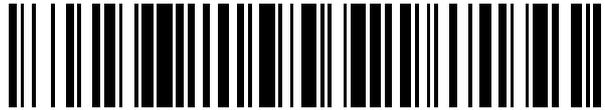


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 886 976**

21 Número de solicitud: 202030591

51 Int. Cl.:

G01N 33/483 (2006.01)
G01N 21/31 (2006.01)
G16Y 10/05 (2010.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

18.06.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

21.12.2021

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE HUELVA (100.0%)
C/ Dr. Cantero Cuadrado 6
21071 Huelva (Huelva) ES**

72 Inventor/es:

**ANDUJAR MARQUEZ, José Manuel;
PONCE REAL, Juan Manuel;
AQUINO MARTIN, Arturo;
MILLAN PRIOR, Borja;
TEJADA GUZMAN, Diego;
NOGUERA MANZANO, Miguel;
ENRIQUE GOMEZ, Juan Manuel y
BARRAGAN PIÑA, Antonio Javier**

74 Agente/Representante:

ALGUACIL OJEDA, Juan

54 Título: **SISTEMA Y PROCEDIMIENTO PARA LA MONITORIZACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO DE CULTIVOS Y DEL DESARROLLO DEL FRUTO**

57 Resumen:

La invención comprende una red de sensores multiespectrales para la monitorización continua del estado hídrico y nutricional del cultivo y el grado de maduración de la cosecha; donde la presente invención se compone de dos tipos de nodos, uno de monitorización foliar y otro de monitorización de la maduración del fruto, distribuidos en un número variable en función de la extensión del cultivo; ambos nodos cuentan con sensores multiespectrales que permiten determinar el espectro de absorción en el caso del dosel arbóreo y el de reflectancia en el caso de frutos; a partir de esta información se estima el estado fisiológico del cultivo y el grado de maduración de la cosecha mediante herramientas informática; y donde los datos recogidos por el total de la red de sensores se transmiten vía inalámbrica a la nube y son recogidos e integrados por un servidor.

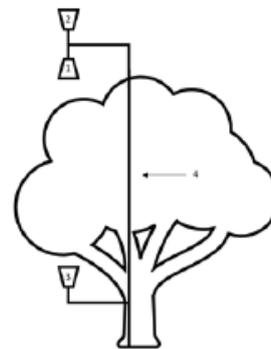


FIG.2

ES 2 886 976 A1

DESCRIPCIÓN

SISTEMA Y PROCEDIMIENTO PARA LA MONITORIZACIÓN DEL ESTADO FISIOLÓGICO DE CULTIVOS Y DEL DESARROLLO DEL FRUTO

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención pertenece al sector de la agricultura de precisión y más concretamente al de los dispositivos de monitorización de cultivos.

10

El objeto principal de la presente invención es un sistema de monitorización continua enfocado al sector de la agricultura de precisión, que permite controlar diferentes parámetros fisiológicos de gran interés para el agricultor de una manera sencilla. De este modo, el dispositivo propuesto aporta información en tiempo real sobre el estado hídrico y nutricional, así como del grado de maduración de la cosecha.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

Tradicionalmente la estimación del estado fisiológico de los cultivos se ha realizado según el criterio del propio agricultor o asesores externos, ajustando factores tan importantes para el cultivo como el riego o la fertilización a criterios preestablecidos en base a experiencias previas. La agricultura de precisión nace con el auge de las tecnologías de la información y la comunicación en la agricultura o las comúnmente conocidas como *agroTICs*, las cuales permiten la adquisición de datos del cultivo y su procesado para convertirlos en información útil de cara a la toma de decisiones.

25

30

Es conocido que la producción no se da de manera homogénea dentro de la superficie de un cultivo, lo cual radica en la presencia de parcelas con características diferenciales como pueden ser la composición del suelo y su morfología, disponibilidad hídrica, la presencia de patógenos etc. La agricultura de precisión busca ajustar los recursos y procesos a las necesidades reales de cada parcela del cultivo, incrementando tanto su rendimiento como las cualidades organolépticas de la cosecha. Además, la optimización del uso de recursos trae consigo una reducción concomitante del impacto medioambiental del cultivo. En este sentido se han realizado propuestas basadas en diferentes tecnologías para la monitorización de

35

En el ámbito de la programación de riego son conocidos los sensores de humedad de suelo, los cuales informan sobre el contenido hídrico del entorno cercano al sistema radicular de la planta. Sin embargo, estas soluciones presentan la limitación de no monitorizar el estado real de la planta si no el de su entorno, siendo incapaces de detectar deficiencias hídricas debidas a factores que limiten la capacidad de absorción por parte de la planta (patologías del sistema radicular). En este aspecto, los dendrómetros de presión son capaces de monitorizar el estatus hídrico de la propia planta en función de variaciones en el diámetro de tallos. Pero su uso está limitado a especies leñosas y requiere una recalibración periódica debido al aumento del diámetro del tallo por el crecimiento natural de la planta. La cámara de Scholander mide directamente el potencial hídrico de tejidos vegetales y el porómetro determina la conductividad estomática de las hojas, la cual puede verse limitada ante situaciones de sequía. Ambos dispositivos están ampliamente aceptados como indicadores del estado hídrico de plantas y se han usado como métodos de referencia en numerosas investigaciones en este ámbito. Sin embargo, la necesidad de tomar las medidas de manera puntual, manual e incluso destructiva limita su uso al sector de la investigación haciendo inviable su uso a nivel industrial.

Por otro lado, tendríamos la evaluación del estado nutricional de cultivos, cuya única alternativa tradicionalmente ha sido los análisis químicos. Estos requieren personal especializado e instalaciones de un alto valor económico por lo que la mayoría de los agricultores se ven obligados a externalizar este tipo de análisis. Además, desde la toma de muestras hasta la obtención de resultados pueden pasar días según el procedimiento. Estas limitaciones hacen inviable la monitorización regular del estado nutricional de cultivos mediante estas técnicas y llevan a los agricultores a ajustar la fertilización a estándares preestablecidos que generalmente suponen un uso excesivo de fertilizantes.

La presente invención consta de sensores multiespectrales, los cuales son capaces de informar sobre la distribución de la intensidad de una radiación dentro de rangos de longitud de onda específicos a través del espectro electromagnético. En la literatura científica se pueden encontrar numerosas referencias a la utilidad de este tipo de sensores en diferentes ámbitos. En el sector de la agricultura de precisión se ha tratado su potencial uso para estimar el estado hídrico y nutricional de cultivos, así como para la detección prematura de patologías. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han limitado a experimentos de laboratorio, con ensayos destructivos (en los que un órgano de la planta a monitorizar tiene que ser desplazado a laboratorio) o con equipos que realizan una monitorización manual y limitada en

cuanto a la frecuencia en la toma de datos (como en el caso de los análisis químicos). En esas tecnologías conocidas se indica el uso de datos espectrales para estimar variables reales del cultivo. Estas se refieren a experimentos de laboratorio bajo condiciones controladas y sobre todo usando fuentes de iluminación de espectro conocido. El avance tecnológico que supone nuestra invención no es la ventaja que aporta el uso de este sensor en concreto, si no la disposición de los diferentes sensores en cada nodo, lo que permite caracterizar las diferentes componentes resultado de la interacción de la radiación incidente (espectro desconocido) con el dosel y a partir de estas el espectro absorbido por la planta, independientemente de las variaciones en la radiación incidente.

En otro orden de cosas, es conocido que la energía luminosa reflejada, absorbida y/o transmitida por un objeto no es uniforme en todo el rango espectral, siendo variable en las diferentes zonas del espectro. Esta variabilidad permite que dos objetos o sustancias indistinguibles entre sí en el rango visible (la información captada por nuestros ojos) puedan ser perfectamente diferenciados en otro rango. Por ejemplo, la región del infrarrojo cercano (NIR) contiene información sobre las proporciones relativas de enlaces C-H, N-H y O-H, que son los componentes estructurales primarios de las moléculas orgánicas.

El patrón de interacción entre la luz y el dosel arbóreo viene determinado por la estructura foliar, el contenido de agua y la concentración de sustancias bioquímicas. Pese a que se dan diferencias parciales interespecíficas, es conocida una respuesta general de las hojas verdes y sanas en los principales dominios espectrales (visible e infrarrojo). El espectro de reflectancia, en plantas bajo condiciones óptimas, se caracteriza por una fuerte absorción en el azul (480 nm) y en el rojo (670 nm). Estas bandas de absorción inducen un pico de reflectancia en la banda verde (550 nm). Fuera del espectro visible se da una fuerte reflectancia y transmitancia en el infrarrojo cercano (NIR) (700-1.500 nm). Dentro del espectro visible (VIS) (400-700 nm), la respuesta espectral de la vegetación viene condicionada por los pigmentos fotosintéticos mayoritariamente clorofila a y b (FIG. 1), mientras que en la región del infrarrojo cercano (700-1.350 nm), es la estructura interna de la hoja el factor decisivo.

El nitrógeno captado por la planta a través del sistema radicular es un sustrato fundamental para la síntesis de clorofila, ya que forma parte del anillo tetrapirrol que conforma químicamente esta molécula. De este modo, ante una situación de estrés nutricional se produce una deficiencia en la producción de clorofila por parte de la planta que se traduce en cambios en la coloración de sus hojas (del verde hacia el amarillo). En el dominio espectral

se observa un aumento en la reflectancia en la región entre 500 y 750 nm y menor en el NIR. Por esto, cuando las hojas de las plantas se vuelven más cloróticas (deficiencia de clorofila), la reflectancia de éstas aumenta y el pico de reflectancia que normalmente está centrado en 550 nm, se amplía hacia el rojo, ya que la absorción de estas longitudes de onda incidentes
5 disminuye por el decremento de la concentración de clorofila.

Por otro lado, el estatus hídrico también afecta de manera sensible la actividad fotosintética de la planta. Ante una situación de escasez de agua se produce un cierre estomático con el objetivo de reducir la evapotranspiración y mantener las reservas de agua interna. Sin
10 embargo, este cierre estomático también limita la captación de CO₂ por parte de la planta, el cual actúa como sustrato de la fase biosintética de la fotosíntesis. Ante la escasez de CO₂ los intermediarios de la cadena de transporte electrónico ligados al fotosistema II permanecen en su estado reducido. Esto implica que la luz captada por la clorofila excede la capacidad de utilización de la planta y ese exceso energético puede reaccionar con el oxígeno molecular
15 (O₂) formando especies activas de oxígeno (EAO) altamente oxidantes. Se sabe que las EAO pueden dañar irreversiblemente los tejidos fotosintéticos. Las plantas cuentan con mecanismos para paliar estos excedentes de energía en los que están implicados otros pigmentos como los carotenoides (ciclo de las xantofilas). Estas sustancias ejercen su acción fotoprotectora mediante la captura del estado excitado de las clorofilas. El estado excitado de
20 los carotenoides no tiene suficiente energía como para transferirla al O₂, de modo que este estado excitado de los carotenoides decae hasta su estado fundamental perdiendo la energía en forma de calor. Es conocido que el estado excitado de estas moléculas genera un espectro de reflectividad diferencial con picos a 677 y 830 nm. Teniendo en cuenta estas evidencias, tanto la reducción de la eficacia de la fotosíntesis como la activación de mecanismos de
25 defensa son indicios detectables a nivel de visión espectral que nos permiten monitorizar el estado hídrico de la planta.

Durante la maduración de frutos se dan una serie de modificaciones químicas como son la acumulación de aminoácidos, ácidos grasos, azúcares y pigmentos, que dan lugar a
30 variaciones en parámetros físicos del propio fruto a nivel de color, firmeza, aroma y sabor. Estas modificaciones son detectables mediante sistemas de monitorización que se sirven de la visión espectral en el visible e infrarrojo cercano. De hecho, actualmente este tipo de dispositivos se usan acoplados a cadenas de producción para estimar parámetros de calidad de todo tipo de alimentos, incluidas frutas y verduras, dado que los datos espectrales se usan
35 en la estimación de variables reales en la industria alimentaria. Pero es importante aclarar que

estos equipos solo sirven para determinar parámetros de calidad postcosecha, siendo inviable su funcionamiento en campo ya que estos requieren unas condiciones de iluminación muy concretas y conocidas. Por ello, este tipo de configuraciones no servirían para tomar medidas concluyentes en campo.

5

La modelización del patrón de distribución de la radiación absorbida por el dosel arbóreo o el fruto (información espectral) nos permite obtener diferentes indicadores fisiológicos, lo que permite monitorizar de manera continua el ambiente químico de los tejidos vegetales a distancia y de forma no destructiva. Sin embargo, las variaciones metabólicas que se dan entre diferentes especies vegetales hacen imposible diseñar un modelo matemático de correlación entre datos espectrales e indicadores fisiológicos de referencia que sea universal y por la tanto válido para el total de las especies cultivables. Debido a esto, la aplicación de esta tecnología en un cultivo determinado requiere de la determinación previa de modelos matemáticos específicos para cada cultivo y/o necesidad.

15

Como se está comentado, la información espectral es usada para la monitorización de cultivos, principalmente desde plataformas aéreas o en satélites. Sin embargo, es conocido el problema técnico asociado a que conforme aumenta la distancia al objetivo la señal acumula ruido, disminuyendo la precisión de los análisis. Además, en el caso de plataformas aéreas, este procedimiento solo permite un acceso puntual a la información, ya que la recogida de datos requiere una preparación previa, siendo fuertemente dependiente de las condiciones meteorológicas.

20

El avance en las técnicas de microelectrónica ha permitido la miniaturización de los sensores espectrales, lo que ha tenido un profundo impacto, tanto en su coste como en las posibilidades de integración, abriendo nuevas potencialidades para su uso. Bajo este contexto se propone la presente invención, la cual supone una solución tecnológica que permite caracterizar in situ y a tiempo real el espectro de absorción de luz del dosel arbóreo y el espectro de reflectancia de los frutos de un cultivo directamente en campo. A partir de estos datos y con los modelos matemáticos de correlación específicos para un cultivo dado, la invención propuesta es capaz de estimar parámetros fisiológicos del cultivo que guiarían al agricultor en la toma de decisiones. Habida cuenta de los sistemas conocidos en el estado de la técnica, la principal fortaleza del sistema propuesto frente a las posibilidades presentes en el mercado es el hecho de aunar en una única solución la posibilidad de monitorizar estado hídrico y nutricional del cultivo y grado de maduración del fruto. Ya que tradicionalmente para cada uno de estos

30

35

desempeños se ha tenido que recurrir a tecnologías alternativas. Además, la presente invención da la posibilidad de acceder a la información de manera continua y remota. Lo cual arroja una visión más realista de las condiciones del cultivo de una manera más sencilla y reduciendo drásticamente la fuerza de trabajo necesaria para la recogida de datos y el tiempo de respuesta del gestor de la finca ante una posible situación perjudicial para el cultivo.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención consiste en una red de sensores para la monitorización continua del estado fisiológico del cultivo y el grado de maduración del fruto. La red de sensores está compuesta por nodos. Cada sensor individual se caracteriza por la capacidad de captar la intensidad de la radiación luminosa en 18 picos de 20nm de ancho de banda entre los 410 y 940 nm.

La red en cuestión consta de dos tipos de nodos (monitorización foliar y monitorización de la maduración del fruto), distribuidos en un número variable en función de la extensión del cultivo y la densidad de monitorización deseada.

Por un lado, los nodos de monitorización foliar constan de tres sensores multiespectrales (1,2 y 3). El sensor de reflectancia (1) tiene como objetivo la captación de la radiación reflejada por la vegetación (R_{veg}). El sensor de radiación incidente (2) caracteriza la radiación recibida por el dosel en el momento de la medición (R_{amb}). Y el sensor de transmitancia (3) mide la radiación transmitida a través de la cobertura foliar (R_{trans}). Cuando una radiación incide sobre el dosel arbóreo pueden considerarse tres tipos fundamentales de interacciones: reflexión, absorción y transmisión. Considerando la interacción entre el dosel y la luz un sistema aislado y teniendo en cuenta la ley de la conservación de la energía podemos caracterizar el espectro absorbido por el dosel arbóreo (R_{abs}) a partir de las tres componentes captadas por cada nodo de monitorización foliar según la siguiente formula: $[R_{abs} = R_{amb} - (R_{veg} + R_{trans})]$. De este modo obtenemos el espectro de absorción del dosel arbóreo en tiempo real definido por 18 bandas de 20 nm de ancho entre los 410 y 940 nm. La medida continua de la radiación incidente evita el error en las mediciones derivado de la suposición de que esta es constante, permitiendo eliminar el efecto sobre la misma de fenómenos ambientales, como la presencia de nubes, variaciones climáticas o la variación del ángulo de incidencia de la luz a lo largo del día. En este caso es importante indicar que en una realización preferente de la invención el número de sensores es tres, dado que ese número se ajusta a la necesidad de caracterizar las tres

componentes resultantes de la interacción de la luz con el dosel, y a partir de estas poder determinar la radiación absorbida por el mismo. Dos sensores serían insuficientes y con más de tres se podría conseguir lo mismo, pero podría encarecer los costes.

- 5 Cabe destacar que el diseño modular permite ajustar la configuración de los sensores en función de la precisión necesaria, siendo posible por ejemplo utilizar un solo sensor de radiación incidente (2) como referencia para varios sensores de reflectancia o transmitancia (1 y 3).
- 10 Por otro lado, la configuración básica de los nodos de monitorización del fruto incluye al menos un sensor de maduración (5) dotado con un receptor multiespectral (12') enfocado a un fruto para supervisar su maduración. En una realización preferente de la invención, solo es preciso un sensor. Además, el nodo incluye un dispositivo de iluminación calibrada (6), con un espectro de luz conocido. En su funcionamiento más básico, el dispositivo monitoriza
- 15 periódicamente los cambios en los valores de reflectancia del fruto. La presencia de la fuente de iluminación mejora la precisión de la medida ya que posibilita realizar dos medidas, una con la iluminación conectada y otra sin ella, obteniéndose de esta forma la reflectancia con luz ambiental R_{amb} (con la fuente de alimentación desconectada) y la reflectancia correspondiente a la luz ambiental combinada con la luz artificial R_{art} . La reflectancia calibrada
- 20 (R_{cal}) se calcularía como $R_{cal} = R_{art} - R_{amb}$, que sería dependiente del espectro de la fuente de luz calibrada (conocido) y de las características del fruto que se quiere monitorizar. Esta metodología permite que el fruto no tenga que ser aislado de la iluminación ambiental (mediante una caja u otro mecanismo), lo que afectaría a su maduración y por lo tanto a la representatividad de las medidas efectuadas.

- 25 El procesamiento de datos se ejecuta a dos niveles. Por un lado, la propia red actúa como un sistema distribuido en el que el microprocesador (9) comprendido en la placa controladora (8) de cada nodo tiene programados algoritmos que le permiten procesar la información de las diferentes entradas, generando un único espectro distribuido en 18 bandas a nivel local. El
- 30 microprocesador (9) de cada nodo se encuentra implementado además con las herramientas informáticas o algoritmos matemáticos específicos que le permiten determinar de manera cuantitativa variables indicadoras del estado hídrico y nutricional de la planta (nodos de monitorización foliar) o el grado de maduración del fruto (nodos de monitorización de la maduración) a partir de determinadas bandas del espectro en cada caso. Tanto los datos
- 35 captados en bruto como la información ya procesada son transmitidos a través de

comunicación inalámbrica, con la periodicidad escogida por el responsable del cultivo.

El segundo nivel de procesamiento se da en un servidor central. El servidor recoge e integra la información enviada por los nodos y permite su consulta al usuario final, de una manera
5 fácilmente interpretable, en forma de mapas de estrés hídrico, estado nutricional y grado de maduración del fruto. Además, la interfaz ofrece la posibilidad de modular el funcionamiento de la propia red y programar alertas que avisen de situaciones de estrés o momento óptimo de recolección en áreas específicas del cultivo.

10 Teniendo en cuenta estos aspectos, se considera que el avance que implica la invención es la posibilidad de caracterizar el espectro de absorción (nodos de monitorización foliar) o reflectancia (nodos de monitorización del grado de maduración) directamente en campo, solventando el problema de la radiación incidente variable. Los modelos matemáticos encargados de integrar las diferentes componentes captadas para la obtención de dicho
15 espectro (propios de cada tipo de nodo) son fijos independientemente del cultivo en el que se pretende usar la red, pero los que van a servir para estimar las variables de estado de la planta a partir de esos datos espectrales deben de ser específicos para cada cultivo. De este modo, la invención posibilita captar datos espectrales en campo que van a estar relacionados con variables de estado reales del cultivo. Sin embargo, su uso requiere del desarrollo previo de
20 modelos matemáticos específicos para cada cultivo determinado. Aclarar que una vez desarrollado el modelo para un cultivo dado este serviría para el total de usuarios que pretendan usar la red en este cultivo en concreto.

Se ha de tener en cuenta que, a lo largo de la descripción y las reivindicaciones, el término
25 “comprende” y sus variantes no pretenden excluir otras características técnicas o elementos adicionales.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

30 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

35 Figura 1.- Representación gráfica de la absorbancia de las clorofilas a y b a lo largo del

espectro visible.

Figura 2.- Muestra una imagen esquemática de la distribución de los diferentes sensores de un nodo compuesto (con el sensor de radiación incidente incluido).

5

Figura 3.- Muestra una imagen esquemática de la distribución de los diferentes sensores de un nodo simple (compuesto solo por sensores de reflectancia y transmitancia).

Figura 4.- Muestra una imagen esquemática de la distribución del sensor de maduración y el dispositivo de iluminación calibrada de un nodo de monitorización de estado de maduración del fruto.

10

Figura 5.- Muestra una imagen esquemática de los diferentes componentes electrónicos que conforman un nodo compuesto de monitorización foliar.

15

Figura 6.- Muestra una imagen esquemática de los diferentes componentes electrónicos que conforman un nodo de monitorización de estado de maduración del fruto.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE UNOS MODOS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

20

A la vista de las mencionadas figuras, y de acuerdo con la numeración adoptada, se puede observar en ellas un ejemplo de realización preferente de la invención, la cual comprende las partes y elementos que se indican y describen en detalle a continuación.

25 La invención presentada consiste en una red de sensores multiespectrales para la monitorización del estado nutricional, hídrico y el grado de maduración de cultivos. Las figuras 2, 3 y 5 hacen referencia a los nodos de monitorización del estado nutricional e hídrico de la planta. En ellas queda representada de manera esquemática la configuración de los diferentes componentes estructurales que forman cada nodo (FIG. 2 y 3) así como el conexionado de los diferentes componentes electrónicos (FIG. 5).

30

Así, tal y como se observa en las figuras 2, 3 y 5 cada nodo de monitorización foliar de una planta de un cultivo comprende esencialmente los siguientes elementos:

35 • tres sensores multiespectrales (1, 2 y 3), cada uno de los cuales incluye una capsula que alberga al receptor multiespectral (12) y lo protege de las inclemencias ambientales. En el

caso del sensor de reflectancia (1), este adicionalmente incluye una placa controladora (8) y una fuente de alimentación (7).

- tres receptores multiespectrales (12), cada uno de los cuales se conecta a la placa controladora (8) del sensor de reflectancia (1) a través de conexiones de tipo bus (11), que permite comunicación bidireccional y alimentación del sensor.
- una placa controladora o módulo de control (8) que comprende un módulo de comunicación inalámbrica (10) y un microprocesador (9) implementado con las herramientas informáticas, algoritmos y todas las instrucciones necesarias para la operación del sistema. Estas operaciones son: controlar el funcionamiento de los receptores multiespectrales (12) y recibir y procesar su señal, transmitir información a través del módulo de comunicación inalámbrica (10) y gestionar procesos de calibración. Para esto, el módulo de control (8) comprende modelos matemáticos basados en algoritmos que permiten integrar los datos captados por los diferentes sensores generando un único espectro de absorción y convertir este en valores del estado hídrico y nutricional del cultivo.
- un microprocesador (9) integrado en el módulo de control (8).
- un módulo de comunicación inalámbrica (10), integrado en el módulo de control (8), que permite la conexión a distancia con un dispositivo electrónico externo o servidor externo.
- una fuente de alimentación (7), la cual supe de energía a todos los componentes del dispositivo a través de una conexión de tipo bus (11).
- un soporte (4) que actúa como estructura física sobre la que se disponen los sensores (1,2 y 3). Este soporta la integridad estructural de cada nodo y se dispone atravesando el dosel del árbol con una orientación perpendicular al suelo. El sensor de reflectancia (1) se sitúa sobre el dosel del árbol enfocado hacia el mismo. Por otro lado, el sensor de transmitancia (3) se dispone bajo el dosel enfocado en dirección opuesta al anterior (1). Finalmente, el sensor de radiación incidente (2) se dispone sobre el sensor de reflectancia (1) con una orientación inversa.
- un servidor de red que permite la consulta de los datos remitidos de forma inalámbrica por el módulo de control (8). Los datos se representan de forma sencilla al usuario final mediante mapas de necesidades nutricionales o estrés hídrico del cultivo.

El diseño modular permite ajustar la configuración de los sensores, siendo posible utilizar un solo sensor de radiación incidente (2) como referencia para varios sensores de reflectancia y transmitancia (1 y 3). De este modo, podemos diferenciar dos configuraciones de nodos de monitorización foliar (compuestos y simples). La figura 2 representa de manera esquemática

la configuración de los diferentes componentes estructurales de un nodo simple, los cuales presentan una estructura similar a los nodos compuestos careciendo de sensor de radiación incidente (2).

5 Por otro lado, las figuras 4 y 6 se refieren a los nodos de monitorización del grado de maduración del fruto. En la figura 4 se esboza la disposición de los diferentes componentes estructurales que conforman el nodo, mientras que en la figura 6 se representa el conexionado de los componentes electrónicos. Así, tal y como se observa en las figuras 4 y 6 cada nodo de monitorización del estado de maduración del fruto comprende esencialmente los siguientes
10 elementos:

- un sensor de maduración (5), el cual incluye una capsula que alberga un receptor multiespectral (12') y lo protege de las inclemencias del ambiente. Este sensor adicionalmente incluye una placa controladora (8') y una fuente de alimentación (7').
- un dispositivo de iluminación calibrado (6), el cual incluye una capsula que alberga la
15 fuente de iluminación calibrada (13) y la protege. Esta fuente de iluminación (13) se conecta mediante una conexión de tipo bus (11') a la fuente de alimentación (7') del sensor de maduración (5).
- un receptor multiespectral (12'), conectado a una placa controladora o módulo de control (8') a través de una conexión de tipo bus (11'), la cual es bidireccional, lo que le permite
20 tanto recibir como enviar datos a través de una única vía.
- una placa controladora o módulo de control (8') que comprende un módulo de comunicación inalámbrica (10') y un microprocesador (9') implementado con herramientas informáticas, algoritmos y todas las instrucciones necesarias para la operación del sistema, las cuales son: controlar el funcionamiento del receptor multiespectral (12') y la
25 fuente de iluminación calibrada (13), recibir y procesar la señal del receptor multiespectral (12'), transmitir información a través del módulo de comunicación inalámbrica (10') y gestionar procesos de calibración.
- un microprocesador (9') integrado en el módulo de control (8').
- un módulo de comunicación inalámbrica (10'), integrado en el módulo de control, que
30 permite la conexión a distancia con un dispositivo electrónico externo o servidor externo.
- una fuente de alimentación (7'), la cual supe de energía a todos los componentes del dispositivo a través de una conexión de tipo bus (11').
- un soporte (4') que actúa como estructura física sobre la que se dispone el sensor de maduración (5) y el dispositivo de iluminación calibrada (6). Este soporta la integridad
35 estructural de cada nodo y se dispone con una orientación perpendicular al suelo. Tanto

el sensor de maduración (5) como el de iluminación calibrada (6) se fijan al soporte (4') mediante bisagras con posibilidad de bloqueo, permitiendo así orientar cada uno de ellos hacia la dirección apropiada. El sensor de maduración (5) se sitúa enfocado a un fruto seleccionado como representativo para supervisar su maduración. El dispositivo de
 5 iluminación (6) se dispone enfocado al mismo fruto con un ángulo entre 40° y 50° con respecto al sensor de maduración (5), siendo preferentemente 45°.

El número de nodos a instalar en un cultivo determinado va a depender de cada caso, ya que este estará determinado por la extensión del propio cultivo.

10 Teniendo en cuenta estos aspectos, el sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, tiene la particularidad que estar constituido por una red de nodos distribuidos por el terreno a monitorizar, donde se comprende al menos un nodo de monitorización foliar que comprende

- tres sensores multiespectrales (1, 2 y 3) enfocados a una planta desde diferentes orientaciones, donde cada sensor comprende una cápsula que alberga y protege a un
 15 receptor multiespectral (12); donde hay un sensor de reflectancia (1) que captura la radiación reflejada por la vegetación (R_{veg}), un sensor de radiación incidente (2) que determina la radiación incidente (R_{amb}) y un sensor de transmitancia (3) que mide la radiación transmitida (R_{trans});
- un módulo de control (8) que comprende un módulo de comunicación inalámbrica (10) y un microprocesador (9) implementado con herramientas informáticas y algoritmos, que recibe los datos captados por cada sensor multiespectral (1, 2 y 3) y los procesa para obtener la caracterización del estado hídrico y nutricional de la planta; estando dichos sensores conectados con el módulo de control (8) a través de conexiones de
 20 tipo bus (11);
- un microprocesador (9) integrado en el módulo de control (8).
- un módulo de comunicación inalámbrica (10), integrado en el módulo de control (8); y que permite la conexión a distancia con un dispositivo electrónico externo o servidor externo;
- una fuente de alimentación (7), la cual supe de energía a todos los componentes del dispositivo a través de conexiones de tipo bus (11); y
- un soporte (4) que actúa como estructura física de los sensores multiespectrales (1, 2 y 3);

y al menos un nodo de monitorización del grado de maduración del fruto que comprende:

- un sensor de maduración (5) que comprende una cápsula que alberga y protege a un
 35

receptor multiespectral (12');

- un dispositivo de iluminación calibrado (6), el cual incluye una capsula que alberga una fuente de iluminación calibrada (13) y la protege;
- un módulo de control (8') que comprende un módulo de comunicación inalámbrica (10') y un microprocesador (9') que controla el funcionamiento del receptor multiespectral (12') y la fuente de iluminación calibrada (13) y comprende herramientas informáticas y algoritmos, que recibe y procesa los datos obtenidos por el receptor multiespectral (12') obteniendo la caracterización del grado de maduración del fruto; estando dichos elementos conectados con el módulo de control (8) a través de conexiones de tipo bus (11);
- un microprocesador (9') integrado en el módulo de control (8').
- un módulo de comunicación inalámbrica (10'), integrado en el módulo de control; y que permite la conexión a distancia con un dispositivo electrónico externo o servidor externo;
- una fuente de alimentación (7'), la cual supe de energía a todos los componentes del dispositivo a través de conexiones de tipo bus (11')

Entrando en mayor detalle, el nodo de monitorización foliar comprende tres sensores (1, 2, 3), cada uno con un receptor multiespectral (12), cada uno de los cuales se conecta a un módulo de control (8) ubicado en el sensor de reflectancia (1). El sensor de reflectancia (1) captura la radiación reflejada por la vegetación (R_{veg}), el sensor de radiación incidente (2) determina la radiación recibida por el dosel en el instante de la medición (R_{amb}), y el sensor de transmitancia (3) mide la radiación transmitida (R_{trans}) o en otras palabras la fracción de radiación incidente que no ha sido reflejada ni absorbida y por lo tanto ha atravesado la cobertura vegetal. De este modo, cada uno de estos tres sensores capta una componente resultado de la interacción de la luz incidente con el dosel, cada una de las cuales definida por un espectro de 18 bandas de 20 nm de ancho entre los 410 y 940 nm. El espectro captado por cada uno de los sensores (1, 2 y 3) se transmite a través de conexiones tipo bus (11) al módulo de control (8). El módulo de control (8) comprende un microprocesador (9) implementado con un algoritmo matemático definido para a partir de las tres componentes captadas por los sensores (1, 2 y 3) determinar el espectro absorbido por la vegetación según la siguiente formula: $[R_{abs} = R_{amb} - (R_{veg} + R_{trans})]$. Además, el microprocesador (9) posee los algoritmos matemáticos para en un segundo paso del procesamiento de datos, estimar diferentes variables indicativas de estrés hídrico o nutricional a partir de determinadas bandas del espectro de absorción en cada caso. Hay que destacar que los modelos matemáticos implicados en este segundo paso del procesamiento

deben ser específicos para cada cultivo.

El nodo de monitorización del grado de maduración del fruto puede comprender un sensor de maduración (5) con un receptor multispectral (12'), albergado en la cápsula de protección, y donde adicionalmente se dispone de un dispositivo de iluminación calibrado (6), el cual incluye una capsula que alberga una fuente de iluminación calibrada (13) y la protege; estando este dispositivo de iluminación calibrado (6) en conexión con el sensor de maduración (5) mediante una conexión de tipo bus (11'). En este caso, tanto el sensor de maduración (5) como el dispositivo de iluminación calibrada (6) se fijan al soporte (4') mediante bisagras con posibilidad de bloqueo, permitiendo así orientar cada uno de ellos hacia la dirección apropiada, y estando enfocados preferentemente hacia un fruto seleccionado como representativo para supervisar su maduración, con un ángulo próximo de 45° entre los dos. En este caso, la presencia de la fuente de iluminación mejora la precisión de la medida ya que posibilita realizar dos medidas, una con la iluminación conectada y otra sin ella, obteniéndose de esta forma la reflectancia con luz ambiental R_{amb} (con la fuente de alimentación desconectada) y la reflectancia correspondiente a la luz ambiental combinada con la luz artificial R_{art} . El módulo de control (8') comprende un microprocesador (9') implementado con un algoritmo matemático definido para a partir de los datos recopilados en ambas mediciones (R_{art} y R_{amb}) determinar el espectro de reflectancia calibrado reflejado por el fruto según la siguiente formula: $[R_{cal} = R_{art} - R_{amb}]$. De este modo, se obtiene un espectro de reflectancia calibrado (R_{cal}) definido por 18 bandas de 20 nm de ancho entre los 410 y 940 nm y dependiente del espectro de la fuente de iluminación calibrada (13) (conocido) y de las características del fruto que se quiere monitorizar. Además, el microprocesador (9') de cada nodo de monitorización del grado de maduración del fruto posee los algoritmos necesarios para estimar diferentes variables indicativas de maduración a partir de determinadas bandas del espectro de reflectancia calibrado en cada caso, y donde los modelos matemáticos implicados en este segundo paso del procesamiento son específicos para cada cultivo.

Teniendo en cuenta estos aspectos, la red actúa como un sistema distribuido en el que el procesamiento de datos se da de manera local en el módulo de control de cada nodo de la red. Tanto los datos captados en bruto como la información ya procesada en cada nodo son transmitidos a través de comunicación inalámbrica, con la periodicidad escogida por el responsable del cultivo. El segundo nivel de procesamiento se da en un servidor central. El servidor recoge e integra la información enviada por los nodos y permite su consulta al usuario final, de una manera fácilmente interpretable, en forma de mapas de estrés hídrico, estado

nutricional y grado de maduración del fruto. Además, la interfaz ofrece la posibilidad de modular el funcionamiento de la propia red y programar alertas que avisen de situaciones de estrés o momento óptimo de recolección en áreas específicas del cultivo.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, sistema que está constituido por una red de nodos distribuidos por el terreno a monitorizar, y
5 que se caracteriza por que comprende:

al menos un nodo de monitorización foliar de una planta de un cultivo que comprende:

- tres sensores multiespectrales (1, 2 y 3) enfocados a la planta desde diferentes orientaciones, donde cada sensor comprende una cápsula que alberga y protege a un receptor multiespectral (12); donde hay un sensor de reflectancia (1) que captura la
10 radiación reflejada por la vegetación (R_{veg}), un sensor de radiación incidente (2) que determina la radiación incidente (R_{amb}) y un sensor de transmitancia (3) que mide la radiación transmitida (R_{trans});
- un módulo de control (8) que comprende un módulo de comunicación inalámbrica (10) y un microprocesador (9) implementado con herramientas informáticas y algoritmos,
15 que recibe los datos captados por cada sensor multiespectral (1, 2 y 3) y los procesa para obtener la caracterización del estado hídrico y nutricional de la planta;
- un módulo de comunicación inalámbrica (10), integrado en el módulo de control (8) que permite la conexión a distancia con al menos un dispositivo electrónico externo o servidor externo; y
- 20 - una fuente de alimentación (7), la cual está en conexión y supe de energía a todos los componentes del dispositivo;

y al menos un nodo de monitorización del grado de maduración de un fruto de la planta que comprende:

- un sensor de maduración (5) que comprende una cápsula que alberga y protege a un
25 receptor multiespectral (12');
- un dispositivo de iluminación calibrado (6), el cual incluye una capsula que alberga una fuente de iluminación calibrada (13) y la protege; estando el sensor de maduración (5) y el dispositivo de iluminación (6) orientados hacia un mismo fruto;
- un módulo de control (8') que comprende un módulo de comunicación inalámbrica (10') y un microprocesador (9') que controla el funcionamiento del receptor
30 multiespectral (12') y la fuente de iluminación calibrada (13) y comprende herramientas informáticas y algoritmos, que recibe y procesa los datos obtenidos del receptor multiespectral (12') obteniendo la caracterización del grado de maduración del fruto; estando dichos elementos conectados con el módulo de control;
- 35 - un módulo de comunicación inalámbrica (10'), integrado en el módulo de control; que

permite la conexión a distancia con al menos un dispositivo electrónico externo o servidor externo; y

- una fuente de alimentación (7'), la cual está en conexión y supe de energía a todos los componentes del dispositivo.

5

2.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 1, donde en el nodo de monitorización foliar, el módulo de control (8) y cada receptor multiespectral (12) están conectados a través de conexiones tipo bus (11).

10

3.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 1, donde en el nodo de monitorización foliar, el microprocesador (9) y el módulo de comunicación inalámbrica (10) están integrados en el módulo de control (8).

15

4.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 1, donde en el nodo de monitorización foliar, la fuente de alimentación (7) está en conexión con los componentes del dispositivo a través de conexiones de tipo bus (11).

20

5.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 1, que se caracteriza por que el nodo de monitorización foliar comprende un soporte (4) que actúa como estructura física de los sensores multiespectrales (1, 2 y 3).

25

6.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 1, donde en el nodo de monitorización del grado de maduración del fruto, el microprocesador (9') y el módulo de comunicación inalámbrica (10') están integrados en el módulo de control

30

7.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 1, donde en el nodo de monitorización del grado de maduración del fruto, el módulo de control (8') y receptor multiespectral (12') y la fuente de iluminación calibrada (13) están conectados a través de conexiones de tipo bus (11').

35

8.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 1, que se caracteriza por que el nodo de monitorización del grado de

maduración del fruto comprende un soporte (4') donde se fijan el sensor de maduración (5) y el dispositivo de iluminación calibrada (6).

5 9.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 8, donde en el nodo de monitorización del grado de maduración del fruto, el sensor de maduración (5) y el dispositivo de iluminación calibrada (6) se fijan al soporte (4') mediante bisagras con medios de bloqueo de orientación hacia el fruto.

10 10.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 9, donde en el nodo de monitorización del grado de maduración del fruto, el sensor de maduración (5) y el dispositivo de iluminación calibrada (6) se enfocan con un ángulo de entre 40° y 50° entre los dos.

15 11.- Sistema para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 1, donde en el nodo de monitorización del grado de maduración del fruto, la fuente de alimentación (7') está en conexión con todos los componentes del dispositivo a través de una conexión de tipo bus (11').

20 12.- Procedimiento para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, que se lleva a cabo con un sistema según las reivindicaciones anteriores, que comprende:

(i) una monitorización de una planta que comprende

25 la detección de radiación reflejada por la vegetación (R_{veg}); la determinación de la radiación recibida por el dosel en el instante de la medición (R_{amb}); y la determinación la radiación transmitida (R_{trans}); detecciones captadas por unos sensores multiespectrales (1, 2 y 3) enfocados a una planta, donde cada uno de estos tres sensores capta una componente resultado de la interacción de la luz incidente con el dosel;

30 la determinación del espectro absorbido por la planta (R_{abs}) en un módulo de control (8) y la estimación de las variables de estrés hídrico o nutricional para esa planta a partir de herramientas informáticas comprendidas en el módulo de control (8); y

(ii) una monitorización del grado de maduración de un fruto de la anterior planta que comprende:

35 la detección de la reflectancia con luz ambiental R_{amb} y la reflectancia correspondiente a la luz ambiental combinada con la luz artificial R_{art} de un fruto; donde hay un

dispositivo de iluminación calibrada (6) y un sensor de maduración (5) orientados hacia el fruto, y donde el sensor detecta los anteriores valores;

la determinación de un espectro de reflectancia calibrado (R_{cal}) en un módulo de control (8) y la estimación de las características del fruto a partir de herramientas informáticas comprendidas en el módulo de control (8) que tienen en cuenta el espectro de la fuente de iluminación.

5

13.- Procedimiento para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 12, donde cada uno de tres sensores multiespectrales (1, 2 y 3) enfocados a una planta capta una componente resultado de la interacción de la luz incidente con el dosel definida por un espectro de 18 bandas de 20 nm de ancho entre los 410 y 940 nm.

10

14.- Procedimiento para la monitorización del estado fisiológico de cultivos y del desarrollo del fruto, según la reivindicación 12, donde el espectro de reflectancia calibrado (R_{cal}) definido por 18 bandas de 20 nm de ancho entre los 410 y 940 nm.

15

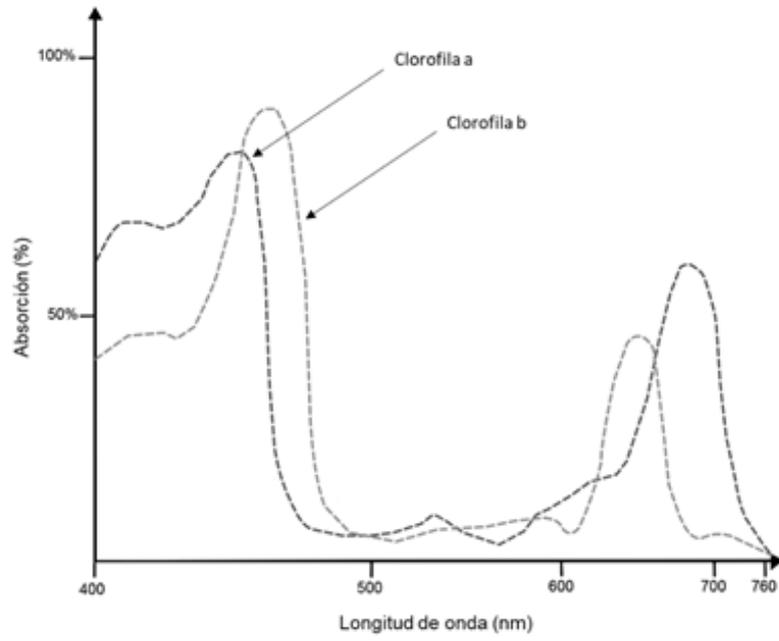


FIG.1

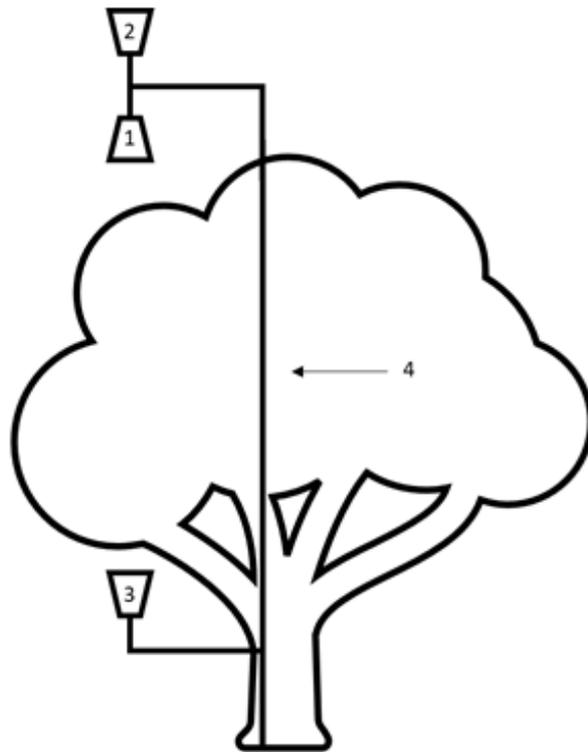


FIG.2

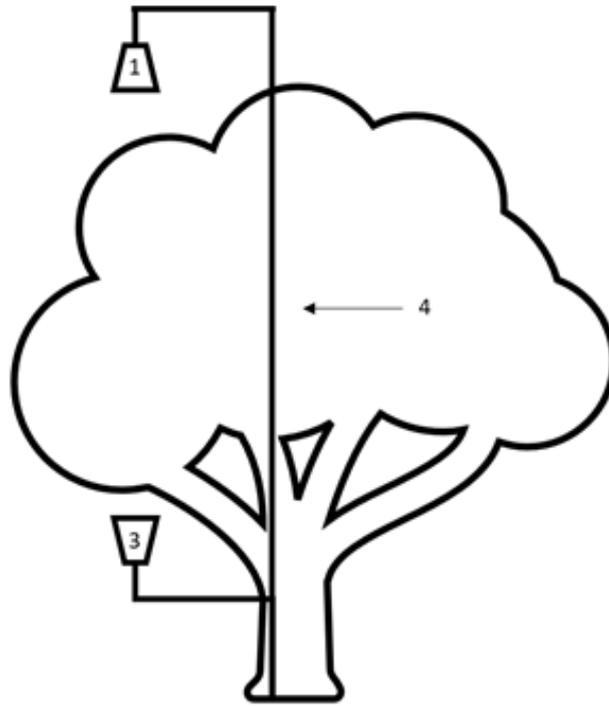


FIG. 3

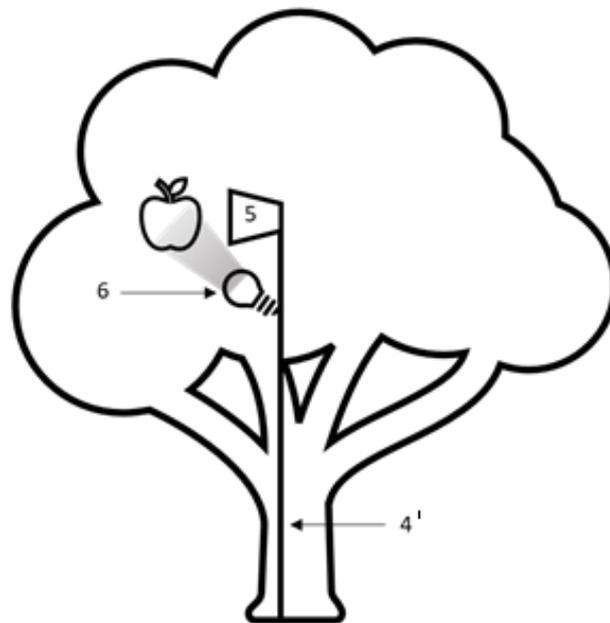


FIG. 4

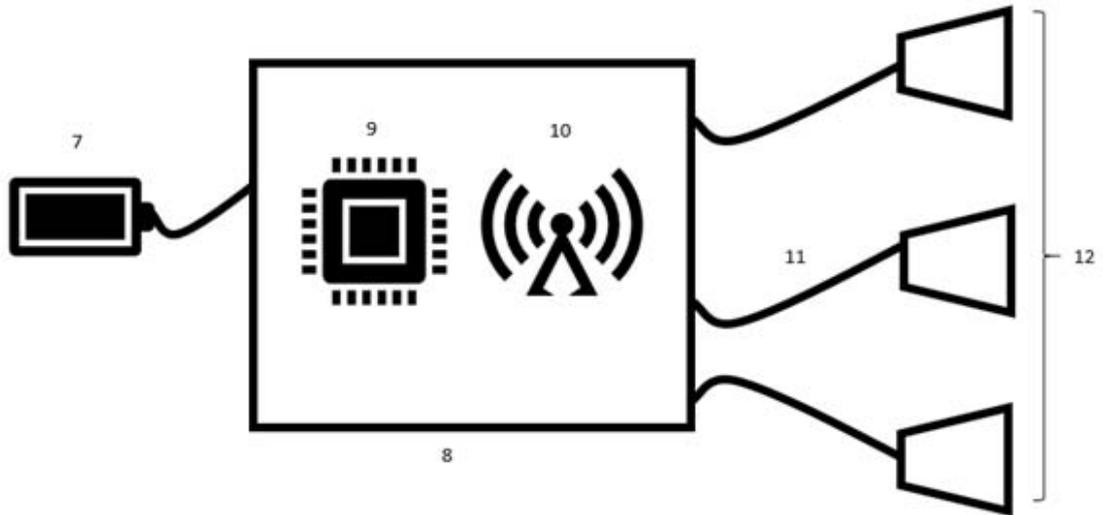


FIG.5

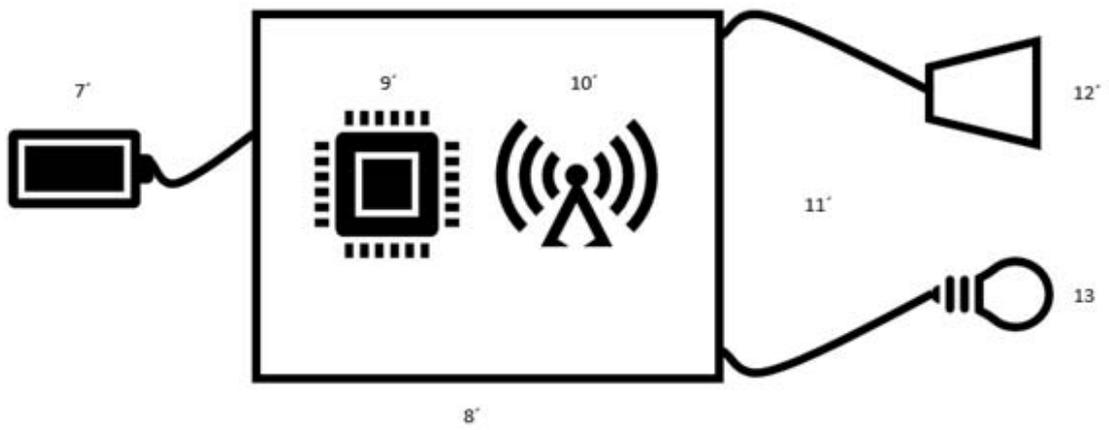


FIG.6



②① N.º solicitud: 202030591

②② Fecha de presentación de la solicitud: 18.06.2020

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 2015015697 A1 (REDDEN LEE KAMP et al.) 15/01/2015, párrafos [0024 - 0038]; párrafo [0042]; párrafos [0047 - 0055]; párrafos [0063 -0064]; párrafos [0067-0068]; párrafos [0073-0074]; párrafos [0079-0081]; párrafo [0083]; párrafos [0086-0092]; párrafo [0119]; párrafo [0123]; párrafo [0125]; figuras 1 – 6; figuras 8 - 10.	1-14
X	CN 101975755 A (UNIV SOUTHEAST) 16/02/2011, Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE [recuperado el 24-02-2021] descripción; figuras.	1-14
A	CN 106226253 A (DONGGUAN INST OF OPTO-ELECTRONICS PEKING UNIV) 14/12/2016, Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE [recuperado el 24-02-2021] descripción; figuras.	1,12
A	US 2014122044 A1 (YASUKAWA NOBUYUKI) 01/05/2014, Descripción; figuras.	1-14
A	US 2019340749 A1 (SCHWARTZER AVI et al.) 07/11/2019, Descripción; figuras.	1-14

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
24.02.2021

Examinadora
E. Pina Martínez

Página
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G01N33/483 (2006.01)

G01N21/31 (2006.01)

G16Y10/05 (2020.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01N, G16Y

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI