

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CONTROLAR UNA MÁQUINA AGRÍCOLA;
MÉTODO DE MONITOREO, DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FALLOS EN
UNA MÁQUINA AGRÍCOLA; SISTEMA DE DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE
FALLOS EN UNA MÁQUINA AGRÍCOLA; Y MÁQUINA AGRÍCOLA
AUTOMATIZADA PARA EL BENEFICIAO DE GRANOS**

CAMPO DE LA INVENCION

[001] La presente invención pertenece al campo de la maquinaria agrícola destinada al beneficiado y separación de granos. Más específicamente, se refiere a un sistema y método automatizado de succión de impurezas, que controla la presión dentro de las tuberías de aspiración, con el objetivo de evitar la succión de granos junto con las impurezas. Además, la invención comprende una máquina agrícola automatizada; un sistema automatizado para la detección y localización de fallos orientado al control de la máquina agrícola, y un método para el monitoreo, detección y localización de fallos en dichas máquinas agrícolas utilizadas en el beneficiado de granos alimenticios.

[002] En otras palabras, la invención comprende un sistema automatizado de control de presión que permite una succión más eficiente de impurezas en general, optimizando la aspiración de modo que no se aspiren los granos conjuntamente con las impurezas. Se trata de un sistema y método que utiliza controladores en lazo cerrado, los cuales mantienen la presión dentro del rango operativo ideal para controlar el flujo de aire destinado a la aspiración. El sistema también comprende el monitoreo, detección y localización de fallos y de la presión en una máquina

agrícola beneficiadora de granos, mediante el control de variables.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

[003] La cosecha anual de granos alimenticios genera millones de toneladas de diversos tipos de granos. Para la limpieza, el descascarado y el pulido de estos granos es necesaria la utilización de equipos especializados. Algunas maquinarias agrícolas actuales presentan un control manual de presión para la aspiración de impurezas, lo que genera inconvenientes tales como una separación incorrecta de granos e impurezas, además de un incremento en el consumo energético.

[004] La separación de impurezas de los granos se realiza usualmente en cuatro etapas bien definidas dentro de una máquina agrícola manual de beneficiado de granos del estado de la técnica.

[005] En una primera etapa, el equipo realiza el descascarado de los granos. Luego, en una segunda etapa, un flujo de aire separa el grano de su cáscara. En una tercera etapa, se lleva a cabo el pulido de los granos, y finalmente, se realiza el ensacado en sacos o bolsas (bags), para su posterior distribución.

[006] Las máquinas de beneficiado de granos del estado de la técnica cuentan con un sistema de aspiración de impurezas completamente manual y carecen de sistemas de control y monitoreo que permitan mejorar el proceso de beneficiado. El sistema es simple, y todos los ajustes se realizan manualmente por un operador. Las variables del proceso no se encuentran monitoreadas ni controladas, lo que

genera imprecisiones y dudas para el operador respecto al uso del equipo.

[007] La operación manual está sujeta a errores humanos. El monitoreo manual no es capaz de alcanzar el rendimiento óptimo que un sistema automatizado puede proporcionar, como se propone en la presente invención.

[008] Por tratarse de un sistema mecánico dependiente de un operador experimentado para el ajuste de diversos parámetros, la ausencia de un sistema de detección de fallos para evitar pérdidas y las dificultades para el monitoreo y control del proceso son superadas por la presente invención mediante un sistema automatizado de detección de fallos.

[009] Las cuatro etapas anteriormente mencionadas se realizan mediante descascaradores, pulidores y ventiladores diseñados para generar un flujo de aire suficiente para separar las impurezas derivadas del descascarado de los granos. Sin embargo, dicho flujo es constante y no se dispone de un control automático que compense alteraciones en las características de los granos, tales como densidad, tamaño o peso.

[010] El funcionamiento manual presenta diversas dificultades operativas, las cuales son superadas por la presente invención.

[011] Las máquinas de beneficiado de granos del estado de la técnica no cuentan con sistemas de medición de corriente eléctrica que permitan identificar anomalías, como sobrecargas, fallos en la red eléctrica, o mal funcionamiento del sistema motriz (motor, transmisión por

correas, poleas o carga excesiva en el módulo octogonal de descascarado/pulido).

[012] La velocidad de los motores en las máquinas agrícolas del estado de la técnica es fija, y no existe un sistema de protección o amortiguamiento en el arranque. Tampoco hay un control de velocidad en el motor de aspiración, por lo que el ajuste del flujo de aire debe hacerse manualmente mediante compuertas. Al iniciar el proceso, el operador debe verificar visualmente si se están aspirando granos junto con las cáscaras y, de ser así, debe ajustar manualmente el flujo de aire. Dado que no se realiza monitoreo de las variables mediante sensores, no es posible identificar rápidamente problemas operacionales.

[013] La regulación del flujo de granos desde los módulos octogonales también es manual, utilizando contrapesos. Dichos ajustes deben ser precisos para lograr una remoción eficiente de impurezas; una baja velocidad puede causar sobrecalentamiento del grano, mientras que una velocidad excesiva puede resultar en una limpieza ineficaz. Las máquinas actuales no disponen de monitoreo de temperatura adecuado para prevenir daños a los granos.

[014] Además, al ser maquinaria de operación manual, los planes de mantenimiento no suelen considerar las horas efectivamente trabajadas por la máquina.

[015] El estado de la técnica incluye algunos ejemplos de maquinaria agrícola para el beneficiado y limpieza de granos. Por ejemplo, el documento JP2017056442 describe la necesidad de incorporar un aspirador para separar la paja del arroz. La solución propuesta consiste en un descascarador dispuesto en la parte frontal del cuerpo de la

máquina y un selector oscilante en la parte trasera, con un conducto de aire principal que transporta el arroz descascarado hacia abajo y un aspirador conectado a la parte superior de dicho conducto que aspira y descarga el polvo. Para ello, se proporciona una válvula de encendido/apagado para controlar la descarga del polvo del ventilador de succión y una entrada de aire situada por encima del punto de cierre de esta válvula, la cual se conecta a una manguera de chorro de aire.

[016] Otro ejemplo es el documento CN104174453, que revela una máquina de doble tambor para el descascarado y pulido de maíz. El flujo de aspiración depende de tuberías, un ventilador y múltiples ajustes manuales que afectan directamente el flujo de aire generado. Este diseño requiere una intervención humana constante para ajustar manualmente las compuertas del sistema de aspiración, lo que da lugar a una máquina agrícola de gran tamaño.

[017] Por tanto, el estado de la técnica carece de soluciones que ofrezcan maquinaria agrícola para el descascarado de granos con un sistema de aspiración eficiente, de baja intervención operativa, sencillo, eficaz y automatizado, orientado a mejorar la eficiencia del proceso y generar valor económico para pequeños y medianos productores.

[018] Considerando lo anterior, el estado de la técnica se beneficiaría con la introducción de un sistema automatizado que integre control automático de presión y capacidades de monitoreo, detección y localización de fallos en el flujo de aire para maquinaria procesadora de granos alimenticios, como el café.

[019] Con el objetivo de resolver estos problemas, la presente invención propone una máquina agrícola con un sistema de control automático de presión para automatizar el flujo de aire, así como un sistema de monitoreo, detección y localización de fallos para maquinaria agrícola procesadora de granos alimenticios, preferentemente granos de café, que permita una limpieza y descascarado más eficientes del grano previamente recolectado.

[020] El sistema comprende preferentemente un ventilador de doble aspiración para ambas tuberías, que aplica succión y aspiración de aire para separar impurezas, en particular las cáscaras de los granos.

[021] En una realización, un único ventilador proporciona el control de presión dentro de un conducto, permitiendo la regulación automática del flujo de aire en función de la densidad y otras características específicas de los granos.

[022] El sistema implementa ventajosamente sensores y dispositivos de automatización que recogen datos para facilitar la creación de un plan de mantenimiento basado en información del funcionamiento de la máquina, monitoreando todas las variables e implementando un enclavamiento general para la protección del sistema.

[023] Otro objetivo de la invención es implementar un sistema de control PID (proporcional, integral y derivativo) en lazo cerrado para el flujo de aire, en el cual se controlan los flujos de succión y aspiración mediante la regulación de la velocidad del ventilador según la necesidad de aspiración, de manera que se aspiren únicamente las cáscaras o impurezas.

[024] La invención busca proporcionar una solución económicamente viable y accesible para pequeños y medianos productores agrícolas que utilicen maquinaria procesadora de granos alimenticios.

[025] Se propone la implementación de un sistema de instrumentación y control automático en el proceso de descascarado y pulido de granos, preferentemente café, con el fin de mejorar la productividad, usabilidad, eficiencia y reducir costos, aumentando la calidad del producto.

[026] Así, los objetivos específicos de la invención son:

1. Instrumentar la máquina con equipos esenciales para mejorar el beneficiado de granos en todas las etapas de descascarado y pulido;
2. Mejorar el sistema de aspiración de impurezas derivadas del descascarado mediante un sistema de control de presión en lazo cerrado, optimizando así sus ajustes operativos;
3. Controlar la presión para optimizar el proceso de succión de impurezas con menor intervención humana;
4. Implementar un sistema de seguridad, enclavamiento y monitoreo de variables que permita la detección y localización de fallos en la máquina agrícola.

[027] Los controladores del tipo PID no son una elección convencional para sistemas no lineales. El sistema de la presente invención es, justamente, no lineal. Esto fue posible gracias a la linealización inventiva del sistema para viabilizar el uso del PID.

[028] La implementación de técnicas de control en sistemas no lineales requiere el uso de controladores muy

específicos y complejos. Por ello, se llevó a cabo la linealización del sistema y su análisis mediante pruebas de robustez del controlador, lo cual proporcionó ventajas frente al estado de la técnica, tales como robustez a bajo costo.

[029] Cabe destacar que, aunque la linealización no se considera apropiada para este tipo de sistemas, su combinación con las técnicas de control aplicadas ha resultado en un sistema robusto y funcional en distintos puntos de operación, incluso bajo perturbaciones.

[030] La invención se implementó mediante la combinación de la linealización de un sistema no lineal con la ejecución de diversas pruebas que definieron la dinámica del sistema propuesto en la presente invención.

[031] Ventajosamente, las pruebas demostraron el comportamiento del sistema automatizado frente a diferentes situaciones y perturbaciones. Los resultados obtenidos con la presente invención fueron sorprendentemente satisfactorios.

[032] De este modo, la presente invención proporciona un sistema, método y máquina agrícola automática de supervisión y control, compuesta por sensores y equipos de automatización, que permiten la medición y almacenamiento del historial de datos de las variables involucradas en el proceso, además de la instrumentación general de la máquina, optimizando su vida útil y posibilitando un análisis detallado de su funcionamiento por parte del usuario.

RESUMEN DE LA INVENCION

[033] La presente invención revela un sistema automatizado para controlar una máquina agrícola procesadora

de granos alimenticios, que comprende un sistema de control de presión para automatizar un flujo de aire. La máquina agrícola está provista de una entrada de granos que alimenta uno o más módulos de beneficiado. Los módulos son accionados por un motor principal. La salida de uno o más módulos de beneficiado está conectada a un compartimento de aspiración donde se depositan los granos beneficiados y las impurezas. Un ventilador de aspiración está conectado al compartimento de aspiración mediante una tubería que extrae las impurezas. Una boquilla de salida del compartimento de aspiración suministra los granos beneficiados. Uno o más sensores de presión están instalados en al menos una de las tuberías de aspiración de uno o más módulos de beneficiado. El sensor de presión está electrónicamente conectado a un controlador en lazo cerrado. Dicho controlador en lazo cerrado está a su vez conectado a un dispositivo inversor de frecuencia que regula la velocidad del motor del ventilador de aspiración en función de las señales generadas por al menos un sensor de presión.

[034] El motor principal de la máquina agrícola acciona uno o más módulos de beneficiado. Un dispositivo soft starter controla el motor principal. El sistema de control de presión y una interfaz hombre-máquina están integrados mediante una red de comunicación con protocolo Modbus RTU.

[035] En una realización, la máquina agrícola está dotada de dos módulos de beneficiado, consistentes en un módulo octogonal de descascarado y un módulo octogonal de pulido, siendo el ventilador de aspiración de doble acción, suministrando un flujo de aire para cada módulo octogonal.

[036] La boquilla de salida del compartimento de aspiración del módulo octogonal de descascarado entrega los granos descascarados a un elevador de transferencia que los transporta al módulo octogonal de pulido.

[037] La invención también proporciona un método para el monitoreo, detección y localización de fallos en una máquina agrícola para el beneficiado de granos alimenticios, que comprende las siguientes etapas:

- Monitorear la presión en una o más tuberías de aspiración; monitorear la temperatura del grano en la boquilla de salida del grano beneficiado; monitorear la corriente de uno o más motores mediante al menos un sensor de corriente;
- Controlar el flujo de aire a través de la velocidad de rotación de un ventilador en función de las señales de uno o más sensores de presión;
- Detectar fallos en el funcionamiento de la máquina mediante la identificación de operaciones fuera de los parámetros predefinidos por uno o más sensores de temperatura de los granos y uno o más sensores de corriente de motores;
- Localizar los fallos: la lectura de señales del sensor de temperatura fuera del parámetro indica mal funcionamiento en el proceso de beneficiado; la lectura de señales del sensor de corriente indica sobrecarga en uno o más motores; la lectura de señales del sensor de presión fuera del parámetro predefinido indica fallos en el sistema de control de presión o en uno o más motores de aspiración;

- Al localizarse una falla, se emiten alarmas con señalización sonora y/o visual para indicar la respectiva falla o anomalía.

[038] En el método de monitoreo, detección y localización de fallos, el valor de referencia de presión se controla automáticamente mediante la velocidad del ventilador de aspiración, entre 50 y 60 Hz. En la etapa de control de velocidad de rotación del ventilador, la constante de tiempo del filtro de entrada analógica del inversor de frecuencia varía entre 0,2 y 0,7 segundos.

[039] En caso de detectarse alguna anomalía, el método prevé el enclavamiento de seguridad de la máquina agrícola, apagando todos los motores.

[040] La invención también proporciona un sistema de detección y localización de fallos en una máquina agrícola, que cuenta con una entrada de granos que alimenta uno o más módulos de beneficiado, accionados por un motor principal. Un compartimento de aspiración recibe los granos beneficiados y las impurezas. El sistema comprende un ventilador de aspiración conectado al compartimento mediante una tubería que extrae las impurezas. La boquilla de salida del compartimento entrega los granos beneficiados. Ventajosamente, un sensor de temperatura está dispuesto en la boquilla de salida del grano procesado. El sistema también comprende un sensor de presión, un sensor de corriente eléctrica y un dispositivo de alarma visual y sonora.

[041] La presente invención también comprende una máquina agrícola automatizada para el beneficiado de granos alimenticios que realiza el descascarado, separación, pulido y ensacado, comprendiendo una tolva de entrada de granos. La

entrada se comunica con un módulo de beneficiado compuesto por un módulo octogonal de descascarado y un módulo octogonal de pulido, accionados por al menos un motor principal. La salida del módulo octogonal de descascarado se conecta con un compartimento de aspiración, en el cual los granos son sometidos a una aspiración mediante un ventilador de doble acción que extrae las cáscaras a través de una tubería de succión. Los granos descascarados son enviados a un elevador de transferencia, accionado por su respectivo motor. Este elevador se comunica con el módulo octogonal de pulido, cuya salida se realiza a través de una boquilla de salida de grano pulido. El ventilador también aspira las impurezas generadas por el módulo de pulido mediante una tubería de aspiración.

[042] La máquina agrícola está dotada de un sistema automatizado con control de presión para automatizar el flujo de aire, controlado mediante un controlador en lazo cerrado que ajusta la velocidad del ventilador de doble acción. La máquina también incluye un sistema de detección y localización de fallos, el cual emite alarmas visuales o sonoras cuando las variables monitoreadas exceden los rangos predefinidos.

[043] En la máquina agrícola, la temperatura del grano es una variable controlada, siendo el sensor de temperatura dispuesto en la boquilla de salida parte del sistema de control.

[044] En la máquina agrícola, la corriente eléctrica es también una variable controlada. Un sensor mide la corriente en uno o más motores, formando parte del sistema de control de corriente.

[045] La máquina agrícola de la presente invención es una máquina descascaradora y pulidora de café pergamino.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[046] La Figura 1 ilustra una máquina agrícola de beneficiado de granos convencional del estado de la técnica (100).

[047] La Figura 2 ilustra una realización de la invención que comprende un sistema de control automático de máquinas agrícolas (200) y sus componentes.

[048] La Figura 3 ilustra la modalidad preferida del sistema de control automático de máquinas agrícolas (200) y sus componentes.

[049] La Figura 3a ilustra el módulo octogonal de descascarado (1161) y el módulo octogonal de pulido (1162) del sistema de control automático de máquinas agrícolas (200).

[050] La Figura 4 ilustra la vista lateral derecha de la máquina agrícola automatizada (200) para el beneficiado de granos, vinculada al sistema de control de presión.

[051] La Figura 5 ilustra la vista lateral izquierda de la máquina agrícola automatizada (200) para el beneficiado de granos, vinculada al sistema de control de presión.

[052] La Figura 6 ilustra la vista frontal de la máquina agrícola automatizada (200) para el beneficiado de granos, vinculada al sistema de control de presión.

[053] La Figura 7 ilustra la vista superior horizontal de la máquina agrícola automatizada (200) para el beneficiado de granos, vinculada al sistema de control de presión.

[054] [La Figura 8 ilustra la vista posterior de la máquina agrícola automatizada (200) para el beneficiado de granos, vinculada al sistema de control de presión.

[055] La Figura 9 ilustra el diagrama de flujo para la detección de anomalías en el método de control de presión, monitoreo y detección y localización de fallos.

[056] La Figura 10 ilustra la prueba de apertura y cierre de compuertas de la máquina agrícola automatizada (200) para el beneficiado de granos.

[057] La Figura 11 ilustra la prueba de control de presión del sistema de control de presión, monitoreo y detección y localización de fallos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[058] La presente invención comprende un sistema automatizado para el control automático de una máquina agrícola (200). El sistema automatizado comprende un sistema y un método de control de presión mediante un control automático del flujo de aire y monitoreo, detección y localización de fallos dentro de las tuberías de aspiración (117). El sistema de control de presión actúa regulando el flujo de aire conforme a la necesidad de succión de impurezas.

[059] Las impurezas corresponden, en particular, a las cáscaras de los granos y/o cualquier otro tipo de contaminante.

[060] La máquina agrícola (200) recibe, limpia y descascara granos alimenticios previamente cosechados. Más específicamente, el sistema de control de la presente invención regula el flujo de aire generado por un ventilador (112) para aspirar únicamente las impurezas, preferentemente

las cáscaras de los granos, mejorando así la eficiencia de la máquina. De este modo, se evita que los granos sean aspirados junto con las cáscaras.

[061] La máquina agrícola (200) está dotada de un sistema de control de presión y un sistema de monitoreo, detección y localización de fallos. Cada módulo de beneficiado (116) corresponde a una sección de la máquina agrícola (200). La etapa de beneficiado se realiza mediante el módulo de beneficiado (116) (Figura 3a).

[062] En una realización de la invención, el sistema comprende una sección de beneficiado de granos, según lo ilustrado en la Figura 2.

[063] En una modalidad preferente de la invención (Figura 3), el sistema de control automático de la máquina agrícola (200) está provisto de dos módulos de beneficiado (116), siendo uno un módulo octogonal de descascarado (1161) y/o un módulo octogonal de pulido (1162) (Figura 3a).

[064] En la primera sección de la máquina agrícola (200), los granos alimenticios son descascarados mediante fricción. Tras esta etapa, los granos son transportados al segundo módulo de beneficiado (116), concretamente al módulo octogonal de pulido (1162).

[065] En la segunda sección de dicha máquina agrícola (200), los granos provenientes del módulo octogonal de descascarado (1161) son conducidos a un sistema de aspiración de cáscaras, donde estas son extraídas y aspiradas por el ventilador de aspiración (112) a través de una tubería de aspiración (117). Posteriormente, los granos son enviados a una cámara de pulido, en particular al módulo octogonal de

pulido (1162), que también genera impurezas derivadas del proceso de pulido.

[066] Los granos provenientes del módulo octogonal de pulido (1162) son igualmente sometidos a una aspiración de impurezas, siendo estas extraídas por el ventilador de aspiración (112) a través de la tubería de aspiración (117). Las impurezas salen de la máquina agrícola (200) mediante una boquilla de descarga de impurezas (113).

[067] En una modalidad preferente de la invención, el sistema de control de presión comprende un control del flujo de ventilación que aplica tanto una aspiración para separar granos e impurezas más densas, como una succión de aire para separar impurezas más livianas, particularmente las cáscaras. El flujo de aire es generado por un único ventilador cuya ventilación es regulada automáticamente mediante control proporcional, integral y derivativo (PID).

[068] Así, el flujo de aire permite separar los granos de las impurezas incluso cuando los granos presentan variaciones de densidad o tamaño.

[069] En una modalidad de la invención, la ventilación mediante flujo de aire se aplica en dos partes distintas de la máquina: durante el descascarado y durante el pulido. En primer lugar, se aplica después del paso del grano por el módulo octogonal de descascarado (1161), que separa la cáscara del grano. Luego, se aplica en el módulo octogonal de pulido (1162) para separar las impurezas generadas en esta etapa.

[070] En una realización preferente de la invención, el sistema de control de presión y flujo de aire para máquinas agrícolas (200) procesadoras/beneficiadoras de

granos alimenticios en general, se aplica preferentemente en máquinas procesadoras de granos de café, las cuales reciben, descascaran y limpian el grano previamente recolectado, tal como se ilustra en las Figuras 3, 4, 5, 6 y 7.

[071] En una modalidad preferente de la invención, dicho grano corresponde a café pergamino.

[072] Más específicamente, la máquina agrícola (200) que compone el sistema de control de presión y flujo de aire, monitoreo, detección y localización de fallos de la presente invención, comprende: una entrada de granos (101), un módulo octogonal de descascarado (1161), un elevador de transferencia (104), una bandeja de alimentación del elevador (103), una tubería de alimentación del elevador (106), una tolva de transferencia (107), una tubería de aspiración (117), un módulo octogonal de pulido (1162), un ventilador de aspiración (112) y motores de accionamiento, donde los motores corresponden al motor principal (115), al motor del ventilador (114) y al motor del elevador (105).

[073] La tubería de aspiración (117) de la máquina agrícola (200) comprende específicamente una tubería de aspiración del módulo de descascarado (1171), destinada a la aspiración de cáscaras, y/o una tubería de aspiración del módulo de pulido (1172), para la aspiración de impurezas, según se detalla en la Figura 3. La implementación del sistema de control automático del flujo de aire en la tubería de aspiración (117) se realiza mediante la adquisición de valores de presión en el interior de dicha tubería, a través de un sensor de presión (204).

[074] La máquina agrícola (200), que comprende el sistema automatizado para el control de presión, monitoreo

y detección y localización de fallos, está equipada con uno o más controladores (210), un dispositivo Soft Starter (201), uno o más sensores de temperatura (203), uno o más sensores de presión (204), uno o más sensores de corriente (208), un dispositivo inversor de frecuencia (205), uno o más dispositivos de alarma visual y sonora (206), donde los sensores y dispositivos están conectados mediante una interfaz hombre-máquina (211).

[075] El responsable del control es el controlador (210), que, a partir de los datos obtenidos por el sensor de temperatura (203), regula la temperatura modificando variables manipuladas como la velocidad de los motores, la apertura de válvulas, entre otros.

[076] El sensor de temperatura (203) comprende dispositivos usuales para su funcionamiento, tales como un elemento primario de temperatura (2031) y un transmisor de temperatura (2032).

[077] En una realización preferente de la invención, el sensor de temperatura (203) es un termopar.

[078] El sensor de corriente (208) comprende además dispositivos habituales para su funcionamiento, tales como un elemento primario de corriente eléctrica (2081) y un transmisor indicador de corriente (2082).

[079] Las Figuras 4, 5, 6, 7 y 8 representan la máquina agrícola (200) automatizada de la presente invención. En la máquina agrícola (200), inicialmente, los granos de café son depositados en un compartimento de entrada de granos (101). El descascarado y el pulido del café son realizados por el módulo octogonal de descascarado (1161) y

el módulo octogonal de pulido (1162), respectivamente, ambos accionados por un motor principal (115) de 100 CV.

[080] En una realización, los granos de café pasan por una primera etapa correspondiente al descascarado, que elimina las cáscaras (pergamino) mediante la fricción entre los granos y las paredes internas del primer módulo octogonal de descascarado (1161).

[081] Al pasar por la cámara de descascarado, las cáscaras y los granos de café son vertidos en un compartimento de aspiración, particularmente una bandeja de alimentación del elevador (103). En este momento, el ventilador de aspiración (112), accionado por un motor de 15 CV, realiza la succión de las impurezas mediante la tubería de aspiración del módulo de descascarado (1171). La velocidad del ventilador de aspiración (112) permite variar la presión entre 2666,44 Pa y 15998,64 Pa (equivalente a 20 a 120 mmCA). El valor de referencia de presión es controlado automáticamente mediante la variación de la velocidad del ventilador entre 50 y 60 Hz.

[082] El café limpio pasa por el compartimento de entrada de granos (101), como una tolva, mediante un elevador de transferencia (104) accionado por un motor (105) de 1 CV. El café es conducido hasta la entrada de la tolva de transferencia (107) y luego cae directamente en el segundo módulo octogonal (1162), responsable del pulido. Este proceso se realiza de manera similar al descascarado, mediante la fricción de los granos con las paredes del módulo de pulido, aunque con menor intensidad de fricción para no dañar los granos, buscando eliminar únicamente las impurezas residuales no removidas durante el descascarado.

[083] Tras ser procesado por el segundo módulo octogonal (1162), los residuos extraídos de los granos son aspirados por una segunda tubería (117), en particular la tubería de aspiración del módulo de pulido (1172). Finalmente, el café es transportado hasta la boquilla de salida del grano (118), listo para ser ensacado o almacenado.

[084] La Figura 1 muestra una máquina de beneficiado de granos del estado de la técnica (100), en la cual se realizan los procesos de descascarado y pulido del café.

[085] La máquina beneficiadora de granos del estado de la técnica (100) es completamente manual y no cuenta con sistemas de control y monitoreo que mejoren el beneficiado del café.

[086] Para reducir las dificultades operativas y mejorar el monitoreo de la máquina, la presente invención implementa varias soluciones: monitoreo y control de presión, monitoreo de la temperatura del grano, detección y localización de fallos, control de motores, recolección y almacenamiento de datos con historial de funcionamiento de los dispositivos, monitoreo de la máquina mediante señales visuales y sonoras, comunicación eficiente mediante protocolos de redes de automatización industrial, y control automático del flujo de aire en la tubería de aspiración mediante adquisición de valores de presión dentro de dicha tubería (117).

[087] El sistema de control de presión, monitoreo y detección y localización de fallos supervisa y controla el proceso de descascarado y pulido de los granos de café mediante la instalación de sensores y dispositivos

electrónicos en los componentes clave de la máquina agrícola (200). Este control facilita la interacción del operador con el equipo, desde la activación hasta el ajuste de los dispositivos para adaptar el proceso a la demanda, además de permitir la generación de informes de uso.

[088] La detección de fallos permite el enclavamiento del sistema. El proceso está interconectado y programado para actuar mediante lógica de automatización, garantizando la seguridad de los dispositivos, el buen funcionamiento de la máquina y evitando tanto daños materiales como pérdidas económicas por disminución de la calidad del café.

[089] El enclavamiento puede operar tanto en modo "remoto" como en modo "local". En el modo "remoto", la interfaz de control industrial envía y recibe señales a través de la red Modbus RTU, activando todos los motores y ejecutando la lógica de seguridad del sistema.

[090] A través del monitoreo de la corriente eléctrica de los motores principales, implementado mediante el sistema de detección de fallos o mal funcionamiento, es posible detectar sobrecargas de trabajo, entre otros problemas.

[091] El monitoreo de la temperatura del café procesado se realiza en la boquilla de salida (118) mediante un sensor de temperatura (203), tal como se representa en las Figuras 5 y 7. Esta funcionalidad permite identificar anomalías en el proceso de descascarado, asistiendo al operador en su toma de decisiones para ajustar los parámetros de la máquina.

[092] El control del arranque de los motores evita problemas eléctricos y prolonga la vida útil de los equipos. Además, contribuye a la reducción del consumo de energía mediante el uso de un dispositivo *Soft Starter* (201) en el motor principal (115) de los módulos octogonales (116) y un inversor de frecuencia (205) en el motor de aspiración (114), lo cual también permite variar la velocidad de este último.

[093] La recopilación y almacenamiento de datos con el historial de funcionamiento de los dispositivos (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*) permite la elaboración de un plan de mantenimiento programado.

[094] El monitoreo del funcionamiento de la máquina agrícola (200) se lleva a cabo mediante dispositivos de alarma visual y sonora (206), que emiten advertencias y paralizan la operación ante cualquier fallo en los dispositivos principales.

[095] La comunicación entre los dispositivos se establece mediante una red de automatización industrial, facilitando la integración de sensores y equipos electrónicos, y permitiendo la incorporación de nuevos dispositivos en futuras mejoras del sistema.

[096] La conexión entre dispositivos en el ámbito de la automatización industrial se realiza mediante una red de comunicación (209), que permite el intercambio de información de forma rápida, eficiente y dinámica. Los protocolos más comunes incluyen Ethernet, Profinet, Profibus, CanOpen, Modbus, entre otros.

[097] Se realizaron pruebas con el objetivo de estudiar la eficiencia de la instrumentación y la comunicación entre los diferentes dispositivos de medición,

monitoreo y control utilizados. También se ejecutaron la parametrización del inversor de frecuencia (205), la programación y creación de pantallas para la interfaz de control industrial, la programación del *SoftPLC*, y pruebas con los sensores de corriente (208), de presión (204) y de temperatura (203), además de pruebas con la red Modbus RTU operando con varios dispositivos interconectados.

[098] En una modalidad preferente de la invención se utilizó específicamente la red de comunicación (209) Modbus RTU. Esta red es universal, de fácil implementación y no requiere una estructura compleja ni un gran volumen de datos para la comunicación.

[099] La validación del sistema de automatización propuesto fue realizada mediante diversas pruebas en un entorno real de planta. La instrumentación de la máquina contempló el análisis de los resultados obtenidos durante su funcionamiento. Se insertaron los programas en lenguaje *Ladder* en el *SoftPLC* y se desarrollaron las pantallas para la interfaz de control industrial, validando así el funcionamiento de la máquina de acuerdo con la lógica programada.

[0100] La interfaz de control industrial, al igual que el controlador (210), actúa como maestro de la red, enviando y recibiendo información hacia y desde el inversor de frecuencia, el *SoftPLC* (control de procesos), el sensor de corriente (208) y el *Soft Starter* (201). Este proceso se realiza en tiempo real a través de una conexión donde todos los dispositivos se comunican utilizando direcciones numéricas de red. Todos estos dispositivos generan señales que son compartidas mediante la red de comunicación.

[0101] La interfaz de control industrial gestiona gran parte del sistema de automatización, realiza la adquisición de datos, presenta las variables del proceso en tiempo real y permite la comunicación e interacción dinámica y sencilla entre el operador y la máquina.

[0102] La interfaz hombre-máquina, como la interfaz de control industrial, actúa como maestro de red, pudiendo ser implementada mediante un display y un programa informático. Además, muestra la información del sistema en una pantalla gráfica.

[0103] La interfaz hombre-máquina del sistema agrupa el control de los módulos del sistema y sus respectivas funciones. Dicha interfaz dispone de pantallas con funciones para todos los dispositivos, sensores, alarmas, funciones de monitoreo, detección de fallos y enclavamiento. Los datos del sistema de control de presión, monitoreo de temperatura, detección y localización de fallos, control del aspirador, información de motores, informes e historial de funcionamiento pueden visualizarse a través de esta interfaz. Toda la información relevante sobre el procesamiento del grano está disponible para el operador del sistema.

[0104] En caso de alarmas por anomalías en el sistema, se proporciona información detallada del error ocurrido, incluyendo el registro de la falla y la hora de la ocurrencia. Las señales provienen de los sensores de presión (204), sensor de temperatura (203), sensor de corriente (208), inversor de frecuencia (205) y el *Soft Starter* (201). Algunos datos son recogidos directamente de los dispositivos, y otros a partir de la programación del

SoftPLC, como resultado del enclavamiento de seguridad ante condiciones que puedan dañar los componentes de la máquina.

[0105] Por ejemplo, durante el procesamiento del café, los granos se calientan debido a la fricción con las paredes de los módulos de descascarado y pulido; por tanto, es fundamental monitorear la temperatura de los granos, que debe mantenerse entre 20°C y 45°C. Si se superan estos valores, puede comprometerse la calidad del producto, por lo cual el control de temperatura es crucial en este proceso.

[0106] El monitoreo de la temperatura permite al operador seguir los valores y mantenerlos dentro del rango adecuado. Este monitoreo se realiza en la boquilla de salida del grano (118) de la máquina agrícola (200).

[0107] El sistema automatizado de control de presión, monitoreo, detección y localización de fallos opera mediante control en lazo cerrado de la presión dentro de la tubería (117). El operador define el valor de referencia de presión (*SetPoint*) y el sistema actúa automáticamente para mantener la presión estabilizada, ajustando la velocidad del motor de aspiración (114) del ventilador (112) conforme a las variaciones de presión.

[0108] El sistema también dispone de un módulo de monitoreo mediante alarmas para todo el proceso de beneficiado del grano.

[0109] Una barra de alarmas está disponible para facilitar la toma de decisiones ante fallas del sistema. Esta interfaz gráfica también permite visualizar todas las variables manipuladas en el control, así como gráficos para el seguimiento de los valores de presión y temperatura.

[0110] El sistema de control de presión, monitoreo, detección y localización de fallos ofrece informes y copias de seguridad automáticas de todos los datos del proceso y métodos.

[0111] En caso de sobrecarga en cualquier motor, se mostrará una alarma en la interfaz hombre-máquina, acompañada de señalización visual y sonora.

[0112] En una realización preferente de la invención, el sistema dispone de dos módulos de beneficiado (116), a saber, un módulo octogonal de descascarado (1161) y un módulo octogonal de pulido (1162). El motor de accionamiento de los módulos de beneficiado (116) es el motor principal (115) de la máquina agrícola (200).

[0113] El motor principal (115), al trabajar con una carga elevada, está expuesto a sobrecargas que pueden dañarlo y afectar a los componentes del módulo de beneficiado (116). Por ello, se desarrolló un sistema de enclavamiento específico para la máquina.

[0114] El sistema de monitoreo, detección y localización de fallos garantiza la identificación de anomalías en el funcionamiento de la máquina agrícola (200). Cuando se produce una sobrecarga, se activa una señal audiovisual y aparece un mensaje en la interfaz indicando que la corriente ha superado el valor habitual. Si esta condición persiste más allá del tiempo estipulado, la máquina se apagará automáticamente y se mostrará el motivo del apagado en todas las pantallas de la interfaz.

[0115] La Figura 9 muestra el diagrama de flujo de detección de anomalías del método de control de presión, monitoreo y detección y localización de fallos (500).

[0116] El control de temperatura garantiza el apagado automático de la máquina agrícola (200) por exceso de temperatura si los valores permanecen por encima del límite permitido. Superado este umbral durante un tiempo determinado, todo el sistema se apagará y se activarán las alarmas visuales y sonoras (206) tanto en el panel como en la interfaz hombre-máquina (211).

[0117] Todas las alarmas están conectadas al controlador (210) y a la interfaz hombre-máquina (211), es decir, cualquier evento que indique un error o fallo de un dispositivo será mostrado en la interfaz de alarmas.

[0118] Como se ha descrito, la máquina agrícola convencional del estado de la técnica (100) no dispone de control sobre la velocidad de succión de las cáscaras del café. Es decir, el control del flujo de succión se realiza manualmente regulando las compuertas (*dampers*) de entrada de aire atmosférico, lo que permite aumentar o disminuir la presión en la tubería (117) y, por tanto, aspirar más o menos cáscaras. Sin embargo, este ajuste debe ser preciso, pues de lo contrario los granos podrían ser aspirados junto con las cáscaras, o no se aspirarían todas las cáscaras deseadas.

[0119] El sistema automatizado de control de presión, monitoreo, detección y localización de fallos dispone de un control en lazo cerrado para gestionar la presión de succión en las tuberías de aspiración (117) de la máquina agrícola (200), independientemente de la posición de apertura de los *dampers* de entrada de aire (111). Este sistema permite identificar si los granos están siendo aspirados junto con las cáscaras, ya que, por su mayor densidad, la presión dentro de la tubería se altera, y el

controlador (210) actúa para mantenerla dentro del rango estipulado.

[0120] El sistema fue desarrollado mediante la adquisición de datos del proceso, su modelado, y finalmente la sintonización de los parámetros del controlador (210).

[0121] El sensor de presión (204) realiza la lectura de señales de presión, las envía a un registrador que procesa la información, la muestra en el indicador y la transmite al controlador (210), que ajusta la velocidad del motor de aspiración (114) para mantener la presión dentro del rango de referencia del sistema.

[0122] Se realizaron pruebas estáticas y dinámicas para conocer el comportamiento del proceso, permitiendo caracterizar la máquina agrícola (200) y modelar el sistema de control automatizado de presión. La presente invención adopta un enfoque de modelado de tipo "caja negra", es decir, sin conocimiento previo del comportamiento estático y dinámico de las variables del proceso de descascarado y pulido del café.

[0123] Se llevaron a cabo múltiples ensayos para caracterizar los estados de funcionamiento del sistema, especialmente en relación con la influencia del grado de cierre de los *dampers* de entrada de aire (111), así como la respuesta de la velocidad de referencia del motor.

[0124] Para extraer las señales de velocidad, se utilizaron las salidas disponibles del inversor de frecuencia (205). Para obtener los valores de presión, se empleó un sensor de presión absoluta (presión negativa). Se realizaron pruebas en distintos puntos a lo largo de las tuberías de aspiración (117) para determinar el mejor lugar

de instalación del sensor, concluyéndose que el punto ideal es cercano al *damper* de entrada de aire (111). Cada tubería (217) cuenta con un *damper* regulable, y los sensores de presión (204) se ubican entre 10 y 25 cm de la abertura del *damper*.

[0125] Se realizaron ensayos para conocer la relación entre la presión y la variación de velocidad, considerando diferentes combinaciones de cierre de los *dampers* de entrada de aire (111).

[0126] Un ensayo de caracterización estática de la presión del sistema de aspiración, como se muestra en la Figura 4, consideró distintas configuraciones de cierre de los *dampers*. Se observó que cuando los *dampers* están completamente cerrados, se obtiene una mayor gama de control de presión, además de un posible ahorro energético, al alcanzarse presiones altas con velocidades bajas del motor de aspiración (114).

[0127] Tras promediar los valores del gráfico de la Figura 10, es posible representar las curvas estáticas de presión en función de la velocidad. A partir de estos datos, se evidencian diferencias en el comportamiento del sistema respecto a la presión dentro de la tubería de aspiración (117), considerando el grado de cierre de los *dampers*, y se concluye que se trata de una curva estática no lineal.

[0128] A partir de los ensayos estáticos, se definió que las pruebas dinámicas se realizarían bajo las mismas condiciones, con los *dampers* completamente cerrados, por considerarse este el punto de operación ideal de la máquina agrícola (200). Se efectuaron ensayos con perturbaciones en el sistema, como entradas tipo escalón y variaciones en el

cierre de los *dampers*. Las primeras pruebas dinámicas se realizaron con la velocidad del motor entre 50 y 60 Hz.

[0129] A partir de la caracterización del sistema mediante ensayos estáticos y dinámicos, fue posible utilizar los datos extraídos para realizar la modelación matemática del sistema y ajustar el controlador de presión para las tuberías de aspiración (117). Así, la entrada del modelo es la velocidad angular del motor en Hz y la salida es la presión en pascales (Pa).

[0130] Se utilizaron dos métodos de identificación de sistemas: uno aplicado a sistemas de primer orden con tiempo muerto y otro a sistemas de segundo orden también con tiempo muerto. Inicialmente, se realizó una prueba con un conjunto de datos que incluyó la velocidad máxima del motor a 60 Hz, utilizando la curva de respuesta a un escalón unitario ascendente.

[0131] Los modelos fueron validados utilizando el conjunto de datos correspondiente a la velocidad máxima del motor, a frecuencias de 50 Hz y 60 Hz.

[0132] Al comparar los modelos, se calculó el error cuadrático medio entre los modelos identificados.

[0133] Tras la identificación del modelo dinámico del sistema de aspiración, se procedió a la sintonización del controlador para ajustar las ganancias y garantizar una señal de control óptima. Considerando que se identificaron dos modelos dinámicos (de primer y segundo orden), se utilizaron tres modelos de controladores para ajustar el sistema.

[0134] Definidas las ganancias de los controladores, se realizaron ensayos para analizar las

mejores respuestas del sistema de control. Se ingresaron las ganancias en el bloque PID del *SoftPLC*, con un período de muestreo de 0,05 s y un filtro configurado en 0,05 s. Los datos fueron generados por los sensores y enviados al *SoftPLC* a través de una entrada analógica, con un filtro definido en 0,5 s. A través de la red Modbus RTU, la interfaz de control almacena los datos con un período de muestreo de 0,1 s, siendo este el menor tiempo disponible en el dispositivo.

[0135] Las pruebas consistieron en una secuencia de combinaciones de apertura y cierre de los *dampers* de entrada de aire (111) y en el uso de dos valores distintos de referencia de presión (*SetPoints*): -6666,1 Pa (-50 mmCA) y -8337,0125 Pa (-85 mmCA). El análisis del cierre de los *dampers* permitió evaluar cómo una perturbación afecta el sistema en lazo cerrado y analizar la respuesta del controlador ante interferencias en el proceso. También se generaron gráficos que representan la curva de velocidad de referencia del motor de aspiración (114), permitiendo evaluar el esfuerzo del motor.

[0136] El parámetro de filtrado de la señal en la entrada analógica del inversor de frecuencia (205) fue definido mediante una constante de tiempo del filtro entre 0,2 s y 0,7 s, preferentemente en 0,5 s. Esta configuración se utilizó para la extracción de los conjuntos de datos y posteriormente para la modelización dinámica del proceso.

[0137] Las pruebas de validación del sistema también demostraron que el sistema se comporta adecuadamente cuando se somete a perturbaciones para modificar el valor de referencia (*SetPoint*). No se observaron oscilaciones que pudieran influir negativamente en la respuesta del sistema.

[0138] La Figura 11 muestra la respuesta del sistema de control de presión. Se observa la respuesta de la señal de control de presión al modificar los valores de referencia (*SetPoint*) y alterar el nivel de cierre de los *dampers* de entrada de aire (111).

[0139] El ensayo de validación del controlador, representado en la Figura 11, indica que la condición inicial del controlador tiene un *SetPoint* de -6666,1 Pa (-50 mmCA) y los *dampers* (111) completamente cerrados, con una velocidad de 38 Hz. Aproximadamente en el segundo 3, al cambiar el *SetPoint* a -7999,32 Pa (-60 mmCA), la velocidad aumenta a cerca de 42 Hz. En el segundo 4, al modificar el valor de referencia a -10665,76 Pa (-80 mmCA), la velocidad asciende a aproximadamente 48 Hz. Al reducir nuevamente el *SetPoint* a -6666,1 Pa (50 mmCA), la velocidad se estabiliza nuevamente en 38 Hz. Alrededor del segundo 10, se provocó una perturbación al cambiar el cierre del *damper* de entrada de aire (111) del 100 % al 75 %, lo que provocó un incremento de la velocidad hasta aproximadamente 48 Hz.

[0140] Esto demuestra que todas las pruebas realizadas para caracterizar la máquina, adquirir datos dinámicos, identificar y modelar el sistema, extraer las ganancias, definir los controladores, sintonizarlos y hacer comparaciones para validar los métodos desarrollados, fueron esenciales para alcanzar los objetivos propuestos: diseñar un controlador que proporcione una respuesta satisfactoria del sistema para controlar la presión dentro de la tubería de aspiración de impurezas de la máquina.

[0141] Ventajosamente, la condición ideal de cierre de los *dampers* de entrada de aire (111) es con cierre total

al aire atmosférico. Esta configuración no solo permite alcanzar mayores valores de presión, sino que también reduce el esfuerzo del motor y proporciona ahorro de energía eléctrica.

[0142] El sistema en lazo cerrado permite una mayor precisión en los resultados, ya que los ajustes se realizan automáticamente mediante la retroalimentación de los valores medidos del sistema. Además, este control garantiza que el sistema opere automáticamente según la demanda, es decir, que el controlador (210) ajuste la velocidad del motor de aspiración (114) en función de las necesidades del proceso.

Listado de referencias:

- 100 - Máquina de beneficiado de granos del estado de la técnica
- 101 - Entrada de granos (tolva de entrada)
- 103 - Bandeja de alimentación del elevador
- 104 - Elevador de transferencia
- 105 - Motor del elevador
- 106 - Tubería de alimentación del elevador
- 107 - Tolva de transferencia
- 111 - Dampers de entrada de aire
- 112 - Ventilador de aspiración
- 113 - Boquilla de salida de impurezas
- 114 - Motor del ventilador de aspiración
- 115 - Motor principal
- 116 - Módulo de beneficiado
- 1161 - Módulo octogonal de descascarado
- 1162 - Módulo octogonal de pulido
- 117 - Tubería de aspiración

1171 - Tubería de aspiración del módulo de descascarado (cáscaras)

1172 - Tubería de aspiración del módulo de pulido (impurezas)

118 - Boquilla de salida del grano

200 - Máquina agrícola

201 - *Soft Starter*

203 - Sensor de temperatura

2031 - Elemento primario de temperatura

2032 - Transmisor de temperatura

204 - Sensor de presión

205 - Inversor de frecuencia

206 - Dispositivos de alarma visual y sonora

208 - Sensor de corriente

2081 - Elemento primario de corriente eléctrica

2082 - Transmisor indicador de corriente

209 - Red de comunicación

210 - Controlador

211 - Interfaz hombre-máquina

500 - Diagrama de flujo de detección de anomalías del método de control de presión, monitoreo, detección y localización de fallos.