

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 919**

51 Int. Cl.:

G05B 13/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.03.2010 PCT/US2010/026457**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.10.2010 WO10117526**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2010 E 10716652 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 2414901**

54 Título: **Sistema y procedimiento para monitorizar un sistema integrado**

30 Prioridad:

30.03.2009 US 414092

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

04.02.2020

73 Titular/es:

**BL TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
5951 Clearwater Drive
Minnetonka, MN 55341 , US**

72 Inventor/es:

**PRASAD, VIJYSAI;
KOLWALKAR, AMOL, RAJARAM;
SHAH, SUNIL, SHIRISH;
LIBERATORE, FREDERICK y
NAIK, RAJENDRA**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 739 919 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

Sistema y procedimiento para monitorizar un sistema integrado

Antecedentes

5 La invención se refiere, en general, a un sistema de control y, más particularmente, a un sistema de control y a un procedimiento para monitorizar un sistema integrado y predecir eventos que conducen a un estado esperado del sistema integrado.

10 El aumento de los precios del combustible y la reducción de los recursos hídricos, junto con las nuevas normas globales para la conservación del agua y la energía, están obligando a las industrias a gestionar su energía y la utilización del agua de manera más eficiente. Por lo tanto, las industrias están identificando formas de lograr una reducción significativa en el consumo de energía con base en combustibles fósiles y la ingesta de agua dulce. Una tecnología prometedora que permite una reducción significativa en el consumo de energía y la ingesta de agua dulce incluye un sistema integrado que tiene una unidad de purificación de agua y una unidad de generación de energía. La unidad de generación de energía utiliza los residuos de la unidad de purificación de agua para generar energía eléctrica, y el sistema integrado funciona con la energía eléctrica generada por la 15 unidad de generación de energía. Además, después de cumplir con los requisitos de energía del sistema integrado, el exceso de energía se utiliza para alguna otra aplicación. Un ejemplo del sistema integrado es el sistema de conversión de residuos de General Electric que genera electricidad y procesa vapor (calor) de manera flexible a la vez que recupera agua potable de alta calidad.

20 Típicamente, las unidades clave o componentes de un sistema de purificación de agua incluyen un digestor y un biorreactor de membrana, a la vez que una unidad clave de un sistema de generación de energía es un motor de gas alternativo o similar. El sistema de purificación de agua libera biogás como un residuo que es consumido por el motor de gas alternativo para generar energía eléctrica. Además, las unidades clave del sistema de purificación de agua funcionan de manera coordinada e interdependiente, por lo tanto, cualquier alteración o variación en cualquier unidad clave afecta la funcionalidad y el rendimiento del resto de las unidades clave. La 25 corriente de alimentación de aguas residuales al digestor, por ejemplo, puede tener variaciones significativas en los caudales, la demanda de oxígeno químico influyente, los sólidos suspendidos totales, los sólidos disueltos totales, la temperatura, el nitrógeno, el fósforo, los sulfatos y el pH. Las variaciones en el digestor, a su vez, afectan el funcionamiento de las unidades de proceso posteriores, tal como el biorreactor de membrana. Además, las variaciones de rendimiento en la unidad de purificación de agua pueden dar lugar a variaciones significativas en el caudal, la composición y el valor calorífico del biogás, dando como resultado el disparo del motor de gas y, en última instancia, el trastorno y la parada del sistema integrado.

30 Convencionalmente, las variaciones en las unidades clave se monitorizan mediante pruebas de laboratorio. Desafortunadamente, estas pruebas de laboratorio llevan mucho tiempo y no son suficientes para detener los trastornos frecuentes del sistema integrado, lo que lleva a respuestas de bucle cerrado de gran tiempo muerto. Además, el operador del sistema integrado no puede detectar ningún comportamiento anómalo del sistema integrado hasta que sea demasiado tarde, lo que provoca paradas y mantenimiento costosos. Por lo tanto, debido a la ausencia de un procedimiento de monitorización en tiempo real o casi en tiempo real, las variaciones significativas en la alimentación de entrada no se pueden monitorizar, lo que lleva a paradas costosas del sistema integrado.

40 Por lo tanto, es deseable lograr un funcionamiento robusto y estable del sistema integrado general durante largos periodos continuos de operación en presencia de amplio rango de variaciones. Además, es deseable tener un sistema de monitorización y control en tiempo real configurado para predecir variaciones y perturbaciones significativas en el sistema integrado con mucha anticipación, y tomar las medidas correctivas subsiguientes para impedir que el sistema integrado se fatigue y provoque paradas. Perendeci et al, "Prediction of Effluent Quality of an Anaerobic Treatment Plant under Unsteady State through ANFIS modeling with on-line Input Variables", 45 Chemical Engineering Journal 145 (2008) 78-85 divulga un patrón poco definido neural para usar en la estimación de una demanda de oxígeno químico efluente de para una planta de tratamiento anaeróbico.

Breve descripción

50 Un aspecto de la invención proporciona un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1 del presente documento. El sistema de control incluye un estimador configurado para determinar el estado actual de un sistema de purificación de agua y comparar el estado actual del sistema de purificación de agua con el estado esperado del sistema de purificación de agua. El sistema de control también incluye un predictor acoplado operativamente al estimador, y configurado para predecir un evento para que la ejecución del sistema de purificación de agua alcance el estado esperado del sistema de purificación de agua. El sistema de control 55 incluye además una unidad de control de supervisión acoplada operativamente al predictor y al sistema de purificación de agua, y configurada para facilitar la ejecución del evento previsto por el sistema de purificación de agua.

Otro aspecto de la invención proporciona un procedimiento de monitorización y control de un sistema de purificación de agua de acuerdo con la reivindicación 12 del presente documento. El procedimiento incluye determinar un estado actual de un sistema de purificación de agua que utiliza parámetros del sistema, comparando el estado actual del sistema de purificación de agua con un estado esperado del sistema de purificación de agua para determinar una diferencia entre el estado actual del sistema de purificación de agua y el estado esperado del sistema de purificación de agua, prediciendo un evento utilizando la diferencia entre el estado actual del sistema de purificación de agua y el estado esperado del sistema de purificación de agua para alcanzar el estado esperado del sistema de purificación de agua, y ejecutar el evento previsto para alcanzar el estado esperado del sistema de purificación de agua.

De acuerdo con un aspecto adicional de la técnica actual, se proporciona un procedimiento de monitorización y control de un sistema de purificación de agua. El procedimiento incluye determinar la demanda de oxígeno químico en tiempo real de una corriente de alimentación del sistema de purificación de agua usando un carbono orgánico total en tiempo real y el color de la corriente de alimentación, determinar los parámetros en tiempo real de la corriente de alimentación del sistema de purificación de agua, determinar los parámetros del sistema aplicando una o más técnicas de estimación a los parámetros en tiempo real, parámetros predeterminados, parámetros fuera de línea y la demanda de oxígeno químico en tiempo real, determinando un estado actual del sistema de purificación de agua utilizando los parámetros del sistema, comparando el estado actual del sistema de purificación de agua con un estado esperado del sistema de purificación de agua para determinar una diferencia entre el estado actual del sistema de purificación de agua y el estado esperado del sistema de purificación de agua, y predecir un evento utilizando la diferencia entre el estado actual del sistema de purificación de agua y el estado esperado del sistema de purificación de agua para alcanzar el estado esperado del sistema de purificación de agua.

De acuerdo con un aspecto adicional de la técnica actual, se proporciona un sistema de control para monitorizar y controlar un digestor. El sistema comprende un estimador configurado para determinar el estado actual del digestor. El estimador está además configurado para comparar el estado actual del digestor con el estado esperado del digestor. El sistema incluye además un predictor acoplado operativamente al estimador que está configurado para predecir un evento para que la ejecución del digestor alcance el estado esperado del digestor. El sistema incluye además una unidad de control de supervisión acoplada operativamente al predictor y al digestor, y configurada para facilitar la ejecución del evento previsto por el digestor.

De acuerdo con un aspecto adicional de la técnica actual, se proporciona un sistema. El sistema incluye un sistema de purificación de agua y un sistema de control. El sistema de purificación de agua incluye un digestor configurado para extraer cantidades sustanciales de la demanda de oxígeno químico de las aguas residuales impuras para generar agua limpia de la demanda de oxígeno químico, uno o más dispositivos de detección operativamente asociados con el digestor, y configurados para detectar el carbono orgánico total en tiempo real y los parámetros en tiempo real de una corriente de alimentación del digestor. El sistema de purificación de agua incluye además un biorreactor de membrana asociado operativamente con el digestor, y configurado para generar un efluente mediante la eliminación de cantidades sustanciales de impurezas suspendidas y cualquier demanda de oxígeno químico restante de la demanda de oxígeno químico eliminada por el agua. La unidad de purificación de agua incluye además una unidad de ósmosis inversa operativamente asociada con el biorreactor de membrana, y configurada para eliminar los orgánicos disueltos y los sólidos totales disueltos del efluente. El sistema de control está en asociación operativa con el sistema de purificación de agua e incluye un estimador configurado para determinar el estado actual del sistema de purificación de agua utilizando el carbono orgánico total en tiempo real y los parámetros en tiempo real. El estimador está configurado además para comparar el estado actual del sistema de purificación de agua con un estado esperado del sistema de purificación de agua. El sistema de control incluye además un predictor asociado operativamente con el estimador, y configurado para predecir un evento para que la ejecución del sistema de purificación de agua alcance el estado esperado del sistema de purificación de agua. El sistema de purificación de agua incluye además una unidad de control de supervisión acoplada operativamente al predictor y al sistema de purificación de agua, y está configurada para facilitar la ejecución del evento previsto por el sistema de purificación de agua.

Dibujos

Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales los caracteres similares representan partes similares en todos los dibujos, en los que:

la Figura 1 es una vista esquemática de un sistema ejemplar para monitorizar y controlar un sistema integrado, de acuerdo con aspectos de la técnica actual;

la Figura 2 es una vista esquemática que ilustra un sistema de control ejemplar para uso con un dispositivo, de acuerdo con aspectos de la técnica actual;

la Figura 3 es un diagrama de control para monitorizar y controlar el sistema integrado de la Figura 1, de acuerdo con aspectos de la técnica actual;

la Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento ejemplar de monitorización y control del dispositivo, de acuerdo con aspectos de la técnica actual;

5 la Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento ejemplar de programación de un sensor flexible mediante la construcción de un patrón de demanda de oxígeno químico (COD), de acuerdo con aspectos de la técnica actual;

la Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de determinación de un estado actual de un dispositivo que utiliza parámetros del sistema, de acuerdo con aspectos de la técnica actual; y

la Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de determinación de la necesidad de una acción correctiva, de acuerdo con aspectos de la técnica actual.

10 Descripción detallada

La Figura 1 es una vista esquemática de un sistema 10 ejemplar para monitorizar y controlar un sistema 11 integrado, de acuerdo con aspectos de la técnica actual. Como se ilustra en la Figura 1, el sistema 11 integrado incluye un sistema de purificación de agua con capacidades de recuperación de agua purificada y energía valiosa. De acuerdo con aspectos de la técnica actual, el sistema 11 de purificación de agua puede incluir
 15 componentes, tales como, una unidad 12 de alimentación de agua, un primer tanque 14 de equalización, un primer intercambiador 15 de calor, un digestor 16, un segundo tanque 27 de equalización, un segundo intercambiador 28 de calor, un biorreactor 30 de membrana, una unidad 32 de ósmosis inversa, una unidad 18 de limpieza de gases y una unidad 22 de generación de energía, o combinaciones de las mismas. Aunque la técnica actual se describe con referencia al sistema de purificación de agua, puede tener aplicación en otros
 20 sistemas.

De acuerdo con aspectos adicionales de la técnica actual, el sistema 10 también puede incluir un sistema 40 de control configurado para monitorizar y controlar el sistema 11 integrado. Como se ilustra en la Figura 1, el sistema 40 de control está asociado operativamente con el sistema 11 integrado. La monitorización y control del sistema 11 integrado a través del sistema 40 de control permite el funcionamiento óptimo continuo y consistente
 25 del sistema 11 integrado.

Además, la unidad 12 de alimentación de agua está en asociación operativa con el primer tanque 14 de equalización. Como se muestra en la Figura 1, el primer tanque 14 de equalización está en asociación operativa con el primer intercambiador 15 de calor y el digestor 16 está acoplado operativamente al primer intercambiador 15 de calor. La unidad 12 de alimentación de agua ingiere agua residual impura, y transfiere las aguas residuales
 30 impuras al primer tanque 14 de equalización. El primer tanque 14 de equalización puede configurarse para absorber variaciones en las cantidades de aguas residuales impuras. Las aguas residuales impuras del primer tanque 14 de equalización pueden entonces transferirse al primer intercambiador 15 de calor. En una realización, el primer intercambiador 15 de calor regula la temperatura de las aguas residuales impuras a una temperatura predeterminada para un funcionamiento optimizado del digestor 16. Se puede tener en cuenta que el primer intercambiador 15 de calor puede incluir por ejemplo, un intercambiador de calor de carcasa y tubos, un intercambiador de calor regenerativo, un intercambiador de calor de rueda adiabático, un intercambiador de calor de aletas de placa, un intercambiador de calor de fluido, un intercambiador de calor de superficie raspada dinámico, un intercambiador de calor de cambio de fase, un intercambiador de calor multifase, o un intercambiador de calor en espiral.

Además, después de la regulación de la temperatura de las aguas residuales impuras en el primer intercambiador 15 de calor, las aguas residuales impuras se transfieren al digestor 16. En una realización, el digestor 16 puede incluir un digestor anaeróbico. En una realización alternativa, el digestor 16 puede incluir un digestor aeróbico.

Además, como se representa en la Figura 1, el digestor 16 puede incluir un dispositivo 20 de detección para detectar un carbono orgánico total (TOC) y los parámetros en tiempo real de las aguas residuales impuras recibidas del primer intercambiador 15 de calor. En la realización contemplada actualmente, se muestra que el digestor 16 incluye el dispositivo 20 de detección. Sin embargo, en otras realizaciones, el dispositivo 20 de detección puede incorporarse en uno o más de los componentes de la Figura 1. En ciertas realizaciones, el dispositivo 20 de detección puede incluir un medidor de flujo de gas, un calorímetro, uno o más sensores duros y uno o más sensores flexibles. Como se usa en el presente documento, el término "parámetros en tiempo real" puede incluir parámetros asociados con el agua y determinados en tiempo real. Además, como se usa en el presente documento, el término "parámetros" se refiere a cantidades medibles y/o propiedades del agua que definen la pureza del agua. Los parámetros en tiempo real, por ejemplo, que incluyen otros, pueden incluir pH, TOC, concentración bacteriana, concentración microbiana, concentración de sustrato, temperatura, composición de biogás, alcalinidad, dureza, cantidad de cloruros y fosfatos, color en tiempo real de la corriente de alimentación, densidad de la corriente de alimentación, y cantidad de biogás.
 55

En una realización, el digestor 16 puede extraer cantidades sustanciales de demanda de oxígeno químico (COD) de las aguas residuales impuras recibidas del primer intercambiador 15 de calor. Después de la extracción de

COD de las aguas residuales impuras, el digestor 16 genera una COD que elimina el agua y libera biogás. Posteriormente, el biogás se transfiere a la unidad 18 de limpieza de gas que limpia el biogás de las impurezas que resultan en un biogás purificado. Las impurezas, por ejemplo, pueden incluir gases distintos al biogás, tales como el H₂S. La unidad 18 de limpieza de gas transfiere entonces el biogás purificado a la unidad 22 de generación de energía que genera energía eléctrica utilizando el biogás purificado. En ciertas realizaciones, la unidad 22 de generación de energía puede incluir un motor de gas alternativo. En aún otra realización, la unidad 22 de generación de energía puede incluir un motor Jenbacher GE. Además, la energía eléctrica generada por la unidad 22 de generación de energía se puede utilizar para el funcionamiento del sistema 11 integrado. Además, en otras realizaciones, la energía eléctrica se puede utilizar para el funcionamiento de otras plantas industriales.

Después de la generación del agua eliminada de COD, las variaciones en la cantidad de agua eliminada de COD pueden ser absorbidas por el segundo tanque 27 de equalización. En una realización, el segundo tanque 27 de equalización puede incluir un sistema de remoción total de sólidos suspendidos (TSS) (no mostrado). En aún otra realización, el sistema de eliminación de TSS puede incluir un sistema de flotación de aire atrapado (EAF), un sistema de flotación de aire disuelto (DAF), una prensa de correa, una prensa de tornillo o dispositivos similares.

Además, la temperatura del agua eliminada de COD puede regularse en el segundo intercambiador 28 de calor. Como consecuencia de la regulación de la temperatura del agua eliminada de COD, se puede generar agua eliminada de COD regulada por temperatura. El segundo intercambiador 28 de calor, por ejemplo, puede incluir un intercambiador de calor de carcasa y tubos, un intercambiador de calor regenerativo, un intercambiador de calor de rueda adiabático, un intercambiador de calor de aletas de placa, un intercambiador de calor de fluidos, un intercambiador de calor dinámico de superficie raspada, un intercambiador de calor de cambio de fase, un intercambiador de calor multifase o un intercambiador de calor en espiral.

Además, el agua eliminada de COD regulada por temperatura se transfiere al biorreactor 30 de membrana que está en asociación operativa con el segundo intercambiador 28 de calor. El biorreactor 30 de membrana facilita la eliminación de cualquier COD restante del agua eliminada de COD regulada por temperatura recibida a partir del segundo intercambiador 28 de calor. El biorreactor 30 de membrana también facilita la eliminación de cantidades sustanciales de impurezas suspendidas del agua eliminada de COD regulada por temperatura. Como consecuencia de la eliminación del COD restante y los sólidos suspendidos por el biorreactor 30 de membrana, se produce un efluente.

Además, el efluente se transfiere a la unidad 32 de ósmosis inversa que está en una asociación operativa con el biorreactor 30 de membrana. La unidad 32 de ósmosis inversa elimina los compuestos orgánicos solubles y los sólidos disueltos totales (TDS) del efluente. Como consecuencia de la eliminación de los orgánicos solubles y el TDS del efluente, se genera agua potable.

La Figura 2 es una vista esquemática que ilustra una realización del sistema 40 de control ejemplar para uso con un dispositivo, de acuerdo con aspectos de la técnica actual. Como se ilustra con referencia a la Figura 1, el sistema 40 de control puede configurarse para monitorizar y controlar el dispositivo para un funcionamiento optimizado y eficiente del dispositivo. En una realización, el dispositivo puede incluir el sistema 11 integrado (véase la Figura 1). Sin embargo, en otras realizaciones, el dispositivo puede incluir el digestor 16 (véase la Figura 1), el biorreactor 30 de membrana (véase la Figura 1), el primer tanque 14 de equalización (véase la Figura 1), el primer intercambiador 15 de calor (véase la Figura 1), el segundo tanque 27 de equalización (véase la Figura 1), el segundo intercambiador 28 de calor (véase la Figura 1), la unidad 22 de generación de energía (véase la Figura 1) o combinaciones de los mismos.

De acuerdo con una configuración actualmente contemplada, el sistema 40 de control puede incluir una unidad 24 de control de supervisión y un patrón 26 de control. Además, como se muestra en la Figura 2, el patrón 26 de control puede incluir un sensor 42 flexible de demanda de oxígeno químico, un estimador 44, un predictor 46 y un detector 48 de eventos.

El sensor 42 flexible de COD está en comunicación operativa con el estimador 44. El sensor 42 flexible de COD puede configurarse para determinar un COD en tiempo real correspondiente a un carbono orgánico total en tiempo real (TOC) de una corriente de alimentación al dispositivo. En una realización, el TOC en tiempo real puede ser determinado por el dispositivo 20 de detección (véase la Figura 1). Además, el sensor 42 flexible de COD puede configurarse para determinar el COD en tiempo real utilizando un patrón COD.

De acuerdo con los aspectos de la técnica actual, el patrón COD puede construirse mediante la asignación de los TOCs fuera de línea y el color de la corriente de alimentación a los correspondientes CODs fuera de línea para determinar una relación entre los TOCs fuera de línea y el color en tiempo real de la corriente de alimentación y los CODs fuera de línea correspondientes. En una realización, los CODs fuera de línea y los TOCs fuera de línea pueden determinarse utilizando pruebas de laboratorio de COD y pruebas de laboratorio de TOC, respectivamente. En ciertas realizaciones, el color de la corriente de alimentación puede determinarse por el dispositivo 20 de detección (véase la Figura 1). El dispositivo 20 de detección para determinar el color de la corriente de alimentación, por ejemplo, puede incluir el calorímetro. Además, en una realización, la relación entre

los TOCs fuera de línea y el color de la corriente de alimentación con los CODs fuera de línea correspondientes se determina utilizando inteligencia artificial.

Además, el estimador 44 del patrón 26 de control puede configurarse para determinar los parámetros del sistema utilizando los parámetros en tiempo real, el COD en tiempo real, los parámetros fuera de línea y los parámetros predeterminados. Los parámetros del sistema, por ejemplo, pueden incluir concentración bacteriana, concentración de sustrato, concentración microbiana, COD del dispositivo, concentración de ácidos grasos volátiles, alcalinidad, TOC del dispositivo, dureza, concentración de amoníaco, concentraciones de fosfatos, concentraciones de sulfatos, composición de biogás, pH del dispositivo o combinaciones de estos. Tal como se usa en el presente documento, el término "parámetros predeterminados" se puede usar para referirse a parámetros asociados con la corriente de alimentación del dispositivo a la vez que el dispositivo opera en una condición de estado estable. Más particularmente, el término "parámetros predeterminados" se puede usar para referirse a los parámetros de la corriente de alimentación del dispositivo cuando el dispositivo opera en una condición optimizada. En otras palabras, el término "parámetros predeterminados" puede ser representativo de los parámetros de estado estable del dispositivo. Además, como se usa en el presente documento, el término "parámetros fuera de línea" puede ser representativo de los parámetros que se determinan fuera de línea. Además, los parámetros fuera de línea pueden determinarse utilizando pruebas de laboratorio. Los parámetros fuera de línea, por ejemplo, pueden incluir pH, TOC, COD, concentración bacteriana (MLSS), concentración de sustrato, concentración microbiana, nitrógeno, concentración de fosfatos, concentración de sulfatos, temperatura, composición de biogás, alcalinidad, dureza, cantidad de cloruros y, cantidad de biogás.

Con referencia continua a la Figura 2, el estimador 44 puede configurarse adicionalmente para determinar un estado actual del dispositivo y comparar el estado actual del dispositivo con un estado esperado del dispositivo. En una realización, el estimador 44 determina el estado actual del dispositivo utilizando los parámetros del sistema. Como se usa en el presente documento, el término "estado actual del dispositivo" puede usarse para referirse a una condición operativa del dispositivo. Además, el término "estado esperado del dispositivo" puede usarse para referirse a una condición operativa de estado estable del dispositivo a la vez que el dispositivo opera en una condición optimizada. En otras palabras, el término "estado esperado del dispositivo" puede usarse para referirse a un estado del dispositivo cuando los parámetros del sistema son sustancialmente similares a los parámetros predeterminados.

Además, como se ilustra en la realización contemplada actualmente, el predictor 46 está acoplado operativamente al estimador 44, y está configurado para predecir un evento que será ejecutado por el dispositivo para permitir que el dispositivo alcance un estado posterior del dispositivo. El evento previsto puede incluir cambios, variaciones o ajustes en las concentraciones, por ejemplo, cambios en el pH, cambios en la concentración de biomasa, cambios en la alcalinidad, cambios en el carbono inorgánico, cambios en los niveles de nitrógeno y fósforo, cambios en la concentración de hidrógeno o combinaciones de los mismos.

Además, se muestra que el detector 48 de eventos está en asociación operativa con el predictor 46 y la unidad 24 de control de supervisión. En una realización, el detector 48 de eventos está configurado para determinar el estado posterior del dispositivo después de la ejecución del evento previsto. En aún otra realización, el detector 48 de eventos puede configurarse para determinar una acción correctiva para el dispositivo cuando el estado posterior del dispositivo es diferente del estado esperado del dispositivo. La acción correctiva, por ejemplo, puede incluir un cambio en la velocidad de alimentación de entrada, un cambio en la concentración de COD, un cambio en la temperatura, un cambio en el potencial redox, un cambio en la adición de nutrientes, sustancias químicas, adición, resiembra y bioaumentación. Consecuente a la determinación de la acción correctiva, la unidad 24 de control de supervisión corrige el estimador 44 y el predictor 46. En ciertas realizaciones, la unidad 24 de control de supervisión corrige el predictor 46 y el estimador 44 cambiando un estado del estimador 44 y del predictor 46. En una realización, el estado del predictor 46 y el estimador 44 pueden cambiarse determinando los parámetros fuera de línea, y actualizando el predictor 44 y el estimador 46 utilizando los parámetros fuera de línea.

Volviendo ahora a la Figura 3, se ilustra un diagrama 60 de control para monitorizar y controlar un sistema integrado, tal como el sistema 11 integrado de la Figura 1. En una realización actualmente contemplada, el número 62 de referencia es representativo de la alimentación. En ciertas realizaciones, la alimentación 62 es similar a los parámetros en tiempo real. Además, el número 64 de referencia es representativo de un punto de ajuste. En una realización, el punto 64 de ajuste puede ser representativo de los parámetros predeterminados. Además, una primera lógica 66 recibe como controles 78 de retroalimentación de entrada, el punto 64 de ajuste, los controles 68 de avance de alimentación y la alimentación 62 para determinar los controles de optimización. Los controles de optimización pueden ser implementados por la unidad 24 de control de supervisión en el sistema 11 integrado para permitir el funcionamiento optimizado del sistema 11 integrado.

Además, como se ilustra en la Figura 3, el detector 48 de eventos está en comunicación operativa con el sistema 11 integrado. El detector 48 de eventos puede determinar el estado posterior del sistema 11 integrado después de la implementación de los controles de optimización. En una realización, el estado posterior del sistema 11 integrado puede ser representativo de los controles 78 de retroalimentación. En otras palabras, los controles 78 de retroalimentación pueden incluir controles de estado posteriores que definen el estado posterior del sistema

11 integrado que se logra después de la implementación de los controles de optimización por la unidad 24 de control de supervisión en el sistema 11 integrado. En ciertas realizaciones, los controles de optimización pueden ser representativos del evento previsto. En aún otra realización, la acción correctiva puede ser representativa de los controles 78 de retroalimentación.

5 Con referencia continua a la Figura 3, una segunda lógica 72 puede configurarse para recibir los controles 68 de avance de alimentación y el punto 64 de ajuste. La segunda lógica 72 transfiere los controles 68 de avance de alimentación y el punto 64 de ajuste al patrón 26 de control. Posteriormente, un análisis fuera de línea puede ser conducido por un procesador 70 fuera de línea para determinar los parámetros fuera de línea. Como se ilustra en la Figura 3, el patrón 26 de control puede determinar los parámetros del sistema en la etapa 74 y el estado actual del sistema 11 integrado en la etapa 76.

Además, el predictor 46 utiliza los parámetros del sistema y el estado actual del sistema 11 integrado para la determinación del evento previsto. En ciertas realizaciones, el evento previsto puede ser representativo de los controles 68 de avance de alimentación.

15 La Figura 4 es un diagrama 80 de flujo que ilustra un procedimiento ejemplar de monitorización y control de un dispositivo, tal como el sistema 11 integrado (véase la Figura 1), de acuerdo con aspectos de la técnica actual. El número 82 de referencia puede ser representativo del TOC en tiempo real. El TOC en tiempo real se puede determinar utilizando el dispositivo 20 de detección (véase la Figura 1). El procedimiento comienza en la etapa 84, donde los parámetros en tiempo real se pueden determinar utilizando el dispositivo 20 de detección (véase la Figura 1). Además, en la etapa 86, el COD en tiempo real se puede determinar de acuerdo con el TOC 82 en tiempo real y los colores de la corriente de alimentación. Como se ilustra con referencia a la Figura 1, los colores de la corriente de alimentación pueden ser uno de los parámetros en tiempo real y, por lo tanto, pueden ser determinados por el dispositivo 20 de detección (véase la Figura 1). La determinación del COD en tiempo real correspondiente al TOC en tiempo real y los colores de la corriente de alimentación se pueden entender mejor con referencia a la Figura 5.

25 Volviendo ahora a la Figura 5, se representa un diagrama 110 de flujo que ilustra un procedimiento ejemplar de programación de un sensor flexible, tal como el sensor 42 flexible COD (véase la Figura 2), mediante la construcción de un patrón de demanda de oxígeno químico, de acuerdo con los aspectos de la técnica actual. El número 112 de referencia puede ser representativo de los TOCs fuera de línea, a la vez que los colores de la corriente de alimentación pueden representarse con el número 113 de referencia. Además, el número 114 de referencia puede ser representativo de los correspondientes CODs fuera de línea. El procedimiento comienza en la etapa 116, donde los TOCs 112 fuera de línea y los colores de la corriente 113 de alimentación se asignan a los CODs fuera de línea correspondientes. Como consecuencia de la asignación en la etapa 116, se establece una relación entre los TOCs 112 fuera de línea y los colores de la corriente 113 de alimentación con los CODs 114 fuera de línea correspondientes. En una realización, la relación puede determinarse utilizando inteligencia artificial en los TOCs 112 fuera de línea y los colores de la corriente 113 de alimentación y los CODs 114 fuera de línea correspondientes.

Con referencia continua a la Figura 5, la relación entre los TOCs 112 fuera de línea y los colores de la corriente 113 de alimentación y los CODs 114 fuera de línea correspondientes se usa para construir un patrón COD como se indica en la etapa 118. Tal como se usa en el presente documento, el término "patrón COD" se puede usar para referirse a un patrón capaz de determinar un COD en tiempo real correspondiente al TOC en tiempo real.

Después de la construcción del patrón COD, el sensor 42 flexible COD puede programarse utilizando el patrón COD, como se muestra en la etapa 120. El sensor 42 flexible COD se puede usar para determinar los CODs en tiempo real correspondientes a los TOCs en tiempo real y los colores de la corriente de alimentación. En una realización, los TOCs en tiempo real pueden ser determinados por el dispositivo 20 de detección (véase la Figura 1). Como se señaló anteriormente con referencia a la Figura 1, el color de la corriente de alimentación puede ser determinado por el calorímetro.

Con referencia a la Figura 4, en la etapa 88, se determina un estado actual del dispositivo. Como se señaló anteriormente con referencia a la Figura 2, el estimador 44 determina el estado actual del dispositivo. La determinación del estado actual del dispositivo puede entenderse mejor con referencia a la Figura 6.

50 Con referencia ahora a la Figura 6, se representa un diagrama de flujo 130 que ilustra un procedimiento de determinación de un estado actual de un dispositivo que utiliza parámetros del sistema, de acuerdo con aspectos de la técnica actual. El número 132 de referencia puede ser representativo de los parámetros en tiempo real, a la vez que el número 94 de referencia puede ser representativo de parámetros predeterminados (véase la Figura 4). Además, el número 138 de referencia puede ser representativo de los parámetros fuera de línea, a la vez que el número 134 de referencia puede ser representativo del COD 134 en tiempo real. El procedimiento comienza en la etapa 140, donde los parámetros del sistema pueden determinarse utilizando los parámetros 132 en tiempo real, los parámetros 138 fuera de línea, los parámetros 94 predeterminados y el COD 134 en tiempo real. Como se señaló anteriormente con referencia a la Figura 2, los parámetros del sistema pueden ser determinados por el estimador 44. Los parámetros del sistema en general pueden representarse por el número 142 de referencia.

En ciertas realizaciones, el estimador 44 puede determinar los parámetros 142 del sistema mediante la aplicación de fórmulas matemáticas. De acuerdo con los aspectos ejemplares de la técnica actual, las ecuaciones (1) a (3) representan la determinación de los parámetros 142 del sistema mediante la aplicación de fórmulas.

5 En una realización, cuando la concentración de la corriente de alimentación y la concentración bacteriana de una fase acidogénica están representadas por X_1 y X_2 respectivamente, la concentración microbiana y la concentración de sustrato de una fase metanogénica están representadas por X_3 y X_4 respectivamente, la alcalinidad, las concentraciones de carbono inorgánico y amoníaco están representadas por X_5 , X_7 y X_8 respectivamente, luego un cambio en las concentraciones de X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_7 y X_8 puede representarse mediante la ecuación afín de control (1) como:

$$X = f(X) + g(X).u \quad (1)$$

en la que X es un cambio en el vector de concentraciones y X puede representarse por $X = [X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7]^T$. Además, en la ecuación (1) u se puede determinar utilizando la ecuación (2) de la siguiente manera:

$$u = [D, X_{1,in}, T, pH_{in}, X_{5,in}, X_{8,in}]^T \quad (2)$$

15 en la que u es un vector de todos los parámetros que afectan al dispositivo, D es la tasa de dilución, la cual es una relación del caudal de la corriente de alimentación al volumen del dispositivo, y T es la temperatura del dispositivo. Además, en la ecuación (2), el subíndice *in* es indicativo de parámetros en tiempo real, parámetros fuera de línea y/o parámetros predeterminados de la corriente de alimentación.

Además, los parámetros 142 del sistema se pueden determinar mediante la ecuación (3) de la siguiente manera:

$$20 \quad Y = f(X) \quad (3)$$

en la que Y puede ser representativo de los parámetros del sistema. Además, si los parámetros 94 predeterminados están representados por \hat{Y} , entonces la desviación en la predicción del evento se puede determinar como una diferencia de Y y \hat{Y} .

25 Como consecuencia de la determinación de los parámetros 142 del sistema, el estado actual del dispositivo se puede determinar en la etapa 144. Como se señaló anteriormente con referencia a la Figura 2, el estimador 44 puede determinar el estado actual del dispositivo.

30 Con referencia a la Figura 4, en la etapa 90, el estado actual del dispositivo determinado en la etapa 88 se compara con el estado esperado del dispositivo. Además, la comparación del estado actual del dispositivo con el estado esperado del dispositivo permite la determinación de una diferencia entre el estado actual del dispositivo y el estado esperado del dispositivo. En una realización, el estado esperado del dispositivo puede determinarse determinando los parámetros 94 predeterminados (véase la Figura 6).

35 Como consecuencia de la determinación de la diferencia entre el estado actual del dispositivo y el estado esperado del dispositivo, se predice un evento en la etapa 96, donde el evento previsto puede permitir que el dispositivo alcance el estado esperado. Como se ilustra con referencia a la Figura 2, el predictor 46 predice el evento. En una realización, el predictor 46 predice el evento de tal manera que la implementación del evento previsto permite el funcionamiento optimizado del dispositivo. Más particularmente, la implementación del evento previsto permite que el dispositivo alcance el estado esperado del dispositivo. El evento previsto, por ejemplo, puede incluir calentamiento o enfriamiento de una alimentación de entrada, adición de químicos, aumento o disminución de la concentración bacteriana acidogénica, aumento o disminución de la concentración bacteriana metanogénica, aumento o disminución de la actividad bacteriana, fijación de uno o más componentes del dispositivo, aumento o disminución del contenido de oxígeno de la alimentación de entrada, o combinaciones de los mismos, como se señaló anteriormente.

45 En una realización, el dispositivo puede controlarse para implementar el evento previsto como se indica en la etapa 98. Como se señaló anteriormente con referencia a la Figura 2, la unidad 24 de control de supervisión controla el dispositivo para implementar el evento previsto. Más particularmente, la unidad 24 de control de supervisión puede configurarse para controlar el dispositivo para implementar el evento previsto para permitir que el dispositivo alcance el estado esperado.

50 Además, en la etapa 100, se determina un impacto de la implementación del evento previsto. En una realización, el impacto del evento previsto se determina determinando el estado posterior (véase la Figura 2) del dispositivo después de la implementación del evento previsto. Como se ilustra con referencia a la Figura 2, el detector 48 de eventos (véase la Figura 2) determina el estado posterior del dispositivo.

Como consecuencia de la determinación del impacto de la implementación del evento previsto, la acción correctiva para minimizar cualquier error en la predicción del evento se puede determinar en la etapa 102. Además, como se señaló anteriormente con referencia a la Figura 2, el detector 48 de eventos se puede

configurar para determinar la acción correctiva. En una realización, la acción correctiva puede determinarse cuando hay una necesidad de acción correctiva. La determinación de la necesidad de la acción correctiva puede entenderse mejor con referencia a la Figura 7.

5 La Figura 7 es un diagrama de flujo 150 que ilustra un procedimiento de determinación de la necesidad de una acción correctiva, de acuerdo con aspectos de la técnica actual. El número 152 de referencia es representativo de un evento previsto. A modo ejemplar, el número 152 de referencia puede ser representativo del evento previsto generado en la etapa 96 (véase la Figura 4). El procedimiento comienza en la etapa 154 donde se determina un estado posterior del dispositivo. Además de la determinación del estado posterior, se puede realizar una verificación en la etapa 156 para determinar si el estado posterior del dispositivo es similar al estado esperado del dispositivo. En la etapa 156, si se verifica que el estado posterior del dispositivo es sustancialmente similar al estado esperado del dispositivo, entonces se puede concluir que no es necesaria una acción correctiva como lo indica el número 160 de referencia. Sin embargo, en la etapa 156, si se verifica que el estado posterior del dispositivo es diferente del estado esperado del dispositivo, entonces se puede concluir que se puede desear una acción correctiva, como lo indica el número 158 de referencia. Como se señaló anteriormente con referencia a la Figura 2, el detector 48 de eventos se puede configurar para determinar la acción correctiva.

Con referencia a la Figura 4, como consecuencia del procesamiento en la etapa 102, si se determina que se desea una acción correctiva, entonces se puede implementar la acción correctiva para minimizar cualquier error en la predicción del evento, como se muestra en la etapa 104. Como se señaló anteriormente, la acción correctiva es implementada por la unidad 24 de control de supervisión (véase la Figura 2) para minimizar un error en la predicción del evento. En una realización, la unidad 24 de control de supervisión implementa la acción correctiva en el estimador 44 (véase la Figura 2) y el predictor 46 (véase la Figura 2), cuando hay una necesidad de la acción correctiva.

Al aplicar la técnica descrita anteriormente en el presente documento, se pueden determinar con bastante anticipación las variaciones y alteraciones significativas en un dispositivo, y se pueden tomar medidas para prevenir el estrés del sistema. Por lo tanto, la técnica actual proporciona un sistema de monitorización y control en tiempo real para el funcionamiento optimizado del sistema e impide que el sistema se apague. Además, la técnica ilustrada mejora la confiabilidad del dispositivo y reduce el número de paradas del dispositivo.

Si bien solo algunas características de la invención se han ilustrado y descrito en el presente documento, los expertos en la técnica tendrán diversas modificaciones y cambios. Por lo tanto, debe entenderse que las reivindicaciones adjuntas están destinadas a cubrir todas las modificaciones y cambios que caen dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (40) de control configurado para monitorizar y controlar un sistema (11) de purificación de agua, que comprende:
- 5 uno o más sensores (20) configurados para determinar el carbono orgánico total (TOC) en tiempo real y los parámetros en tiempo real de las aguas residuales impuras de una corriente de alimentación al sistema (11) de purificación de agua;
- un sensor (42) flexible configurado para determinar la demanda de oxígeno químico (COD) en tiempo real correspondiente al carbono orgánico total (TOC) en tiempo real de la corriente de alimentación al sistema (11) de purificación de agua que utiliza un patrón de demanda de oxígeno químico;
- 10 un estimador (44) en comunicación operativa con el sensor (42) flexible y configurado para:
- determinar un estado actual del sistema (11) de purificación de agua utilizando la demanda de oxígeno químico en tiempo real y los parámetros en tiempo real;
- comparar el estado actual del sistema (11) de purificación de agua con un estado esperado de dicho sistema de purificación de agua;
- 15 un predictor (46) acoplado operativamente al estimador (44), y configurado para predecir un evento para la ejecución por el sistema (11) de purificación de agua para alcanzar el estado esperado de dicho sistema de purificación de agua; y
- una unidad (24) de control de supervisión acoplada operativamente al predictor (46) y al sistema (11) de purificación de agua, y configurada para facilitar la ejecución del evento previsto por dicho sistema de purificación de agua.
- 20
2. El sistema (40) de control de la reivindicación 1, en el que el sistema (11) de purificación de agua incluye componentes, tales como una unidad (12) de agua de alimentación, un primer tanque (14) de equalización, un primer intercambiador (15) de calor, un digestor (16), un segundo tanque (27) de equalización, un segundo intercambiador (28) de calor, un biorreactor (30) de membrana, una unidad (32) de ósmosis inversa, una unidad (18) de limpieza de gases y una unidad (22) de generación de energía, o combinaciones de los mismos.
- 25
3. El sistema (40) de control de la reivindicación 1, en el que el dispositivo del sistema (11) de purificación de agua incluye al menos un digestor (16), un biorreactor (30) de membrana, una unidad (32) de ósmosis inversa y uno o más sensores (20) configurados para determinar los parámetros en tiempo real y el carbono orgánico total en tiempo real de una corriente de alimentación al sistema (11) de purificación de agua.
- 30
4. El sistema (40) de control de la reivindicación 1, el sensor (42) flexible que utiliza un patrón de demanda de oxígeno químico.
5. El sistema (40) de control de la reivindicación 4, en el que el patrón de demanda de oxígeno químico se construye asignando el carbono orgánico total fuera de línea y los colores de la corriente de alimentación a la demanda de oxígeno químico fuera de línea correspondiente para determinar una relación entre el carbono orgánico total fuera de línea y la demanda de oxígeno químico fuera de línea correspondiente, en el que los colores de la corriente de alimentación son el parámetro en tiempo real.
- 35
6. El sistema (40) de control de la reivindicación 1, en el que el estimador (44) está además configurado para utilizar parámetros fuera de línea y parámetros predeterminados, en el que los parámetros predeterminados son representativos de los parámetros de estado estable del sistema (11) de purificación de agua y los parámetros fuera de línea son representativos de los parámetros del sistema (11) de purificación de agua determinados fuera de línea.
- 40
7. El sistema (40) de control de la reivindicación 1, en el que el evento previsto comprende cambio en el pH del sistema (11) de purificación de agua, cambio en la concentración de biomasa, cambio en la alcalinidad, cambio en el carbono inorgánico, cambio en los niveles de nitrógeno y fósforo, cambio en la concentración de hidrógeno, o combinaciones de los mismos.
- 45
8. El sistema (40) de control de la reivindicación 1, que comprende además un detector (48) de eventos acoplado operativamente a la unidad (24) de control de supervisión y al predictor (46).
9. El sistema (40) de control de la reivindicación 8, en el que el detector (48) de eventos está configurado para determinar un estado posterior del sistema (11) de purificación de agua después de la ejecución del evento previsto.
- 50

10. El sistema (40) de control de la reivindicación 9, en el que el detector (48) de eventos está configurado para determinar una acción correctiva si el estado posterior del sistema (11) de purificación de agua es diferente del estado esperado de dicho sistema de purificación de agua.

5 11. El sistema (40) de control de la reivindicación 10, en el que el detector (48) de eventos está configurado para comunicar la acción correctiva a la unidad (24) de control de supervisión.

12. Un procedimiento de monitorización y control de un sistema (11) de purificación de agua, que comprende:

determinar el carbono orgánico total (TOC) en tiempo real y los parámetros en tiempo real de las aguas residuales impuras de una corriente de alimentación al sistema (11) de purificación de agua utilizando uno o más sensores (20);

10 determinar (86) una demanda de oxígeno químico (COD) en tiempo real del carbono orgánico total (TOC) en tiempo real de la corriente de alimentación al sistema (11) de purificación de agua utilizando un patrón de demanda de oxígeno químico;

determinar (88) un estado actual del sistema (11) de purificación de agua utilizando la demanda de oxígeno químico en tiempo real y los parámetros en tiempo real;

15 comparar (90) el estado actual del sistema (11) de purificación de agua con un estado esperado de dicho sistema de purificación de agua para determinar una diferencia entre el estado actual de dicho sistema de purificación de agua y el estado esperado de dicho sistema de purificación de agua;

20 predecir (96) un evento utilizando la diferencia entre el estado actual del sistema (11) de purificación de agua y el estado esperado de dicho sistema de purificación de agua para alcanzar el estado esperado de dicho sistema de purificación de agua; y ejecutar (98) el evento previsto para alcanzar el estado esperado del sistema (11) de purificación de agua.

13. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que determinar el estado actual del sistema (11) de purificación de agua comprende:

25 determinar los parámetros en tiempo real de la alimentación de entrada de dicho sistema de purificación de agua; y

30 aplicar una o más técnicas de estimación a los parámetros en tiempo real, a los parámetros predeterminados y a la demanda de oxígeno químico en tiempo real, en el que los parámetros predeterminados son representativos de los parámetros de estado estable del sistema de purificación de agua, y los parámetros fuera de línea son representativos de los parámetros fuera de línea determinados.

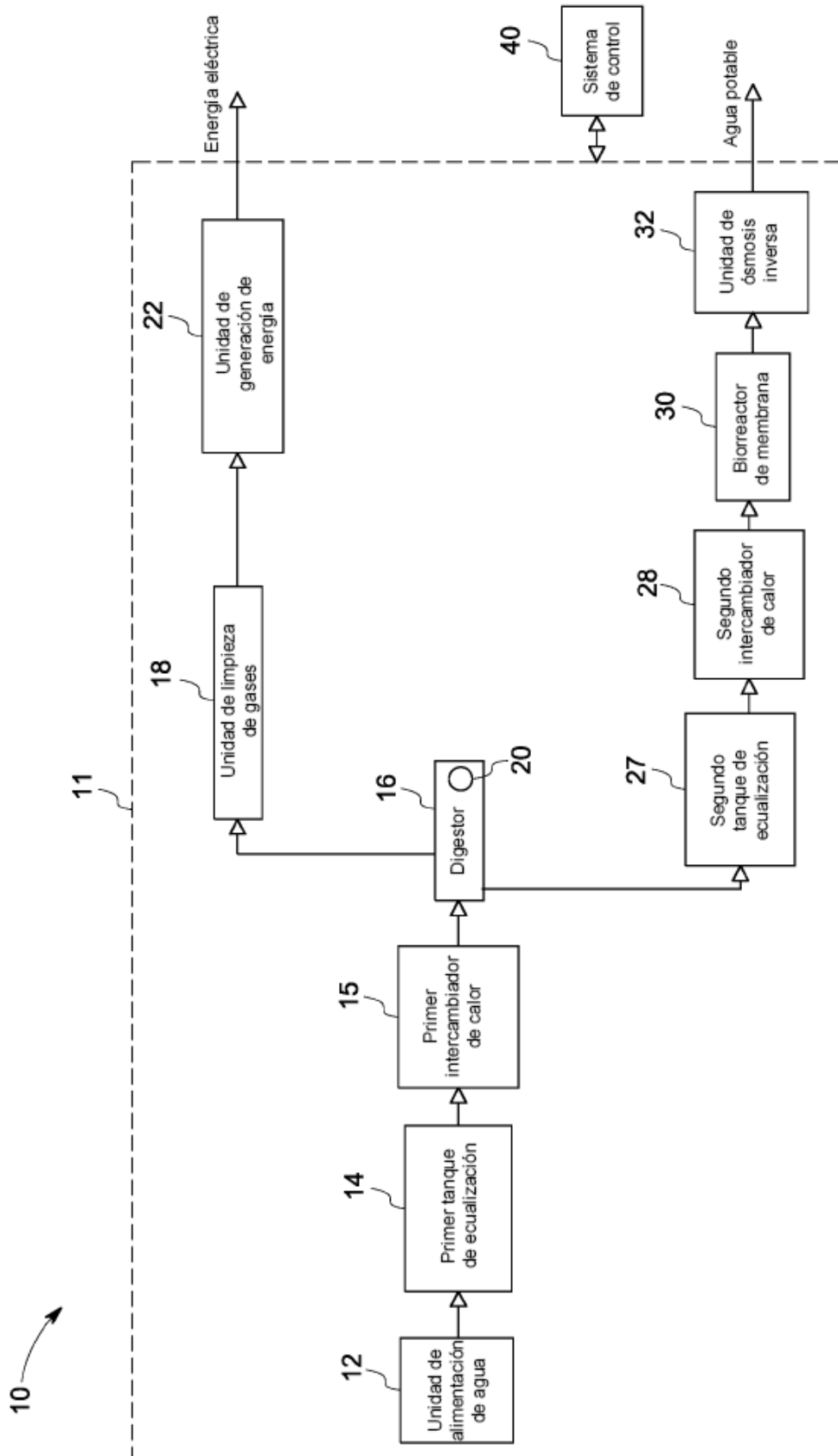


FIG. 1

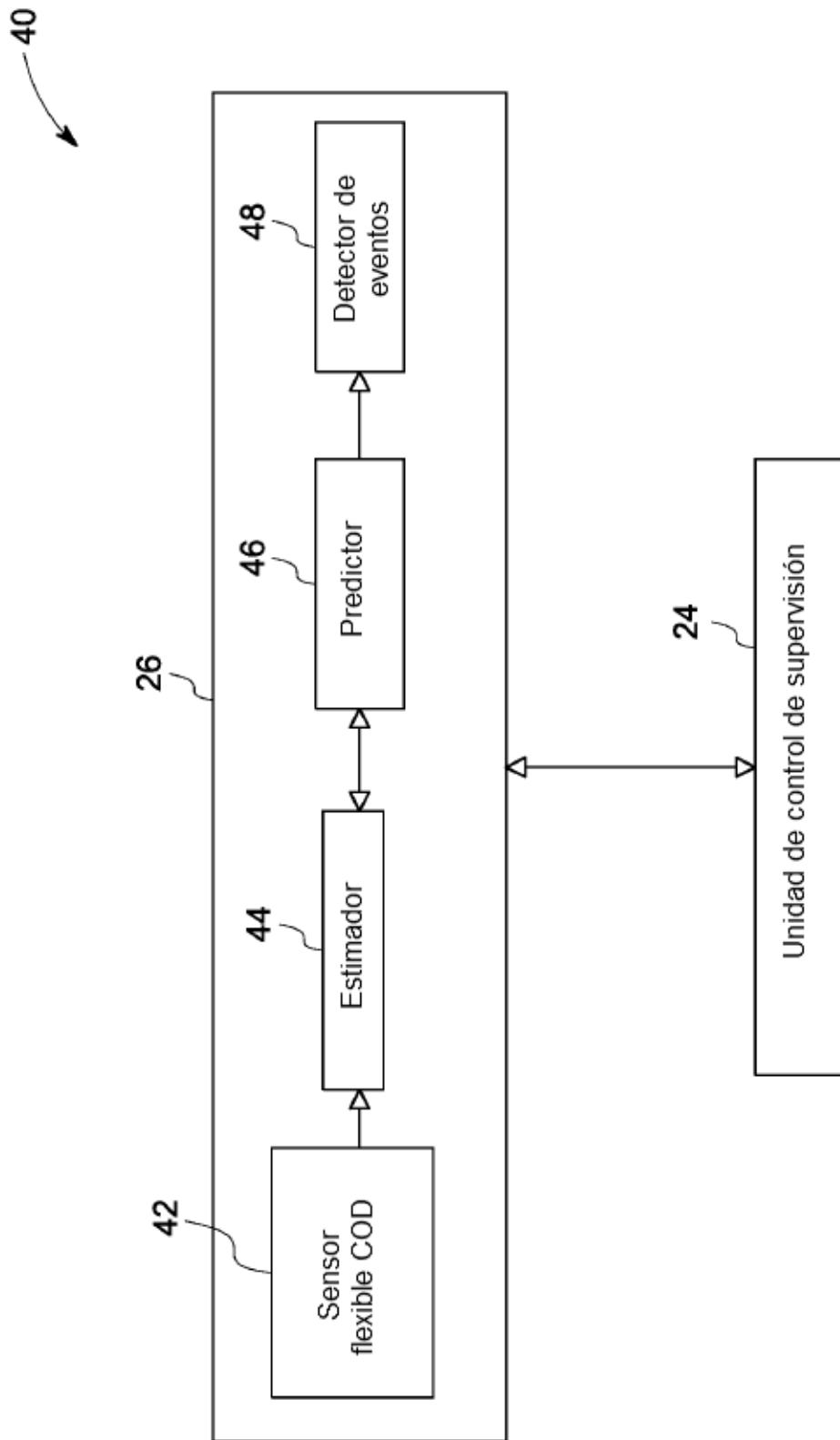


FIG. 2

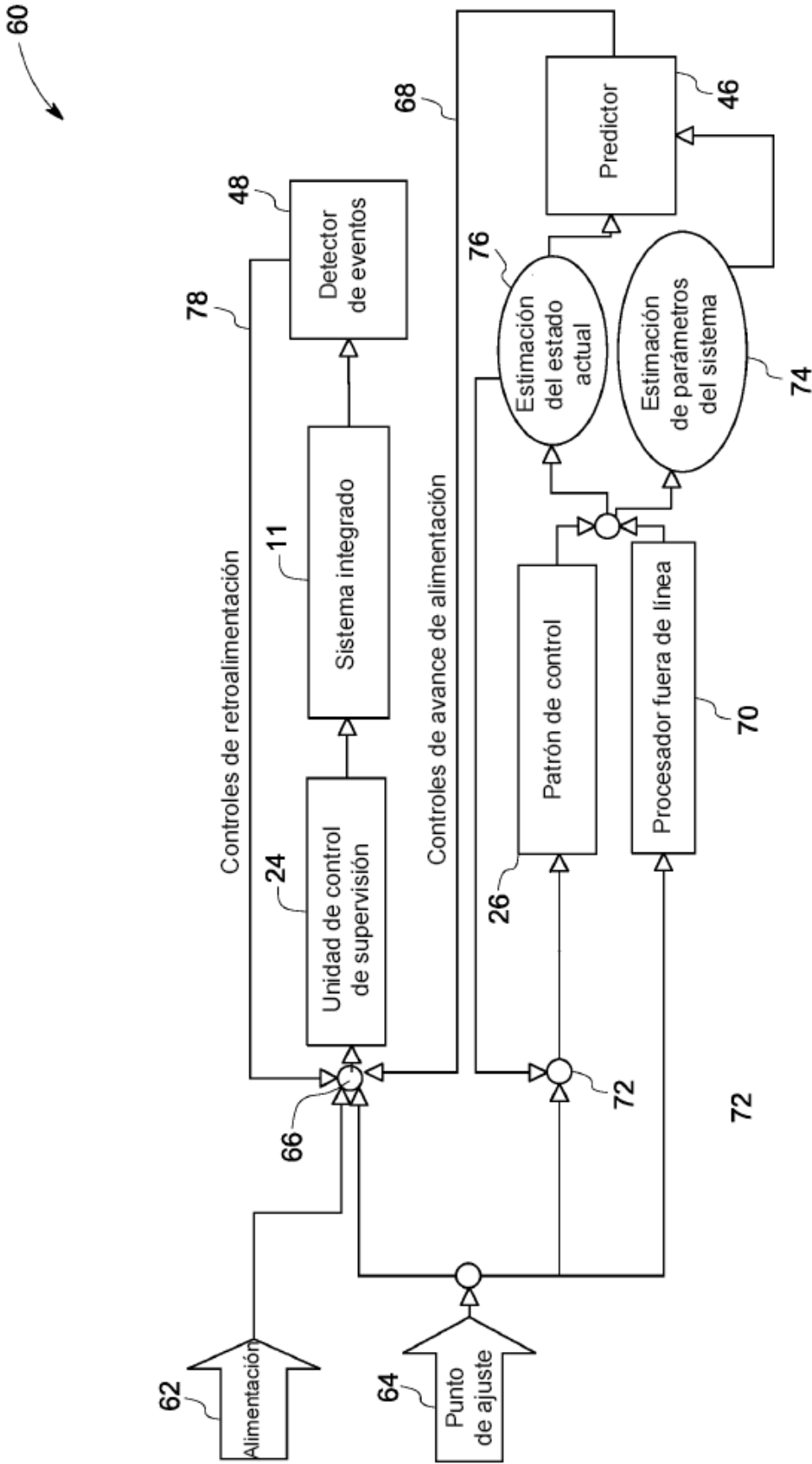


FIG. 3

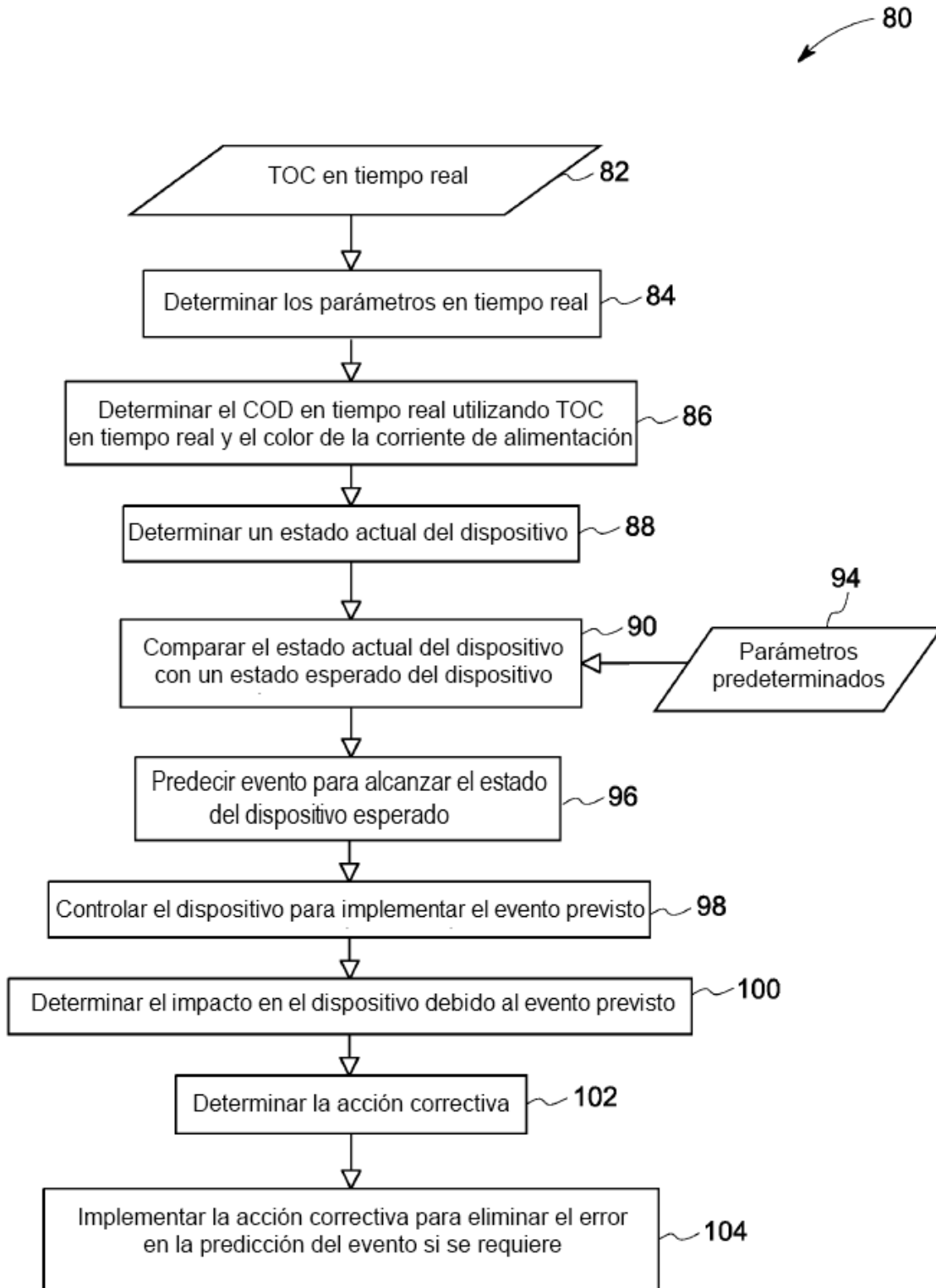


FIG. 4

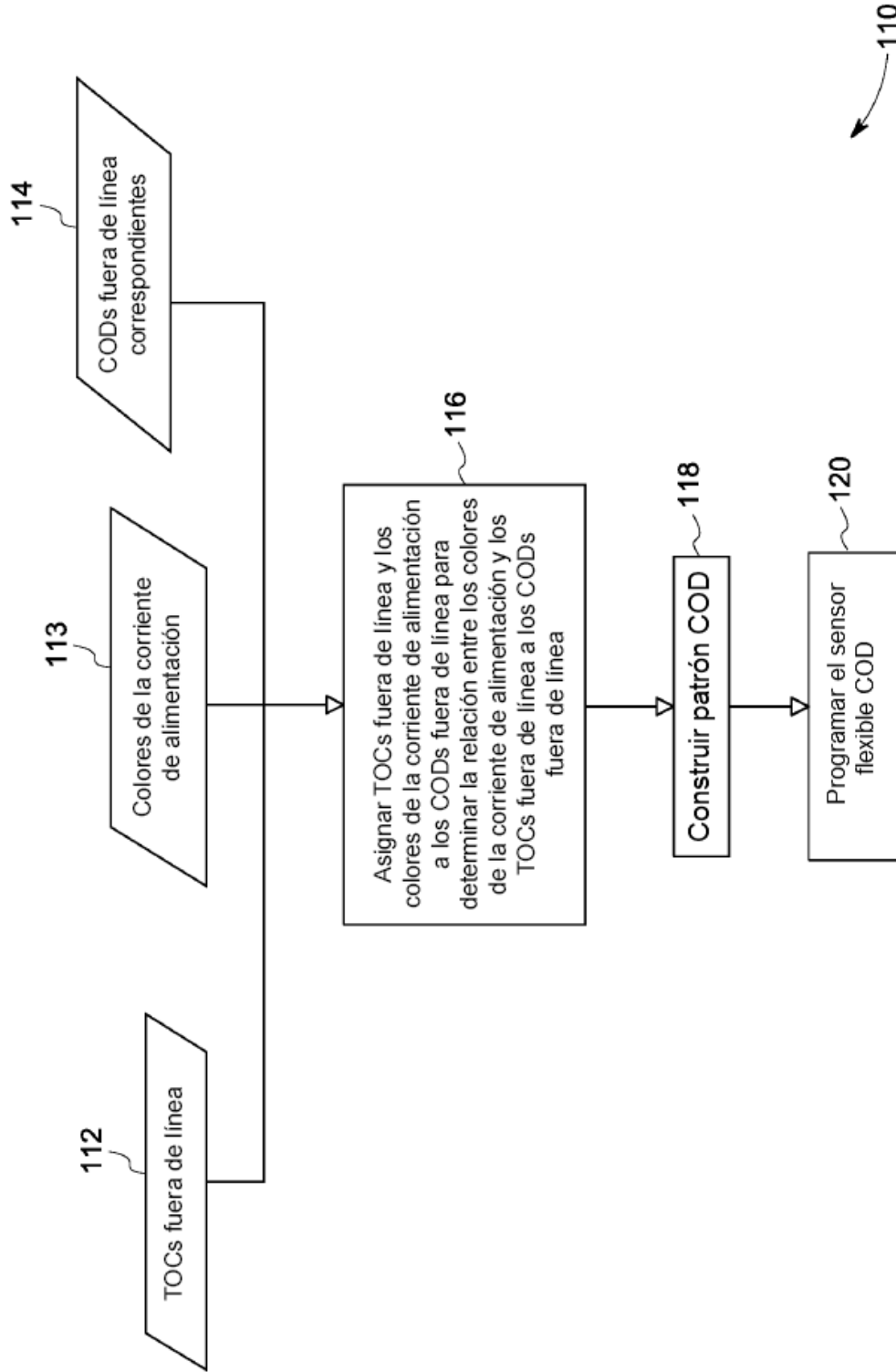


FIG. 5

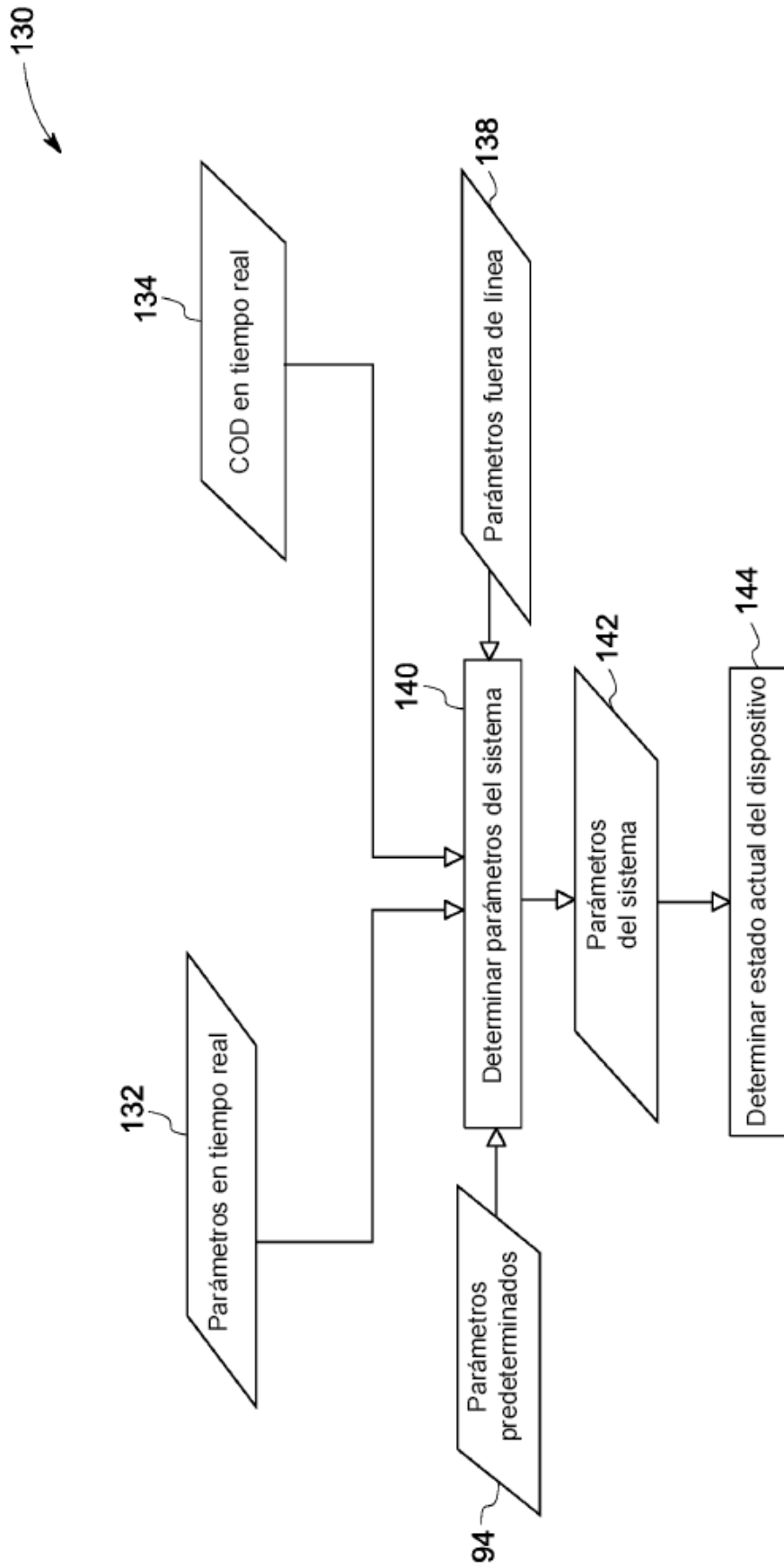


FIG. 6

150

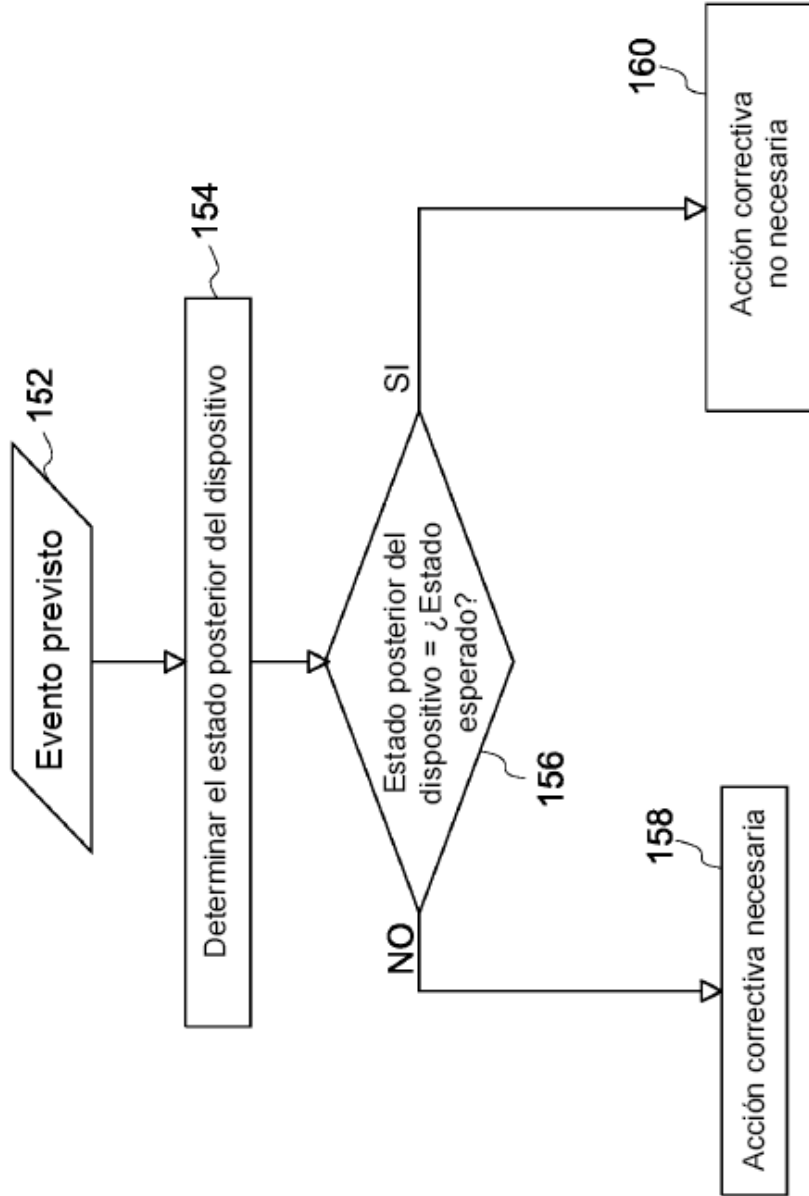


FIG. 7