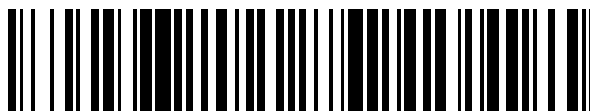


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 103**

51 Int. Cl.:

F26B 25/22 (2006.01)

F26B 25/10 (2006.01)

F26B 21/10 (2006.01)

F26B 9/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.06.2013 E 13382220 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.04.2017 EP 2803926**

54 Título: **Procedimiento e instalación para el control de humedad en granos**

30 Prioridad:

16.05.2013 AR P010173612

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

08.09.2017

73 Titular/es:

**INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA
AGROPECUARIA (INTA) (100.0%)**

Rivadavia 1439

Ciudad Autónoma de Buenos Aires 1033, AR

72 Inventor/es:

**BARTOSIK, RICARDO y
DE LA TORRE, DIEGO**

74 Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

ES 2 632 103 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

Procedimiento e instalación para el control de humedad en granos

Campo de la Invención

La presente invención se relaciona con el área de métodos para el acondicionamiento y control de la humedad de materiales a granel, tal como métodos para el secado de granos o semillas almacenados en silos; más específicamente la presente invención se relaciona con un método novedoso para el control de la humedad en granos con la capacidad de llevar a cabo un novedoso procedimiento predictivo de control de la humedad de granos mediante un control de ciclo abierto.

Descripción del arte previo

Con el objeto de comprender mejor el objeto y alcance de la presente invención es conveniente describir el estado del arte más cercano conocido en referencia a la utilización de instalaciones o silos destinados al almacenamiento y secado de granos así como los procedimientos normalmente utilizados para obtener el control de la humedad y el almacenado temporal del grano cosechado.

En principio, los inventores de la presente, han observado una notable falta de oferta en el mercado en lo referente a instalaciones acondicionadoras de la humedad de los granos con aire natural y/o baja temperatura. En general, han observado que las instalaciones actualmente disponibles en el mercado no están especialmente adaptadas a las diversas zonas climáticas, no se encuentran especialmente diseñados para su fácil limpieza y acceso por parte de los operarios y no proporcionan ciclos de trabajo que prioricen un trato más suave al grano con el objeto de preservar de mejor manera sus cualidades, especialmente cuando se trata del acondicionamiento de granos de alto valor, a costa de una velocidad de secado más lenta. Asimismo, han observado que existen posibilidades de mejora en cuanto a la optimización del proceso, para obtener un proceso económicamente más rentable con temperaturas de trabajo más bajas (que prioricen la calidad del grano) con respecto a las secadoras de granos actualmente disponibles en el mercado.

El objetivo de las instalaciones de acondicionamiento o control de la humedad de granos tienen por objetivo llevar y mantener el contenido de humedad de los granos dentro de un rango comercialmente y técnicamente aceptable. En este sentido puede ser posible tanto aportar como quitar humedad del mismo para llegar al porcentaje de humedad óptimo, sin embargo, por lo general la tarea más frecuente consiste en disminuir el contenido de humedad en el grano, el cual por lo general proviene de la cosecha con un exceso de humedad desde el punto de vista comercial y de su conservación. Por lo antes mencionado este tipo de instalaciones es conocido en la jerga simplemente como "secadoras de granos" incluyendo bajo esta denominación instalaciones que solo permiten reducir la humedad de los granos. Por otra parte, aquellas que también tienen la capacidad de aumentar y/o homogenizar el contenido de humedad de la masa de granos se los conoce como sistemas de acondicionamiento. Por tal motivo, a los fines prácticos el término "secadora de granos", puede entenderse indistintamente como referido también a un acondicionador o regulador de humedad en granos tal como un entendido en la materia así lo comprende.

Las secadoras de granos pueden clasificarse como de alta temperatura, temperatura intermedia o de baja temperatura. Las secadoras de alta temperatura son las más difundidas en el mercado, y están compuestas por columnas o cámaras de secado dispuestas de manera vertical (torres) en donde el grano ingresa húmedo por la parte superior y sale seco por la parte inferior. Normalmente estas secadoras son de alta capacidad de secado pero no priorizan la calidad del grano. Las secadoras de baja temperatura generalmente consisten en un silo con características especiales, donde el secado/acondicionamiento se realiza de manera lenta y uniforme con aire a temperatura ambiente o ligeramente calentado sobre la temperatura ambiente. Estas secadoras/acondicionadoras se caracterizan por su excelente calidad de secado.

Constructivamente, las secadoras de granos o instalaciones de secado de grano que utilizan silos metálicos, por lo general resultan del tipo elevado sobre columnas, siendo estos primeros los de menor tamaño, capacidad de procesamiento y almacenado; o bien resultan del tipo que utilizan silos metálicos de mayores dimensiones, que generalmente son soportados sobre el terreno, previa construcción de una obra de ingeniería civil que oficie de soporte y piso de la estructura inferior del propio silo, incluyendo en la misma obra de ingeniería civil la confección de doble piso y el posible diseño embutido de tubería y conductos necesarios para su funcionamiento.

A grandes rasgos, un procedimiento típico de secado de granos se inicia con la carga del propio grano a secar dentro del silo. Dicha carga de grano se obtiene por elevación y volcado del grano gracias al uso de un tornillo sin fin, elevador a cangilones, noria, chimango, cinta transportadora o lo similar a modo de elevador de grano, de manera tal de introducir el grano generalmente por el centro del techo del propio silo. Una vez ingresado el material a granel dentro del silo, ya sea que dicho silo se encuentre o no lleno, una variedad de ventiladores, extractores, sensores de temperatura, humedad, calentadores y persianas de apertura y cierre de conductos entre otros dispositivos son conectados por lo general al silo con el objeto de hacer pasar de manera más o menos continua una

corriente de aire a través de la masa de granos, en donde dicha corriente de aire arrastra humedad de la evaporación del agua contenida en el propio grano almacenado. Por lo general, la construcción involucra la incorporación de un doble piso, o doble fondo en la propia obra civil, o bien una serie de rejillas, tubos de soplado de aire entre otras opciones para forzar la circulación de aire, generalmente de abajo hacia arriba a través de los granos almacenados y lograr un efecto de arrastre de humedad de los mismos.

No obstante, el control ejercido sobre este proceso de circulación de aire, resulta tan simple como el encendido y apagado manual de un ventilador y la medición manual de la humedad del grano por parte del personal que controla la instalación, y tan complejo como la incorporación de computadoras y múltiples sensores de control continuo por retroalimentación y ciclo cerrado. Ejemplos de métodos y dispositivos conocidos pueden hallarse en las patentes US 4583300, US 4750273, US 4916830, US 5167081 y US 5551168.

Se conoce un método un método del preámbulo de la reivindicación independiente 1 a partir del documento US 4750273A.

Resulta asimismo conocido que el aire de ingreso al silo es tomado de la propia atmósfera, por lo que las condiciones de temperatura y humedad de dicho aire ingresante son las propias del clima reinante. Esto implica que el aire atmosférico puede incluso estar tanto o más húmedo que la propia masa de granos. En tal sentido las opciones de acondicionamiento de dicho aire ingresante son las de modificar su temperatura y/o humedad, para lograr obtener el efecto de absorción de humedad de la masa de granos por donde circulará dicha corriente de aire y producir el efecto de secado en los granos. Cabe destacar que el incremento de la temperatura del aire, resulta una práctica que provoca el descenso de la humedad relativa del aire y de esta manera se incrementa su poder de absorción de humedad de la masa del grano.

Por lo general, y en base a la experiencia de los especialistas en el tema, la humedad promedio de la masa de granos deseada para un determinado tipo de grano y un determinado destino de uso resulta conocida para una persona experta en el arte. Por tal motivo el proceso de secado de grano busca obtener una lectura de humedad promedio de la masa de granos óptima, tanto para la conservación del grano como para su comercialización o industrialización. A modo de ejemplo, el maíz pisingallo debe presentar un contenido de humedad promedio de la masa de granos en el orden de 14,5% de humedad para ser considerado apto para su comercialización, se entiende por lo tanto que valores superiores de humedad como por ejemplo 18% no permitirían alcanzar la calidad necesaria para su comercialización, debiendo entonces someter a los granos demasiado húmedos a un proceso de secado en una instalación destinada a tal fin. Por lo general, para poder obtener el contenido de humedad deseado, es decir el valor óptimo para la conservación y posterior comercialización es necesario quitar humedad del grano, siendo este el procedimiento más común. No obstante de manera general, el acondicionamiento del grano implica mantener a dicha masa de granos dentro de un rango de humedad promedio, lo que puede también implicar la incorporación de humedad si dicha masa de granos se encuentra demasiado seco. Este último caso es muy poco representativo de los procesos de acondicionamiento de granos y puede darse en situaciones muy particulares tales como en climas o regiones muy secas y/o por una prolongada exposición al sol y el viento seco del cultivo previo a la cosecha.

Es por los motivos arriba expuestos que los inventores de la presente invención, detectaron la necesidad de disponer de un procedimiento de operaciones que permita el secado de granos con la más baja temperatura de aire posible en comparación con las actualmente utilizadas en el mercado, proporcionando un secado relativamente lento con el objeto de incrementar la uniformidad en el secado del grano, manteniendo la viabilidad como semilla y disminuyendo la cantidad de granos fisurados, todo esto llevado a cabo mediante un control predictivo de lazo abierto novedoso y de probada eficacia.

Breve descripción de la invención

Es por lo tanto objeto de la presente invención proveer un método de acuerdo con la reivindicación independiente 1 para el control de humedad en material a granel almacenado en un silo contenedor, proporcionando un modo simple y efectivo de asentamiento de la instalación, sin necesidad de obras de ingeniería civiles complejas, facilitando el montaje por medio de la adopción de un piso base generalmente plano de material rígido sobre el cual se posicionan y sostiene la pared perimetral de dicho silo contenedor; asimismo proveer un modo fácil y efectivo de sostener dicho material a granel mientras se insufla aire a través de un medio de insuflado de aire.

Es también objeto de la presente invención, evitar la medición continua y directa de la humedad de los granos El contenido de humedad en el grano es medido por capas solo al comienzo del proceso y antes de comenzar con el control de la humedad, procediendo con el procedimiento de manera predictiva y no por retroalimentación directa de la medición de humedad del material a granel al cual se le está aplicando el procedimiento de control de humedad.

A tal fin, un medio de control electrónico se encuentra conectado operativamente con dicho medio insuflador de aire, con dicho medio de calefacción de aire y con dichos medios sensores, en donde dicho medio de control electrónico incluye un medio de registro inicial de datos de dichos medios sensores, un medio de entrada del valor deseado de humedad del material a granel y un medio de modelado y cálculo de tiempos de encendido y apagado así como de control de la potencia de funcionamiento de al menos dicho medio de calefacción de aire.

De acuerdo con una realización preferida de la invención, el método para el secado de granos utiliza una instalación para el control de humedad en granos en donde dicho medio insuflador de aire pueda ser llevado a la práctica de manera conveniente, adoptando un ventilador centrífugo, con una caudal de circulación de aire en función del peso

de material a granel en el rango de aproximadamente 1 a 2 m³/(min.t), y adoptando como dicho medio de calefacción de aire comprende un quemador de gas.

Es además objeto del método de la reivindicación 1 proveer un procedimiento para el control de la humedad en granos para ser aplicado con la instalación de control de humedad, adoptando una división por capas del material a granel contenido en dicho silo, como forma de discretizar el modelado y cálculo, determinando de esta manera una pluralidad de capas de material a granel y así poder registrar los valores de humedad y temperatura inicial de al menos la capa inferior de dicha pluralidad de capas, medición que es conveniente y fácil de obtener; luego a partir de esos valores calcular los cambios de temperatura y humedad ocasionados por poder de reducción de humedad y la temperatura del flujo de aire circulante;

Asimismo a fines de modelar y calcular el avance de las etapas de trabajo sin recurrir a procesos de retroalimentación directo de medición de la humedad en el material a granel, se registra el valor inicial de humedad de al menos dicha capa inferior, y se registra el caudal circulante en dicho medio de registro inicial de datos de dichos medios sensores de dicho medio de control electrónico; asimismo con el objeto de realizar dicho modelaje y cálculo se registra el valor deseado de humedad del material a granel en dicho medio de registro de valor deseado de dicho medio de control electrónico;

Adicionalmente, de acuerdo con una forma de realización preferida de la invención, con el objeto de modelar y calcular el avance de las etapas de trabajo sin recurrir a procesos de retroalimentación directo de medición de la humedad en el material a granel, se estableció un rango de humedad el cual comprende un límite inferior de humedad deseado y un límite superior de humedad deseado obtenido en base valores de tolerancia preestablecidos para ser mayores y menores que dicho valor deseado de humedad del material a granel registrado y se determina mediante dicho medio de modelado y cálculo de tiempos de encendido y apagado así como de control de potencia de funcionamiento de al menos dicho medio de calefacción el accionamiento de una etapa de proceso, siendo las posibles etapas de progreso como a continuación:

- Una etapa de secado que comprende el encendido del medio insuflador de aire y si la humedad del aire ambiente es superior a la calculada humedad requerida para bajar la humedad del material a granel, el encendido del medio de calefacción, y en donde esta etapa de secado es activada si dicho valor de humedad de dicha primer capa inferior de material a granel es superior a dicho límite superior de humedad;

- Una etapa de mantenimiento que comprende el encendido del medio insuflador de aire y en donde esta etapa de mantenimiento es activada cuando dicho valor de humedad de dicha primer capa inferior de material a granel se encuentra comprendido dentro del rango determinado por dichos límites superior e inferior de humedad; o

- Una etapa de rehumedecimiento que comprende el apagado de dicho medio insuflador de aire si la humedad relativa del aire ambiente es inferior a la indicada para rehumedecer el material a granel, o el encendido de dicho medio insuflador si la humedad relativa del aire ambiente es la indicada para rehumedecer a dicho material a granel y en donde esta etapa de rehumedecimiento es activada si dicho valor de humedad de dicha primer capa inferior de material a granel es inferior a dicho límite inferior de humedad.

De acuerdo con una forma de realización preferida de la invención, el procedimiento comprende una etapa de secado y una etapa rehumedecimiento de manera tal de ser accionadas de manera predictiva, y para tal fin se adopta el cálculo periódico de la variación de temperatura de cada una de dichas al menos una capa, y la lectura del valor de temperatura de dicho sensor de temperatura en dicha cámara de aire, sin necesidad de nuevas mediciones de humedad en dicha primera capa de material a granel, determinando mediante el uso de dicho medio de modelado y cálculo, el grado de avance de la etapa activa, hasta que dicha etapa alcanza el cien por ciento de avance, valiéndose además de ecuaciones de equilibrio que comprenden, al menos una ecuación de balance de calor entre el aire y el material a granel, al menos una ecuación de balance de masa entre el aire y el material a granel, y al menos una ecuación de equilibrio entre el contenido de humedad de equilibrio (CHE) del material a granel y la humedad relativa de equilibrio (HRE) del aire y tal como se describirá en detalle a continuación.

Breve descripción de los dibujos

A los fines de aportar mayor claridad y sustento a la presente descripción y proveer un ejemplo de realización de una forma preferida de la invención, se proveen figuras anexas que a continuación se detallan:

La Figura 1 es una vista en perspectiva y en corte parcial de la instalación para el control de humedad de la presente invención de acuerdo a un modo preferido de realización ilustrando además un detalle ampliado referenciado como Detalle -1A-, con el objeto de apreciar de mejor manera el interior del silo.

La Figura 2 es una vista lateral y en corte parcial de la instalación planteada como ejemplo de realización en dicha Figura 1, tomadas desde una posición más a la izquierda a dicha Figura 1, de manera de mejor ilustrar las instalaciones de calefacción e insuflación de aire.

La Figura 3 es una vista lateral, y en corte parcial de la instalación de control de humedad de acuerdo con el ejemplo de realización preferido de la presente invención, ilustrando además un detalle –3A- ampliado de dichas instalaciones de calefacción e insuflación de aire y los sensores externos.

La Figura 4 es una vista superior y en corte parcial, ilustrando parcialmente el piso de apoyo del material a granel, el ingreso de aire a la cámara de aire debajo del piso y una de las posiciones preferidas del sensor de temperatura, entre otros detalles.

La Figura 5 es una gráfica que ilustra el contenido de humedad promedio del maíz pisingallo en función del paso del tiempo;

La Figura 6 es una gráfica que ilustra la relación entre el contenido de humedad relativa de equilibrio del maíz a una temperatura de 15°C en función de la humedad del grano;

La Figura 7 es una gráfica que muestra la relación de dichas variables durante el proceso de secado y acondicionamiento de granos; y

La Figura 8 muestra un diagrama de flujo del proceso de secado y acondicionamiento, desde la carga del silo con grano húmedo hasta la descarga del grano seco.

Descripción detallada de la invención

Con el objeto de explicar de manera suficientemente clara una de las formas en que puede llevarse a cabo la presente invención, se describirá detalladamente una forma de realización de la presente invención a modo de ejemplo preferido.

Cabe destacar, que la información aquí revelada, permite a una persona entendida en el arte, llevar a la práctica la presente invención, y además llevar a la práctica otras formas de realización equivalentes gracias a lo aquí escrito e ilustrado.

Componentes generales de la instalación

El procedimiento de control de humedad de granos de acuerdo con un ejemplo preferido de realización de la presente invención presenta un aspecto general tal como el ilustrado en la Figura 1, en donde se distingue un silo (1) con forma generalmente cilíndrica confeccionado de manera preferida con láminas de acero zincado (conocidas también como chapas de zinc) conformadas y abulonadas entre sí de manera tal de obtener la pared curva (2) que definen lateralmente el recinto de almacenado de granos; siendo todo esto coronado en la parte superior con un techo cónico (3) también con láminas de acero zincado. Una pluralidad de parantes o columnas (4) de refuerzo, se disponen en el exterior sobre el contorno de la pared perimetral (2) adicionando resistencia estructural al silo. Se observa también una escalera exterior (5) que se eleva llegando hasta por sobre el techo del silo, en donde se disponen una variedad de plataformas de inspección (6a), (6b) con baranda de seguridad. Esta última rodea un embudo o tolva (8) de carga donde de manera preferida descarga su contenido la boca de descarga de algún tipo de elevador de granos (7) autopropulsado hacia el interior del silo (1).

Particularmente, la pared perimetral (2) del silo (1) de la presente invención está soportada sobre un piso base (9), generalmente plano y rígido. Se entiende por el término "rígido" como teniendo suficiente rigidez estructural, tal como en el caso del hormigón armado, con el objeto de conformar una losa que permita apoyar de manera firme la estructura completa del silo y soportar su peso. La pared perimetral (2) se encuentra asegurada a la losa (9) mediante bulones de expansión y la unión entre ambas se encuentra sellada ya sea con el uso de selladores de silicona, burlletes de goma y/o también mediante una gran arandela de goma entre otras opciones.

En la figura 1, y a los fines ilustrativos, se han retirado algunas de las chapas de zinc, con el objeto de permitir observar el interior del silo, acompañando también un detalle ampliado referenciado como Detalle 1A. En el interior del silo (1), es posible entonces observar la existencia de un piso elevado (10) suspendido de manera preferida a una altura de aproximadamente 0,57 metros con respecto al nivel de la losa de hormigón armado (9); esto es posible de obtener de manera conveniente incorporando un armazón de soporte (11) intermedio entre el piso de hormigón (9) y dicho piso elevado (10).

El piso elevado (10), es colocado de manera ventajosa a una distancia predefinida respecto de la losa (9), evitando construcciones de ingeniería civiles previas frecuentes en los silos de secado tradicionales. Basta simplemente con proveer una superficie lisa (9) tal como la descrita para llevar a cabo la conformación de este piso elevado (10) mediante la colocación de dicho armazón de soporte (11).

En particular, dicho piso elevado puede ser confeccionado con chapa de acero de espesor suficiente para soportar el peso del grano a secar, e incorpora una pluralidad de orificios (12) que oficiarán de pasaje de aire a los fines de la presente invención, pero no permitirán la caída de granos a través de ellos. Para tal fin un diámetro preferido de perforación de dichos orificios es llevada a la práctica con agujeros circulares de aproximadamente 4 mm;

adicionalmente, la superficie total perforada que permitirá el paso de aire, se encuentra de manera preferida en el rango de 15% a 30% del área total del piso elevado (10), y de manera aún más preferida es de por lo menos un 20% del área total del piso elevado (10).

Por otro lado, dicho armazón de soporte (11) se confecciona de manera preferida con tubos soldados a modo de rejilla y/o reticulado, que copia la forma generalmente circular del piso elevado (10) y soporta dicho piso, estando el marco (11) soportada por varas o parantes (13) contenidos dentro del silo y soldados a las intersecciones de la rejilla, las bases apoyan sobre la losa (9). De manera general, entonces, el armazón de soporte (11) posee una rejilla superior confeccionada de tubos metálicos soldados y sostenida por una pluralidad de varas o parantes (13) a modo de cortas columnas de tubería metálica soldada. Esta conformación es especialmente ventajosa para obtener un rápido montaje e incluso adaptación de silos preexistentes para transformarlos en instalaciones de control de humedad de granos para su uso en procedimientos de secado de granos de acuerdo con la presente invención.

La adopción de un piso elevado (10) con orificios (12) separado una cierta distancia con respecto de la losa (9), permite obtener una cámara de aire (18) confinada lateralmente por la pared (2) del silo (1). Dicha cámara o espacio confinado a los fines de la presente invención se denominará simplemente como plénum durante la descripción; término ampliamente difundido y conocido por los entendidos en el arte.

De esta manera, dicho plénum, ofrece un espacio cerrado en donde el aire se reparte uniformemente y se eleva ligeramente su presión para forzar su paso hacia arriba a través de dicho piso elevado (10) que incluye orificios. Esta cámara de aire (18) será también utilizada, como se describirá más adelante, para disponer de espacio suficiente como para realizar la extracción del grano que descarga desde una boca de descarga central y otra lateral del piso elevado (10).

Generalmente, la extracción del grano se obtiene con la ayuda de un tornillo sin fin barredor (14) ubicado en el interior del silo (1) y por sobre el piso elevado (10), su utilización y funcionamiento resulta conocida por los entendidos en el arte, y se basa en la rotación del tornillo sin fin alrededor del eje central del silo (1) generando un efecto de barrido al tiempo que el propio tornillo gira empujando el grano hacia el centro del piso elevado (10). Dicho piso elevado (10) incorpora una boca de descarga central a través de la cual el grano es descargado hacia abajo de dicho piso elevado (10). Dicha boca de descarga no siempre se encuentra abierta, y para tal fin presenta una compuerta deslizante tipo guillotina (no ilustrada) que permite la apertura de dicha boca de descarga al momento de necesitar extraer el grano. En particular, la descarga se realiza introduciendo una cinta transportadora por la puerta de acceso (15) al plénum, y procediendo a abrir las compuertas tipo guillotina dispuestas para las bocas de descarga central y lateral (30) (ver ubicación de las mismas en la figura 4).

Siendo uno de los objetos de una forma de realización preferida de la invención permitir un mejor acceso y limpieza del interior del silo (1), se dispone de una puerta de acceso (16) con un tamaño preferido de 1,8 metros de altura y 0,5 metros de ancho, para permitir el ingreso de una persona y los elementos de limpieza cómodamente. Siendo que dicha puerta de acceso (16) se encuentra elevada, se provee una escalera, escalón y/o peldaños adecuados fijos, removibles y/o replegables (no mostrados) para poder acceder cómodamente a la misma.

La descripción detallada del procedimiento de secado de grano de la presente invención se completará a continuación.

Procedimiento de secado de grano

Resulta evidente que, siendo objeto principal de la presente invención el secado de los granos; la primera consideración es en referencia a que el silo (1) debe contener al menos una carga inicial de granos, o que por lo menos debe realizarse una etapa de carga o llenado del silo (1) con el material a granel, particularmente en este caso, granos provenientes de la actividad agrícola (cosecha).

De manera preferida e ilustrado en la Figura 2, se observa un silo (1) con grano en su interior, en particular y a los fines de la presente invención, el contenido total de granos dentro del silo, será considerado como depositado en capas (G_1 , G_2 , G_3 , etc.), a saber, la primer capa de granos (G_1) o capa inferior, es la que se encuentra en contacto con el piso elevado (10); la segunda capa de granos (G_2), es la capa inmediatamente por encima de la capa (G_1); la tercer capa de granos (G_3), que es la capa inmediatamente por encima de la capa (G_2), y así sucesivamente. El número de capas puede variar dependiendo del tamaño del silo (1) y de la cantidad de granos dentro del mismo, no obstante en una realización preferida, el espesor de cada capa se establece en aproximadamente 1 metro. A modo de ejemplo, en la Figura 2 de una forma de realización preferida, se disponen 5 capas de 1 metro cada una (G_1 , G_2 , G_3 , G_4 y G_5).

La división en capas resulta importante a los fines de la presente invención ya que en principio es necesario establecer la temperatura y humedad promedio de los granos contenidos en al menos la primera capa para aplicar el modelo predictivo a la instalación de la presente invención. Aún más preferiblemente en cada capa contenida dentro del silo.

ES 2 632 103 T3

Para la capa de granos (G_1), se obtiene la temperatura promedio (T_1) y la Humedad del grano (H_1), mediante un dispositivo de medición de humedad (humedímetro) o lo similar antes o luego de estar cargado en el silo, luego se procede de igual manera con cada capa. La experimentación ha demostrado que los valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) T_1 , T_2 , T_3 , etc. y (%) H_1 , H_2 , H_3 , etc. son en general suficientemente uniformes para asumir que toda la capa posee la misma temperatura y porcentaje de humedad.

Siendo que la instalación se encuentra conformada de manera tal de permitir el ingreso de aire hacia el plénum (18), la corriente de aire introducida se proporciona a través de al menos un ventilador (19) que actúa como medio insuflador de aire, cuya boca de salida de aire se inserta a través de la pared (2) y dentro de dicho plénum. De esta manera se obtiene una elevación de la presión dentro del plénum y una corriente de aire ascendente a través de los granos.

Por defecto, el ventilador (19) es alimentado con la tensión de alimentación normal, es decir con el 100% de potencia, y determina el caudal de aire circulante de acuerdo con la condición de pérdida de carga que ofrece la masa de granos dentro del silo (1), tal como un entendido en el arte podrá apreciar, valiéndose de las curvas Presión-Caudal propias del ventilador en uso, y midiendo la presión estática dentro del plénum, es posible determinar el caudal de aire circulante que puede ser aplicado al secado.

Una vez obtenido el caudal de aire circulante, y sabiendo el número de toneladas de granos contenidas en el silo, es posible determinar el cociente de dividir dicho caudal por la masa total de granos, expresado dimensionalmente como ($\text{m}^3/\text{min.t}$), en donde el caudal se expresa de manera preferida en metros cúbicos por minuto y la masa total de granos en toneladas. Un valor típico de caudal para este tipo de instalación es de aproximadamente 1 a 2 $\text{m}^3/\text{min.t}$, que resultan caudales relativamente bajos en comparación a las instalaciones de secado tradicionales. Asimismo, en base a la experiencia obtenida en diferentes zonas climáticas del país, para un ventilador (19) tipo centrífugo, una potencia de aproximadamente 15 hp resultó suficiente para una instalación típica de secado de aproximadamente 120 toneladas de maíz, pudiendo lograrse con dicha potencia caudales de aire de aproximadamente 1,5 $\text{m}^3/\text{min.t}$. Siendo el ventilador un dispositivo mecánico en movimiento, el roce de sus aspas y demás componentes, de por sí determinan un incremento de la temperatura del aire ingresando al plénum con respecto al aire ambiente, asimismo la circulación forzada del aire por entre los granos también genera una fricción que resulta en un incremento de presión estática que determina una aportación adicional de temperatura por compresión del aire; ambas situaciones deben ser contempladas.

La resistencia estimada al aire (Presión estática en Pa) en base al caudal del aire circulante, dependiendo del tipo de grano y la altura total de las capas de granos puede calcularse en base al estándar ASAE D272.4. (American Society of Agricultural and Biological Engineers).

El incremento de la temperatura se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta T(^{\circ}\text{C}) = 0,00111 \cdot P(\text{Pa})$$

En donde ΔT es la variación de temperatura (Incremento $^{\circ}\text{C}$), P es la presión estática medible o calculable (Pascales) y 0,00111 es una constante de cálculo, todo esto conformando una ecuación que sirve y se ajusta de manera conveniente como para todo propósito y para todo tipo de granos.

A modo de referencia, bajo condiciones normales de trabajo, un ventilador de un silo secador puede producir un incremento en la temperatura del aire de entre 1,5 a 4 $^{\circ}\text{C}$.

Es posible entonces calcular cual es la reducción en la Humedad Relativa en el plénum para dicho incremento de temperatura ΔT ; de acuerdo con el estándar ASAE D271.2.

A modo de ejemplo se incorpora una Tabla 1 de referencia que relaciona la diferencia de presión con respecto a la presión ambiente (P_a) tomando la presión ambiente como valor cero de referencia, y observando la humedad relativa (%) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) correspondientes para cada diferencia de presión respecto al plénum.

TABLA 1 .

	Ambiente	Plénum			
Diferencia de presión al ambiente (Pa)	0	500	1000	1500	2000
Humedad Relativa (%)	60	57,9	56,2	54,2	52,7
Temperatura($^{\circ}\text{C}$)	25	25,6	26,1	26,7	27,2

Asimismo es posible calcular el Contenido de Humedad de Equilibrio (también referido por sus siglas “CHE”) del grano, en base al estándar ASAE D245.5. A saber, el contenido de humedad en equilibrio, es el contenido de humedad “del propio grano” que tiende a estabilizarse o mantenerse de manera natural a una cierta temperatura y humedad relativa del ambiente al que se ve expuesto, como se puede apreciar en la Figura 5 para el maíz pisingallo. A modo de ejemplo, la Figura 6 ilustra una gráfica de relación de la Humedad Relativa ambiente (%) a una temperatura de 15°C para el maíz, pudiendo determinar en abscisas el valor de CHE correspondiente.

Esto significa que es posible estimar en todo momento la humedad propia del grano a la que se estabilizará el mismo con el transcurrir del tiempo, sabiendo la humedad relativa ambiente (%) y la temperatura ambiente (°C) a la que está siendo expuesto dicho grano. Esta conversión puede realizarse hacia ambos lados basado en tablas o fórmulas que relacionan la humedad relativa (%), la temperatura ambiente (°C) con el contenido de humedad propio del grano en cuestión, tal como se muestra en la relación de la gráfica en la Figura 6.

Habiendo obtenido los datos iniciales característicos promedio de la masa de granos dentro del silo y de la instalación (en el plenum) debido a la utilización del ventilador (19), es posible entonces definir el rango de humedad deseado de obtener al menos para la primera capa (G_1) de granos. Dicho rango puede expresarse como teniendo un límite inferior de humedad del grano H_{gi} respecto del cual no se desea bajar y un límite superior de Humedad del grano H_{gs} al que a su vez no se desea sobrepasar. A modo de ejemplo particular algunos límites inferiores y superiores de contenido de humedad de interés son:

Maíz:	$H_{gi} = 13,5\%$;	$H_{gs} = 15\%$
Arroz cáscara:	$H_{gi} = 12,5\%$;	$H_{gs} = 14\%$
Cebada:	$H_{gi} = 12,5\%$;	$H_{gs} = 14\%$
Girasol:	$H_{gi} = 9,5\%$;	$H_{gs} = 11\%$

La determinación de los límites inferior y superior de humedad en el grano puede establecerse de manera conveniente determinando el límite superior comercial aceptado o técnicamente requerido y restando aproximadamente 1,5% a dicho valor superior, obteniendo así un rango deseado razonable en el cual puede oscilar el contenido de humedad en el grano durante el ajuste de la humedad en el grano.

Conceptualmente, la instalación de secado de grano utilizada en el procedimiento de la presente invención al llevar a cabo el procedimiento que aquí está siendo descrito, procederá de manera prioritaria a mantener la humedad del propio grano que se encuentra presente en la primer capa (G_1) dentro del rango prefijado de humedad, es decir entre los límites H_{gi} y H_{gs} . En consecuencia, y debido a que el proceso es aplicado de manera constante y lentamente, las sucesivas capas (G_2 , G_3 , etc.) también irán ajustando su contenido de humedad hasta llegar al valor deseado próximo o igual a H_{gs} .

La rutina de control predictiva aplicada para la predicción de la evolución del secado o rehumedecimiento es llevada a cabo mediante un medio de control electrónico (21), tal como una computadora, controlador programable o lo similar. Dicho medio de control electrónico, puede ser conectado operativamente a una pluralidad de medios sensores, tales como el medio sensor de temperatura ambiente (23) externo al silo, el medio sensor de humedad relativa ambiente (24) externo al silo y al menos un medio sensor de temperatura (25) dentro del plenum. En particular, y en base a la experiencia adquirida por los inventores de la presente instalación, el medio sensor de temperatura dentro de la cámara de aire (18), es decir, dentro del plenum, se posiciona de preferencia a 90 grados hacia la izquierda o derecha con respecto a la entrada de aire insuflado por el ventilador (19), esto se observa de mejor manera en las vista superior de la Figura 4.

Durante el proceso de control de humedad, se requiere de la introducción inicial de ciertos parámetros necesarios para que el medio de control electrónico (21) pueda efectuar la predicción de la evolución de la etapa de secado o rehumedecimiento según sea necesario, esto parámetros son: la selección del tipo de grano a secar (por ejemplo, maíz pisingallo, maíz waxy, maíz alto oleico, arroz, cebada cervecera entre otros), las toneladas de grano cargadas dentro del silo, el caudal específico resultante ($m^3 / \text{min.t}$); el contenido de humedad inicial del grano, y la humedad final deseada del grano, tal como se ha descrito anteriormente para la fijación de los valores de los límites superior e inferior de humedad deseado del grano, H_{gi} y H_{gs} .

Asimismo dicho medio de control electrónico (21), presenta al menos un medio de registro de valor deseado de humedad del material a granel (por ejemplo, los valores H_{gi} y H_{gs}) y un medio de modelado y cálculo de encendido y apagado así como de control de la potencia del funcionamiento de dicho medio de calefacción de aire. En particular el medio de modelado y cálculo de tiempos de encendido y apagado puede ser llevado a la práctica de manera eficiente mediante códigos de programación introducidos en una computadora, o en un control programable (PLC), de manera tal de que su lógica de control que para una forma de realización preferida se basa en un ciclo de trabajo predictivo, tome como datos de entrada los valores de temperatura y humedad aquí descritos en el proceso y en base a la evolución del tiempo y el registro de temperatura del aire dentro del plenum accione sobre encendido y

apagado del medio de insuflado de aire (19) y el encendido, apagado y control de la potencia del medio de calefacción de aire (20).

Procedimiento de toma de decisiones del medio de modelado y cálculo de tiempos de encendido, con el objeto de acondicionar la humedad del grano

Si la humedad de la primer capa G_1 , es mayor que el límite superior H_{gs} prefijado (grano húmedo), se da inicio a una **etapa de secado**; por el contrario, si la humedad de la primer capa G_1 es menor que el límite inferior H_{gi} (grano seco), se comienza una **etapa de rehumedecimiento**; no obstante, si la humedad de la primer capa es igual o menor que el límite superior y es igual o mayor al límite inferior, esto significa que la humedad del grano se encuentra dentro del rango de humedad deseado y es posible proceder con una **etapa de mantenimiento** (grano dentro del rango aceptable). Dichas etapas se ejemplifican en la figura 7 y se describen brevemente a continuación:

Etapa de mantenimiento

En dicho modo o **etapa de mantenimiento**, como la humedad del grano en la capa G_1 se encuentra dentro del rango óptimo, se procede a encender solo el ventilador, independientemente de las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire ambiente al ingresar en el plénium (ventilador siempre encendido), haciendo así circular aire ambiente con ventilación constante.

Etapa de secado

En dicha **etapa de secado**, si el contenido de humedad de equilibrio (CHE) del aire ambiente al ingresar en el plénium del silo es igual o menor que el límite superior H_{gs} , entonces se procede a encender sólo el ventilador (19), tal como se mencionara en la etapa de mantenimiento; por el contrario si el contenido de humedad en equilibrio en el plénium del silo es mayor que el límite superior H_{gs} , se procede a encender ventilador y el medio de calefacción (20) para acondicionar el aire bajando la humedad relativa y consecuentemente el contenido de humedad en equilibrio del grano (CHE), calculados en base a técnicas psicrométricas del estándar ASAE D271.2, y midiendo la temperatura con un sensor de temperatura (25) ubicado en el plénium y la humedad relativa ambiente con un sensor de humedad relativa (24).

De acuerdo con la instalación utilizada en una forma de realización del procedimiento de la presente invención, se provee un medio de calefacción (20) que de manera preferida puede ser llevado a la práctica por medio de un quemador de gas con control de llama mediante caudal de gas regulable, dicho quemador (20), es instalado de manera preferida para proveer aire caliente hacia la boca de succión del ventilador (19). El control del paso de gas puede ser comandada por un medio de control electrónico (21) conectado operativamente con dicho medio insuflador de aire (19). Asimismo el medio insuflador de aire (19) llevado a la práctica mediante un ventilador, también es comandado por dicho medio de control electrónico (21) conectado operativamente con dicho ventilador (19) para permitir comandar el encendido, apagado de dicho medio de insuflación de aire y el encendido, apagado y control de la potencia de funcionamiento de dicho medio de calefacción de aire (20), de manera tal de obtener un control continuo de la potencia de funcionamiento de dicho medio de calefacción (20) de aire. Se entiende por lo tanto como encendido, apagado del ventilador centrífugo (19) a la provisión o corte respectivamente de suministro de energía eléctrica. Asimismo se entiende por “encendido y apagado del medio de calefacción (20)” a la apertura o cierre del paso de gas, en el caso de un quemador a gas, y control al progresivo cierre o apertura del pasaje de gas (por ejemplo a través de una válvula de aguja) para obtener una variación en el caudal de gas entregado al quemador. No obstante en el caso de utilizarse otro medio calefactor (20) tal como la recuperación de calor proveniente de otros procesos, o mediante resistencias eléctricas y/o lo similar el encendido y apagado y el control tendrá relación con el tipo de suministro de energía y/o caudal necesario para obtener el incremento de temperatura. A saber, por lo general el incremento necesario de temperatura en una instalación del tipo descripta y utilizando un procedimiento de control de humedad tal como el aquí descripto, solo necesita elevar la temperatura del aire de ingreso en aproximadamente $\Delta T = 5$ a 8 °C. Se observa por lo tanto un beneficioso bajo consumo de energía ya que las temperaturas de trabajo dentro del silo debido al ingreso de aire, son relativamente bajas con respecto a los secadores de granos actualmente disponibles en el mercado.

Etapa de rehumedecimiento

En dicha **etapa de rehumedecimiento**, si el contenido de humedad de equilibrio en el plénium del silo es mayor o igual al límite inferior H_{gi} , entonces se procede a encender sólo el ventilador (19) ya que esto tenderá a incrementar la humedad del grano y tal como se mencionara en la etapa de mantenimiento mencionada anteriormente; si por el contrario, el contenido de humedad de equilibrio del plénium del silo es menor que el límite inferior H_{gi} , se procede a detener el ventilador (19) evitando así un mayor secado;

Sea cual fuera el **modo o etapa activa**, se procede a calcular periódicamente, de manera preferida aproximadamente a cada hora, el cambio en la humedad en las diferentes capas según modelo de equilibrio de

Thompson (1972). (Thompson, T. L., R. M. Peart, and G. H. Foster. 1968. Mathematical simulation of corn drying-A new model. *Transactions of the ASAE* 24(3):582-586).

El modelo de equilibrio de Thompson asume que el aire, después de pasar por una capa de grano, se encuentra en equilibrio con la temperatura y humedad del grano de esa capa. Para predecir el cambio de humedad de la capa de granos el modelo se basa en tres ecuaciones de equilibrio: 1) balance de calor entre el aire y el grano; 2) balance de masa entre el aire y el grano y 3) equilibrio entre el contenido de humedad de equilibrio (CHE) del grano y la humedad relativa de equilibrio (HRE) del aire.

En base a los datos de temperatura y humedad relativa del aire en el plenum, aplicando reglas de psicrometría convenientes, se puede calcular el contenido de humedad del aire (gramos de agua por kg de aire) que ingresa en la capa G1. A su vez, la resolución del modelo de equilibrio de Thompson permite predecir la temperatura y humedad relativa del aire que sale de la capa G1, por lo que aplicando nuevamente psicrometría se puede obtener el contenido de humedad (gr de agua por kg de aire) del aire saliente. Por simple resta se puede conocer la cantidad de agua que cada kg de aire que circuló por la capa G1 removió (secado) o depositó (rehumedecimiento) en dicha capa. Seguidamente, multiplicando el efecto de cada kg de aire en circulación por el caudal de aire del sistema se puede obtener cuánta agua se deposita o remueve en dicha capa por unidad de tiempo. Seguidamente se procede a realizar el mismo cálculo para la segunda capa (G2). En este caso las condiciones de entrada del aire en la segunda capa (G2) son iguales que las condiciones de salida del aire en la capa precedente (G1). De igual manera se procede a calcular el efecto de secado o rehumedecimiento que tuvo el silo secador en cada una de las capas de grano en la unidad de tiempo.

El contenido de humedad de equilibrio o su relación inversa, humedad relativa de equilibrio, pueden calcularse con los modelos de Chung-Pfost Modificado, Halsey Modificado, Oswin Modificado o Henderson Modificado, dependiendo de lo recomendado para cada tipo de granos (ASAE D241.4).

De esta manera, en base a las condiciones del aire de secado en el plenum del silo y el caudal de aire determinado previamente al inicio del proceso, se puede determinar así el grado de avance global del proceso en la etapa de secado o rehumedecimiento.

Ajuste final del contenido de humedad en el grano

A medida que el proceso se desarrolla, es importante entonces ajustar el valor predefinido de límite inferior H_{gi} del rango de humedad deseada, acercándolo al límite superior H_{gs} deseado conforme avanza dicha etapa de secado o rehumedecimiento.

El ajuste del límite inferior H_{gi} se realiza de la siguiente manera:

A modo de ejemplo, el tiempo total de secado o duración total de secado estimado en horas de funcionamiento de ventilador (DT_{ots} en horas): 660/caudal específico ($m^3/min \cdot t$) según lo determinado arriba.

En esta instancia, la lectura proveniente de los diversos medios sensores (23) (24) y (25) así como el control ejercido sobre el quemador (20) y el ventilador (19) son posibles de llevar a cabo a través del antes mencionado medio de control electrónico (21) por ejemplo, una computadora, procesador electrónico, controlador programable y lo similar ubicado en la cabina de control (22) permitiendo a la instalación de control de humedad llevar a cabo el registro de las horas de funcionamiento del ventilador (es decir tiempo en el que se estaba generando un cambio de humedad en la condición del grano) desde el inicio. Siendo D_s , a modo de ejemplo, las horas acumuladas de funcionamiento del ventilador hasta el momento de efectuar el registro y cálculo. Es posible calcular entonces el % de secado en el cual se encuentra el procedimiento en base a la siguiente expresión :

$$\text{porcentaje de secado} = \frac{D_s}{DT_{ots}} \cdot 100 ;$$

expresado en palabras;

$$\text{Porcentaje de ajuste de humedad actual} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento actual}}{\text{Tiempo total de control calculado}} \cdot 100$$

Se entiende por lo tanto como "porcentaje de secado" al grado de avance del proceso de secado del grano contenido en el silo (1), y en consecuencia, es posible adoptar a modo de ejemplo los siguientes rangos de porcentaje de secado para ir ajustando cada vez más el límite inferior y hacer que el mismo tienda a estar más próximo que el límite superior:

Porcentaje de secado dentro rango de 0-50%

Límite inferior = (Límite superior – 3)

Porcentaje de secado dentro rango de 50-75%

Límite inferior = (Límite superior – 1,5)

Porcentaje de secado dentro rango de 75-100%

Límite inferior = (Límite superior – 0,5)

Del anterior cálculo, si el grado de avance (porcentaje de secado) obtenido sigue siendo menor a 100%, entonces se vuelve a la **Etapa de toma de decisión para determinar la adopción una etapa de secado, rehumedecimiento o de aireación continua (mantenimiento)**. Tal como se mencionara, esta iteración de manera preferida se lleva a cabo a intervalos regulares de aproximadamente una hora.

control de humedad final alcanzada

Cuando el porcentaje de secado (progreso del objetivo de la etapa) calculado llega al 100%, se verifica el contenido de humedad del grano tomando una muestra física de grano de la superficie del contenido del silo. Si la determinación de humedad de la muestra de grano confirma que se completó el secado, entonces se finaliza el proceso. De lo contrario, si el contenido de humedad no es el deseado, se prolonga el funcionamiento de la instalación de control de humedad con los mismos parámetros anteriores de manera preferida durante dos días, luego de los cuales se vuelve a verificar la humedad del grano tomado como muestra física de la superficie del contenido de granos dentro del silo. Procediendo así hasta obtener el grado de humedad deseado (figura 8).

Tal como un entendido en el campo de la técnica puede apreciar, estando dicho grano a la humedad deseada, es posible descargarlo por gravedad recurriendo a las puertas de descarga (30) junto con la introducción bajo el piso (10) de una cinta transportadora, pudiendo realizar el barrido final del grano con ayuda del tornillo sin fin barredor (14), sin mayores inconvenientes.

La instalación y el procedimiento para el control de humedad de grano tal como fueran descritos, son especialmente aptos para ser utilizados con granos de alto valor comercial tales como el maíz pisingallo, maíz waxy, maíz alto oleico, arroz, cebada cervecera entre otros, proporcionándoles un acondicionamiento de humedad suave y paulatino al tiempo que minimiza el consumo excesivo de energía, todo esto mediante la predicción de la evolución del secado basada en el equilibrio natural del grano para estabilizarse en un contenido de humedad de equilibrio, propio del grano de acuerdo a las condiciones de humedad y temperatura reinantes.

De esta manera es posible obtener una instalación adecuada para almacenar temporalmente el grano, y regular su humedad tomando como parámetros de inicio del ciclo abierto temperaturas y humedades del grano y posteriormente prediciendo la evolución del secado mediante el control de la humedad relativa de la corriente de aire insuflado en el plenum y que oficiará de corriente circulante ascendente para evacuar principalmente la humedad del grano contenido en dicho silo. A modo de referencia, es posible por lo tanto obtener un proceso de secado suave de granos de aproximadamente 20 días obteniendo un descenso de su humedad de aproximadamente un 4% con respecto del valor inicial de cuando es cargado en el silo, esto permite por ejemplo disminuir la humedad propia del grano de un maíz pisingallo en el término de 20 días desde 18% a 14%, tornándolo apto para su comercialización y conservación.

Cabe destacar por lo tanto que a diferencia de los ciclos de control electrónicos conocidos que retroalimentan información evidente tal como las lecturas de humedad y temperatura del grano durante todo el proceso, el procedimiento de la presente invención se basa en un modelado predictivo que inicia a modo de ciclo abierto con parámetros iniciales de lectura y un posterior avance por etapas que priorizan un suave y natural secado o acondicionamiento de la humedad del grano.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para el control de humedad en granos, semillas y material a granel similar para ser aplicado a una instalación de control de humedad, comprendiendo dicha instalación al menos un silo contenedor (1) de material a granel, comprendiendo dicho silo:

un piso base plano (9) de material rígido sobre el cual se posiciona y sostiene la pared perimetral (2) de dicho silo contenedor (1),

un piso elevado (10) con respecto a dicho piso de base (9), contenido dentro de la pared perimetral (2) de dicho silo, en donde dicho piso elevado comprende una pluralidad de orificios (12) que definen pasajes de aire con una superficie relativa de 15% a 30% de la superficie total del piso elevado (10), una cámara de aire (18), definida entre dicho piso de base (9) y dicho piso elevado (10),

un medio insuflador de aire (19) para insuflar una corriente de aire hacia dicha cámara de aire (18) conectado a través de dicha pared perimetral (2),

un medio de calefacción de aire (20) conectado previo al ingreso de la corriente de aire a dicha cámara de aire (18),

al menos un medio sensor de temperatura del aire (25) en al menos un punto de lectura de temperatura ubicado en el interior de la cámara de aire (18), y al menos un medio sensor de temperatura (23) ubicado externamente a dicho silo y al menos un medio sensor de humedad relativa de aire ambiente (24) ubicado externamente a dicho silo,

un medio de control electrónico (21) conectado operativamente con dicho medio insuflador de aire (19), con dicho medio de calefacción de aire (20), con dicho medio sensor de temperatura (25) ubicado dentro de la cámara de aire (18), a dicho medio sensor de temperatura de aire (23) ubicado externamente a dicho silo, y a dicho medio sensor de humedad relativa de aire ambiente (24) ubicado externamente a dicho silo;

incluyendo dicho medio de control electrónico (21) un medio de registro inicial de datos de dicho medio sensor de temperatura (25) ubicado dentro de la cámara de aire (18), de dicho medio sensor de temperatura de aire (23) ubicado externamente a dicho silo y de dicho medio sensor de humedad relativa de aire ambiente (24), ubicado externamente a dicho silo, un medio de registro de valor deseado para registrar una humedad deseada del material a granel y un medio de modelado y cálculo para modelar de manera predictiva los cambios de humedad y temperatura del material a granel y calcular los tiempos de encendido y apagado, y controlar la potencia de funcionamiento de dichos medio de insuflado y calefacción de aire,

en donde el procedimiento comprende establecer una división por capas del material a granel contenido en dicho silo (1), determinando de esta manera una pluralidad de capas de material a granel;

medir la humedad inicial de al menos la capa inferior de dicha pluralidad de capas de material a granel;

registrar dicha humedad inicial de al menos dicha capa inferior en dicho medio de registro de datos iniciales de dicho medio de control electrónico (21);

registrar un valor deseado de humedad del material a granel en dicho medio de registro de valor deseado de dicho medio de control electrónico (21);

caracterizado porque el procedimiento además comprende medir valores iniciales de temperatura de al menos la capa inferior de dicha pluralidad de capas del material a granel;

registrar dichos valores de temperatura iniciales de al menos dicha capa inferior en dicho medio de registro de datos iniciales de dicho medio de control electrónico (21);

establecer un caudal circulante de aire de dicho medio insuflador de aire (19);

registrar dicho caudal circulante de aire en dicho medio de registro de datos iniciales de dicho medio de control electrónico (21);

determinar por medio de dicho medio predictivo de modelado y cálculo un rango de humedad que comprende un límite inferior de humedad deseado y un límite superior de humedad deseado, obtenidos tales límites en base a un rango de tolerancia preestablecido alrededor de dicho valor deseado de humedad registrado en el material a granel;

determinar mediante dicho medio predictivo de modelado y cálculo el accionamiento de una etapa seleccionada del grupo que comprende una etapa de secado, una etapa de mantenimiento y una etapa de rehumedecimiento;

ES 2 632 103 T3

en donde dicha etapa es seleccionada de acuerdo con el valor de humedad de dicha primer capa inferior seleccionada a partir de los granos contenidos en dicho silo, en base a la comparación de dicho límite inferior de humedad deseado y dicho límite superior de humedad con respecto a dicho valor de humedad de dicha primer capa inferior;

registrar la humedad relativa ambiente por medio de dicho medio sensor de humedad relativa ambiente (%)(24) y la temperatura ambiente (°C) obtenida mediante dicho medio sensor de temperatura ambiente (23) a la que está siendo expuesta dicho material a granel,

calcular mediante dicho medio de control electrónico el Contenido de Humedad de Equilibrio (CHE) de dicho tipo de material a granel, como un indicador del contenido de humedad al cual se estabilizará dicho material a granel con el transcurrir del tiempo,

establecer la activación de dicho medio insuflador de aire (19) y dicho medio de calefacción de aire (20) en base a la temperatura del aire y el Contenido de Humedad de Equilibrio (CHE) del material a granel y el valor deseado de humedad registrado en dicho medio de registro de valor deseado de humedad, en base a una pluralidad de tablas o fórmulas que relacionan la temperatura del aire en la cámara de aire, el CHE, la humedad relativa (%) y la temperatura ambiente.

2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho medio insuflador de aire (19) comprende un ventilador centrífugo, con una caudal de circulación de aire en función del peso de material a granel en el rango de aproximadamente 1 a 2 m³/(min.t), y dicho medio de calefacción de aire (20) comprende un quemador de gas.

3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho piso base (9) es de hormigón y dicha pluralidad de orificios comprende agujeros circulares de aproximadamente 4 mm de diámetro.

4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho medio sensor de temperatura del aire (25) en al menos un punto de toma de lectura de temperatura ubicado en el interior de la cámara de aire se posiciona aproximadamente 90 grados hacia la izquierda o derecha con respecto a la entrada de aire insuflado por el medio insuflador de aire (19).

5. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicha etapa de secado comprende el encendido de dicho medio insuflador de aire y, cuando la temperatura calculada y el CHE no permite secado, de dicho medio de calefacción y en donde esta etapa de secado es activada si el valor de humedad de dicha primer capa inferior de material a granel es superior a dicho límite superior de humedad.

6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 5, en donde dicha etapa de mantenimiento comprende el encendido de dicho medio insuflador de aire y en donde esta etapa de mantenimiento es activada cuando dicho valor de humedad de dicha primer capa inferior de material a granel se encuentra dentro del rango determinado por dicho límite superior y límite inferior de humedad.

7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 5 a 6, en donde dicha etapa de rehumedecimiento comprende el encendido de dicho medio insuflador de aire cuando la temperatura calculada y el CHE permiten el rehumedecimiento, y en donde esta etapa de rehumedecimiento es activada si dicho valor de humedad de la primer capa inferior de material a granel es inferior a dicho límite inferior de humedad.

8. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 5 a 7, en donde dicha etapa de secado, etapa de mantenimiento y etapa de rehumedecimiento comprende el cálculo periódico de la variación de temperatura y humedad de cada capa de dicha pluralidad de capas, en base al valor de temperatura de dicho sensor de temperatura en dicha cámara de aire (18) y en el valor de humedad y temperatura relativa del aire ambiente de dichos medios sensores (24, 25) ubicados externos a dicho silo, sin necesidad de mediciones adicionales de humedad en dicha primera capa del material a granel, determinando mediante el uso de dicho medio de modelado y cálculo el grado de avance de la etapa activa, hasta que dicha etapa alcanza el cien por ciento de avance, y utilizando además ecuaciones de equilibrio que comprenden,

al menos una ecuación de balance de calor entre el aire y el material a granel;

al menos una ecuación de balance de masa entre el aire y el material a granel; y

al menos una ecuación de equilibrio entre el contenido de humedad de equilibrio (CHE) del material a granel y la humedad relativa de equilibrio (HRE) del aire.

9. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 5 a 8, en donde dicho medio de modelado y cálculo de tiempos de encendido y apagado de dicho medio insuflador de aire (19) así como para operar el control de potencia de dicho medio de calefacción de aire, realiza las siguientes etapas de:

ES 2 632 103 T3

- a) calcular el ascenso de temperatura y descenso de humedad relativa en la cámara de aire (18) del silo provocados por la fricción del ventilador al forzar el paso de aire a través del grano;
- b) calcular la resistencia estimada del aire (presión estática) en base al caudal de aire, tipo de material a granel y altura de la masa de material a granel, según estándar ASAE D272.3;
- c) calcular el incremento en temperatura según siguiente ecuación:

$$\text{Incremento de Temp. (}^{\circ}\text{C)} = 0,00111 \cdot \text{Presión estática (Pa)}$$

- d) calcular la reducción de la humedad relativa en la cámara de aire para dicho incremento de temperatura, según el estándar ASAE D271.2; y
- e) calcular el contenido de humedad en equilibrio del aire de secado en base a el estándar ASAE D245.5.

10. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, en donde en períodos de tiempo predeterminados, se ajusta el valor predefinido de límite inferior de humedad deseado, acercándolo al límite superior de humedad deseado conforme avanza dicha etapa de secado o rehumedecimiento; en donde el ajuste del límite inferior de humedad deseado se realiza de la siguiente manera:

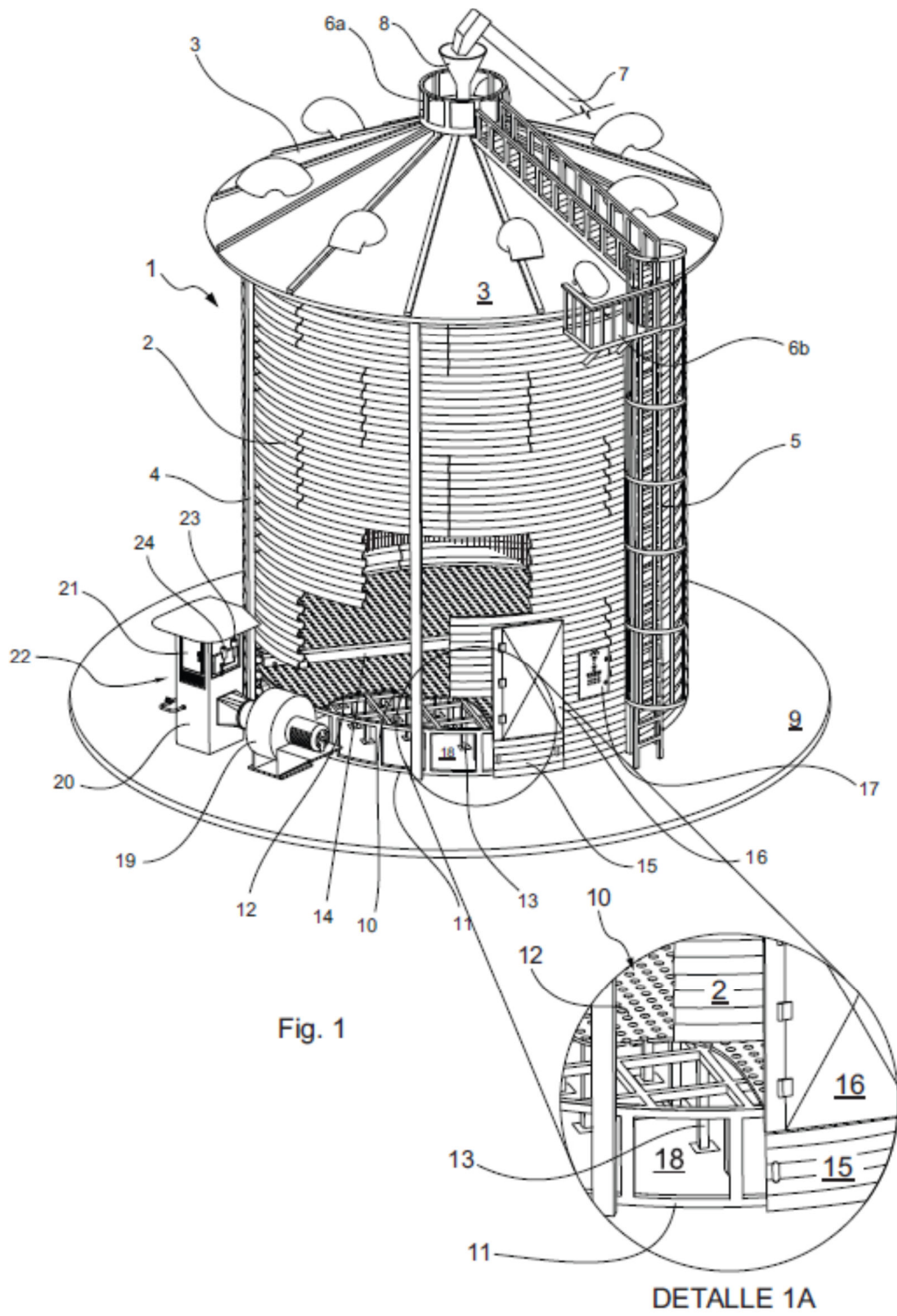
tomar la lectura proveniente de dichos medios sensores y obtener el registro del tiempo de funcionamiento actual de dicho medio insuflador de aire desde el inicio del presente procedimiento, calculando el % de secado actual que ha alcanzado el procedimiento en base a la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de ajuste de humedad actual} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento actual}}{\text{Tiempo total de regulación calculado}} \cdot 100$$

en donde dicho porcentaje de ajuste de humedad actual permite a dicho medio de control electrónico determinar el grado de avance del proceso de ajuste de la humedad de dicho material a granel, en donde un nuevo límite inferior deseado es seleccionado del grupo que comprende:

- un nuevo límite inferior de humedad deseado = (Límite superior – 3) si el porcentaje de ajuste de humedad actual se encuentra dentro del rango de 0 a 50%;
- un nuevo límite inferior de humedad deseado = (Límite superior – 1,5) si el porcentaje de ajuste de humedad actual se encuentra dentro del rango de 50 a 75%; y
- un nuevo límite inferior de humedad deseado = (Límite superior – 0,5) si el porcentaje de ajuste de humedad actual se encuentra en el rango de 75% a 100%;

en donde si el porcentaje de ajuste de humedad actual es menor a 100%, el procedimiento procede a comenzar nuevamente el modelado y cálculo, en donde una etapa es seleccionada de acuerdo con el valor de humedad calculado en base a la predicción del control electrónico, de acuerdo a dicho medio de modelado y cálculo en dicha primer capa inferior seleccionada de dicho material a granel contenido en dicho silo, en base a la comparación de al menos dicho nuevo límite inferior de humedad deseado y de dicho límite superior de humedad con respecto a dicho valor de humedad calculado en base a dicha predicción de dicho medio de control electrónico de acuerdo a dicho medio de modelado y cálculo.



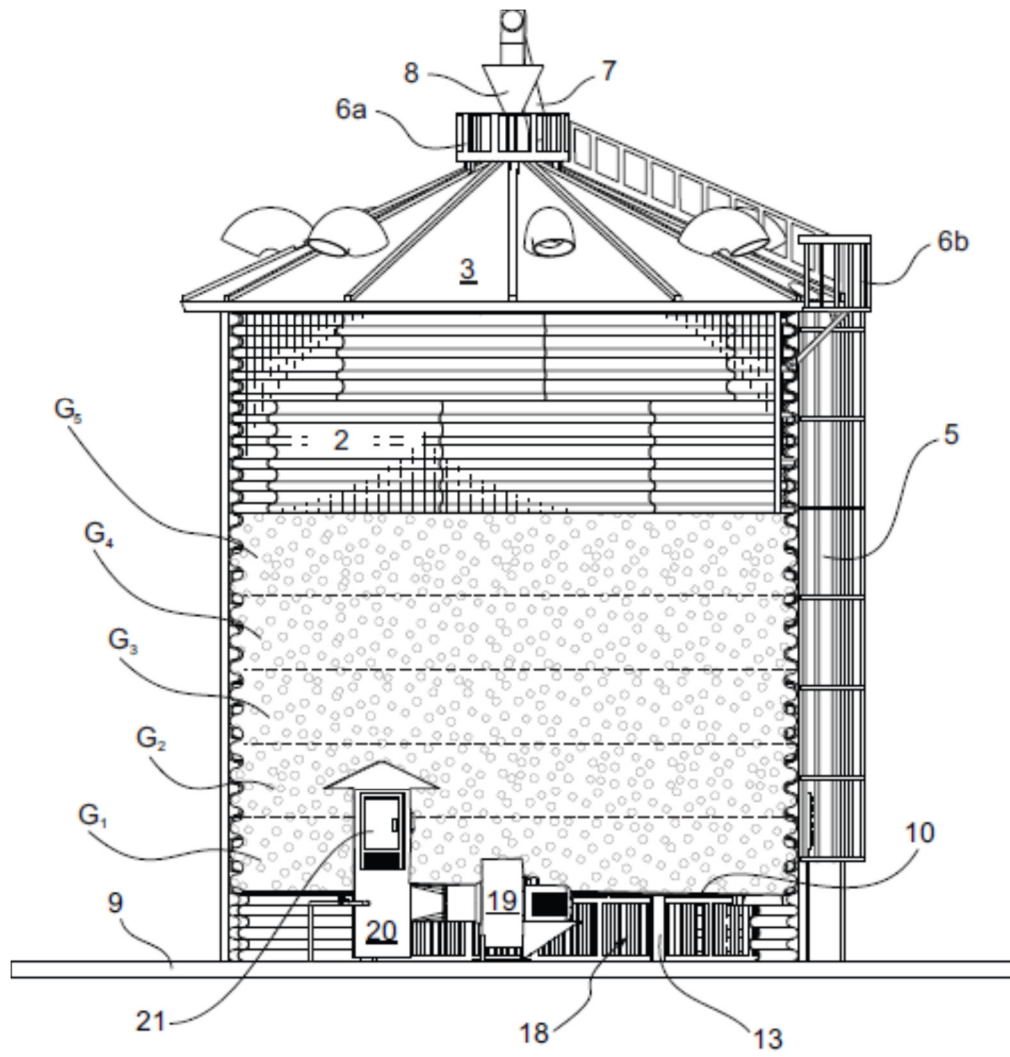


Fig. 2

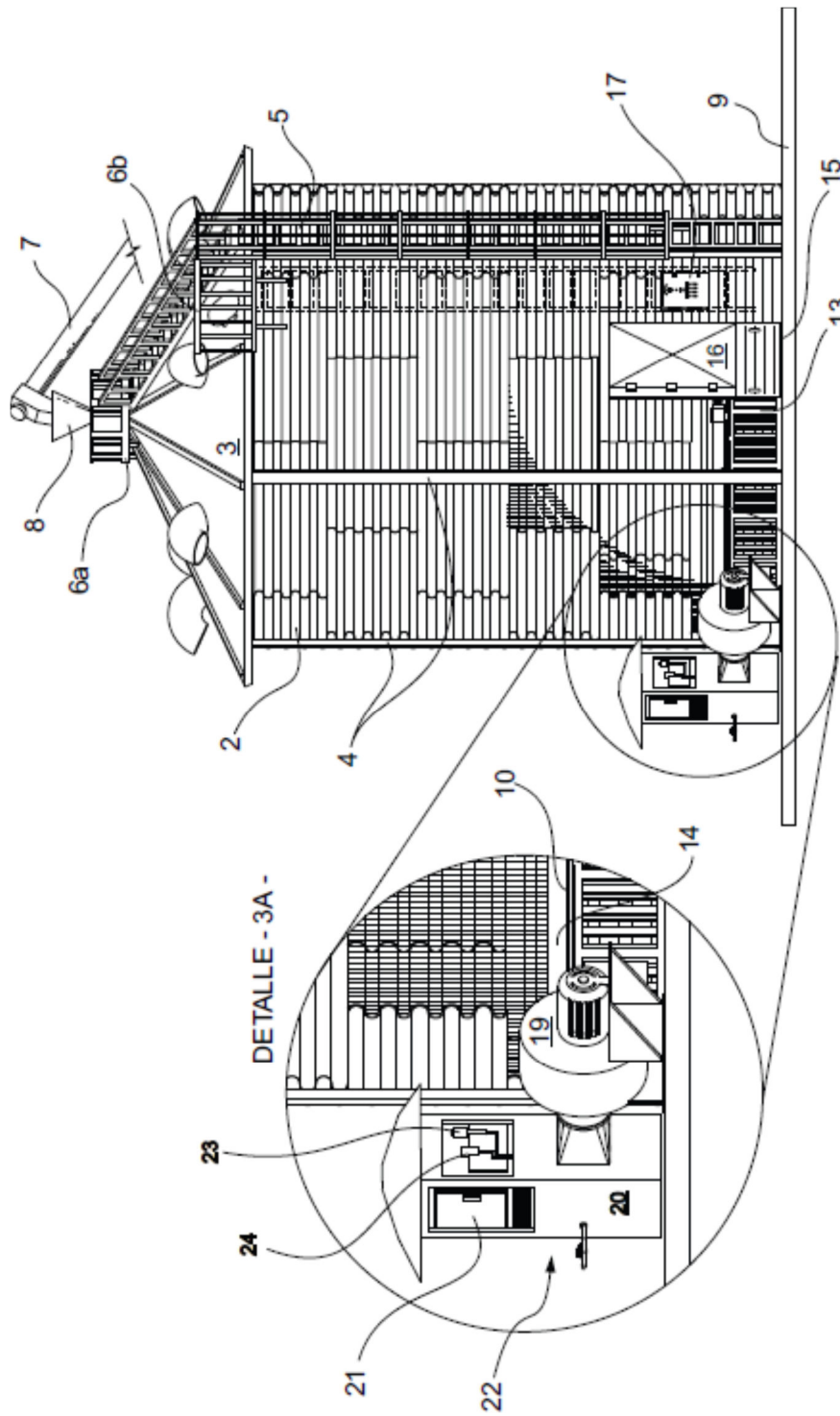


Fig. 3

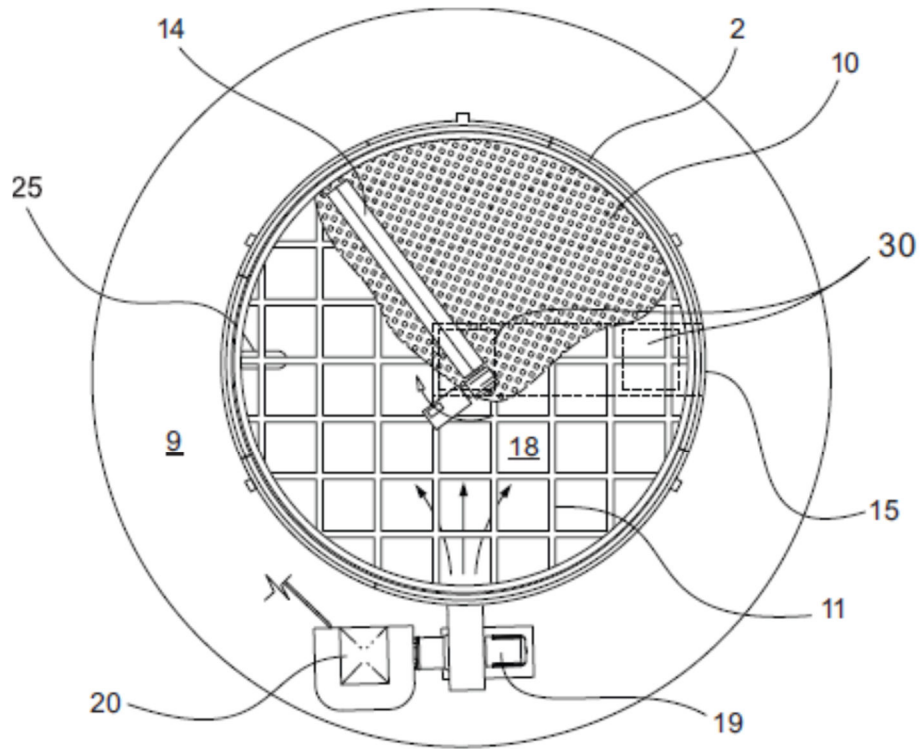


Fig. 4

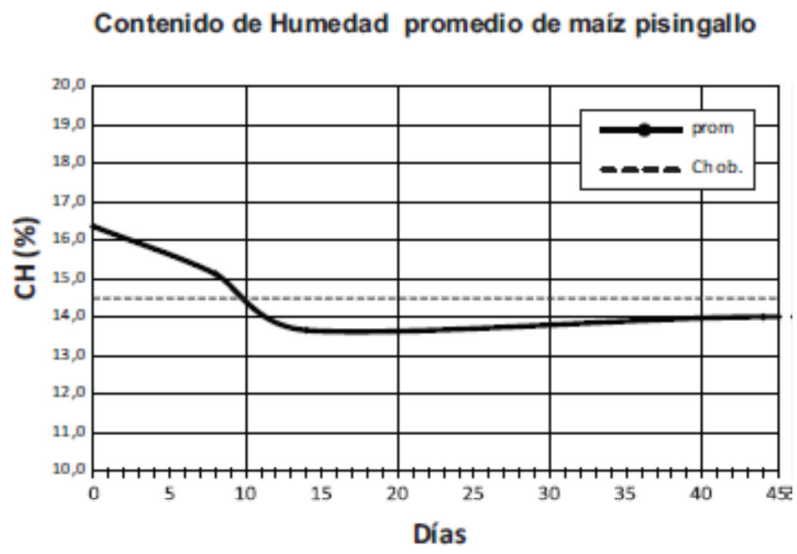


Fig. 5

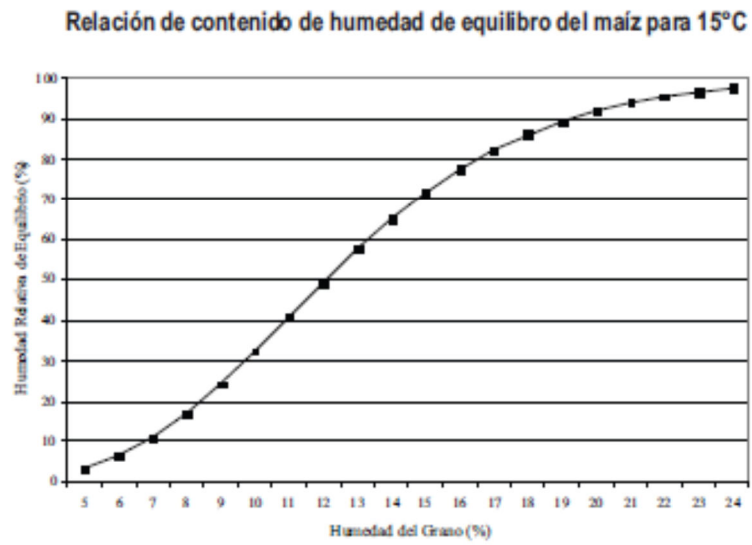


Fig. 6

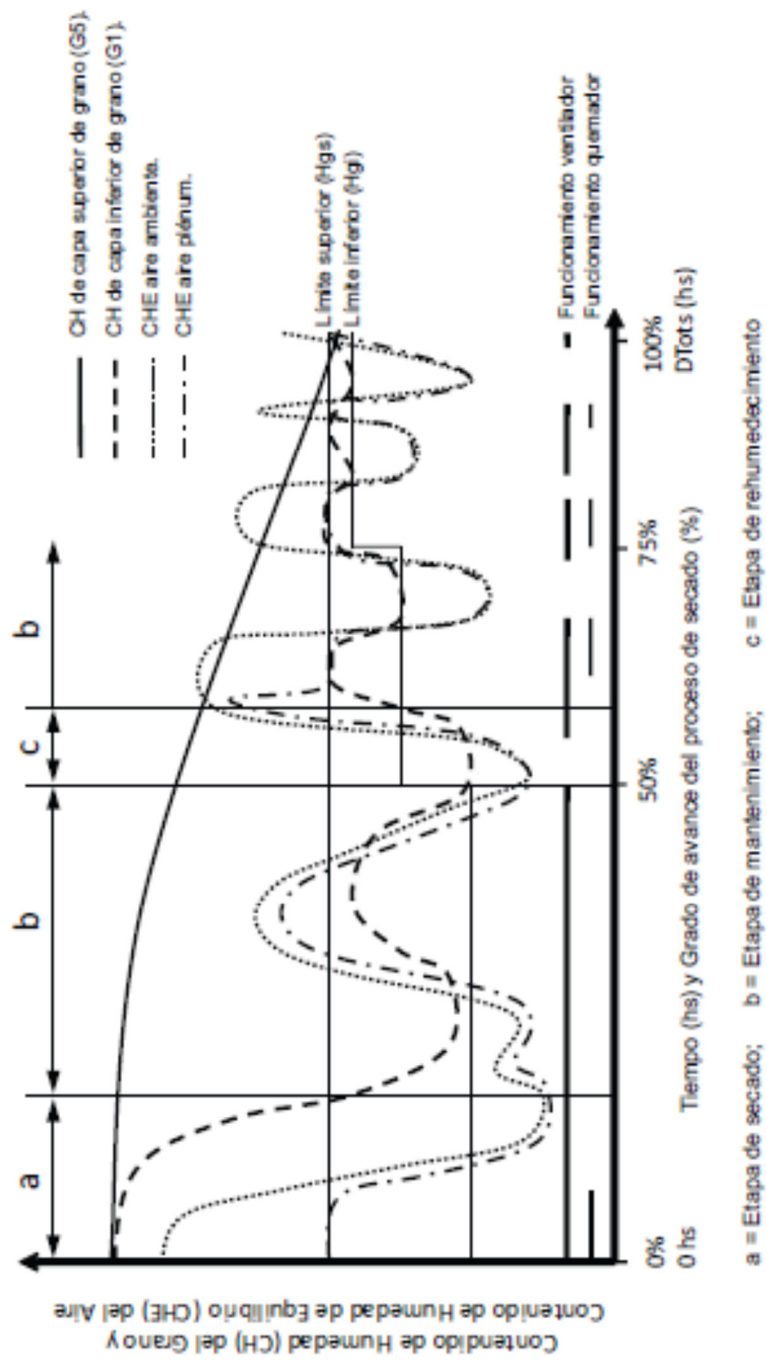


Fig. 7

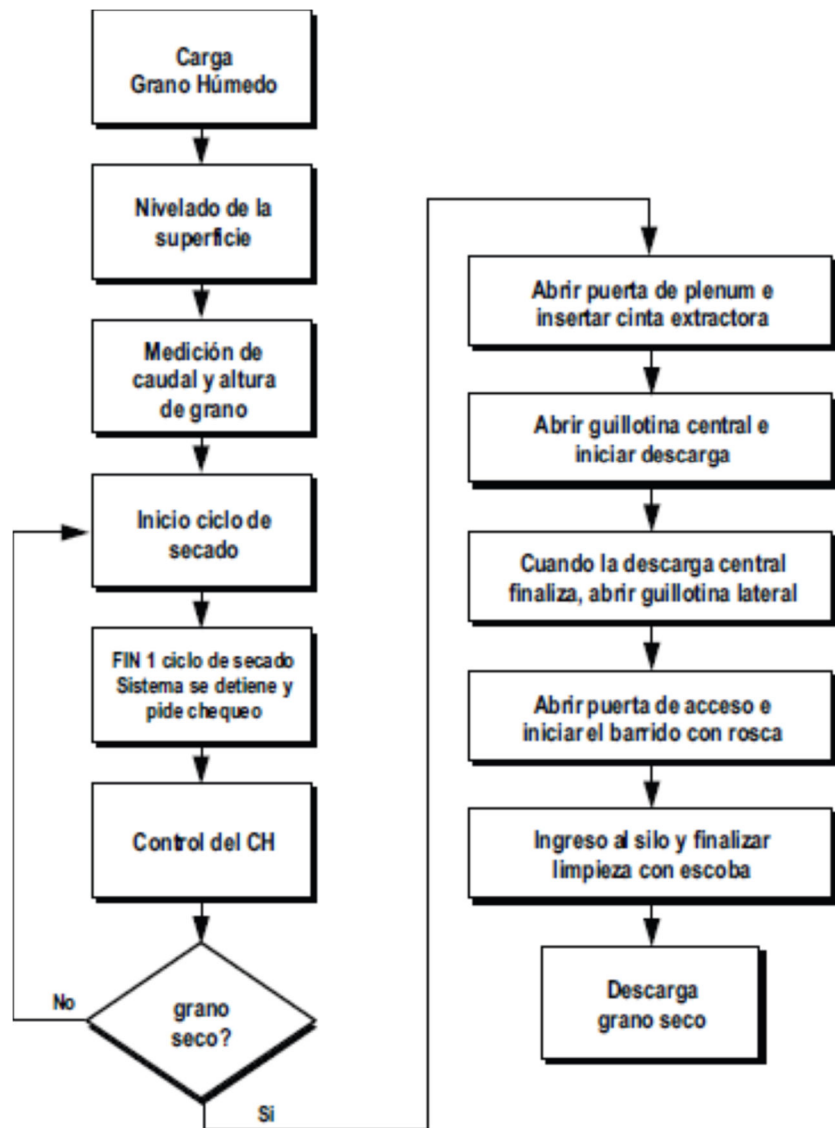


Fig. 8