

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 960 981**

51 Int. Cl.:

G01N 33/24 (2006.01)

A01B 79/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.03.2020 PCT/ES2020/070174**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2020 WO20193826**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2020 E 20776769 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2023 EP 3951385**

54 Título: **Método y sistema para determinar el estado mecánico de un terreno agrícola**

30 Prioridad:

26.03.2019 ES 201930272

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

07.03.2024

73 Titular/es:

BELLOTA AGRISOLUTIONS, S.L. (100.0%)

Urola, 10

20230 Legazpia, Gipuzkoa, ES

72 Inventor/es:

LÓPEZ-CUERVO MEDINA, SERAFÍN;

LAMAS LÓPEZ, FRANCISCO y

LAZCANO LASA, MIREN BAKARNE

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 960 981 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y sistema para determinar el estado mecánico de un terreno agrícola

5 Objeto de la invención

La presente invención se refiere al campo técnico de los métodos y sistemas de control de producción agrícola y más concretamente a los métodos y sistemas de determinación del estado mecánico de un terreno agrícola mediante la recogida de datos mediante sensores dispuestos en máquinas agrícolas para optimizar el laboreo, el uso de aperos y la siembra.

Antecedentes de la invención

Actualmente, el uso de instrumentos o aperos para la preparación del terreno y la posterior siembra de cultivos agrícolas es una de las labores más importantes de cara a la correcta implantación de los cultivos en agricultura.

El coste energético de las labores asociadas a la preparación y siembra del suelo (romper, mullir o remover el suelo; destruir, enterrar o mezclar residuos; nivelar, etc...) obliga a los agricultores a seleccionar la ejecución o no de cada una de las labores, prescindiendo en ocasiones de alguna de ellas por razones económicas en detrimento de las ventajas de su uso para el desarrollo de los cultivos.

La tendencia en la industria es la de optimizar las labores agrícolas, con el fin de establecer el manejo óptimo del laboreo, integrando varias labores sobre el terreno en menos pasadas o incluso en una única. Así, resulta fundamental el conocimiento del estado del suelo durante las labores de preparación de terrenos agrícolas, lo que permite la valoración, planificación y toma de decisiones sobre el trabajo a realizar con los aperos agrícolas, tanto en preparación de suelos como en la siembra.

Los parámetros mecánicos del suelo, como dureza, plasticidad o humedad, influyen en la configuración óptima de los equipos a utilizar en las labores agrícolas, por lo que su conocimiento permite optimizar el desarrollo de la labor, reduce costes y permite incluso ampliar de forma selectiva la utilización de estas labores. Además, esta optimización aumenta la vida de los útiles agrícolas, evitando roturas que aumentan el tiempo de realización y disminuyen la productividad de la labor, incrementando los gastos de la labor agrícola.

El estado de la técnica ofrece diferentes soluciones para la recogida de datos, mediante el uso de sensores asociados a máquinas agrícolas, con los que determinar diferentes parámetros de terrenos agrícolas. Por ejemplo, desde hace años es conocido el uso de sensores para determinar el estado de los cultivos pesando el grano, midiendo su humedad u otras características de la cosecha, buscando capturar información del cultivo o modificar las dosis de aplicación de productos agrícolas en tiempo real.

Otras soluciones para el estudio mecánico del suelo, contemplan el uso de sensores capaces de determinar parámetros del terreno mediante la toma de muestras en parado o la extracción de fracciones para posteriores análisis químicos, lo que permite determinar el pH y otros parámetros.

También se conocen soluciones que optan por la toma de datos para posteriores análisis de electro-conductividad e incluso determinaciones ópticas del terreno asociándolo a la composición del terreno, por ejemplo materia orgánica, para variar la dosificación de la semilla en la siembra del cultivo.

No obstante, todas las soluciones que ofrece el estado de la técnica se dirigen exclusivamente al cultivo, a su estado concreto durante el desarrollo y a la siembra de las semillas, teniendo en cuenta por ejemplo las propiedades orgánicas del terreno. Sin embargo, hasta la fecha no existen propuestas capaces de determinar con eficacia y en tiempo real el estado mecánico del suelo con el que permitir optimizar el uso de los aperos de preparación del terreno y de siembra.

Por ejemplo, la solicitud de patente US 20160262300 A1 divulga un aparato que adapta dinámicamente unas rejas de arado en función de las condiciones del suelo, pero basa su funcionamiento en sensores de tipo radar, de temperatura o mediciones de la composición del suelo. El problema de este enfoque es que las conclusiones, aun suponiendo que pudiesen efectuarse en tiempo real, son demasiado generales ya que se refieren a zonas del terreno que no están estrictamente vinculadas a la actuación de las rejas de arado.

En otra línea de trabajo, se conocen algunos algoritmos de determinación de vibraciones aplicado a mecánica de suelos, capaces de analizar la capacidad portante del terreno, pero siempre basados en sensores de vibración y tratamientos de la información de vibración del suelo pasivos, donde los equipos se instalan en posiciones concretas, por ejemplo de una vía férrea, para analizar el comportamiento de la plataforma ferroviaria y la interacción suelo/estructura frente a una excitación externa a su ubicación (material rodante ferroviario) y miden como ese entorno evoluciona en el tiempo.

Otro ejemplo del estado de la técnica relevante es el documento WO 2018/224790 A1, que se refiere a un método de

determinación de las condiciones de rodadura de un neumático en el suelo, estando montado dicho neumático en un vehículo, comprendiendo dicho método las etapas en donde: una medida de una señal acústica producida por el neumático rodando en la superficie del suelo se adquiere mediante un micrófono dispuesto dentro del neumático para cada una de una pluralidad de bandas de frecuencias, asociación con dicha banda de frecuencias de datos representativos de una salida acústica media medida en dicha banda de frecuencias basada en la medición de la señal acústica adquirida, los datos representativos asociados a diferentes bandas de frecuencias y basada en la misma medida formando las variables de un vector asociado a dicha medida, determinación de una condición de firmeza del terreno mediante la realización de un análisis discriminativo de datos basado en hallazgos.

- 5
- 10 Por todo lo anterior, es evidente que el estado de la técnica echa en falta una solución dinámica para el control de producción agrícola basada en la determinación precisa del estado mecánico del suelo en tiempo real, lo que iría en línea con técnicas como el laboreo de conservación, la siembra directa o la agricultura de precisión, prácticas sobradamente aceptadas como idóneas por los técnicos agrarios. La alta demanda actual de estas prácticas, combinada con la previsible evolución de la agronomía robotizada, auguran un futuro real para cualquier solución de este tipo.
- 15

Descripción de la invención

Con el fin de alcanzar los objetivos y evitar los inconvenientes mencionados anteriormente, la presente invención se basa en un análisis de medidas obtenidas por sensores en movimiento, donde la excitación en este caso (tractor/apero) es dinámica respecto al objeto que se ausculta (suelo agrícola), lo que resulta en una extracción masiva de datos obtenidos desde múltiples posiciones que, una vez procesados, proporcionan una serie de parámetros que determinan la relación de las distintas tipologías/comportamientos del terreno trabajado.

- 20
- 25 Para ello, la presente invención describe, en un primer aspecto, un método para determinar el estado mecánico de un terreno agrícola, que comprende los siguientes pasos:

- obtener, por unos medios sensores dispuestos en un elemento de laboreo de una máquina agrícola, unas medidas de una señal vibratoria, donde la señal vibratoria se produce como resultado del contacto del elemento de laboreo con el terreno agrícola durante una operación de laboreo;
 - enviar, por unos medios de comunicaciones, las medidas obtenidas de la señal vibratoria, agrupadas en paquetes de datos a un módulo procesador;
 - transformar, por el módulo procesador, las medidas de la señal vibratoria agrupadas en los paquetes de datos, en una señal en frecuencia;
 - obtener una señal de densidad espectral de potencia (PSD) a partir de la señal en frecuencia; y
 - comparar un primer patrón de energía, correspondiente a las medidas de amplitud de la señal de densidad espectral de potencia PSD en una determinada banda de frecuencias, con una pluralidad de patrones de energía de una base de datos, en donde la pluralidad de patrones de energía de la base de datos está asociada con diferentes estados mecánicos del terreno asignados en función de medidas previas por medio de un penetrómetro;
- 30
- 35
- 40 y
- determinar el estado mecánico del terreno agrícola, como resultado de la comparación del primer patrón de energía con la pluralidad de patrones de energía almacenados en la base de datos.

El módulo procesador traslada las medidas al dominio de la frecuencia, lo que le permite calcular unas medidas de energía a partir de la señal en frecuencia como la señal de densidad espectral de potencia (PSD) o la densidad espectral de energía, a partir de las cuales se pueden filtrar y determinar las vibraciones que se producen en los elementos que componen los aperos agrícolas. Así, ventajosamente se consigue un análisis automático del estado mecánico del suelo, de forma dinámica y en tiempo real, y de cómo los elementos utilizados en aperos agrícolas de laboreo y siembra actúan sobre el resultado del terreno y permiten dejar el mejor lecho posible para optimizar la posterior implantación del cultivo.

- 45
- 50

El tratamiento en el dominio de la frecuencia permite procesar la información como vibraciones mediante el establecimiento de parámetros de energía que consiguen eliminar ruidos en las lecturas obtenidas por los sensores y extraer; por un lado, parámetros de fuerza y compactación del terreno y por otro, los posibles bloqueos de los elementos de trabajo. Adicionalmente, el tratamiento de datos en el dominio de la frecuencia permite el manejo de medidas de aceleración capaces de proporcionar repetitividad en el grado de compactación de terrenos agrícolas bajo condiciones equivalentes de suelo.

- 55

El grado de dureza y el grado de plasticidad del terreno agrícola se determinan en función de una medida de la amplitud de la señal de densidad espectral de potencia (PSD) y una cierta banda de frecuencia considerada. De esta manera, ventajosamente quedan caracterizadas las vibraciones en una cierta banda de frecuencia y así es posible establecer una correspondencia entre la pluralidad de estados mecánicos del suelo y diferentes conjuntos de parámetros mecánicos asociados con diferentes situaciones, lo que permite finalmente completar un banco de datos agrícola.

- 60

En una de las realizaciones de la invención, se contempla un flujo de comunicaciones, para intercambiar información, que comprende: enviar las medidas de los medios sensores, a un nodo principal de comunicaciones dispuesto en la

- 65

máquina agrícola; enviar información basada en las medidas desde el nodo principal a un servidor central; y almacenar en el servidor central la información basada en las medidas enviadas por el nodo principal de cada máquina agrícola. Opcionalmente, en escenarios con un número de sensores muy elevado, las medidas de los medios sensores pueden canalizarse a través de varios nodos intermedios con una mera función de puente, configurados para recibir y enviar medidas hacia el nodo principal.

De manera adicional, se contempla la posibilidad de determinar, por el módulo procesador, un estado del elemento de laboreo de acuerdo con una variación detectada en una frecuencia de giro del elemento de laboreo, donde el estado del elemento de laboreo se selecciona entre: un estado de bloqueo del elemento de laboreo o un estado con cierto grado de desgaste.

Opcionalmente, la presente invención contempla modificar, por un actuador de un sistema de control, un parámetro físico del elemento de laboreo en función del estado mecánico determinado del terreno agrícola, donde el parámetro físico se selecciona entre: profundidad de trabajo, ángulo de ataque del elemento de laboreo, distancia entre elementos de laboreo, presión del elemento de laboreo y velocidad de rotación del elemento de laboreo. Así como cualquier otra actuación contemplada en las máquinas agrícolas a utilizar y los grados de libertad de los elementos de laboreo.

Según una realización particular, la presente invención comprende una etapa de filtrado en frecuencia, donde se eliminan una o más frecuencias repetitivas de la señal en frecuencia, que corresponden a vibraciones propias del funcionamiento del elemento de laboreo.

Adicionalmente, se contempla la posibilidad de determinar el estado mecánico del terreno agrícola comparando con técnicas ligadas al aprendizaje automático, como por ejemplo redes neuronales u otros algoritmos de agrupamiento, un primer patrón de energía, correspondiente a las medidas de energía de la señal de densidad espectral de potencia, con una pluralidad de patrones de energía que corresponden a una pluralidad de estados mecánicos. Para ello, los cálculos realizados en el espacio de las frecuencias, de las lecturas obtenidas, se integran en una base de datos que permite conocer, no solo los datos específicos de cada uno de los sensores, sino la evolución temporal de los mismos, de manera que las técnicas asociadas a inteligencia artificial puedan correlacionar y clasificar los parámetros almacenados de casos anteriores ya clasificados.

Las técnicas ligadas al aprendizaje automático e Inteligencia Artificial, de acuerdo con una de las realizaciones de la invención, funciona de dos formas, por un lado permite determinar los valores para el instante actual en el que se encuentra el sensor, y por otro, añade estas nuevas lecturas al sistema para enriquecer al sistema en nuevas determinaciones a través de un sistema de Big Data, que consigue aumentar progresivamente el conocimiento del comportamiento de los elementos de laboreo en nuevas localizaciones y con distintos parámetros de contorno que el sistema puede encontrar, conforme cambien las fechas en las que el sistema trabaje en estos terrenos.

En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un sistema para determinar el estado mecánico de un terreno agrícola, el sistema comprende:

- una máquina agrícola con al menos un elemento de laboreo;
- unos medios sensores que comprenden al menos un acelerómetro y un giroscopio, dispuestos en al menos un elemento de laboreo, configurados para medir una señal vibratoria que se produce como resultado del contacto del elemento de laboreo con el terreno agrícola durante la operación de laboreo;
- un nodo principal de comunicaciones, dispuesto en la máquina agrícola, configurado para recibir las medidas de los medios sensores; y
- un servidor central remoto, configurado para recibir información basada en las medidas enviadas desde el nodo principal de cada máquina agrícola y almacenada en una base de datos que almacena una pluralidad de patrones de energía; y
- un módulo procesador, en comunicación con los medios sensores mediante el nodo principal, configurado para agrupar, en paquetes de datos, las medidas obtenidas de la señal vibratoria; transformar las medidas de la señal vibratoria agrupadas en los paquetes de datos en una señal en frecuencia; obtener una densidad espectral de potencia PSD a partir de la señal de frecuencia; comparar un primer patrón de energía, correspondiente a las medidas de amplitud de la señal de densidad espectral de potencia PSD en una determinada banda de frecuencias, con la pluralidad de patrones de energía de la base de datos, en donde la pluralidad de patrones de energía de la base de datos está asociada con diferentes estados mecánicos del terreno asignados en función de medidas previas por medio de un penetrómetro; y determinar el estado mecánico de los terrenos agrícolas como resultado de la comparación del primer patrón de energía con la pluralidad de patrones de energía almacenados en la base de datos.

Opcionalmente, en una de las realizaciones de la invención se contempla que los medios de comunicaciones además comprendan uno o varios nodos intermedios dispuestos entre los medios sensores y el nodo principal, configurados para recibir las medidas de los medios sensores y reenviar dichas medidas al nodo principal haciendo una función de puente.

En una de las realizaciones más básicas de la invención, los medios sensores comprenden un único sensor dispuesto

en uno de los elementos de laboreo, un disco por ejemplo, y los medios de comunicación comprenden un nodo principal que es implementado virtualmente en un Smartphone, donde el Smartphone comprende además el módulo procesador y una aplicación informática de control. Así, ventajosamente, se reducen los requisitos de hardware del sistema en el escenario más simple posible.

5 En una de las realizaciones de la invención, se contempla un módulo de comunicaciones inalámbricas conectado a los medios sensores dispuestos en cada elemento de laboreo, configurado para enviar las medidas de los medios sensores al siguiente nodo, donde el siguiente nodo además está configurado para recibir y transmitir comunicaciones inalámbricas. Así ventajosamente, además de la opción clásica de establecer comunicaciones cableadas entre los
10 elementos, la presente invención puede establecer comunicaciones inalámbricas entre sus elementos.

La base de datos del servidor central, almacena una pluralidad de patrones de energía que corresponden a una pluralidad de estados mecánicos previamente conocidos, y el módulo procesador está además configurado para comparar un primer patrón de energía, correspondiente a las medidas de energía calculadas, con los patrones de la
15 base de datos y proporcionar una estimación en tiempo real del estado mecánico del terreno agrícola. En una realización particular de la invención, la estimación en tiempo real del estado mecánico del terreno agrícola se obtiene de acuerdo con un modelo matemático de regresión almacenado en la base de datos.

El sistema de la presente invención es un sistema distribuido que, de acuerdo con diferentes realizaciones, puede variar la carga computacional del módulo procesador entre los diferentes elementos del sistema. En una de las realizaciones, el módulo procesador comprende un procesador general alojado en el nodo principal. Adicionalmente, en una realización de la invención, el módulo procesador además comprende un procesador local alojado en uno o varios nodos intermedios. Así, ventajosamente, puede aprovecharse la capacidad de procesamiento de los nodos intermedios para descargar de cierta carga computacional al procesador general cuando sea necesario.

25 En una de las realizaciones de la invención, el servidor central cuenta con capacidad de procesamiento y está configurado para, principalmente recibir, almacenar y permitir la consulta de información a nivel histórico de datos previamente capturados. También se contempla la posibilidad de que a medida que se va enriqueciendo su histórico de datos, se utilicen algoritmos de aprendizaje automático como redes neuronales u otros en el servidor central para afinar el cálculo de las estimaciones del estado mecánico de terrenos agrícolas. Los valores de salida de los algoritmos, son las referencias que fijan los algoritmos del módulo procesador, de manera que en una realización de la invención, los nodos principales pueden determinar el estado mecánico del suelo sin necesidad de una comunicación constante con el servidor central, si no que será suficiente con conexiones puntuales para transmitir modificaciones a su algoritmo.

35 El módulo procesador, en una de las realizaciones de la invención además comprende un sistema de control, con al menos un actuador asociado al elemento de laboreo, configurado para modificar un parámetro físico del elemento de laboreo.

40 Adicionalmente, una realización de la invención comprende un módulo de geolocalización configurado para determinar la localización en la que ha sido obtenida cada una de las medidas obtenidas de la señal vibratoria. Así, ventajosamente, la presente invención combina la información de localización junto a la caracterización del terreno en la base de datos para, por ejemplo, generar mapas de variabilidad de compactación del terreno de las parcelas, almacenando y analizando los resultados en tiempo real. Además de ayudar a la respuesta inmediata del operario sobre el terreno, posibilita la comparación de labores y campañas anteriores para tomar decisiones de configuración de las máquinas agrícolas lo más eficientes posibles.

La máquina agrícola se contempla que comprenda un tractor y al menos uno de los siguientes aperos: cultivador, sembradora, arado o cualquier otro apero orientado a trabajar suelo agrícola; y donde los elementos de laboreo de la máquina agrícola se seleccionan entre: discos, brazos, rejas, gradas, amarres, puntas, vertederas o cualquier otro elemento configurado para recibir vibraciones durante una operación de laboreo de la máquina agrícola.

50 En una realización de la invención, los medios sensores se disponen sobre una pluralidad de elementos de laboreo de la máquina agrícola de acuerdo con una tipología preestablecida, donde el módulo procesador está configurado para procesar en conjunto las señales vibratorias obtenidas. Así, ventajosamente, la presente invención tiene en cuenta la disposición de los sensores, su emparejamiento y variables de entorno para extraer los parámetros finales, resultado de las prospecciones.

60 La presente invención tiene multitud de ventajas, entre ellas el determinar el comportamiento de máquinas agrícolas valorando el estado de trabajo de cada elemento de laboreo para concluir, por ejemplo, si existen bloqueos en el elemento concreto al que está asociado un sensor o para determinar su desgaste, mediante el análisis de las frecuencias entre el mismo componente al comienzo y final de su vida útil, con lo que puede establecerse el momento óptimo para su reemplazo.

65 La presente invención recolecta múltiples lecturas (distintos parámetros de vibración relacionados con el comportamiento mecánico del suelo y datos para localización espacial del apero conforme se recolectan datos),

caracterizándolas de forma independiente y agrupada. Se trata, por lo tanto, de un procedimiento de crecimiento escalable y caracterización del aprendizaje, mientras que utiliza lo aprendido para ir perfeccionando el trabajo de las máquinas. Así se consigue llevar a cabo un procedimiento de autoaprendizaje en campo creando sistemas de predicción autónomos.

5 Con el método y sistema de la presente invención se determina el estado del terreno, se analiza el comportamiento de los elementos de laboreo y la repercusión de ambos sobre la tarea agrícola, de manera que se consigue optimizar el coste, manejo y consumo energético de las labores de preparación de terrenos agrícolas. Al hacer corresponder el análisis de las señales vibratorias generadas con parámetros de laboreo agrícola como el grado de dureza y/o de plasticidad de un terreno en el momento que las máquinas agrícolas realizan el laboreo o siembra para la implantación de cultivos, se consigue reducir el impacto económico de estas labores en cuanto a desgastes de materiales, consumo de gasoil asociado a la fuerza o intensidad con la que se realizan las tareas y al resultado final necesario para la siembra.

15 El sistema de la presente invención utiliza ventajosamente las mediciones de los sensores, no solo para medir el estado mecánico del suelo, sino que también permite la lectura, comunicación, tratamiento, diagnóstico, interpretación y actuación, logrando de esta forma un sistema inteligente de interacción entre los componentes de laboreo agrícola, dotados de dichos medios sensores, y la máquina agrícola. Las mediciones se introducen por tanto en un proceso inteligente de predicción que permite reducir el ruido (error) de los datos capturados, contrastarlos con datos previos y obtener una respuesta utilizando inteligencia artificial en tiempo real, para dotar al sistema de mejoras en la determinación de los parámetros buscados, que permiten incluso llegar al trabajo autónomo de los elementos de laboreo para la preparación y siembra de terrenos agrícolas

Breve descripción de las figuras

25 Para completar la descripción de la invención y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de sus características, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización de la misma, se acompaña un conjunto de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se han representado las siguientes figuras:

- 30 - La **figura 1** representa una de las motas sensoras de la presente invención.
- La **figura 2** representa un disco de grada, de una máquina agrícola, con una mota sensora acoplada.
- La **figura 3** representa esquemáticamente el sistema de control y comunicaciones de la presente invención.
- La **figura 4** representa una disposición de sensores sobre una máquina agrícola, de acuerdo con una de las realizaciones de la invención.
- 35 - La **figura 5** representa un diagrama del flujo de información de la aplicación móvil instalada en una realización de la invención.
- La **figura 6** muestra un esquema de comunicación de la información de los sensores, en una realización de la invención.
- La **figura 7** muestra un esquema de creación de una base de datos en una realización de la invención.

Descripción de una realización preferente de la invención

La presente invención divulga un método y un sistema para determinar el estado mecánico del suelo mediante las mediciones de unos sensores instalados en los elementos de laboreo de una máquina agrícola.

45 El método y sistema de la presente invención evalúa las mediciones obtenidas por los sensores, para predecir ciertos parámetros mecánicos del suelo, en función del análisis de las señales vibratorias generadas por el funcionamiento de la máquina agrícola y su interacción con el terreno, lo que ventajosamente es aprovechado por los agricultores para tomar decisiones relativas a la planificación agrícola, funcionamiento de sus máquinas o automatización de los procesos de trabajo.

50 Una sembradora agrícola, un cultivador, un arado u otros aperos agrícolas pueden contar con 10, 20, 30 o incluso 100 elementos de laboreo y su disposición en el apero se hace en líneas, llegando a tener un apero 2, 3, 4 e incluso 8 líneas de varios tipos de elementos, lo que permite realizar varias labores de preparación del terreno en una única pasada de la máquina agrícola sobre el campo de trabajo. Por ello, conocer en esa única pasada cómo se comporta el apero en la situación del terreno resulta óptimo para su rendimiento y es precisamente uno de los objetivos de la presente invención, donde se obtiene la captura del comportamiento de los útiles durante las labores de preparación y siembra de terrenos agrícolas, midiendo la vibración que se produce en los equipos por el distinto comportamiento mecánico del terreno.

60 Las máquinas agrícolas utilizadas más habitualmente en la preparación del terreno y siembra comprenden un tractor y uno o varios aperos como sembradoras, descompactadoras, cultivadores, o arados. Sobre estos aperos agrícolas, se disponen una serie de elementos de laboreo, que son específicos para cada una de las labores a desarrollar. Por ejemplo, los elementos de laboreo principales de las sembradoras son las rejas y los discos de siembra, que se configuran para abrir el surco en el terreno. En las descompactadoras, los elementos de laboreo que contactan con el suelo son los brazos, los cuales se configuran para realizar un trabajo de mullido y provocar el esponjamiento del

suelo, a la vez que conservan intacta la superficie y mejoran la circulación del agua y la oxigenación de la tierra, favoreciendo el crecimiento de las raíces y el desarrollo de las plantas, consiguiendo un mayor rendimiento en la cosecha. Los cultivadores tienen múltiples funciones, como extirpación de malas hierbas, desmenuzamiento de terrones, mullido de la capa superficial del terreno, formación de tierra fina en el lecho de siembra o preparación del terreno para el riego e incorporación al suelo de abonos, para ello disponen de varios elementos de laboreo como rejas y brazos cultivadores de diferentes modelos y tamaños según la labor a realizar. Las gradas y los arados, también disponen de discos con diferentes concavidades y tamaños para realizar el laboreo. Otros elementos de laboreo son las vertederas, rejas agrícolas, puntas, taloneras, cuchillas o deflectores. Todos los elementos anteriores cuentan con características muy concretas que los hacen apropiados para unas tareas u otras. Por ejemplo, la elección de concavidades, tamaños, grados de dureza o tenacidad dependerán de las condiciones mecánicas del suelo a trabajar, por lo que resulta fundamental obtener esa información para seleccionar la mejor configuración en cada momento.

El sistema comprende una pluralidad de sensores **1**, que dada su simplicidad y pequeño tamaño puede hacerse referencia a cada uno de ellos como "mota sensora" o "mota electrónica", la cual está representada en la **figura 1**. La mota sensora básica dispone de sensores de vibración para captar el comportamiento de un elemento, en contacto con dicha mota sensora, a través de la señal vibratoria que se propaga por dicho elemento durante su funcionamiento. Así el sistema de la presente invención se basa principalmente en la configuración de sensores acelerómetros en las motas sensoras, aunque en algunas realizaciones disponen de información adicional u opcional a la propia del acelerómetro, procedente de otros sensores externos, que el sistema es capaz de interpretar y usar.

Las motas electrónicas están diseñadas para ser instaladas en cualquier útil de trabajo de preparación de terreno y/o siembra de los comentados anteriormente, capturar las vibraciones recibidas en dicho útil de trabajo, por el contacto con el suelo durante el funcionamiento, y transmitir las correspondientes medidas hasta un módulo procesador. Pueden ser instaladas en la superficie exterior de uno de los elementos de laboreo de un apero agrícola, como por ejemplo el disco de grada **2** representado en la **figura 2**, para analizar su comportamiento o ser utilizado para evaluar un grupo de elementos o algún cuerpo del apero.

A modo de ejemplo, la siguiente tabla muestra los datos recogidos por una de las motas electrónicas, en este caso "sensor 4", realizadas en dos registros o zonas distintas, aquí referidas como "3" y "7" para una pasada determinada, que en este caso está referida como "11B". La tabla recoge las medidas de máxima PSD (MPSD), frecuencia a la que se da la máxima PSD (FMPSD) y la energía acumulada en dicho registro, que se almacena en la variable *energía*.

Pasada	Sensor	Registro	MPSD	FMPSD	energía
P11B	4	3	73,74402	2,4	1216,849
P11B	4	7	319,7832	4	5579,943

La **figura 3** muestra esquemáticamente el sistema de control de la presente invención, donde se contempla una red de comunicaciones que comprende varios nodos para distribuir la información de control. La comunicación entre motas sensoras y nodo principal puede realizarse mediante cableado o, por ejemplo en el caso de un número elevado de motas sensoras, mediante una conexión inalámbrica de acuerdo con el esquema de la figura 3. En él, las motas sensoras **1** cuentan con un módulo de comunicaciones inalámbricas **30** para enviar las múltiples medidas obtenidas de la señal vibratoria detectada hasta un nodo principal **31** dispuesto en el tractor de la máquina agrícola, aunque en otras realizaciones básicas, el nodo principal se integre virtualmente en un dispositivo electrónico portátil del tipo de una tableta electrónica o un teléfono móvil. Adicionalmente, se pueden incluir nodos intermedios **32** para hacer de puente y reenviar la información hasta el nodo principal. Este nodo principal hace de maestro de la información, aglutina en una única base de datos los registros de los sensores y los pone a disposición del usuario y sistema para su análisis e interactuar con su entorno gracias a este sistema de control. Toda la información del nodo principal es enviada a un servidor central remoto **35**, donde se almacena en una base de datos general que resulta accesible, con las oportunas restricciones de seguridad y privacidad, desde los nodos principales de diferentes máquinas.

Opcionalmente, los nodos intermedios pueden tener las mismas funcionalidades de cálculo que el nodo principal, previniendo eventuales problemas de comunicaciones ante un número muy elevado de motas sensoras que, en modo inalámbrico, podrían llegar a saturar un límite de recepción del nodo intermedio. De esta manera, duplicando los nodos intermedios se garantiza el servicio, sea cual sea el número de motas electrónicas. Además, aunque la función principal de los nodos intermedios es hacer de puente, también pueden configurarse para procesar parte de la información y reducir así las tareas de cálculo en el nodo principal, que al recibir información de un número muy elevado de sensores, podría necesitar cierto tiempo de procesado que provocase un cuello de botella.

Los sistemas de terceros **33** pueden conectarse a la presente invención a través de un único bus **34** provisto en la máquina agrícola, preferentemente en el tractor, siguiendo un protocolo de comunicaciones en serie o CAN bus, según la realización escogida, así como actuadores específicos para configurar dinámicamente ciertos parámetros físicos de los elementos de laboreo, siguiendo instrucciones enviadas por el sistema de control. De esta manera, se puede adaptar la configuración y control de la presente invención a cualquier tipo de necesidades de información final del sistema, adaptando también el número de nodos y sensores totales.

La disposición de sensores sobre una máquina agrícola **40**, como la representada en el ejemplo de la **figura 4** donde se muestra en detalle un apero agrícola enganchado a un tractor (no representado), es variable y depende del número y distribución que requiera el operador en cada caso concreto o de las posibilidades de control que tengan los elementos de laboreo y la máquina agrícola en general. Por ejemplo, una disposición en hilera, hace posible la obtención de información del cuerpo de la máquina agrícola, mientras que una configuración en grupos hace posible la obtención de parámetros de variabilidad dentro de la máquina.

Concretamente, la máquina agrícola de la figura 4 trabaja con tres líneas de elementos agrícolas dispuestos en el apero. Las dos primeras líneas **41** y **42** (las más cercanas al tractor) son gradas de discos y la última línea comprende un rulo compactador **43**. Además, se han distribuido cuatro sensores **1** por la estructura del apero. Así, en este ejemplo concreto, la máquina agrícola realiza dos labores diferentes en el suelo con una sola pasada. Teniendo en cuenta que los elementos de laboreo tienen varios parámetros configurables, como la profundidad de trabajo, la velocidad de rotación o el ángulo de ataque, la obtención de información del estado mecánico del suelo, la presente invención permite establecer la mejor configuración de estos elementos de laboreo para cada una de las líneas. Dicha configuración puede establecerla el usuario en tiempo real o puede establecerse automáticamente, de acuerdo con la información almacenada en la base de datos del mismo terreno en años anteriores o de terrenos parecidos trabajados con máquinas agrícolas iguales o muy similares.

Por ejemplo, para un terreno que ha sido determinado como duro, a la primera línea **41** del apero se le puede asignar automáticamente unos parámetros de profundidad bajos y un ángulo de ataque poco pronunciado, para hacer una labor de grada de discos moderada. Para otra de las líneas, como por ejemplo la línea **42**, aunque tenga la misma función que la línea **41**, la comparación de los sensores en línea, le permite conocer cómo queda en terreno después del trabajo desarrollado por la línea **41** y así tomar decisiones de configuración diferentes, como un ángulo de ataque menor y una profundidad de trabajo diferente a la de la primera línea, reduciendo la intensidad de trabajo gracias a conocer el resultado obtenido que es acorde a las necesidades del agricultor. Disminuiría en este caso el coste de la operación al reducir la intensidad de trabajo tanto en potencia necesaria como en desgaste de los componentes del apero. Del mismo modo, la última línea **43**, correspondiente al rulo compactador, tendrá asociada una compactación / asentamiento de trabajo que dependerá del resultado del trabajo medido por los sensores previos, del estado del suelo y de las labores similares que han sido almacenadas en la base de datos con resultados satisfactorios. Así, se consigue optimizar el trabajo de cada una de las líneas y, por tanto, el de la máquina agrícola, garantizando la reproducibilidad de las tareas en condiciones similares.

El sistema está abierto a la configuración de número, posición o tipología de los distintos sensores y del número de nodos receptores de la información de los sensores. De esta forma se permite configurar el número de ellos mediante una aplicación móvil o, si el equipo está conectado, al CAN bus/ISOBUS del tractor de la máquina agrícola, mediante la interfaz de usuario de dicho tractor. En la **figura 5**, se representa el diagrama de flujo de la información en la aplicación móvil comprendida en una de las realizaciones de la invención, o en el sistema CAN bus/ISOBUS del tractor, donde una vez iniciado el proceso **50**, se procede a la configuración **51** del sistema introduciendo el usuario el número de sensores, posición, forma y tipo de apero de la máquina agrícola; a continuación comienza la operación de recepción de medidas **52** y la determinación de las posiciones de lectura **53** obtenidas por el módulo de geolocalización. Toda esta información es recibida **54** en la aplicación, o en su defecto, en la interfaz de usuario del sistema CAN bus/ISOBUS del tractor de la máquina agrícola. Por un lado, la aplicación abre las comunicaciones **55** del dispositivo móvil en el que se ha instalado para reenviar la información a un servidor central y, por otro lado, se procede al registro **56** de la información recibida, donde se le asigna un nombre **57** que permite recuperarla posteriormente. Los pasos del registro de datos y asignación de nombre se ejecutan continuamente hasta la parada del sistema, lo que hace que todos los datos registrados hasta el momento sean enviados **58** a una base de datos y se finalice **59** la operación.

La **figura 6** muestra un esquema de comunicación de la información de los sensores, en una realización de la invención, donde el número y distribución de los sensores dependerá de la información que se pretenda adquirir, tal y como se describe en el ejemplo anterior de la figura 4. El flujo de la información parte de los datos recogidos por las motas electrónicas **1** y módulos de geolocalización **63**, pasan por el ordenador de campo comprendido por el nodo principal **31** del tractor de cada máquina agrícola del sistema y acaban en el servidor central **35** del sistema o en una máquina de un tercer fabricante **64**. También existe el camino inverso del flujo de información, de manera que el análisis de información realizado en el servidor central o la máquina de un tercer fabricante, es enviado de vuelta al nodo principal, donde se pueden enviar instrucciones de control **66** a las motas electrónicas.

Detallando con más profundidad el esquema de comunicación de la figura 6, en este caso, la mota electrónica **1**, cuenta con un sensor acelerómetro **60**, una memoria **61**, un módulo de comunicaciones inalámbricas **30** y otros sensores **62**. La información obtenida por los sensores se prepara en paquetes de datos que son enviados al controlador del ordenador de campo del nodo principal **31**, directamente o través de un nodo intermedio **32**, el cual recibe paquetes provenientes de cualquiera de las motas electrónicas, procesa los paquetes, analiza la interrelación de las mismas, sobre todo de aquellas pareadas y genera los parámetros de actuación o registro.

El módulo de geolocalización **63** cuenta con un módulo de comunicación por redes LTE/4G/3G/2G que envía la

información de localización por satélite (GNSS) al controlador del ordenador de campo del nodo principal, donde se realiza la sincronización y emparejamiento de cada una de las medidas con la información de localización recibida.

5 Toda la información recibida en el nodo principal contribuye a crear una base de datos que queda a disposición del sistema para su almacenamiento y presentación en cualquier dispositivo electrónico que haya sido configurado previamente. Además de poderse enviar al servidor central **35** directamente o a las máquinas de otros fabricantes **64**, también se puede enviar a un dispositivo móvil **65** desde el que, a elección del usuario, cargar los datos al servidor central a través de una conexión de Internet.

10 Para las comunicaciones con máquinas de otros fabricantes o cualquier elemento externo al sistema de la presente invención, el controlador está provisto de una comunicación ISOBUS que puede conectarse a comunicaciones agrícolas e integrar su información con otros fabricantes y controladores a través de la norma ISO11783.

15 La **figura 7** muestra un esquema de creación de la base de datos **70** de una de las realizaciones de la invención, donde se combina la información obtenida por las motas electrónicas **1** distribuidas en una máquina agrícola con la información de posición obtenida por el módulo de geolocalización **63**. Básicamente, el proceso consiste en sincronizar los datos de los sensores con la información de posición. Para ello, se tienen en cuenta la frecuencia de muestreo y los tiempos de registro y transmisión, en función de la aplicación por lo que la configuración establecida inicialmente de los parámetros de tiempo de registro de paquetes y las frecuencias de captura de los sensores definirán la muestra obtenida y precisión de la misma. Los datos sincronizados se agrupan en diferentes paquetes (**711, 712, ... 713**) que van almacenándose ordenadamente en la base de datos **70**, donde cada uno de los paquetes comprende a su vez varias medidas del GPS (**714, 715**) y varios paquetes de medidas de los sensores (**716, 717, ... 718**).

25 La presente invención ofrece varias capas de actuación, los cuales pueden concentrarse en tres niveles escalonados como sigue a continuación:

30 En un primer nivel, el funcionamiento básico de la invención, cuenta con un sensor que hace lecturas del comportamiento del útil de laboreo y siembra sobre la superficie del terreno a medida que pasa el apero agrícola. El sensor cuenta para ello, en una de las realizaciones de la invención, con un acelerómetro y un giróscopo que registran la vibración generada por la interacción de la máquina con el suelo, afectando a todos sus componentes fruto de la dureza, humedad del terreno u otros parámetros mecánicos mencionados. El procesado de las vibraciones registradas, como se ha descrito anteriormente, permite determinar un estado mecánico del suelo, asociado a ciertos parámetros mecánicos, como dureza o plasticidad, derivados de dicho procesado.

35 En un segundo nivel, una realización de la invención más completa que la anterior, dispone de una pluralidad de sensores distribuidos por varios puntos de la máquina agrícola (preferentemente en la estructura del apero y los elementos de laboreo, aunque también pueden instalarse algunos sensores en el tractor), los cuales obtienen medidas asociadas a diferentes elementos de laboreo o grupos de elementos durante el trabajo. De acuerdo con un ejemplo de distribución de los sensores, como el representado en el ejemplo de la **figura 4**, las medidas obtenidas por los sensores **1** acoplados al apero agrícola, se envían al nodo principal **31**, donde un procesador local analiza, de acuerdo con la distribución espacial de los sensores, las medidas recibidas para establecer parámetros diferenciales de distintos puntos de la máquina.

45 Los sensores trabajan de forma individual registrando medidas individuales en cada pasada de la máquina agrícola, lo que sirve de análisis somero del estado mecánico del suelo, pero el conocimiento de la ubicación de todos los sensores permite evaluarlos conjuntamente y determinar el comportamiento diferencial de la máquina agrícola, separando en grupos de actuadores o incluso en cuerpos a lo largo de la máquina, la forma en la que se ejecuta en trabajo.

50 En una de las realizaciones se contemplan agrupamientos longitudinales de los sensores, lo que permite conocer cómo un primer sensor da información de cómo se encuentra el terreno antes de que actúen los discos o elementos de la grada y un segundo sensor, dispuesto posteriormente al primer sensor, permite conocer la variación del terreno después de que haya actuado la grada.

55 En una de las realizaciones, se contempla un agrupamiento transversal de los sensores, lo que permite modificar la intensidad de trabajo de los distintos cuerpos de la máquina, ajustando la labor a las distintas zonas que encuentran, por ejemplo, los aperos de mayor anchura.

60 De forma análoga puede procederse con cualquier elemento de los que incorporan actualmente las máquinas agrícolas, por ejemplo, es interesante controlar el trabajo de unos discos de grada situados en una primera línea de una máquina agrícola, mediante sensores dispuestos en una segunda línea y esta, a su vez, ser controlada desde una tercera fila. Con este tipo de actuaciones se consigue controlar el trabajo de distintos componentes o zonas y cuerpos de la máquina, hecho importante cuando a la vez se trabaja con máquinas robotizadas que pueden actuar y reaccionar en función de la tipología de suelos que encuentren en su discurrir por la parcela. Así, ventajosamente se posibilita que varios componentes trabajen simultáneamente y, actuando de manera individual sobre cada uno de ellos, las tareas de preparación del terreno pueden optimizarse y reducir el tiempo y consumo energético necesarios a incluso una única pasada, lo que además reduce la compactación del suelo realizada por las máquinas en cada

pasada.

En un tercer nivel, correspondiente a una realización más completa que las anteriores, la presente invención interactúa con otros elementos adicionales a los de las realizaciones expuestas anteriormente, como por ejemplo, sensores
5 específicos existentes en el mercado que enriquecen los algoritmos utilizados y aumentan la eficacia del sistema. Con ello, se provee al sistema básico de varios puertos de entrada de comunicaciones digitales para incluir las señales adicionales provenientes de sensores de humedad, cantidad de rastrojo, materia orgánica, etc.

Toda la información proveniente de los sensores contribuye a determinar los parámetros mecánicos del estado del
10 terreno, así como el comportamiento de los elementos de laboreo, recibidos en tiempo real por el módulo procesador del sistema.

El módulo procesador del sistema puede estar implementado en el nodo intermedio, en el nodo principal o estar
15 distribuido entre ellos. Cualquiera de las funciones de procesamiento puede realizarse igualmente en un procesador alojado en un nodo intermedio, en el nodo principal o en el servidor central.

Adicionalmente, la mota electrónica incluye un módulo de geolocalización, por ejemplo GPS, que genera una
información de posición para cada una de las medidas obtenidas por los sensores, lo que permite el contraste temporal
20 de evolución del terreno y redundará en la futura toma de decisiones automática gracias a la trazabilidad del sistema. Alternativamente, el módulo de localización GPS puede integrarse en la máquina agrícola y ser el módulo procesador el que asocie las medidas obtenidas por cada uno de los sensores con la información de posición obtenida por el módulo de geolocalización.

La presente invención contempla varias posibilidades de entrega de datos. Así, puede configurarse para enviar
25 información de lectura a los dispositivos de comunicaciones de los usuarios, como teléfono móvil o tabletas electrónicas en los que se haya instalado una aplicación específica para ello, o únicamente de forma electrónica cuando interactúa con otros equipos para proporcionar una configuración automática basada en la información derivada de casos anteriores con condiciones similares (como una misma máquina agrícola o un estado mecánico del suelo similar).

En la interacción con otros equipos, de acuerdo con una de las realizaciones, el sistema de la presente invención
30 puede añadir una placa electrónica de interconexión con otros sistemas o incluso disponer su propia caja electrónica para mandar la información. De esta forma, ambas plataformas, placa o caja de electrónica, permiten transferir la información en un formato abierto, como ISOBUS o xml, a terceros fabricantes, con los que se haya acordado previamente su uso, o se integra en un formato cerrado para que otros destinatarios los integren en sus máquinas. Una vez transmitidos los parámetros mecánicos del terreno determinados por los algoritmos del módulo procesador,
35 toda la información es almacenada en la base de datos del servidor central, que de acuerdo con diferentes realizaciones será un servidor físico dedicado o estará implementado virtualmente en la nube, donde estará disponible para poder realizar análisis posteriores de los componentes del sistema y de otros terrenos.

En combinación con los elementos de hardware detallados arriba que comprende el sistema de la presente invención,
el objetivo de optimizar el laboreo, el uso de aperos agrícolas y de siembra precisa de ciertos algoritmos en el módulo
40 procesador para gestionar las tareas de recogida de información, procesamiento, comunicación y actuación. Estos algoritmos trabajan en dos niveles. En un primer nivel, se realiza un procesamiento relativo o local, donde el algoritmo trabaja exclusivamente conforme a lo encontrado en el terreno, analizando la parcela concreta en la que está trabajando la máquina agrícola y las respuestas diferenciales que se dan en su suelo, determinando así la variabilidad mecánica del suelo mediante el análisis masivo de las determinaciones obtenidas por los sensores (que comprende al menos un acelerómetro y giróscopo) de las motas electrónicas. El resultado es una determinación relativa del estado mecánico del suelo, con unos grados de dureza y plasticidad referidos únicamente al terreno de trabajo actual. La interpretación de estos datos permite determinar, además del grado de dureza (correspondiente a vibraciones altas) y grado de plasticidad (correspondiente a vibraciones bajas), fallos de disco (correspondiente con la inexistencia de datos a la vez que existe información de alimentación del sensor), desgaste (correspondiente con variaciones en la frecuencia de giro de un elemento) y vida útil (correspondiente a un valor preestablecido de límites de giro u horas de funcionamiento).

En un segundo nivel de trabajo, los algoritmos del módulo procesador comprenden tratamientos de predicción,
55 planificación y trazabilidad de las labores realizadas en la preparación del terreno. Las determinaciones pasan de ser relativas a absolutas, gracias a la captura, gestión y transmisión de los datos a un entorno en nube de distintas parcelas (cuyo proceso de obtención de datos sean repetibles y comparables, principalmente la velocidad de la máquina agrícola y la estructura que determina la excitación externa sobre el suelo) se consigue el almacenamiento y comparación de distintas posiciones/parcelas, con gran diferenciación espacial entre las mismas y se envía hacia el servidor central. El servidor central normalmente contempla una mayor capacidad de procesamiento para el tratamiento de datos que los procesadores que incorporan los nodos intermedios/principal a bordo de las máquinas agrícolas sobre el terreno.

65 Una vez el módulo procesador ha procesado toda la información de una parcela en concreto, comparando medidas

obtenidas con medidas almacenadas de otros terrenos de características comparables, envía los cálculos absolutos de vuelta al nodo principal de la máquina agrícola para proceder a parametrizar los distintos equipos a los que esté conectada y el terreno de trabajo. Simultáneamente, el módulo procesador genera un mapa del comportamiento de los equipos y tareas, que puede relacionarse con un mapa de comportamiento mecánico del suelo.

5 Los cálculos y predicciones llevados a cabo por el módulo procesador se apoyan en toda la información obtenida para casos previos (o al menos un período de entrenamiento inicial) y almacenada en las bases de datos. Tras obtener los parámetros mecánicos, éstos se utilizan como entrada en técnicas de análisis basadas en inteligencia artificial (como por ejemplo redes neuronales que extraen predicciones de los parámetros físicos, según los valores medidos por los sensores, o funciones de regresión, que analizan la influencia de cada variable y su relación física con el sistema) con el fin de predecir el comportamiento mecánico (salida del algoritmo) en tiempo real del suelo en el que estén trabajando los aperos agrícolas.

15 Para establecer distintas tipologías de terreno y sus datos de sensores asociados, se mide previamente la resistencia a penetración, humedad y plasticidad con sensores de mercado y se estudian los valores de frecuencias y energías a través de campañas de toma de datos para tratamiento futuro. Se obtienen por tanto datos relativos y absolutos iniciales con los que entrenar el sistema.

20 Las predicciones de salida se realizan en tiempo real, lo que se consigue al proporcionar directamente al módulo procesador las lecturas instantáneas de los sensores de vibración integrados en los elementos de laboreo de las máquinas agrícolas según son obtenidas. Las lecturas son obtenidas por los sensores en el dominio del tiempo, pero son caracterizadas y filtradas mediante parámetros de vibración calculados en el dominio frecuencial, donde el diagnóstico es muy rico en información para este tipo de señales. La información frecuencial es una primera parametrización de un comportamiento mecánico en el que diferentes longitudes de onda se traducen en excitación energética en distintas frecuencias. Es decir, la transformación al espacio frecuencial permite dividir la señal vibratoria en distintas longitudes de onda de las que obtener medidas de energía de cada una de ellas y, con ello, analizarlas independientemente para poder diagnosticar qué hecho físico está produciendo la vibración.

30 Finalmente el módulo procesador asocia en tiempo real estas lecturas recibidas con un valor de salida gracias a la relación/entrenamiento determinado previamente sobre valores obtenidos manualmente del suelo en cuestión y contrastando con datos históricos recogidos en las bases de datos del sistema.

35 La frecuencia y tiempo de captura de información por parte de los sensores, influye notoriamente en la precisión y resolución de la información capturada. Además, la frecuencia de lectura, los tiempos de empaquetado y transmisión son variables en función de los elementos utilizados en el apero agrícola y los parámetros buscados, de manera que, por ejemplo, el estudio de vibraciones precisa de un importante número de lecturas para el estudio frecuencial de la señal, mientras que los fallos de giro o vida útil no lo necesitan. En una realización de la invención, los tiempos de lectura empleados para establecer los paquetes de registro se realizan en un intervalo de frecuencias entre 50 y 500 Hz, es decir, se toman datos de los sensores entre 0,25 y 20 segundos. Esto asegura por un lado una buena precisión en dominio frecuencial, con intervalos de datos en frecuencia de entorno a $\Delta f = 1$ Hz en el caso más desfavorable y precisiones de datos espaciales en terreno por conjuntos de datos (paquetes) calculados entre 0,2 y 20 metros en la parcela. El tamaño de los paquetes varía entre 250 y 2000 datos, en función de la tipología del trabajo previsto, máquina y elementos de laboreo.

45 El algoritmo agrupa dichos paquetes de datos recibidos en el módulo procesador provenientes de cuantos sensores se hayan instalado en la máquina agrícola. Dichos paquetes contienen datos del acelerómetro y giróscopo, que son características unidas y capturadas de forma solidaria y tridimensional, lo que permite obtener el desplazamiento espacial sufrido por cada posición controlada por el sensor en sus ejes X, Y, Z. Así se reciben los siguientes valores de cada sensor acelerómetro: tiempo, AccX, AccY, AccZ, GirX, GirY y GirZ, conociendo por tanto la velocidad de cambio y dirección espacial.

55 A partir de la vibración medida por los valores anteriores, se calculan parámetros mecánicos como plasticidad, dureza, fallos de giro de los componentes, vida útil o desgaste de los componentes, que relacionan el comportamiento de cada uno de los elementos de laboreo y del apero en conjunto, con la resistencia mecánica del terreno.

Los paquetes de datos obtenidos se trasladan del dominio temporal al dominio frecuencial para su tratamiento como vibraciones, determinando parámetros en frecuencias que son idóneos para medir el comportamiento de la interacción suelo-estructura y por ende del terreno que se está excitando con el paso de la máquina agrícola.

60 Para trasladar las señales del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, los algoritmos del módulo procesador emplean la Función Transformada de Fourier, calculando a continuación medidas de energía (como energía máxima acumulada o los distintos picos de energía a distintas frecuencias) obtenida a partir de la señal densidad de energía o densidad espectral de potencia (PSD) y obteniendo una clasificación de las vibraciones mediante frecuencias y energías calculadas, dentro de unos límites entre 50 y 500 Hz. Las medidas de energía se pueden obtener relativamente, contemplando los valores mínimos y máximos en unas primeras pasadas, en datos registrados en la misma zona en fechas anteriores y registrados en una base de datos o incluso establecerlos en absoluto

comparándolos con datos medidos por otros procedimientos como penetrómetros y compactadores.

Una vez las medidas obtenidas en el dominio del tiempo han sido trasladadas al dominio de la frecuencia, los algoritmos del módulo procesador aplican una etapa de filtrado para eliminar frecuencias propias del giro, desgaste o rozamientos periódicos, de manera que únicamente permanecen las frecuencias propias de las vibraciones producidas por interacción terreno-estructura que permiten caracterizar la variabilidad del suelo de cada parcela. Los filtros se basan principalmente en identificar la repetitividad de frecuencias, extrayendo las mismas y por tanto reduciendo el ruido de las lecturas. Por ejemplo, en una de las realizaciones se eliminan las frecuencias muy bajas (con un filtro paso-alto) para evitar el efecto "baseline" y las altas, a partir de 200 Hz, para evitar falsas mediciones (con un filtro paso-bajo). En una realización particular se utiliza un filtro Butterworth de orden 5 sobre la señal del acelerómetro para la franja de 0 Hz-1 Hz.

El tratamiento agrupado de la información permite detectar variaciones en la señal vibratoria tras la actuación de cada elemento de laboreo sobre el terreno, lo que refleja en tiempo real el comportamiento de cada elemento, ya que el procesador local instalado a bordo de la máquina agrícola recibe, procesa y muestra instantáneamente toda la información recibida y los cálculos realizados. Estas variaciones de la señal vibratoria reflejadas por los datos del giróscopo, permiten analizar diferencias de movimientos giratorios y, por tanto, bloqueos en los elementos de laboreo que significan mala actuación del apero y necesidad de observar e incluso parar el trabajo temporalmente para atender reparaciones o reajustes en la máquina.

El análisis de las señales en el dominio de la frecuencia de la presente invención, no se utiliza únicamente para la determinación del estado mecánico del suelo, sino que también es provechoso para determinar la vida útil de los elementos de laboreo instalados en un apero o de algunas partes de la estructura, ya que sus vibraciones cíclicas, es decir, las no referidas al terreno, cambian por el desgaste y variación estructural de los elementos, como disminución de los diámetros de discos o longitud de puntas. Los parámetros obtenidos, como el valor máximo de aceleración temporal, energía máxima acumulada o los distintos picos de energía en la señal densidad espectral de potencia PSD para frecuencias concretas, permiten por tanto caracterizar automáticamente, con una red neuronal entrenada, cada grupo de lecturas entre datos de desgastes para ese instante y comportamiento del o de los útiles empleados en función del terreno.

Por tanto, de acuerdo con todo el procesado anterior, un usuario (agricultor) de la presente invención recibe información en tiempo real del estado mecánico del suelo, incluyendo la plasticidad y la dureza del suelo, fallos de los elementos de laboreo, vida útil y desgaste de los mismos. Adicionalmente puede afinarse el cálculo incorporando la humedad obtenida por sensores externos. Por ejemplo, el usuario recibe en una de las realizaciones, a través de una pantalla conectada al nodo principal, información de en qué puntos (según localización GPS) de la parcela la dureza es mayor o menor y parámetros de plasticidad, para estimar si el trabajo hecho por su apero es más o menos intenso, y evaluar así cambios en la configuración de los elementos de laboreo que eviten dañar el equipo (aumentar la vida útil) por la abrasión o desgaste que le produce el terreno. Adicionalmente, para los equipos conectados a una máquina agrícola, con capacidad de variar automáticamente la configuración del apero, el usuario recibe electrónicamente los mismos parámetros para la evaluación de los grados de libertad de la máquina, como por ejemplo la profundidad de trabajo, régimen de funcionamiento, velocidad, intensidad, distancia entre ejes o la inclinación de los discos.

Además de la información y actuación relativa, la presente invención escala toda la información obtenida a la nube a través de una conexión LTE/4G/3G/2G a bordo de la máquina agrícola, con el fin de que la máquina conectada con otros equipos pueda reaccionar, permitiendo así un conocimiento y actuación en tiempo real a la determinación del estado del terreno de forma absoluta. En el modo absoluto, se contrastan los datos relativos con los datos almacenados de la misma parcela de cara a obtener una relación absoluta para dicha parcela. Asimismo, esos datos se pueden comparar con otras parcelas obteniendo una variación absoluta global que permite contrastar la variabilidad encontrada en distintas parcelas, regiones y países con lo que el tratamiento de la información llega a la retroalimentación de parámetros por la riqueza de la variabilidad que se encuentra. Además, permite conocer la variación temporal de forma relativa en tratamientos a lo largo de una campaña o de otros años de las parcelas y, con ello, conocer como varían e influyen las decisiones tomadas en años anteriores en el estado actual de un cierto terreno. Esto significa que el agricultor y el sistema pueden determinar si sus actuaciones previas surtieron los efectos deseados o es necesario modificarlos.

Las máquinas agrícolas en las que se integran los sensores propuestos, pueden comprender gradas, cultivadores, sembradoras y una multitud de equipos y aperos agrícolas, que habitualmente son enganchados a un tractor, con el fin de abrir el terreno, remover y afirmar el suelo, compactarlo, etc. En este escenario, la presente invención consigue ventajosamente una reducción de pasadas y precisión en la ejecución de las mismas, logrando mejorar el uso de cada uno de los elementos que entran a trabajar en las labores de preparación del suelo de siembra y con ello, mejoran el rendimiento y resultado del trabajo.

Los parámetros mecánicos obtenidos directa o indirectamente, mediante las lecturas de los sensores, permiten al agricultor cambiar los parámetros de aplicación de la tarea o labor agrícola en tiempo real o registrar el estado del suelo y sus condiciones según realiza la labor para la trazabilidad posterior de su trabajo.

5 La presente invención tiene multitud de ventajas, entre ellas, permite al agricultor reaccionar sobre la marcha en el apero agrícola, sin esperar al tratamiento de la información, al recibir en tiempo real información del estado mecánico del suelo que comprende mediciones relacionadas con la dureza o la densidad aparente. Además, también se obtiene información del propio comportamiento del elemento de laboreo utilizado, consiguiendo valorar su estado de trabajo y determinar eventuales bloqueos, así como su desgaste o vida útil, para determinar el momento óptimo de reemplazo.

10 Adicionalmente, en una realización de la invención, toda esta información que se le presenta a un usuario para ayudarle en la toma de decisiones, es utilizada para interactuar directamente sobre la tarea que se ejecuta, entrando de esta forma en la interacción robotizada con el guiado de la máquina. Así, la información obtenida se transmite a la máquina para que otros elementos de la máquina puedan accionar automáticamente sus componentes y modificar la forma de operar en función de la determinación que estos sensores hacen del estado del terreno. Esta característica es crucial para la nueva era de máquinas automáticas que hoy guían automáticamente los tractores, pero en breve espacio de tiempo van a poder automatizar la operación de todas las labores agrícolas.

15 La presente invención no debe verse limitada a la forma de realización aquí descrita. Otras configuraciones pueden ser realizadas por los expertos en la materia a la vista de la presente descripción. En consecuencia, el ámbito de la invención queda definido por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para determinar el estado mecánico de un terreno agrícola caracterizado por que comprende:

- 5 a) obtener, por unos medios sensores (1) dispuestos en un elemento de laboreo (2) de una máquina agrícola (40), unas medidas de una señal vibratoria, donde la señal vibratoria se produce como resultado del contacto del elemento de laboreo con el terreno agrícola durante una operación de laboreo;
- 10 b) enviar, por unos medios de comunicaciones (30), las medidas obtenidas de la señal vibratoria, agrupadas en paquetes de datos, a un módulo procesador;
- c) transformar, por el módulo procesador, las medidas de la señal vibratoria agrupadas en los paquetes de datos, en una señal en frecuencia;
- d) obtener una señal de densidad espectral de potencia (PSD) a partir de la señal de frecuencia;
- 15 e) comparar un primer patrón de energía, correspondiente a medidas de amplitud de la señal de densidad espectral de potencia PSD en una determinada banda de frecuencias, con una pluralidad de patrones de energía de una base de datos, en la que la pluralidad de patrones de energía de la base de datos está asociada con diferentes estados mecánicos del terreno asignados en función de medidas previas por medio de un penetrómetro; y
- f) determinar el estado mecánico del terreno agrícola como resultado de la comparación del primer patrón de energía con la pluralidad de patrones de energía almacenados en la base de datos.

20 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, donde los estados mecánicos asignados a cada patrón de energía en la base de datos en función de las medidas previas por medio del penetrómetro comprenden un grado de dureza y un grado de plasticidad basado en la medida previa por medio del penetrómetro.

3. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende:

- 25 - enviar las medidas de los medios sensores, a un nodo principal (31) de comunicaciones dispuesto en la máquina agrícola;
- enviar información basada en las medidas desde el nodo principal a un servidor central (35); y
- 30 - almacenar en el servidor central la información basada en las medidas enviadas por el nodo principal de cada máquina agrícola.

4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende determinar, por el módulo procesador, un estado del elemento de laboreo de acuerdo con una variación detectada en una frecuencia de giro del elemento de laboreo, donde el estado del elemento de laboreo se selecciona entre: un estado de bloqueo del elemento de laboreo o un estado con cierto grado de desgaste.

5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende modificar, por un actuador de un sistema de control, un parámetro físico del elemento de laboreo en función del estado mecánico determinado del terreno agrícola, donde el parámetro físico se selecciona entre: profundidad de trabajo, ángulo de ataque del elemento de laboreo, distancia entre elementos de laboreo, presión del elemento de laboreo y velocidad de rotación del elemento de laboreo.

6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende una etapa de filtrado en frecuencia, donde se elimina una o más frecuencias repetitivas de la señal en frecuencia, que corresponden a vibraciones propias del funcionamiento del elemento de laboreo.

7. Sistema para determinar el estado mecánico de un terreno agrícola caracterizado por que comprende:

- 50 - una máquina agrícola (40) con al menos un elemento de laboreo (2);
- unos medios sensores (1) que comprenden al menos un acelerómetro y un giróscopo, dispuestos en el al menos un elemento de laboreo, configurados para medir una señal vibratoria que se produce como resultado del contacto del elemento de laboreo con el terreno agrícola durante una operación de laboreo;
- un nodo principal (31) de comunicaciones, dispuesto en la máquina agrícola, configurado para recibir las medidas de los medios sensores; y
- 55 - un servidor central remoto (35), configurado para recibir información basada en las medidas, enviada desde el nodo principal de cada máquina agrícola y almacenarla en una base de datos que almacena una pluralidad de patrones de energía; y
- un módulo procesador, en comunicación con los medios sensores mediante el nodo principal, configurado para agrupar, en paquetes de datos, las medidas obtenidas de la señal vibratoria; transformar las medidas de la señal vibratoria agrupadas en los paquetes de datos en una señal en frecuencia; obtener una densidad espectral de potencia PSD a partir de la señal de frecuencia; comparar un primer patrón de energía, correspondiente a las medidas de amplitud de la señal de densidad espectral de potencia PSD en una determinada banda de frecuencias, con la pluralidad de patrones de energía de la base de datos, en donde la pluralidad de patrones de energía de la base de datos están asociados con diferentes estados mecánicos del terreno asignados en función de medidas previas por medio de un penetrómetro; y determinar el estado mecánico de los terrenos agrícolas como resultado de la comparación del primer patrón de energía con la pluralidad de patrones de energía almacenados en la base
- 60
- 65

de datos.

- 5 8. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, donde los medios de comunicaciones además comprenden al menos un nodo intermedio (32) dispuesto entre los medios sensores y el nodo principal (31), configurado para recibir las medidas de los medios sensores y reenviar dichas medidas al nodo principal en una función de puente.
- 10 9. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-8, que además comprende un módulo de comunicaciones inalámbricas (30) conectado a los medios sensores dispuestos en cada elemento de laboreo, configurado para enviar las medidas de los medios sensores al siguiente nodo, donde el siguiente nodo además está configurado para recibir y transmitir comunicaciones inalámbricas.
- 15 10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 7, donde el módulo procesador comprende un procesador general alojado en el nodo principal.
- 20 11. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, donde el módulo procesador además comprende al menos un procesador local alojado en el nodo intermedio.
12. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-10, donde el módulo procesador además comprende un sistema de control, con al menos un actuador asociado al elemento de laboreo, configurado para modificar un parámetro físico del elemento de laboreo.
- 25 13. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-1210-16, donde el nodo principal es un nodo virtual implementado en dispositivo electrónico portátil a seleccionar entre un teléfono móvil y una tableta electrónica.
- 30 14. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-13 que además comprende un módulo de geolocalización (63) configurado para determinar la localización en la que ha sido obtenida cada una de las medidas obtenidas de la señal vibratoria.
15. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-14 donde la máquina agrícola comprende un tractor y al menos uno de los siguientes aperos agrícolas: cultivador, sembradora, arado o cualquier otro apero agrícola orientado a trabajar suelo agrícola; y donde los elementos de laboreo de la máquina agrícola se seleccionan entre: discos, brazos, rejas, gradas, amarres, puntas, vertederas o cualquier otro elemento configurado para recibir vibraciones durante una operación de laboreo de la máquina agrícola.

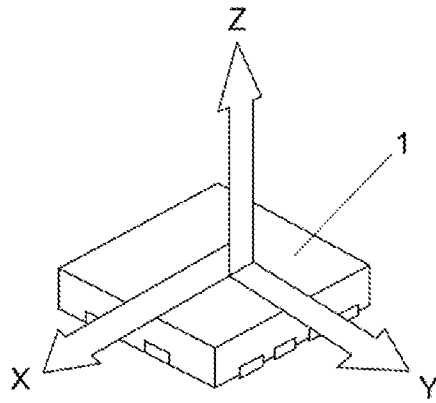


FIG. 1

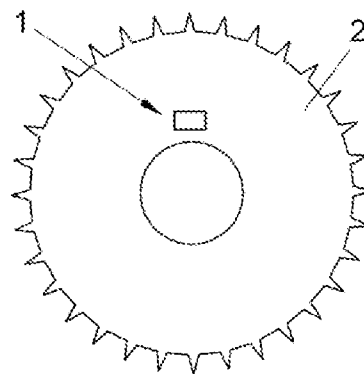


FIG. 2

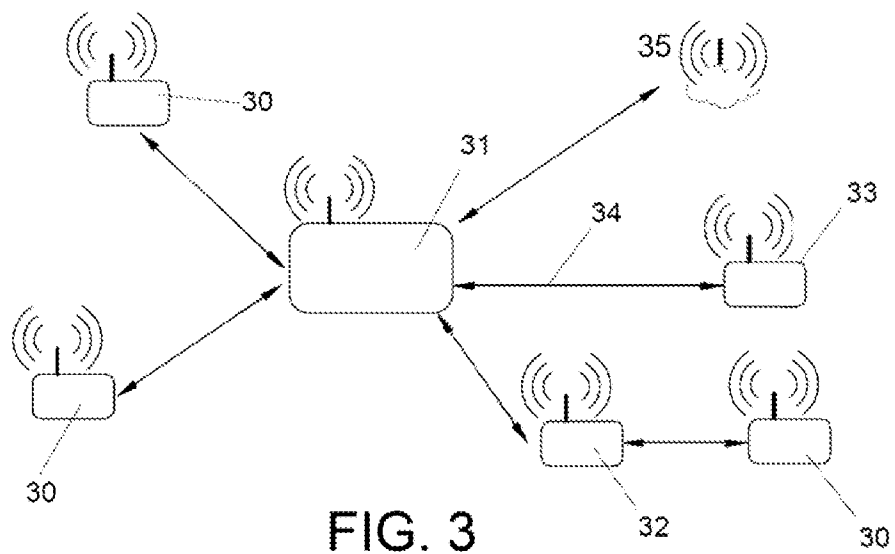


FIG. 3

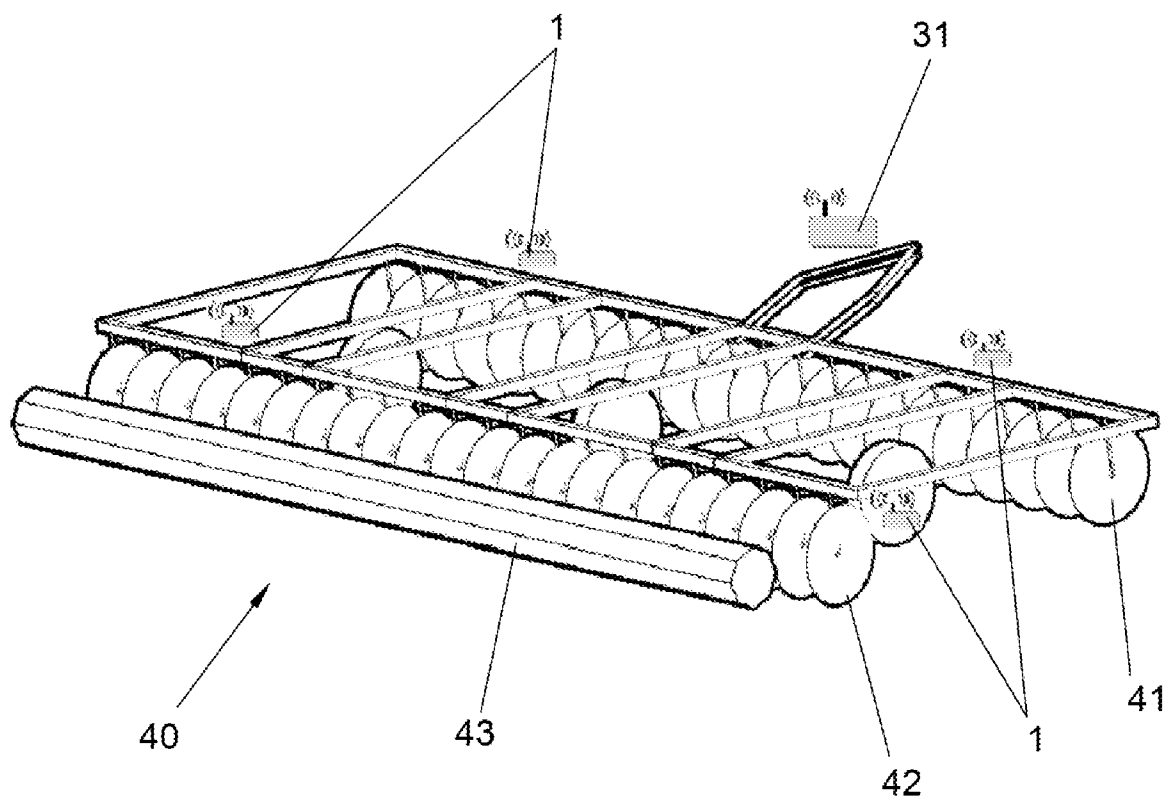


FIG. 4

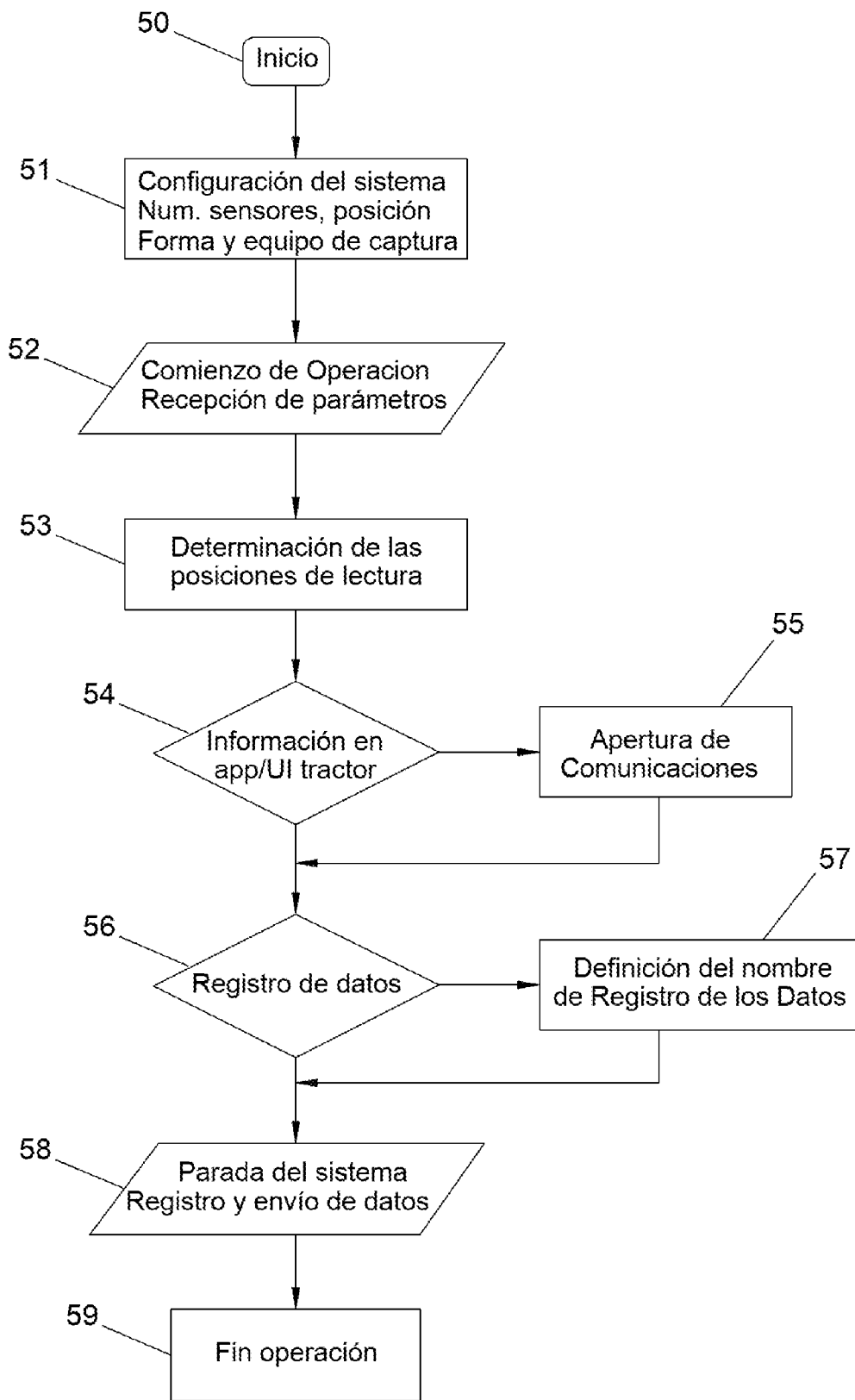


FIG. 5

