

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 950 188**

51 Int. Cl.:

G05B 13/02 (2006.01)

G05B 19/418 (2006.01)

B27N 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.06.2020 PCT/EP2020/065126**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.12.2020 WO20240039**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2020 E 20728090 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2023 EP 3977213**

54 Título: **Método y sistema para controlar el contenido de humedad de fibra en un proceso de fabricación de aglomerado**

30 Prioridad:

30.05.2019 EP 19382440

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

05.10.2023

73 Titular/es:

FINANCIERA MADERERA, S.A. (100.0%)

Lugar de Formaris s/n

15770 Santiago de Compostela, A Coruña, ES

72 Inventor/es:

MERA PÉREZ, DAVID;

COTOS YÁÑEZ, JOSÉ MANUEL;

GÓMEZ TATO, ANDRÉS;

VIDAL FRANCO, JOSÉ IGNACIO;

MOURIÑO GALLEGO, JOSÉ CARLOS;

RECAMÁN GONZÁLEZ, SANTIAGO;

GONZÁLEZ PICHEL, JOSÉ y

MARTÍNEZ PÉREZ, JOSÉ ALBERTO

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 950 188 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y sistema para controlar el contenido de humedad de fibra en un proceso de fabricación de aglomerado

5 **Campo técnico**

La presente divulgación generalmente se refiere a un método y un sistema para controlar el contenido de humedad de fibra en un proceso de fabricación de aglomerado y, más específicamente, para controlar el contenido de humedad de fibra a la salida de una fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado. El proceso de fabricación de aglomerado puede adaptarse para fabricar cualquier tipo de producto de madera de ingeniería que esté hecho de fibras de madera, tal como aglomerado de baja densidad (LDF), aglomerado de densidad media (MDF) y tableros duros o aglomerado de alta densidad (HDF), y puede llevarse a cabo sometiendo la madera a un conjunto de fases secuenciales que comprenden una fase de astillado, una fase de desfibración, una fase de pegado en la que las fibras se mezclan con un aglutinante, una fase de secado, una fase de limpieza y una fase de formación en la que la estera de fibra resultante se prensa en caliente y se corta en tablas.

Antecedentes de la divulgación

El proceso de obtención de fibra pegada para la fabricación de productos de madera de ingeniería, tal como LDF, MDF o HDF, puede estar compuesto por un conjunto de fases secuenciales que, a partir del tronco de madera (p. ej., troncos de pino, álamo o eucalipto, entre otros) como materia prima fundamental genera la fibra pegada con la humedad deseada al final de la misma. La humedad de la fibra (medida como porcentaje de masa de agua en relación con la madera completamente seca) puede controlarse dentro de estrechos márgenes que dependen del producto a fabricar, pero eso generalmente está dentro del rango de 9-14 %.

El proceso de fabricación de aglomerado puede comprender una primera fase (fase de astillado) en la que los troncos se descortezan y se desforran en un tambor astillador que reduce los troncos en astillas de forma uniforme. La humedad de las astillas se mide con un sensor de humedad en base húmeda. Los sensores de humedad generalmente determinan el contenido volumétrico de agua en las astillas midiendo alguna propiedad de la madera, tal como la resistencia eléctrica, constante dieléctrica o midiendo la reflexión de las señales electromagnéticas emitidas. La humedad medida se puede convertir en una medida en base seca (que representa la cantidad final de humedad en la fibra de madera) mediante un ajuste a un polinomio de tercer grado.

Una segunda fase (fase de desfibrado) del proceso de fabricación de aglomerado puede comprender la introducción de las astillas en un digestor a través de, p. ej., un tornillo exprimidor que extrae parte de la humedad contenida en las astillas. Antes de la introducción de astillas en el digestor, las astillas de madera pueden transportarse a una tolva donde se precalientan con, por ejemplo, vapor (p. ej., a 80-90 °C). Esta fase de precalentamiento reduce la dureza de las astillas de manera que son fáciles de apretar con el tornillo exprimidor.

A continuación, las astillas se pueden cocinar en el digestor agregando vapor. La duración de esta etapa de digestión puede ser crítica desde el punto de vista de la calidad, ya que una duración excesiva puede provocar el ennegrecimiento y un tiempo demasiado corto puede dar lugar a un producto de baja calidad con fibras excesivamente grandes. A continuación, las astillas pueden introducirse en el desfibrador mediante un tornillo de extracción cuya velocidad de funcionamiento (rpm) determina el ritmo de producción en fábrica. El desfibrador desfibra las astillas para formar la fibra. El desfibrador consta de dos discos paralelos donde se desfibran las astillas. La separación de los discos se puede variar para controlar la calidad (tamaño final) de la fibra obtenida.

En una tercera fase (fase de mezclado o pegado) del proceso de fabricación de aglomerado, la fibra resultante puede pasar a muy alta velocidad y muy alta temperatura a través de la línea de soplado donde se mezcla con resina o pegamento, entre otros productos, que se introduce en forma nebulizada. La formulación de la resina o pegamento puede ser diferente dependiendo del producto final. En esta fase del proceso, se pueden agregar pigmentos y/o tintes para generar diferentes productos tal como MDF coloreado.

En una cuarta fase (fase de secado) del proceso de fabricación de aglomerado, la fibra pegada se seca. La fase de secado puede estar compuesta por un número variable de etapas de secado, generalmente una o dos etapas de secado. En una fase de secado que incluye dos etapas de secado, la primera etapa de secado puede comprender empujar la fibra hasta la parte superior de un ciclón con aire caliente generado por diferentes calderas, generadores o similares. Esta primera etapa de secado elimina la mayor parte de la humedad de las fibras. Al entrar en el ciclón, la fibra se precipita por gravedad mientras que la humedad extraída de las fibras es expulsada al exterior por convección natural. Una vez decantada la fibra en el primer ciclón mediante un proceso de centrifugación ciclónica, la fibra puede ser sometida a una segunda etapa de secado en un segundo ciclo con una estructura similar al anterior (secadora rápida + ciclón). En tal segunda etapa de secado, también se usan gases calientes para eliminar más humedad de las fibras, aunque dichos gases se encuentran a una temperatura inferior a la de la primera etapa de secado. La fibra, como en la primera etapa de secado, se precipita en un segundo ciclón. A continuación, a la salida del segundo ciclón, la humedad de la fibra se puede medir mediante un sensor de humedad que proporciona la cantidad de humedad en la fibra como porcentaje de agua en base seca.

5 En una quinta fase (fase de limpieza) la fibra se almacena en un silo que alimenta a otro silo por medio de un transportador neumático a través de un separador gravimétrico. En tal silo, grumos de pegamento, fibras con alto contenido de humedad debido a la condensación, fibras más grandes y otros contaminantes (residuos plásticos, goma, pequeños metales, etc.) se extraen del flujo de fibra.

10 En una sexta fase (fase de formación) del proceso de fabricación de aglomerado, la fibra se puede transportar al sistema de formación de aglomerado. El sistema de formación de aglomerado puede transformar la pulpa de fibra en una estera de fibra que se enrolla a través de una serie de equipos que producen una estera de fibra con peso controlado. Un juego de sierras para recortar bordes puede recortar los bordes de la estera de fibra para darle el ancho deseado a la tabla. Luego, la estera se pasa a través de la prensa caliente para lograr una fuerte unión de las fibras. Los aglomerados se pesan en una plataforma de pesaje, se enfrían a temperatura ambiente en un, por ejemplo, refrigerador de estrella y luego se apilan en una plataforma.

15 La fase de secado en el proceso de fabricación de aglomerado es un proceso altamente no lineal que consta de varios etapas distintas en las que existe una alta interrelación entre todos los parámetros que participan en el secado de las fibras. De hecho, los parámetros de secado dependen también de las etapas previas de generación de fibra hasta el punto de entrada en los secadoras. De forma adicional, una ligera variación de uno de dichos parámetros puede provocar una gran cadena de efectos en el proceso de secado que podrían afectar gravemente a la calidad del producto final.

20 Los sistemas de control actuales para controlar el contenido de humedad en el aglomerado pueden incluir una cadena de bucles de control basados en diferencias de temperatura que se administran por controladores lógicos programables (PLC) estándar o controladores proporcionales-integrales-derivativos (PID) ubicados en diferentes puntos de la línea de producción. Dichos sistemas de control tratan de alcanzar el punto de funcionamiento establecido para los dispositivos que participan en el proceso de fabricación, tal como ciclones, generadores, calderas, etc., evaluando la desviación (error) entre el valor de humedad medido actual y el valor de humedad deseado (punto de referencia) a la salida de la fase de secado. Los sistemas de control pueden modificar algunas variables de control en una cantidad que puede ser proporcional a la desviación medida. Estos sistemas de control además tienen en cuenta no solo el valor de desviación actual sino también el historial de desviaciones medidas previamente y el efecto que estas desviaciones (actuales y pasadas) pueden tener a través de una relación de cambio. Dichos sistemas de control no podrán tener en cuenta la modelización del proceso de fabricación de aglomerado ni los parámetros de producción de la fibra, por lo que dicho control puede no verse afectado directamente por los modelos o las etapas previas de producción de fibra actual. Dichos sistemas de control actuales son sistemas de control reactivos que modifican parámetros específicos del proceso o la configuración del sistema una vez que se ha producido el problema. De forma adicional, estos sistemas de control actuales tienen poca o ninguna capacidad de anticipación de problemas y una alta inercia que puede causar afectaciones en una parte importante de la fibra cuando ocurre un problema.

35 Otro tipo de sistemas de control pueden basarse en tecnologías de control predictivo de modelos (MPC). Dichos sistemas de control no gestionan los dispositivos de secado usando exclusivamente la desviación entre el valor de humedad deseado y el valor de humedad medido, pero se agrega un elemento adicional basado en un modelo operativo de los dispositivos de secado a controlar. De hecho, normalmente se considera que un MPC se refiere a una clase de algoritmos de control que usa un modelo de proceso explícito para predecir la respuesta futura de la planta de fabricación. Por ejemplo, el documento "Development of a grey model for a medium density fibreboard dryer in ecosimpro (Santos Bartolome P, Pitarch JL, de Prada), 2017" intenta crear un sistema MPC basado en un modelo analítico más alguna corrección de datos, pero que no tiene en cuenta el proceso de fabricación de la producción de fibra desde el descortezado hasta la última etapa de secado ni el proceso de secado en dos etapas con ciclón intermedio.

40 Otros sistemas de control pueden implementar tecnologías de control basado en datos (DDC). En estos casos, el control de los parámetros asociados a la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado se realiza exclusivamente usando datos actuales y pasados de los dispositivos de secado, sin usar un modelo explícito del sistema de fabricación de aglomerado.

55 El documento US2007/005525 A1 describe un sistema y método para controlar un proceso con condiciones espacialmente dependientes para producir un producto con propiedades espacialmente dependientes, p. ej., un proceso basado en banda/hoja para producir un producto basado en banda/hoja.

60 No obstante, los sistemas de control existentes para los procesos de fabricación de aglomerado no tienen en cuenta todos los parámetros de fabricación pertinentes para predecir y anticipar los problemas de fabricación, tal como la obtención de un producto final de baja calidad debido a un alto o bajo contenido de humedad en relación con los parámetros de calidad preestablecidos. Por lo tanto, el desafío actual en el control del contenido de humedad al final del proceso de fabricación de aglomerado es tener en cuenta todos los parámetros relevantes del proceso desde la etapa inicial de descortezado hasta el ciclón final, por lo que el proceso de secado (en una o varias etapas combinando tubos de secado rápido con ciclones) se puede ajustar de manera eficiente teniendo en cuenta el estado actual de las secadoras más la información previa sobre la producción de fibra. Debido a que el proceso de producción de fibra es

una cadena de problemas físicos complejos, abordar dichos problemas usando modelos analíticos es casi imposible y, si es factible usando modelos físicos detallados, es demasiado lento para usarse en un control de proceso en tiempo real.

- 5 Sin embargo, todos los problemas mencionados anteriormente se pueden abordar usando un enfoque de red neuronal, donde el proceso de fabricación de producción de fibra desde el descortezado hasta la última etapa de secado se puede modelar a partir de los datos recopilados y, posteriormente, este modelo se puede usar para controlar y ajustar el proceso de secado de la fibra. Siguiendo este enfoque, el proceso de secado se puede ajustar teniendo en cuenta cualquier variación de los parámetros del proceso de fabricación.

10

Descripción de la invención

15 En los procesos de fabricación de aglomerados, la humedad de la fibra tiene una relación directa con la calidad y propiedades de los tableros fabricados y, por lo tanto, su control y gestión son un factor clave de dichos procesos. El método y el sistema descritos en el presente documento analizan en tiempo real la información generada por un conjunto de sensores desplegados en la fábrica y, en función de la información recopilada, es capaz de generar una predicción de la humedad contenida en la fibra a la salida de la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado. Si la predicción no se ajusta al valor establecido o de referencia, establecido previamente por un operador, el sistema ejecuta en tiempo real una optimización de algunos de los parámetros del proceso de fabricación de aglomerado para ajustar los valores actuales de dichos parámetros, por ejemplo, las temperaturas de entrada de las secadoras, para obtener un contenido de humedad de fibra de salida cercano al valor de referencia.

25 Un primer aspecto de la invención se refiere a un sistema de control del contenido de humedad para controlar el contenido de humedad de fibra en un proceso de fabricación de aglomerado. Tal sistema de control de humedad comprende una pluralidad de sensores donde cada sensor está configurado para supervisar un parámetro respectivo del proceso de fabricación de aglomerado. Por lo tanto, los sensores pueden desplegarse en diferentes puntos de la línea de producción de aglomerado para supervisar los parámetros correspondientes. El sistema de control del contenido de humedad comprende además una pluralidad de controladores de bucle de retroalimentación. Cada controlador de bucle de retroalimentación está configurado para ajustar un parámetro particular del proceso de fabricación de aglomerado en función de una diferencia entre un punto de referencia predefinido asociado al parámetro particular y un valor actual del parámetro particular. Cada controlador de bucle de retroalimentación puede estar asociado a un sensor particular de la pluralidad de sensores, de tal manera que un controlador de bucle de retroalimentación en particular esté configurado para ajustar el parámetro supervisado por el sensor al que está asociado el controlador de bucle de retroalimentación en particular. Los controladores de bucle de retroalimentación pueden ser PID.

40 De forma adicional, el sistema de control del contenido de humedad comprende una unidad de control de humedad que está configurada para recibir una pluralidad de entradas, correspondiendo dicha pluralidad de entradas a los parámetros supervisados por la pluralidad de sensores. Las entradas comprenden al menos un punto de referencia predefinido para el contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado. La unidad de control de humedad está además configurada para generar, usando una red neuronal que comprende al menos una capa de red neuronal oculta, una estimación o predicción del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado, usando la red neuronal como entradas los parámetros supervisados (recogidos por los sensores) de la fase de secado y al menos otro parámetro de una fase de fabricación de aglomerado antes de la fase de secado. Por ejemplo, la red neuronal puede usar, como sus entradas, aquellas entradas recibidas de los sensores que están relacionadas con parámetros de las unidades de secado y otros parámetros relacionados con la fase de digestión y/o la fase de desfibrado. La unidad de control de humedad también está configurada para comparar la estimación o predicción generada con el punto de referencia predefinido para el contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado y para modificar al menos un punto de referencia asociado a una temperatura de secado de entrada correspondiente de una unidad de secado respectiva del proceso de fabricación de aglomerado sobre la base del resultado de la comparación. Dependiendo del número de unidades de secado en la línea de producción de aglomerado, la unidad de control de humedad puede modificar uno o más de los puntos de referencia asociados a las temperaturas de secado de entrada de las diferentes unidades de secado en la línea de producción de aglomerado.

55 En algunos ejemplos, la unidad de control de humedad está configurada para optimizar el al menos un punto de referencia asociado a la temperatura de secado de entrada correspondiente modificando el al menos un punto de referencia dentro de un rango predefinido para la temperatura de secado de entrada correspondiente, que debe ser lo suficientemente grande para permitir el control del sistema y lo suficientemente baja para asegurar que el modelo de red neuronal se pueda aplicar con baja incertidumbre. Por ejemplo, el rango predefinido puede ser ± 3 °C. Para optimizar el al menos un punto de referencia, la unidad de control de humedad puede minimizar la distancia (u otra función de coste definida que incluya al menos la distancia como un término) entre el punto de referencia de humedad y la predicción de humedad, encontrando un valor asociado a la temperatura de secado de entrada correspondiente dentro del rango predefinido, considerando una variación máxima, p. ej., ± 3 °C, de la temperatura de entrada con respecto a las mediciones actuales de la temperatura de secado de entrada, y considerando que otras mediciones actuales de los sensores usados en el modelo de red neuronal no cambian, lo que hace que dicha distancia sea mínima. Dado que el proceso termodinámico en las unidades de secado se rige por las diferencias de temperatura

65

entre la entrada y la salida, optimizar dicha modificación en los respectivos puntos de referencias mejora la eficiencia de la unidad de secado y minimiza las variaciones en el contenido de humedad de fibra después de las unidades de secado.

5 En tales ejemplos, la unidad de control de humedad está además configurada para optimizar un punto de referencia asociado a una primera temperatura de secado de entrada de una primera unidad de secado y un punto de referencia asociado a una segunda temperatura de secado de una segunda unidad de secado modificando el punto de referencia asociado a la primera temperatura de secado de entrada dentro de un primer rango predefinido para la primera temperatura de secado de entrada y el punto de referencia asociado a la segunda temperatura de secado de entrada dentro de un segundo rango predefinido para la segunda temperatura de secado de entrada. Para hacer eso, la unidad de control de humedad puede seleccionar la combinación de temperaturas de secado de entrada que, estando dentro de sus respectivos rangos predefinidos, minimiza la distancia entre el punto de referencia de humedad y la predicción de humedad a la salida de la fase de secado.

15 Como se usa en el presente documento, el término "redes neuronales" puede referirse a modelos de aprendizaje automático (ML) que emplean una o más capas de unidades no lineales para predecir una salida para una entrada recibida. Las redes neuronales pueden incluir una o más capas ocultas además de una capa de entrada y una capa de salida. La salida de cada capa oculta se usa como entrada para la siguiente capa en la red, es decir, la siguiente capa oculta o la capa de salida. Cada capa de la red genera una salida a partir de una entrada recibida de acuerdo con los valores actuales de un conjunto respectivo de parámetros.

Por ejemplo, la red neuronal usada por la unidad de control de humedad puede comprender una pluralidad de elementos neuronales que constituyen una capa de red neuronal de entrada, una pluralidad de elementos neuronales que constituyen una capa de red neuronal de salida, una pluralidad de elementos neuronales que constituyen al menos una capa de red neuronal oculta (intermedia) y pesos de conectividad que conectan dicha capa de red neuronal de entrada a dicha capa de red neuronal de salida. La capa de red neuronal de entrada recibe la pluralidad de entradas recopiladas de los sensores, siendo dicha pluralidad de entradas las medidas de los parámetros obtenidos en un instante concreto por los sensores que se despliegan a lo largo de la línea de producción en fábrica. Específicamente, la pluralidad de entradas comprende los valores de los parámetros medidos por los sensores y la medida de humedad de fibra a la salida de la fase de secado captada por un sensor físico.

Como se usa en el presente documento, el término "unidad de control de humedad" puede referirse al hardware de procesamiento de datos y abarcar todo tipo de aparatos, dispositivos y máquinas para el procesamiento de datos, incluyendo a modo de ejemplo un procesador programable, un ordenador, o múltiples procesadores u ordenadores. La unidad de control de humedad también puede ser, o incluir además, circuitería lógica de propósito especial, p. ej., un FP-GA (matriz de puertas programables en campo) o un ASIC (circuito integrado de aplicación específica). La unidad de control de humedad puede incluir opcionalmente, además de hardware, código que crea un entorno de ejecución para programas informáticos, p. ej., código que constituye el firmware del procesador, una pila de protocolos, un sistema de gestión de base de datos, un sistema operativo o una combinación de uno o más de ellos.

En algunos ejemplos, la unidad de control de humedad está configurada para recibir una política que comprende un conjunto de acciones de preprocesamiento y un conjunto de reglas de asignación de errores para las entradas. Esta política puede ser aplicada por la unidad de control de humedad a la pluralidad de entradas recibidas, acuñada como caso. A este caso, la unidad de control de humedad asigna un código de error "OK" (que se representa numéricamente como 99). Cada regla de asignación de errores se aplica a una entrada en particular o a un subconjunto de entradas de este caso y la unidad de control de humedad está configurada para asignar un código numérico al caso en función de la regla de asignación de errores correspondiente. Por ejemplo, una regla de asignación de errores puede comprender un primer rango y un segundo rango para la entrada en particular. El primer rango puede corresponder a valores de parámetros que no tienen interés operativo, mientras que el segundo rango puede corresponder a valores de parámetros que tienen interés operativo y, por tanto, son valores válidos. En tales ejemplos, cuando el parámetro asociado a la entrada en particular está dentro del primer rango, la unidad de control de humedad está configurada para asignar un código de error numérico específico al caso particular entre 0 y 98 dependiendo de la gravedad del error si dicho error numérico específico es menor que el error numérico almacenado actualmente para el caso particular. Cuando el parámetro asociado a la entrada en particular está dentro del segundo rango, el código de error asignado a este caso particular no cambia. Después de ejecutar todas las reglas de asignación de errores en la política, si el caso tiene un código numérico diferente de "OK", el caso se marca como "Error" si el valor numérico del código de error del caso está entre 0 y 49, y como "Advertencia" si el valor está entre 50 y 98.

En tales ejemplos, cuando un caso compuesto por la pluralidad de entradas está asociado a un código de "Error", la unidad de control de humedad está configurada para descartar la pluralidad de entradas recibidas e informar a un operador de la imposibilidad de generar la predicción. Solo cuando el caso está asociado a un código "OK" o "Advertencia", la unidad de control de humedad está configurada para realizar la predicción y asociar dicho código de error del caso a la predicción generada.

En algunos ejemplos, después de aplicar las reglas de filtrado de errores, cada acción de preprocesamiento se aplica a una entrada particular de la pluralidad de entradas para normalizar las entradas. Las entradas pueden referirse a

parámetros con valores de escala muy diferentes (p. ej., diferencia de presión -110 kPa [-1,1 bar], [50 200] °C). Al normalizar la pluralidad de entradas, estos valores que podrían medirse en diferentes escalas se transforman a una escala teóricamente común. A modo de ejemplo, las acciones de preprocesamiento pueden transformar un conjunto de medidas en otro en el que la media de los valores sea 0 y su desviación típica sea 1. El proceso de normalización se realiza para cada parámetro de forma independiente entre sí.

En algunos ejemplos, los controladores de bucle de retroalimentación asociados a los sensores que supervisan las diferentes temperaturas de secado de entrada de las unidades de secado están configurados para ajustar al menos una de las temperaturas de secado de entrada de las unidades de secado correspondientes en función de la diferencia entre los puntos de referencia modificados y los valores actuales de las temperaturas de secado de entrada correspondientes. Más preferentemente, los controladores de bucle de retroalimentación asociados a la primera temperatura de secado de entrada y a la segunda temperatura de secado de entrada están configurados para ajustar la primera temperatura de secado de entrada y la segunda temperatura de secado de entrada en función de la diferencia entre el punto de referencia modificado y el valor actual de la primera temperatura de secado de entrada y la segunda temperatura de secado de entrada, respectivamente.

En algunos ejemplos, la unidad de control de humedad está configurada para optimizar al menos uno de los puntos de referencia asociados a una primera temperatura de secado de entrada de la primera unidad de secado y el punto de referencia asociado a la segunda temperatura de secado de entrada de la segunda unidad de secado en función del resultado de la comparación entre el punto de referencia del contenido de fibra de humedad actual y el contenido de humedad previsto usando dichas temperaturas de entrada y de al menos un parámetro adicional. Preferentemente, el al menos un parámetro adicional puede ser la distancia entre una distribución de energía predefinida entre la primera unidad de secado y la segunda unidad de secado y el valor previsto actual para esta distribución de energía.

En algunos ejemplos, la unidad de control de humedad está además configurada para seleccionar un subconjunto de entradas de la pluralidad de entradas y generar la estimación o predicción del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado en función del subconjunto de entradas. Este subconjunto de entradas puede seleccionarse en función de la relevancia de los parámetros asociados a las entradas para obtener la predicción. Reducir el número de entradas usadas para generar la predicción, reducir el tiempo de entrenamiento de la red neuronal, reducir los tiempos de generación de predicciones, evitar la maldición de la dimensionalidad, etc. Las entradas no seleccionadas pueden almacenarse en el historial pero se descartan para el proceso de predicción.

En algunos ejemplos, la red neuronal puede ser un modelo de regresión no lineal tal como una red neuronal profunda o una máquina de vectores de soporte (SVM), entre otros.

En algunos ejemplos, la pluralidad de entradas corresponde a parámetros relacionados con la fase de desfibrado, la fase de pegado y la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado. En estas tres fases, se generan los parámetros de fabricación más relevantes.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un método para controlar el contenido de humedad en un proceso de fabricación de aglomerado. El proceso de fabricación de aglomerado comprende al menos una fase de secado del aglomerado. El método comprende las etapas de:

recibir, en una unidad de control de humedad, una pluralidad de entradas correspondientes a parámetros relacionados con el proceso de fabricación de aglomerado, capturándose los parámetros por una pluralidad de sensores y comprendiendo un contenido actual de humedad de fibra a la salida de una fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado y un punto de referencia predefinido del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado;

generar, por la unidad de control de humedad y usando una red neuronal que comprende al menos una capa de red neuronal oculta, una estimación del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado, usando la red neuronal como entradas los parámetros relacionados con la fase de secado y al menos otro parámetro de una fase de fabricación de aglomerado anterior a la fase de secado;

comparar, por la unidad de control de humedad, la estimación con el punto de referencia predefinido del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado; y

modificar, por la unidad de control de humedad, un punto de referencia asociado a al menos una temperatura de secado de entrada de una unidad de secado respectiva del proceso de fabricación de aglomerado en función del resultado de la comparación.

Dependiendo del número de unidades de secado en el proceso de fabricación de aglomerado, el método puede comprender modificar un número diferente de puntos de referencia asociados a diferentes temperaturas de secado de entrada de las unidades de secado del proceso de fabricación de aglomerado. Por ejemplo, cuando hay dos unidades de secado, el método puede comprender modificar al menos uno de un punto de referencia asociado a una primera temperatura de secado de entrada de la primera unidad de secado y un punto de referencia asociado a una segunda temperatura de secado de entrada de la segunda unidad de secado en función del resultado de la comparación.

En algunos ejemplos, el método comprende además optimizar el al menos un punto de referencia asociado a una

temperatura de secado de entrada correspondiente modificando el al menos un punto de referencia dentro de un rango predefinido para la temperatura de secado de entrada correspondiente. Por tanto, la unidad de control de humedad puede optimizar la distancia entre la predicción de humedad y el punto de referencia asociado a la temperatura de secado de entrada correspondiente dentro del rango predefinido, p. ej., ± 3 °C. Para optimizar el al menos un punto de referencia, la unidad de control de humedad puede minimizar la distancia (u otra función de coste definida que incluya al menos la distancia como un término) entre el punto de referencia de humedad y la predicción de humedad, encontrando un valor asociado a la temperatura de secado de entrada correspondiente dentro del rango predefinido, considerando la variación máxima, p. ej., ± 3 °C, de la temperatura de entrada con respecto a las mediciones actuales de la temperatura de secado de entrada, y considerando que otras mediciones actuales de los sensores usados en el modelo de red neuronal no cambian, lo que hace que dicha distancia sea mínima.

En tales ejemplos, y para el caso en que la fase de secado esté formada por dos unidades de secado, el método comprende optimizar un punto de referencia asociado a una primera temperatura de secado de entrada de una primera unidad de secado y un punto de referencia asociado a una segunda temperatura de secado de una segunda unidad de secado modificando el punto de referencia asociado a la primera temperatura de secado de entrada dentro de un primer rango predefinido para la primera temperatura de secado de entrada y el punto de referencia asociado a la segunda temperatura de secado de entrada dentro de un segundo rango predefinido para la segunda temperatura de secado de entrada.

En algunos ejemplos, los controladores de bucle de retroalimentación asociados a los sensores que supervisan las diferentes temperaturas de secado de entrada de las unidades de secado del proceso de fabricación de aglomerado pueden ajustar al menos una de las temperaturas de secado de entrada de las unidades de secado correspondientes en función de la diferencia entre los puntos de referencia modificados y los valores actuales de las correspondientes temperaturas de secado de entrada.

En algunos ejemplos, el método comprende además ajustar, por un primer controlador de bucle de retroalimentación asociado a la primera temperatura de secado de entrada de una primera unidad de secado, la primera temperatura de secado de entrada basada en una diferencia entre el punto de referencia modificado asociado a la primera temperatura de secado de entrada y un valor actual de la primera temperatura de secado de entrada. Dicho de otra forma, el primer controlador de bucle de retroalimentación que está asociado al sensor que supervisa el primer aumento de temperatura de secado de entrada, mantiene o disminuye la primera temperatura de secado de entrada (por ejemplo, instruyendo a las calderas o calentadores que modifiquen su temperatura de salida) en función de una diferencia entre el punto de referencia modificado y el valor actual (supervisado por el sensor) de la primera temperatura de secado de entrada. De forma análoga, el método ajusta, por un segundo controlador de bucle de retroalimentación asociado a la segunda temperatura de secado de entrada de una segunda unidad de secado, la segunda temperatura de secado de entrada en función de una diferencia entre el punto de referencia modificado asociado a la segunda temperatura de secado de entrada y un valor actual de la segunda temperatura de secado de entrada.

En algunos ejemplos, el método comprende determinar, por la unidad de control de humedad, si la pluralidad de entradas recibidas de la pluralidad de sensores están dentro de respectivos rangos predefinidos. Aquellas entradas fuera de los rangos predefinidos pueden ser descartadas.

En algunos ejemplos, el método comprende modificar al menos uno del punto de referencia asociado a una primera temperatura de secado de entrada de la primera unidad de secado y el punto de referencia asociado a la segunda temperatura de secado de entrada de la segunda unidad de secado en función del resultado de la comparación y de una distribución de energía entre la primera unidad de secado y la segunda unidad de secado.

En algunos ejemplos, el método comprende seleccionar un subconjunto de entradas de la pluralidad de entradas y generar la estimación del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado en función del subconjunto de entradas.

En algunos ejemplos, el método comprende recibir una pluralidad de entradas que corresponden a parámetros relacionados con la fase de desfibrado, la fase de pegado y la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado.

En algunos ejemplos, la predicción generada en un instante determinado se compara con una serie de medidas del contenido de humedad de fibra recogidas previamente por el sensor situado a la salida de la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado. En función de dicha comparación, se puede determinar una desviación del sensor y la predicción se puede calibrar en función de la desviación. Esta calibración de la predicción podrá realizarse periódicamente con el fin de minimizar la desviación que el sensor situado a la salida de la fase de secado pueda estar introduciendo en las medidas recogidas.

En algunos ejemplos, el método se ejecuta periódicamente a determinados intervalos de tiempo. Por ejemplo, el método puede ejecutarse en un intervalo de tiempo de unos pocos segundos, p. ej., cada 7 segundos. De esta forma, el controlador de circuito de retroalimentación tiene tiempo suficiente para modificar las temperaturas de secado de entrada antes de que el sistema active una nueva predicción.

En algunos ejemplos, el método se realiza en tiempo real. Por lo tanto, para cada conjunto de entradas recolectadas en un instante particular, se genera una estimación o predicción y en función de dicha estimación, los métodos y los aparatos pueden controlar algunos de los parámetros del proceso de fabricación de aglomerado para ajustar el contenido de humedad medido a la salida de la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado al contenido de humedad deseado (punto de referencia), todo ello realizándose en tiempo real.

Si bien el presente método y sistema se centra principalmente en modificar la temperatura de entrada de las unidades de secado para controlar el contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado, el método y el sistema descritos en el presente documento pueden modificar cualquier otro parámetro (o combinación de parámetros) del proceso de fabricación de aglomerado, tal como las rpm del tornillo que alimenta el digestor, etc., para controlar dicho contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado.

Breve descripción de los dibujos

Para complementar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo práctico de realización de la misma, se adjunta un conjunto de figuras como parte integral de la descripción, en las que se expone a título enunciativo y no limitativo lo siguiente:

la figura 1 muestra un diagrama de flujo de un método de ejemplo para controlar el contenido de humedad en un proceso de fabricación de aglomerado.

La figura 2 muestra un diagrama de flujo de un método de ejemplo para generar la predicción del contenido de humedad en el aglomerado a la salida de la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado.

La figura 3 muestra un diagrama de flujo de un método de ejemplo para modificar el punto de referencia asociado a la temperatura de entrada de una secadora en función de la predicción generada.

La figura 4 muestra un ejemplo de sistema de control del contenido de humedad para controlar el contenido de humedad de fibra en un proceso de fabricación de aglomerado.

Descripción de modos de realización de la invención

La figura 1 muestra un diagrama de flujo de un método 100 de ejemplo para controlar el contenido de humedad en un proceso de fabricación de aglomerado.

En la etapa 101 del método 100, la unidad de control de humedad recibe una pluralidad de entradas correspondientes a parámetros relacionados con el proceso de fabricación de aglomerado. Estos parámetros son capturados por una pluralidad de sensores ubicados en diferentes puntos de la línea de producción de aglomerado en la fábrica. A modo de ejemplo, los sensores pueden ser sensores volumétricos, sensores de temperatura, sensores de presión, sensores de velocidad, etc. Los parámetros capturados por la pluralidad de sensores incluyen al menos el punto de referencia predefinido del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado. Otros parámetros recogidos por la pluralidad de sensores pueden ser la humedad de las astillas; la posición del disco giratorio, la potencia de los motores involucrados en el proceso y la apertura de la válvula del desfibrador; velocidad de los tornillos sin fin, nivel de fibra, tiempo de residencia y presión dentro del digestor; cantidad de pegamento y otros aditivos agregados y presión de vapor dentro de la línea de soplado; temperaturas de entrada y salida, flujos de gas y aire en las secadoras; humedad y temperatura del aire exterior, etc.

Los sensores pueden tener conexiones por cable con la unidad de control de humedad o pueden implementar conexiones sin cable, tal como conexiones Bluetooth o Wi-Fi con la unidad de control de humedad.

En la etapa 102 del método 100, la unidad de control de humedad, usando una red neuronal que comprende al menos una capa de red neuronal oculta, genera una predicción del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado que se basa en las entradas recibidas. Esta predicción se basa en las entradas correspondientes a parámetros relacionados con la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado, es decir, parámetros relacionados con las unidades de secado, tal como las temperaturas de entrada y salida, flujos de gas y aire en las secadoras, etc., y al menos otro parámetro recogido en una fase de fabricación de aglomerado antes de la fase de secado. Este al menos otro parámetro puede ser uno o más parámetros recogidos desde la fase de digestión (p. ej., la velocidad de los tornillos sin fin), la fase de desfibrado (p. ej., la posición del disco giratorio), desde la fase de pegado (p. ej., cantidad de aditivos añadidos en la línea de soplado) o cualquier combinación de los mismos.

En la etapa 103 del método 100, la unidad de control de humedad compara la predicción generada con el punto de referencia predefinido del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado.

En la etapa 104 del método 100, la unidad de control de humedad modifica al menos un punto de referencia asociado a una temperatura de secado de entrada correspondiente de una unidad de secado respectiva del proceso de fabricación de aglomerado basándose en el resultado de la comparación. En función de dicha comparación y cuando exista diferencia entre el valor previsto y el punto de referencia establecido a la salida de la unidad de secado, la unidad de control de humedad puede aumentar o disminuir el punto de referencia asociado a la temperatura de secado

de entrada correspondiente. Este método 100 se realiza en tiempo real. De forma adicional, la unidad de control de humedad optimiza los valores de los puntos de referencia modificados de las temperaturas de secado de entrada considerando el rango predefinido respectivo para las temperaturas de secado de entrada correspondientes. La unidad de control de humedad puede determinar varias combinaciones de temperaturas de secado de entrada modificadas y seleccionar la combinación de temperaturas de secado de entrada modificadas que, estando dentro de los rangos predefinidos de las respectivas temperaturas de secado de entrada, optimiza el resultado. Por ejemplo, la unidad de control de humedad puede considerar un parámetro adicional, tal distribución de energía preestablecida entre las unidades de secado, y en función de dicho parámetro adicional la unidad de control de humedad puede seleccionar las combinaciones apropiadas de temperaturas de secado de entrada modificadas para las unidades de secado.

De esta forma, se puede anticipar cualquier desviación del porcentaje de contenido de humedad en la fibra con respecto al punto de referencia y, en consecuencia, las temperaturas de entrada de las secadoras se pueden optimizar y modificar automáticamente. Modificando los puntos de referencia asociados a las temperaturas de entrada de las secadoras, la temperatura de los gases que se inyectan en las secadoras puede modificarse por los PID asociados a los sensores que miden la temperatura de entrada de las secadoras. Esto permite eliminar, o al menos minimizar, la desviación prevista. Por lo tanto, el método descrito en el presente documento proporciona un proceso de producción de aglomerado más homogéneo desde el punto de vista de la humedad al mismo tiempo que permite la automatización del proceso evitando interacciones con los operadores y la instalación de sensores físicos de respaldo.

La figura 2 muestra un diagrama de flujo de un método 200 de ejemplo para generar la predicción del contenido de humedad en el aglomerado a la salida de la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado.

En la etapa 201 del método 200, la unidad de control de humedad recibe una pluralidad de entradas correspondientes a parámetros relacionados con el proceso de fabricación de aglomerado. Estos parámetros son capturados en tiempo real por una pluralidad de sensores ubicados en diferentes puntos de la línea de producción de aglomerado en la fábrica.

En la etapa 202 del método 200, la unidad de control de humedad verifica si las entradas recibidas incluyen los parámetros apropiados para generar la predicción del contenido de humedad. En ese caso, la unidad de control de humedad detectaría la falta de un parámetro esencial, p. ej., las temperaturas de secado de entrada de las unidades de secado de la línea de producción de aglomerado, para generar dicha predicción, entonces la unidad de control de humedad puede lanzar una excepción 203 que descartaría todas las entradas recibidas y saldría del proceso.

En la etapa 204 del método 200, la unidad de control de humedad determina si se deben aplicar algunos filtros a las entradas recibidas. Estos filtros incluyen políticas que comprenden reglas de asignación de errores para las entradas. Las políticas son aplicadas por la unidad de control de humedad a la pluralidad de entradas recibidas, acuñadas como caso. A este caso, la unidad de control de humedad asigna 205 un código de error "OK" (que se representa numéricamente como 99). Cada regla de asignación de errores se aplica a una entrada en particular o a un subconjunto de entradas de este caso y la unidad de control de humedad está configurada para asignar un código numérico al caso en función de la regla de asignación de errores correspondiente. Por ejemplo, una regla de asignación de errores puede comprender un primer rango y un segundo rango para la entrada en particular. El primer rango puede corresponder a valores de parámetros que no tienen interés operativo, mientras que el segundo rango puede corresponder a valores de parámetros que tienen interés operativo y, por tanto, son valores válidos. En tales ejemplos, cuando el parámetro asociado a la entrada en particular está dentro del primer rango, la unidad de control de humedad está configurada para asignar un código de error numérico específico al caso particular entre 0 y 98 dependiendo de la gravedad del error, si dicho error numérico específico es menor que el error numérico almacenado actualmente para el caso particular. Cuando el parámetro asociado a la entrada en particular está dentro del segundo rango, el código de error asignado a este caso particular no cambia. Después de ejecutar todas las reglas de asignación de errores en la política, si el caso tiene un código numérico diferente de "OK", el caso se marca como "Error" si el valor numérico del código de error del caso está entre 0 y 49, y como "Advertencia" si el valor está entre 50 y 98. Si el caso está marcado como "Error", la unidad de control de humedad puede lanzar la excepción 206, descartar la pluralidad de entradas recogidas en ese instante particular y devolver solo este código de error.

En la etapa 207 del método 200, la unidad de control de humedad determina si es necesario normalizar las entradas. Es posible que las entradas deban normalizarse en función de sus valores de escala. Para normalizar las entradas, la unidad de control de humedad aplica acciones de preprocesamiento a las entradas. Al normalizar la pluralidad de entradas, los valores de entrada se transforman a una escala común. Por tanto, cuando los valores de escala en que se reciben las entradas son diferentes entre sí, la unidad de control de humedad normaliza 208 las entradas. Una vez que se hayan normalizado las entradas o cuando la unidad de control de humedad determine que no se requiere normalización, la unidad de control de humedad selecciona 209 un subconjunto de entradas de la pluralidad de entradas y aplica 210 una red neuronal artificial, p. ej., una red neuronal profunda artificial, para generar la predicción del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado.

En la etapa 211 del método 200, la unidad de control de humedad determina si es necesario desnormalizar la salida de la red neuronal artificial. La unidad de control de humedad desnormaliza 212 la salida de la red neuronal artificial.

En la etapa 213 del método, se genera la predicción del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado.

5 La figura 3 muestra un diagrama de flujo de un método 300 de ejemplo para modificar el punto de referencia asociado a la temperatura de entrada de una secadora en función de la predicción generada.

10 La unidad de control de humedad recibe la pluralidad de entradas 301 de los sensores y el punto de referencia de humedad predefinido 302 y activa la optimización 303 de los parámetros involucrados (p. ej., las temperaturas de secado de entrada). Para realizar esta optimización 303, la unidad de control de humedad compara el valor previsto 304 (obtenido como se muestra en la figura 2 usando las entradas recibidas 301) del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado, dicho de otra forma, a la salida de la última unidad de secado de las unidades de secado del proceso de fabricación de aglomerado, con el punto de referencia 302 establecido para el contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado. Por ejemplo, el valor previsto 304 para el contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado puede ser del 11 %, mientras que el punto de referencia 302 correspondiente
15 puede ser del 11,5 %. Si la diferencia (distancia) entre el valor previsto y el punto de referencia es superior a un umbral predefinido, p. ej., 0,02 y no se ha alcanzado el número máximo de ciclos permitidos (p. ej., 4) u otros criterios de parada no se cumplen, luego, la unidad de control de humedad determina que el valor previsto y el punto de referencia no coinciden, compara esta nueva distancia con la distancia calculada en un ciclo anterior y si es menor, almacenar esta combinación (combinación de temperaturas de secado de entrada) como la mejor solución y luego, la unidad de control de humedad modifica las temperaturas de secado de entrada propuestas y solicita una nueva predicción de humedad 304. El objetivo de este bucle es obtener la combinación de parámetros de entrada (conocido como mejor caso) que minimice esta distancia (proceso conocido como optimización). La optimización se puede ejecutar usando este ciclo o usando otras técnicas, p. ej., que generan una pluralidad de predicciones de humedad para seleccionar aquella que minimice la distancia entre la predicción y el punto de referencia (el mejor de los casos). Cuando la diferencia entre el valor previsto y el punto de referencia es inferior a un umbral predefinido (por ejemplo, el valor de contenido de humedad previsto es 11,49 %) o el número de ciclos es superior al número máximo de ciclos permitidos o se cumplen otros criterios de parada, luego la unidad de control de humedad modifica 306 el punto de referencia previamente establecido usando el valor del punto de referencia en el mejor caso almacenado.

30 Este punto de referencia modificado se envía 306 al PID que está asociado al sensor que está supervisando la temperatura de entrada de las unidades de secado. El PID, al recibir el punto de referencia modificado, ajusta 307 la temperatura de entrada de las unidades de secado para alcanzar el punto de referencia modificado para el contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado. Por ejemplo, el PID puede indicar a las aletas que reduzcan la abertura en un 1 %.

35 La figura 4 es un diagrama de bloques de un ejemplo de sistema de control del contenido de humedad 400 para controlar el contenido de humedad de fibra en un proceso de fabricación de aglomerado en el que un medio de almacenamiento legible por máquina 401 almacena instrucciones a ejecutar por un procesador 402 de la unidad de control de humedad 403. Debe entenderse que el sistema de control del contenido de humedad 400 representado en la figura 4 puede incluir componentes adicionales y que algunos de los componentes descritos en el presente documento pueden eliminarse y/o modificarse sin apartarse del alcance del ejemplo del sistema de control del contenido de humedad 400. Adicionalmente, la implementación del sistema de control del contenido de humedad 400 no se limita a dicho ejemplo. También debe entenderse que la unidad de control de humedad 403 puede representar una combinación de lógica de hardware y software que controla el contenido de humedad de fibra en un proceso de fabricación de aglomerado usando un conjunto de sensores 404a-n y un conjunto de PID 405-n. Cada sensor 404a-n está configurado para supervisar un parámetro particular de la línea de producción de aglomerado 406. Cada PID 405a-n está asociado a un sensor particular 404a-n y está configurado para ajustar el parámetro que está supervisando el sensor particular 404a-n al que está asociado el PID 405a-n. Los PID 405-n ajustan el parámetro a un punto de referencia al que está asociado el parámetro. Cada par sensor-PID está ubicado en un punto diferente de la línea de producción de aglomerado 406 en la fábrica para supervisar y ajustar un parámetro diferente del proceso.

50 La unidad de control de humedad 403 se representa incluyendo un medio de almacenamiento legible por máquina 401 y un procesador 402. El sensor 404a-n y los PID 405a-n pueden tener conexiones por cable con la unidad de control de humedad 403 o pueden implementar conexiones sin cable, tal como conexiones Bluetooth o Wi-Fi.

55 En tal ejemplo, la unidad de control de humedad 403 recibe una pluralidad de entradas correspondientes a parámetros relacionados con el proceso de fabricación de aglomerado. Las entradas se reciben 407 desde el conjunto de sensores 404a-n en un instante particular. A continuación, la unidad de control de humedad 403, que usa una red neuronal 411 que comprende al menos una capa de red neuronal, genera 408 una predicción del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado que se basa en las entradas recibidas. Esta predicción se basa en las entradas correspondientes a parámetros relacionados con la fase de secado del proceso de fabricación de aglomerado, es decir, parámetros relacionados con las unidades de secado, tal como las temperaturas de entrada y salida, flujos de gas y aire en las secadoras, etc., y al menos otro parámetro recogido en una fase de fabricación de aglomerado antes de la fase de secado. La unidad de control de humedad 403 compara además 409 la predicción generada con el punto de referencia predefinido del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado, y modifica 410 al menos un punto de referencia asociado a una temperatura de secado de entrada correspondiente de una unidad de secado

respectiva del proceso de fabricación de aglomerado en función del resultado de la comparación.

La unidad de control de humedad 403 puede incluir lógica de hardware y software para realizar las funciones descritas anteriormente en relación con las instrucciones 407-410. El medio de almacenamiento legible por máquina 401 puede estar ubicado en el dispositivo informático que ejecuta las instrucciones legibles por máquina, o lejos pero accesible para el dispositivo informático (p. ej., a través de una red informática) para su ejecución.

Como se usa en el presente documento, un "medio de almacenamiento legible por máquina" puede ser cualquier aparato electrónico, magnético, ópticos u otros aparatos de almacenamiento físico para contener o almacenar información, tal como instrucciones ejecutables, datos y similares. Por ejemplo, cualquier medio de almacenamiento legible por máquina descrito en el presente documento puede ser cualquiera de memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria volátil, memoria no volátil, memoria flash, una unidad de almacenamiento (p. ej., un disco duro), una unidad de estado sólido, cualquier tipo de disco de almacenamiento (p. ej., un disco compacto, un DVD, etc.), y similares, o una combinación de los mismos. Además, cualquier medio de almacenamiento legible por máquina descrito en el presente documento puede ser no transitorio. En los ejemplos descritos en el presente documento, un medio o medios de almacenamiento legibles por máquina pueden ser parte de un artículo (o artículo de fabricación). Un artículo o artículo de fabricación puede referirse a cualquier componente único o múltiples componentes fabricados.

Los ejemplos y realizaciones del tema y las operaciones funcionales descritas en esta memoria descriptiva pueden implementarse en circuitos electrónicos digitales, en software o firmware informático tangiblemente incorporado, en equipos informáticos, incluyendo las estructuras divulgadas en esta memoria descriptiva y sus equivalentes estructurales, o en combinaciones de uno o más de ellos. Los ejemplos y realizaciones del tema descrito en esta memoria descriptiva pueden implementarse como uno o más programas informáticos, es decir, uno o más módulos de instrucciones de programas informáticos codificados en un medio de almacenamiento tangible no transitorio para su ejecución por, o para controlar el funcionamiento de, el aparato de procesamiento de datos.

Las redes neuronales se pueden implementar y desplegar utilizando un marco de aprendizaje automático, p. ej., un marco TensorFlow, un marco Microsoft Cognitive Toolkit, un marco Apache Singa o un marco Apache MXNet. Los ejemplos del tema descrito en este documento se pueden implementar en un sistema informático que incluye un componente back-end, p. ej., como servidor de datos, o que incluye un componente de middleware, p. ej., un servidor de aplicaciones, o que incluye un componente front-end, p. ej., un ordenador de cliente que tiene una interfaz gráfica de usuario, un navegador web o una aplicación a través de la cual un usuario puede interactuar con una implementación del tema descrito en esta memoria descriptiva, o cualquier combinación de uno o más de dichos componentes back-end, middleware o front-end. Los componentes del sistema pueden estar interconectados por cualquier forma o medio de comunicación de datos digitales, p. ej., una red de comunicación. Ejemplos de redes de comunicación incluyen una red de área local (LAN) y una red de área amplia (WAN), p. ej., Internet.

Los aparatos de procesamiento de datos para implementar modelos de aprendizaje automático también pueden incluir, por ejemplo, unidades aceleradoras de hardware de propósito especial para procesar partes comunes y de computación intensiva de aprendizaje automático o cargas de trabajo de producción, es decir, inferencia.

En este texto, la palabra "comprende" y sus variantes (tales como "que comprende", etc.) no deben interpretarse de manera excluyente, esto quiere decir, que no excluyen la posibilidad de que lo que se ha descrito incluya otros elementos, etapas etc.

De forma adicional, la invención no se limita a las realizaciones específicas que se han descrito, sino que también cubre, por ejemplo, las variantes que puede realizar el experto en la materia (por ejemplo, en cuanto a la selección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance del conjunto de reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control del contenido de humedad (400) para controlar el contenido de humedad de fibra en un proceso de fabricación de aglomerado, que comprende:
- 5 una pluralidad de sensores (404a-n), estando configurado cada sensor para supervisar un parámetro respectivo del proceso de fabricación de aglomerado;
- 10 una pluralidad de controladores de bucle de retroalimentación, estando configurado cada controlador de bucle de retroalimentación para ajustar un parámetro particular del proceso de fabricación de aglomerados en función de una diferencia entre un punto de referencia predefinido asociado al parámetro particular y un valor actual del parámetro particular; y
- caracterizado por que** el sistema de control del contenido de humedad (400) comprende una unidad de control de humedad (403) configurada para:
- 15 recibir (407) una pluralidad de entradas, correspondiendo la pluralidad de entradas a los parámetros supervisados por la pluralidad de sensores (404a-n) y comprendiendo un punto de referencia predefinido del contenido de humedad de fibra a la salida de una fase de secado de fibra del proceso de fabricación de aglomerado;
- 20 generar (408), usando una red neuronal que comprende al menos una capa de red neuronal oculta, una predicción del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado de fibra, usando la red neuronal como entradas los parámetros supervisados correspondientes a la fase de secado de fibra y al menos otro parámetro de una fase de fabricación de aglomerado antes de la fase de secado de fibra;
- 25 comparar (409) la predicción con el punto de referencia predefinido del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado de fibra; y
- modificar (410) al menos un punto de referencia asociado a una temperatura de secado de entrada correspondiente de una unidad de secado respectiva de la fase de secado de fibra del proceso de fabricación de aglomerado en función del resultado de la comparación.
2. El sistema de control del contenido de humedad de la reivindicación 1, en donde la unidad de control de humedad está configurada para optimizar el al menos un punto de referencia asociado a una temperatura de secado de entrada correspondiente modificando el al menos un punto de referencia dentro de un rango predefinido para la temperatura de secado de entrada correspondiente.
3. El sistema de control del contenido de humedad de la reivindicación 2, en donde la unidad de control de humedad está configurada para optimizar un punto de referencia asociado a una primera temperatura de secado de entrada de una primera unidad de secado y un punto de referencia asociado a una segunda temperatura de secado de una segunda unidad de secado modificando el punto de referencia asociado a la primera temperatura de secado de entrada dentro de un primer rango predefinido para la primera temperatura de secado de entrada y el punto de referencia asociado a la segunda temperatura de secado de entrada dentro de un segundo rango predefinido para la segunda temperatura de secado de entrada.
4. El sistema de control del contenido de humedad de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la unidad de control de humedad está configurada para optimizar al menos uno de los puntos de referencia asociados a la primera temperatura de secado de entrada de la primera unidad de secado y el punto de referencia asociado a la segunda temperatura de secado de entrada de la segunda unidad de secado en función del resultado de la comparación y de al menos un parámetro adicional, preferentemente, una distancia entre una distribución de energía predefinida entre la primera unidad de secado y la segunda unidad de secado y un valor previsto actual para la distribución de energía.
5. El sistema de control del contenido de humedad de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los controladores de bucle de retroalimentación asociados con la al menos una temperatura de secado de entrada están configurados para ajustar la al menos una temperatura de secado de entrada de la respectiva unidad de secado en función de la diferencia entre el punto de referencia modificado y el valor actual de la temperatura de secado de entrada correspondiente.
6. El sistema de control del contenido de humedad de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la red neuronal es un modelo de regresión no lineal.
7. Un método (100) para controlar el contenido de humedad de fibra en un proceso de fabricación de aglomerado, comprendiendo el proceso de fabricación de aglomerado una fase de secado de fibra, **caracterizado por que** el método incluye las etapas de:
- 65 recibir (101), en una unidad de control de humedad, una pluralidad de entradas correspondientes a parámetros relacionados con el proceso de fabricación de aglomerado, capturándose los parámetros por una pluralidad de sensores y comprendiendo un punto de referencia predefinido del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado de fibra;

- generar (102), por la unidad de control de humedad y usando una red neuronal que comprende al menos una capa de red neuronal oculta, una predicción del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado, usando la red neuronal como entradas los parámetros relacionados con la fase de secado de fibra y al menos otro parámetro de una fase de fabricación de aglomerado anterior a la fase de secado de fibra;
- 5 comparar (103), por la unidad de control de humedad, la predicción con el punto de referencia predefinido del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado de fibra; y
- 10 modificar (104), por la unidad de control de humedad, un punto de referencia asociado a al menos una temperatura de secado de entrada de una unidad de secado respectiva de la fase de secado de fibra del proceso de fabricación de aglomerado en función del resultado de la comparación.
- 15 8. El método para controlar el contenido de humedad de fibra de la reivindicación 7, que comprende la optimización, por la unidad de control de humedad, del al menos un punto de referencia asociado a una temperatura de secado de entrada correspondiente modificando el al menos un punto de referencia dentro de un rango predefinido para la temperatura de secado de entrada correspondiente.
- 20 9. El método para controlar el contenido de humedad de fibra de la reivindicación 8, que comprende optimizar un punto de referencia asociado a una primera temperatura de secado de entrada de una primera unidad de secado y un punto de referencia asociado a una segunda temperatura de secado de una segunda unidad de secado modificando el punto de referencia asociado a la primera temperatura de secado de entrada dentro de un primer rango predefinido para la primera temperatura de secado de entrada y el punto de referencia asociado a la segunda temperatura de secado de entrada dentro de un segundo rango predefinido para la segunda temperatura de secado de entrada.
- 25 10. El método para controlar el contenido de humedad de fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende:
- 30 ajustar, por un primer controlador de bucle de retroalimentación asociado a una primera temperatura de secado de entrada de una primera unidad de secado, la primera temperatura de secado de entrada en función de una diferencia entre el punto de referencia modificado asociado a la primera temperatura de secado de entrada y un valor actual de la primera temperatura de secado de entrada; y
- ajustar, por un segundo controlador de bucle de retroalimentación asociado a una segunda temperatura de secado de entrada de una segunda unidad de secado, la segunda temperatura de secado de entrada en función de una diferencia entre el punto de referencia modificado asociado a la segunda temperatura de secado de entrada y un valor actual de la segunda temperatura de secado de entrada.
- 35 11. El método para controlar el contenido de humedad de fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, que comprende optimizar al menos uno del punto de referencia asociado a una primera temperatura de secado de entrada de la primera unidad de secado y el punto de referencia asociado a la segunda temperatura de secado de entrada de la segunda unidad de secado en función del resultado de la comparación y de al menos un parámetro adicional, preferentemente, una distancia entre una distribución de energía predefinida entre la primera unidad de secado y la
- 40 segunda unidad de secado y un valor previsto actual para la distribución de energía.
12. El método para controlar el contenido de humedad de fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, que comprende:
- 45 seleccionar un subconjunto de entradas de la pluralidad de entradas; y
- generar la predicción del contenido de humedad de fibra a la salida de la fase de secado de la fibra en función del subconjunto de entradas.
- 50 13. El método para controlar el contenido de humedad de fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, que comprende:
- comparar la predicción con una serie de medidas del contenido de humedad de fibra recopiladas previamente por un sensor a la salida de la fase de secado de fibra del proceso de fabricación de aglomerado;
- 55 determinar una desviación del sensor en función del resultado de la comparación; y
- calibrar la predicción en función de la desviación.
14. El método para controlar el contenido de humedad de fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13, que comprende ejecutar el método periódicamente a intervalos de tiempo particulares.
- 60 15. El método para controlar el contenido de humedad de fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 14, en donde el método se realiza en tiempo real.

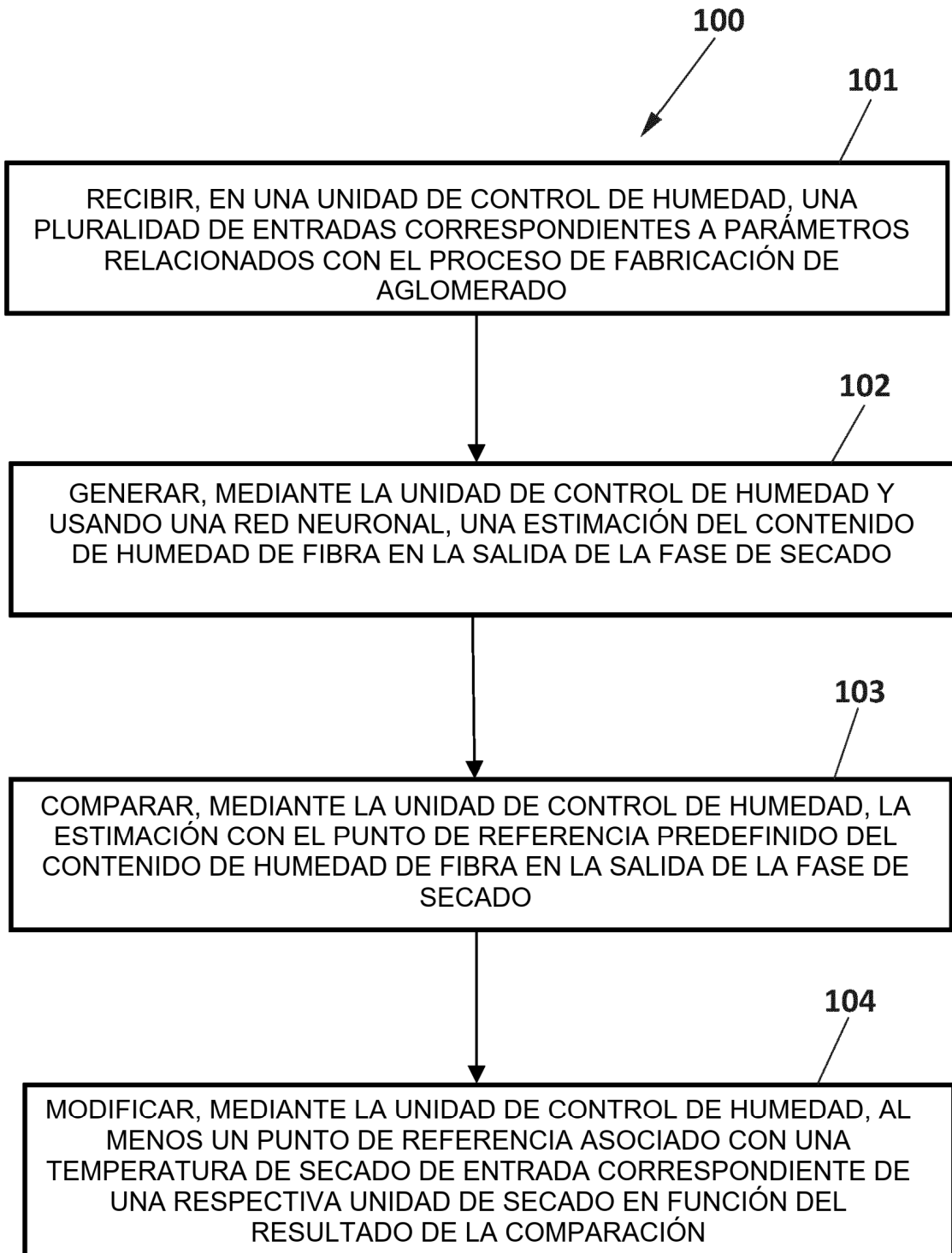


FIG. 1

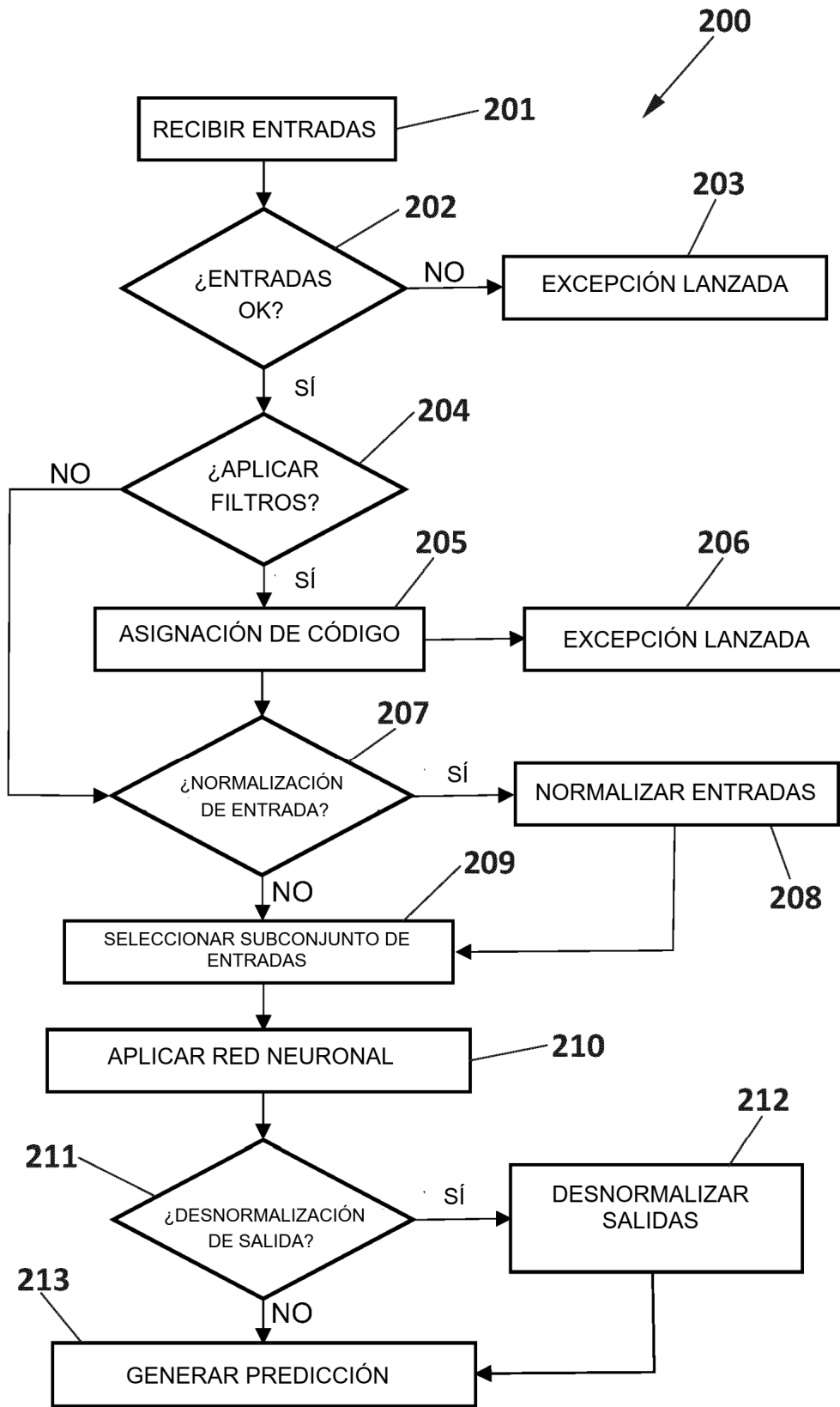


FIG. 2

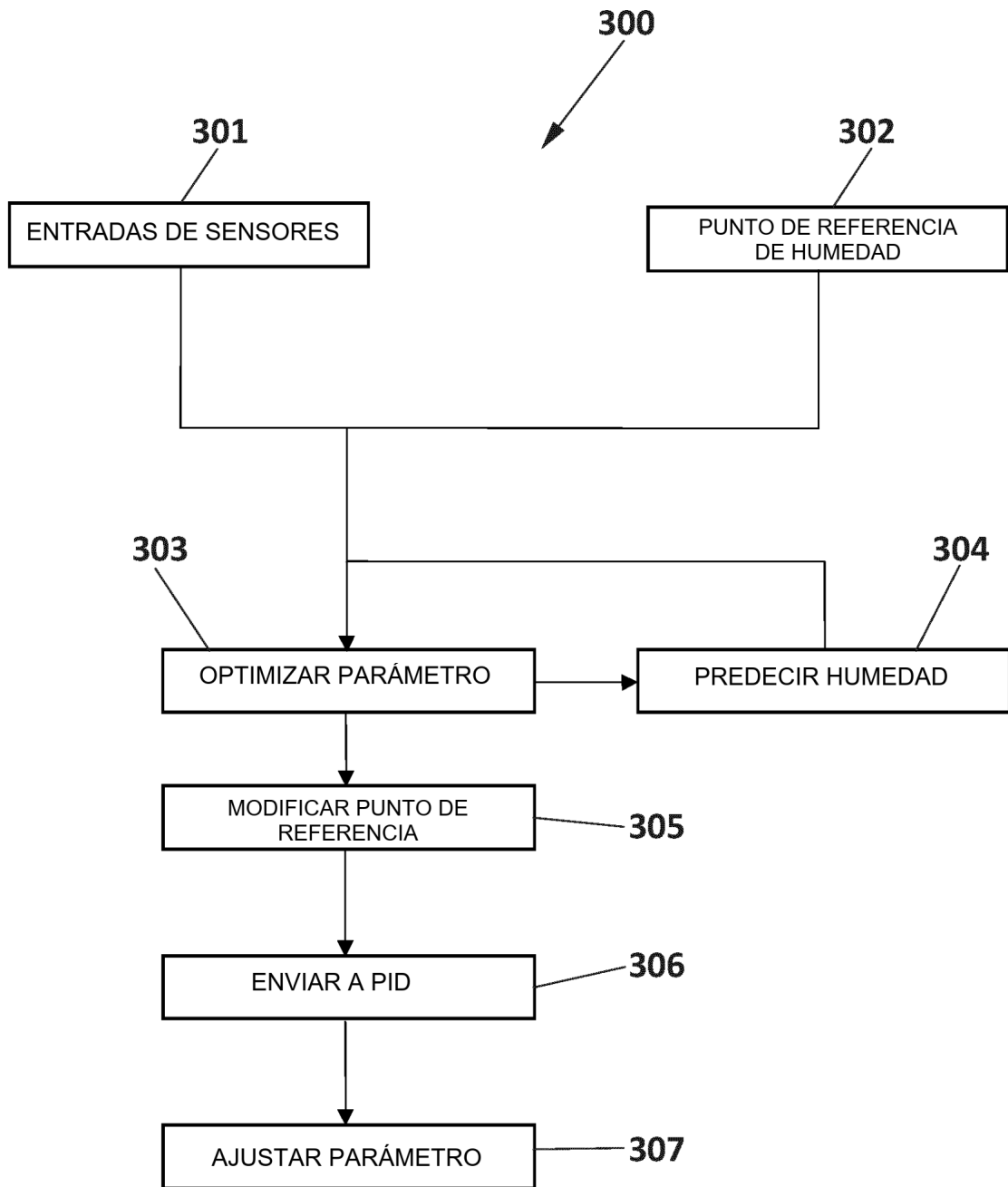


FIG. 3

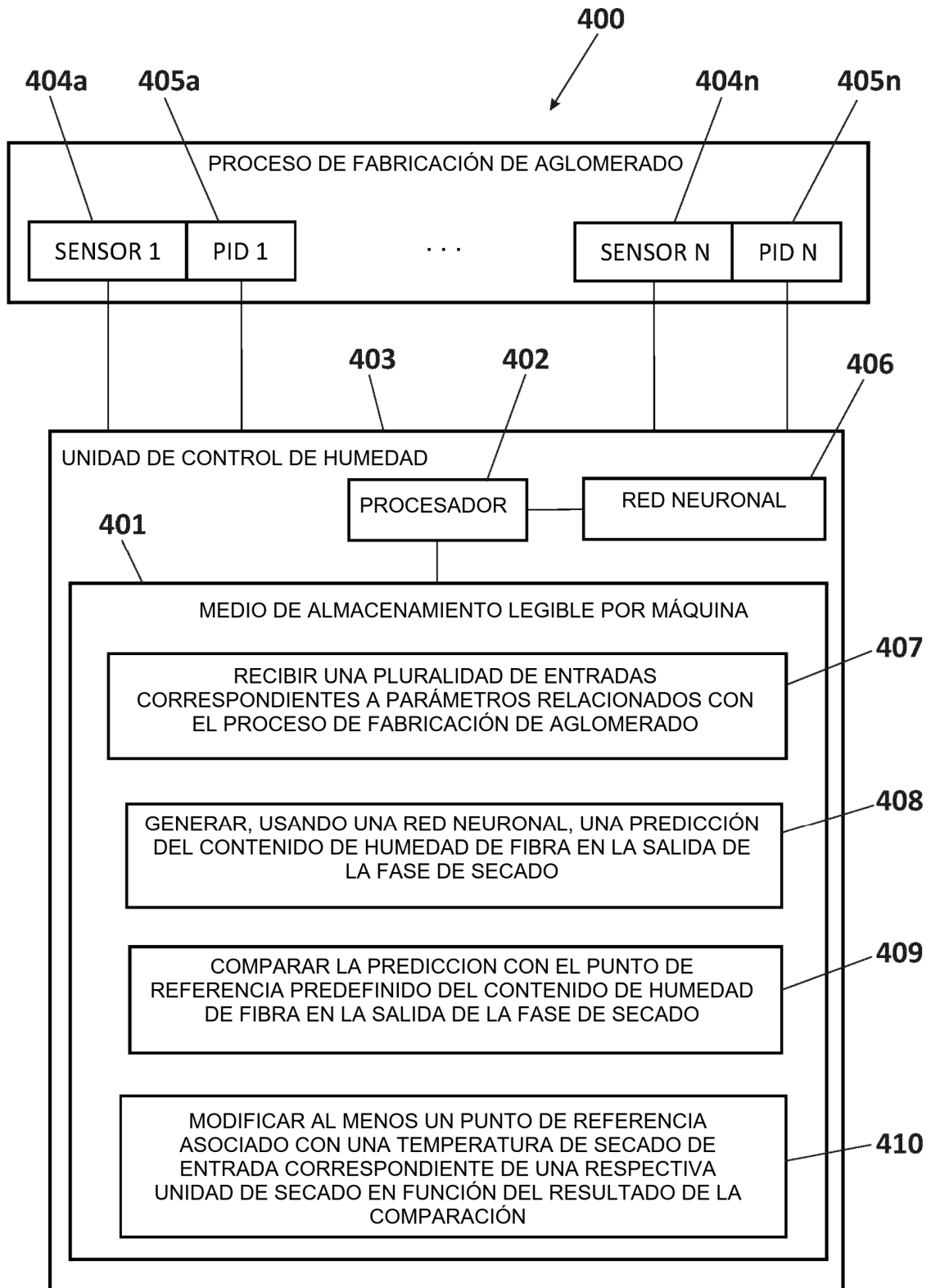


FIG. 4