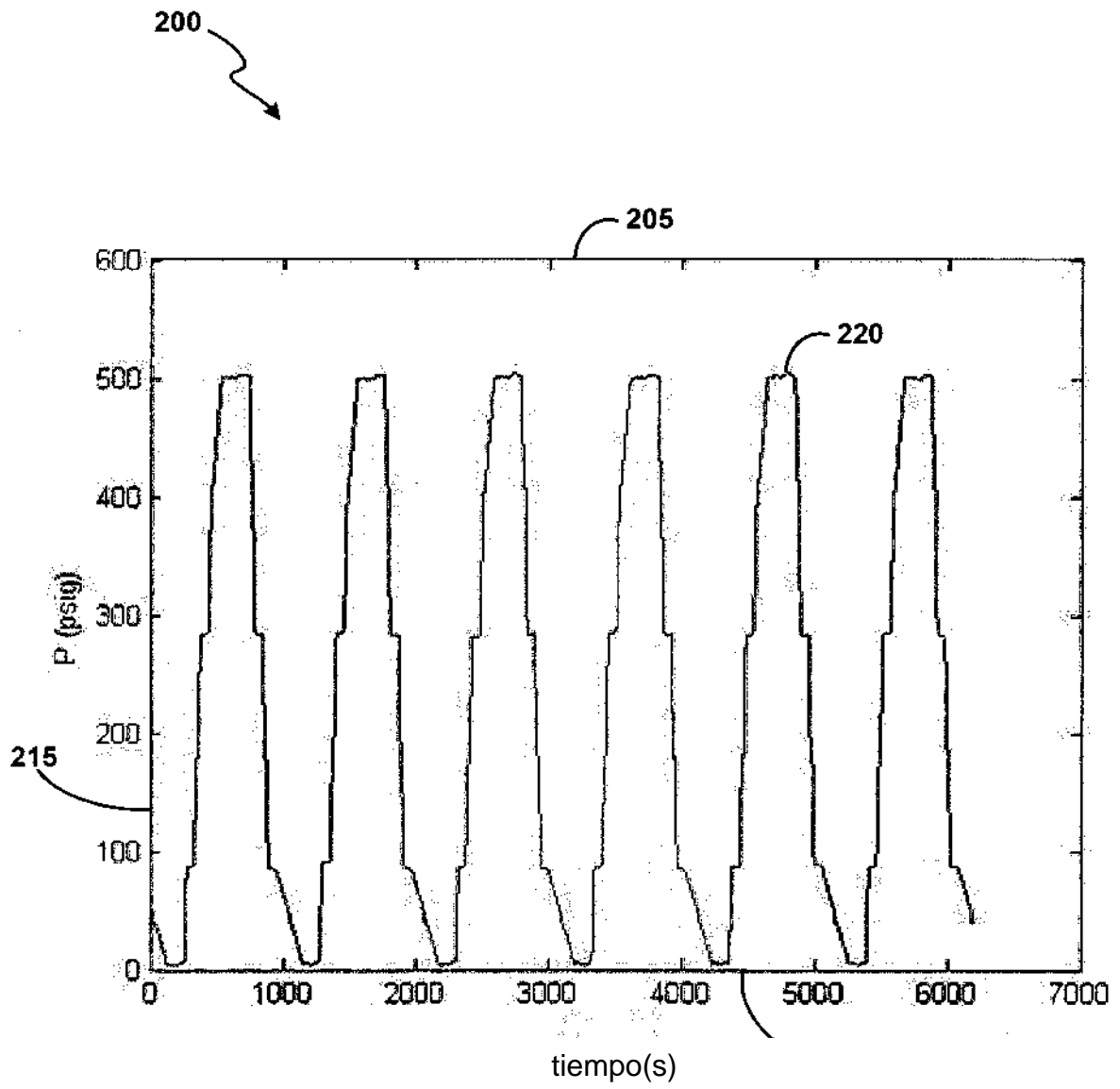


Fig. 2

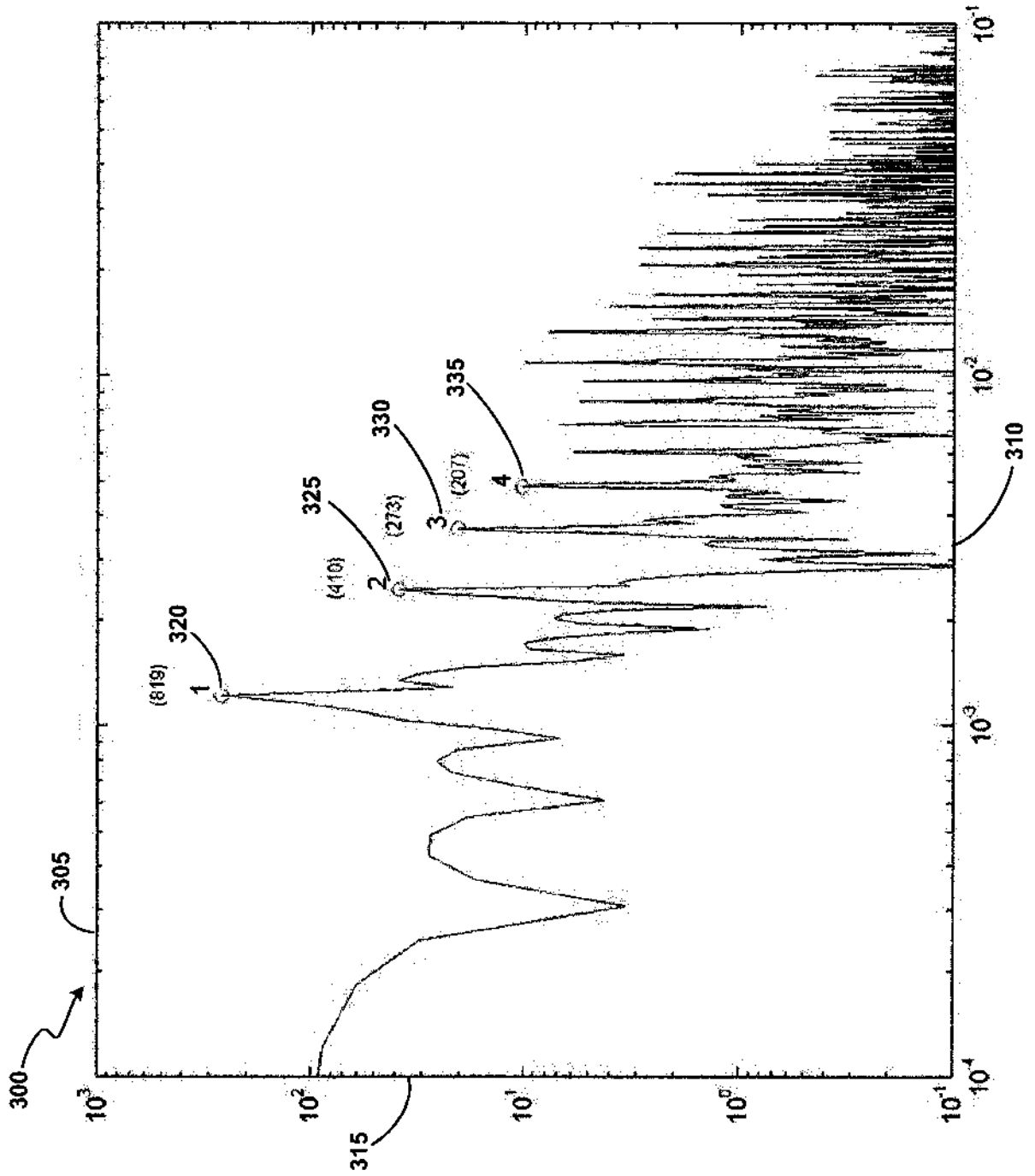


Fig. 3

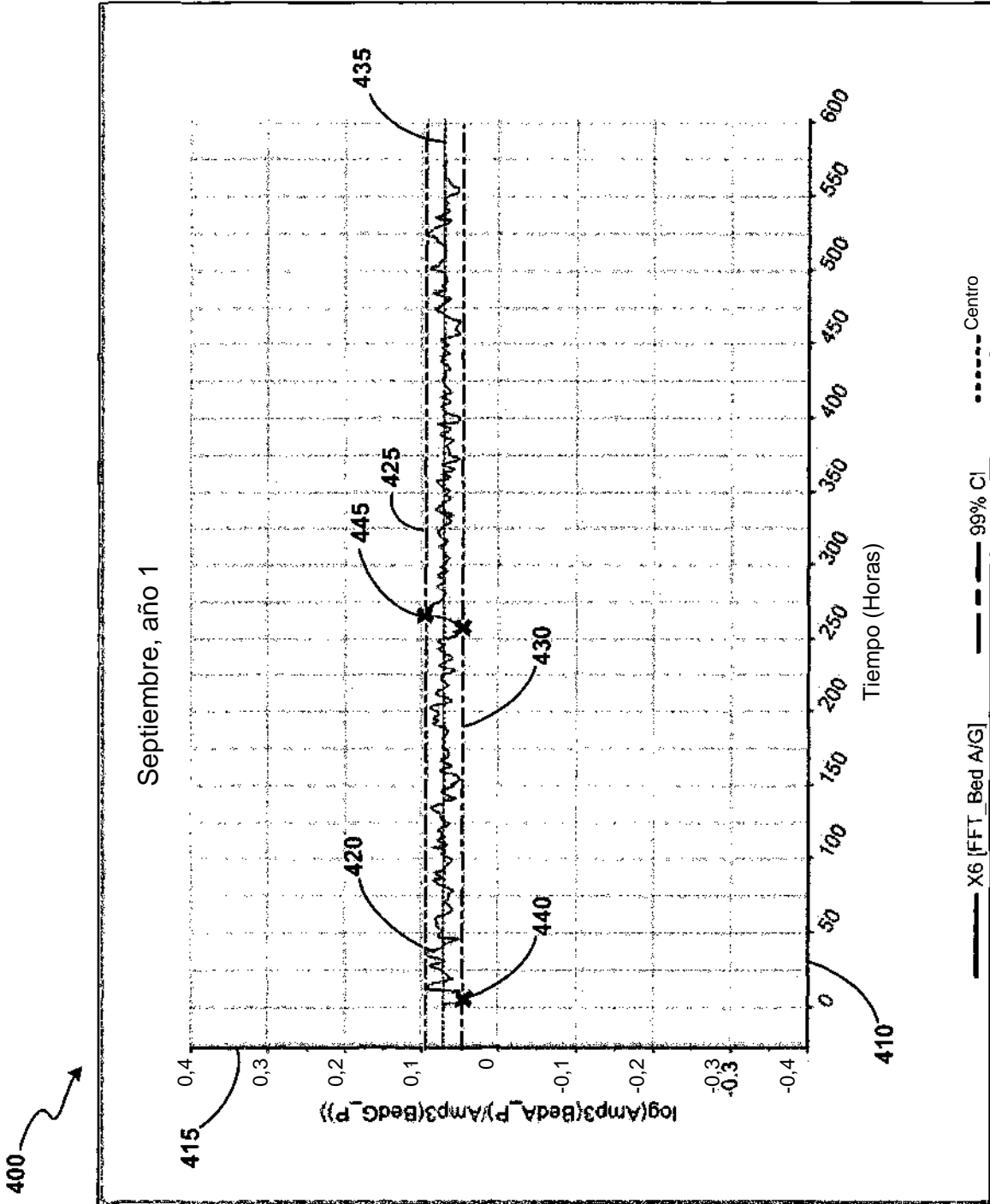


Fig. 4

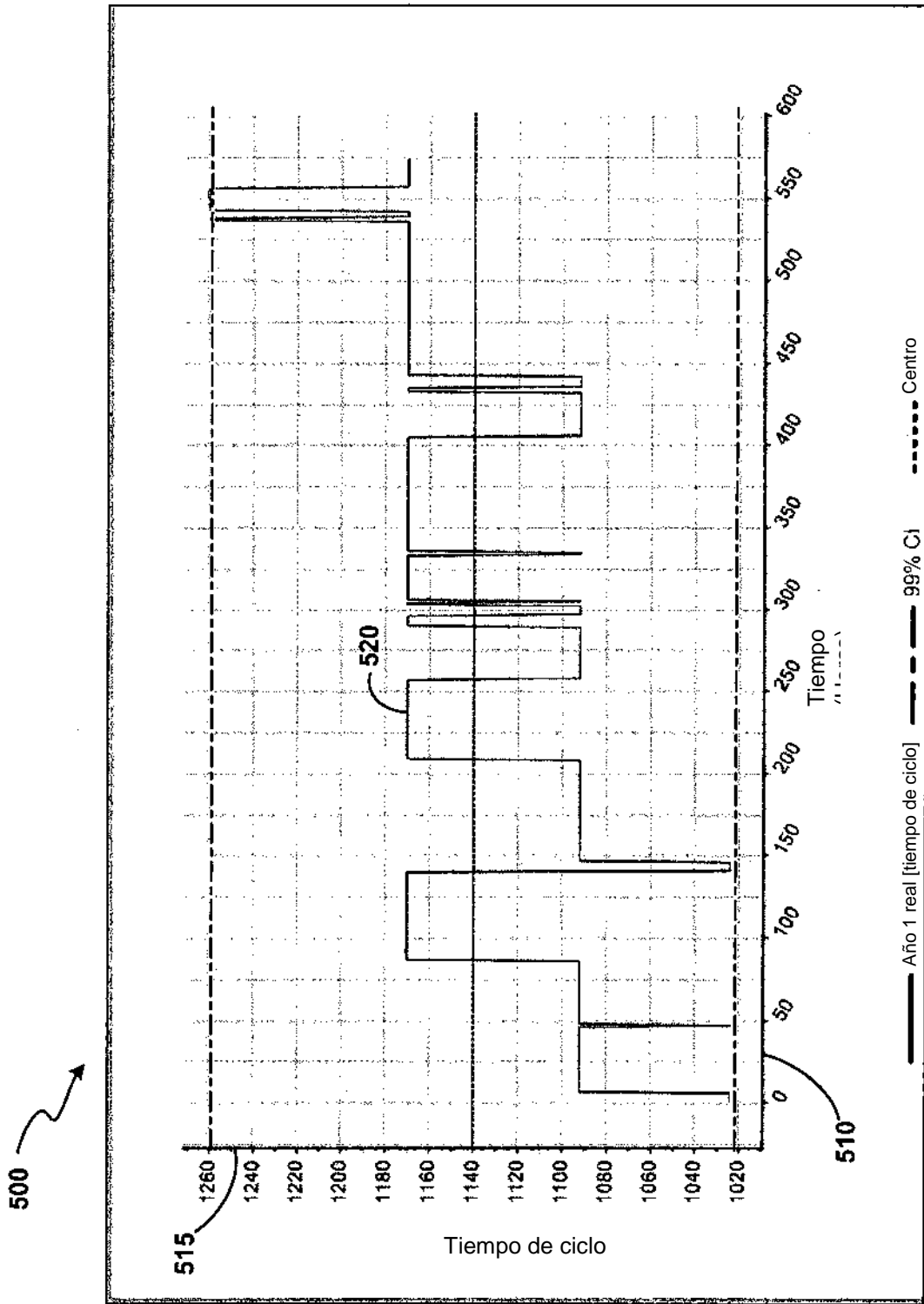


Fig. 5

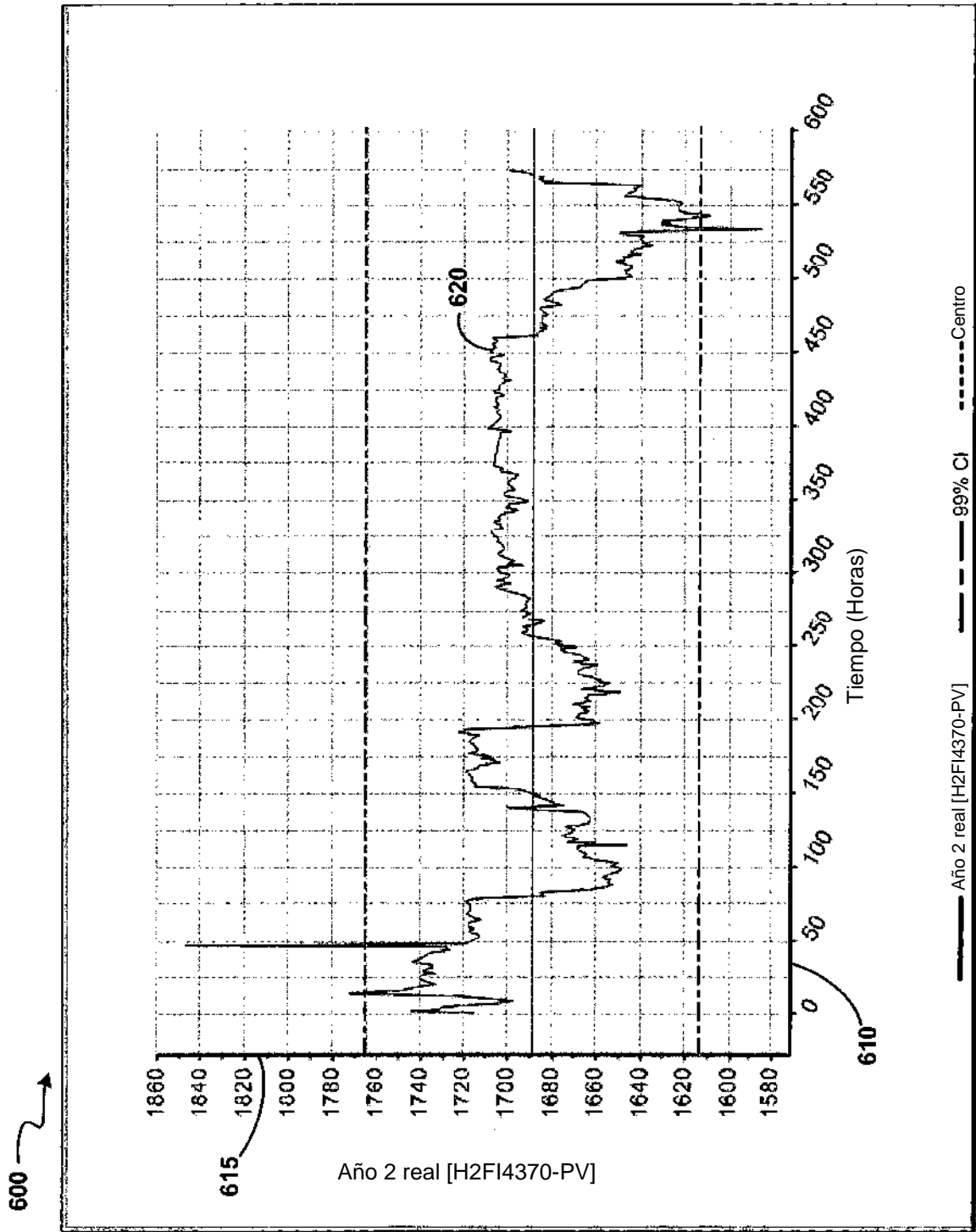


Fig. 6

700 →

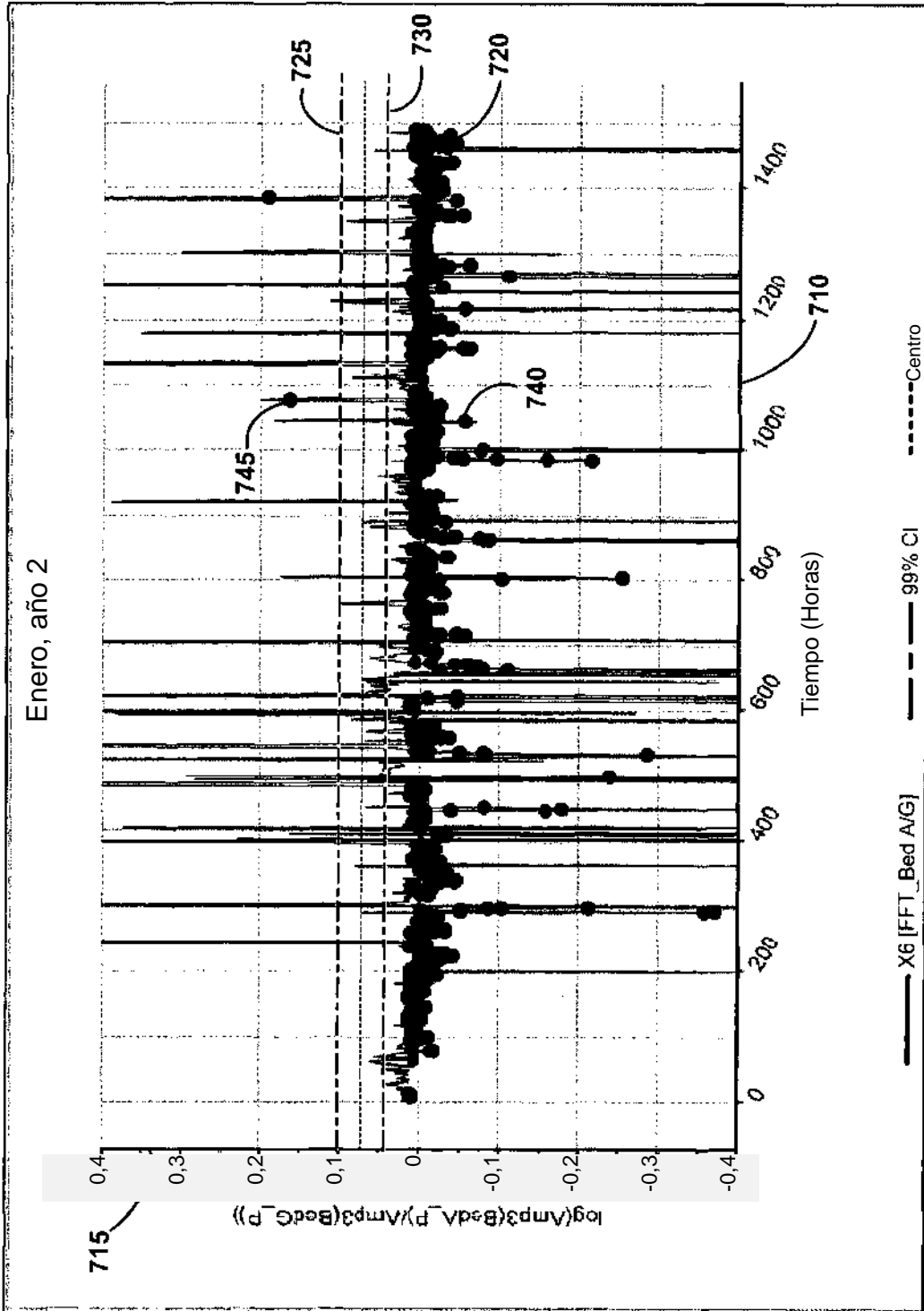


Fig. 7

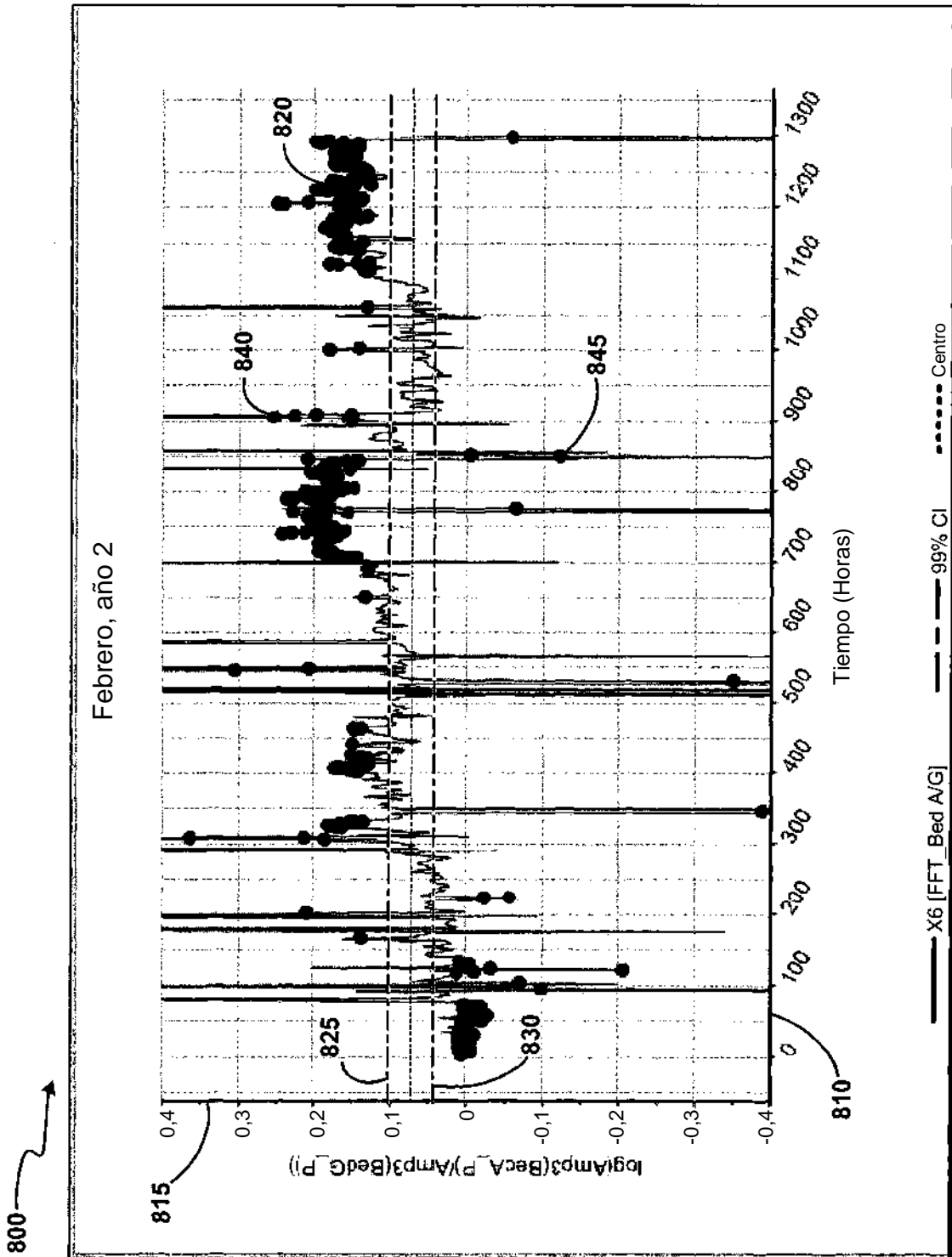


Fig. 8

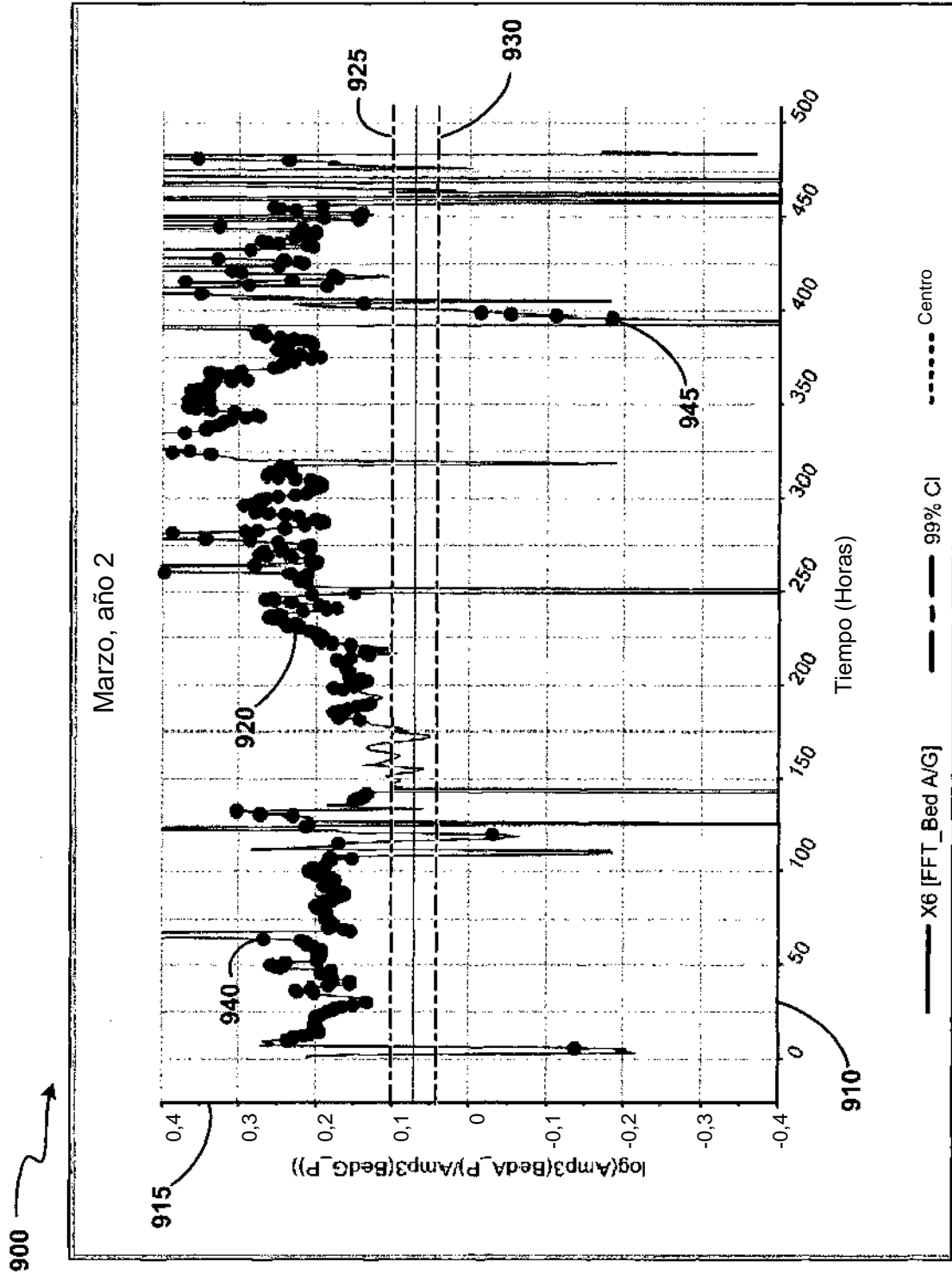


Fig. 9

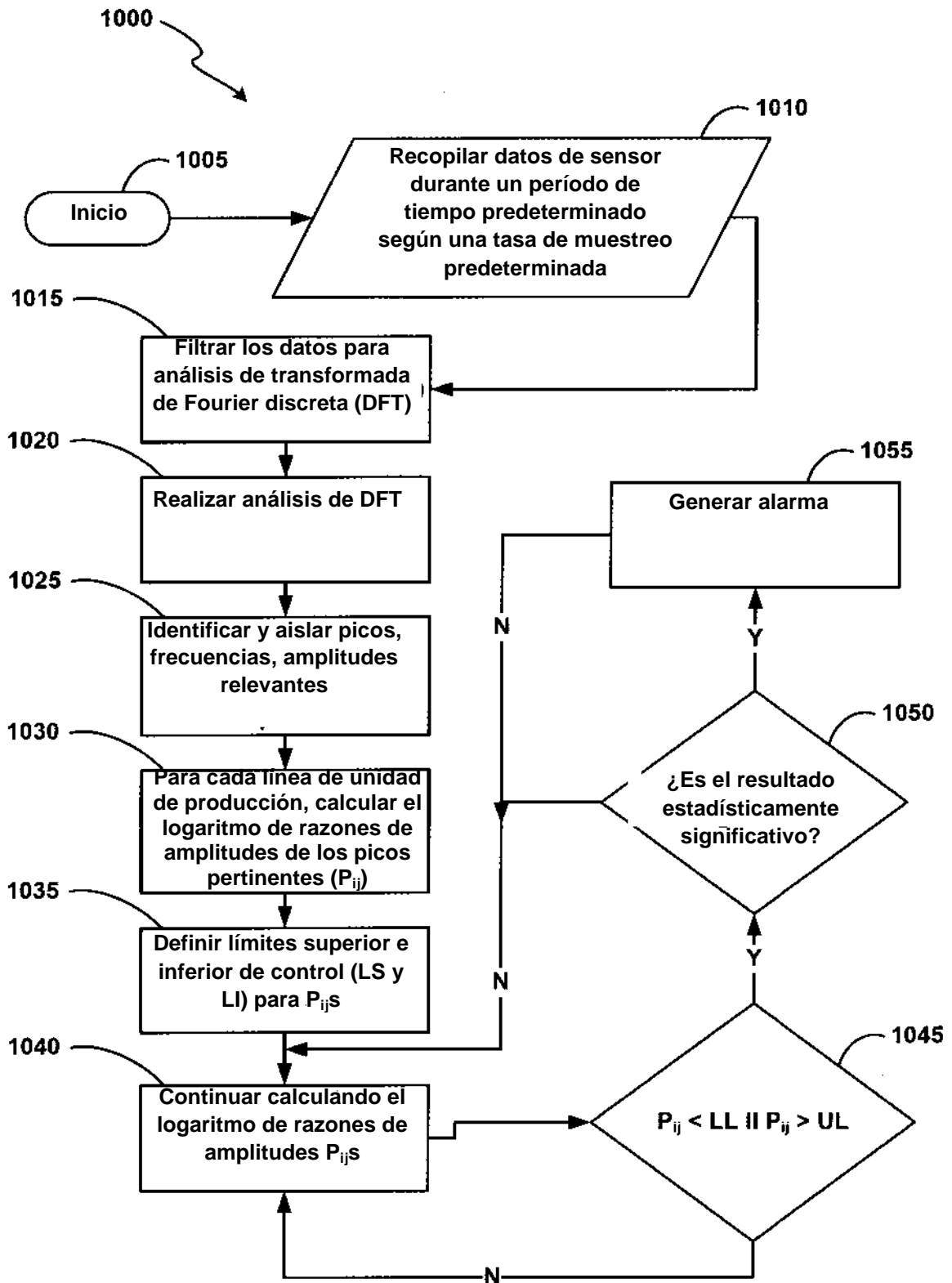


Fig. 10

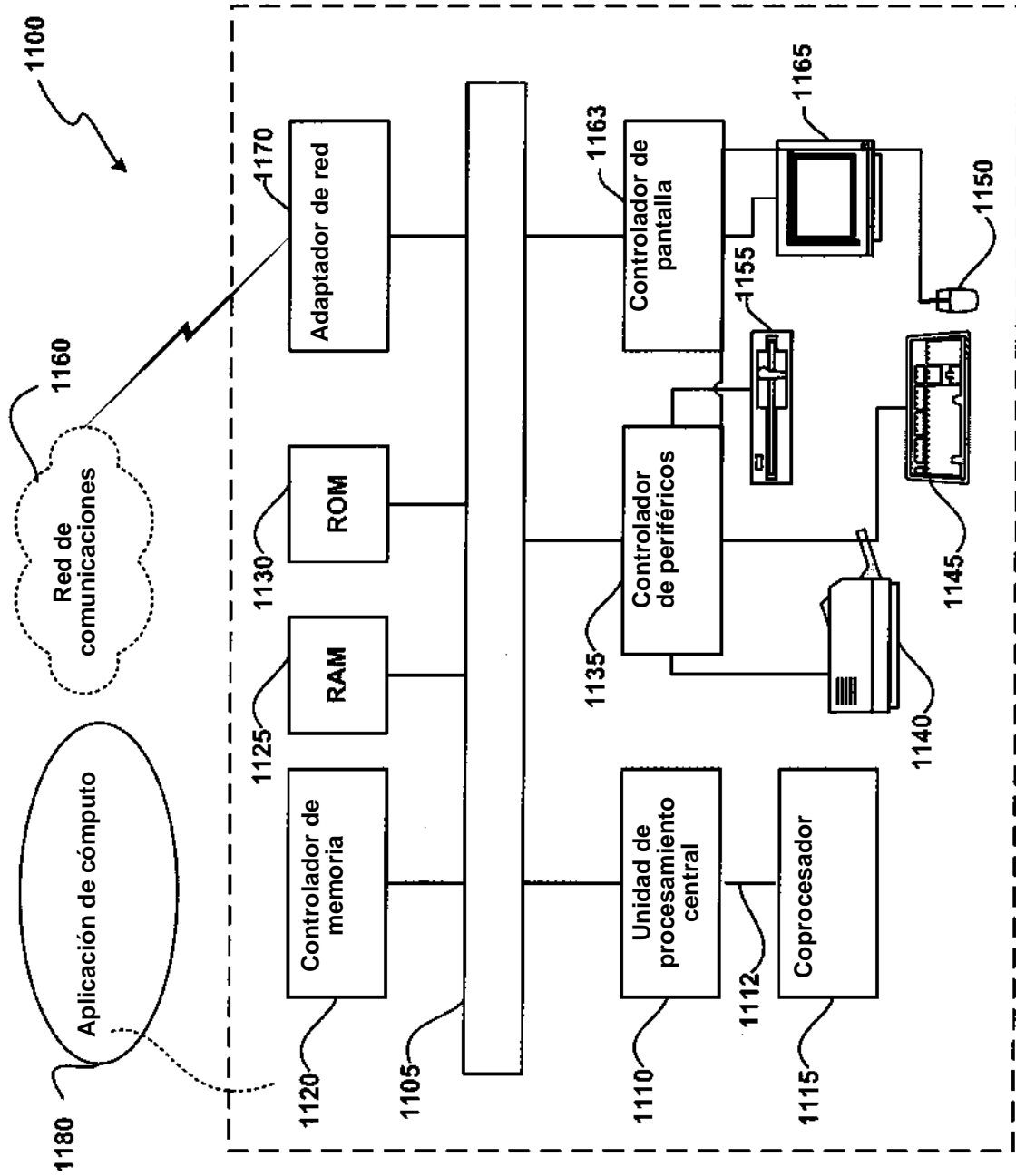


Fig. 11

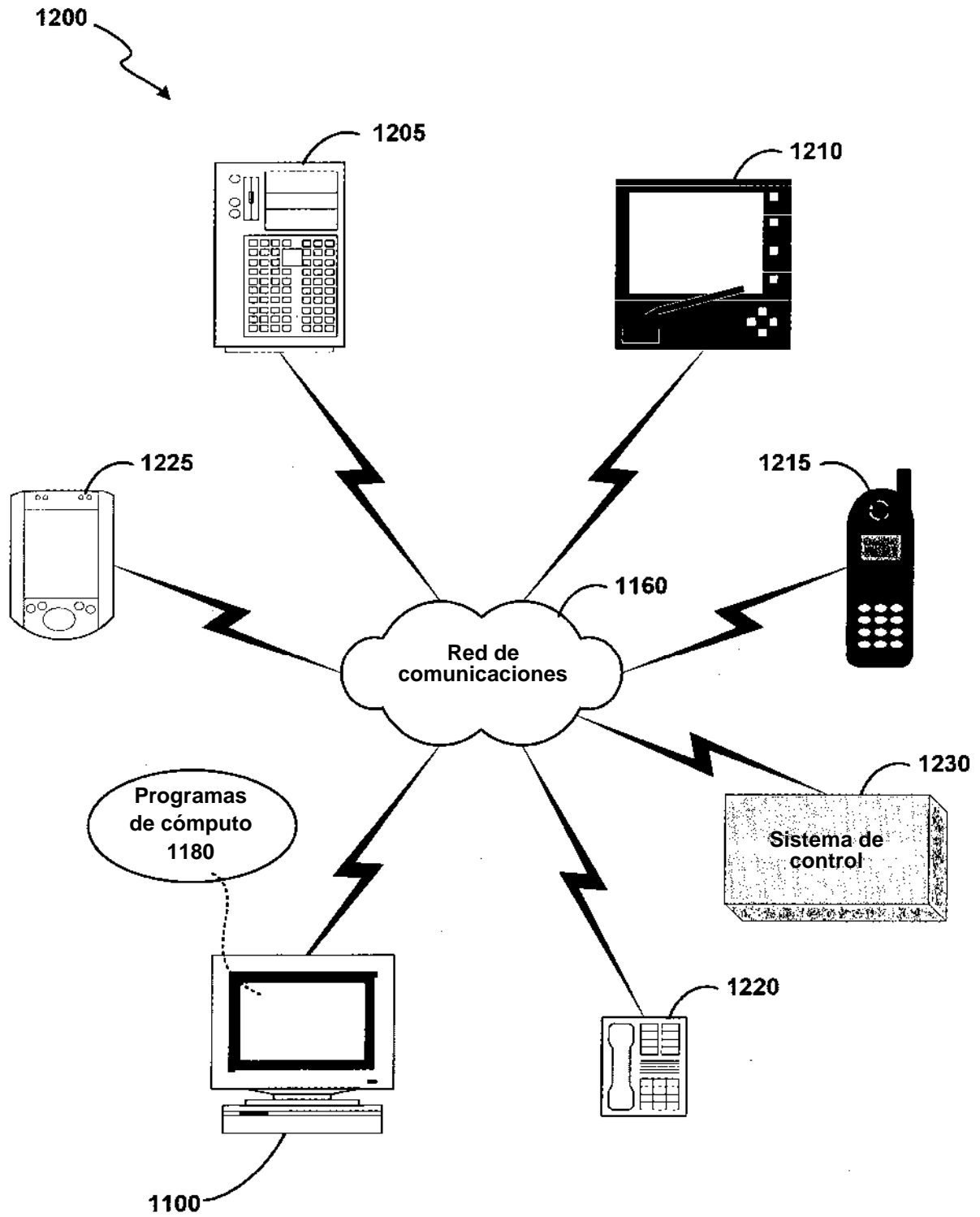


Figura 12