



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 264 360**

② Número de solicitud: 200402996

⑤ Int. Cl.:

**A01G 25/16** (2006.01)

**G01F 23/00** (2006.01)

**G01B 7/12** (2006.01)

**G01B 5/20** (2006.01)

**G01B 5/213** (2006.01)

**G01B 5/08** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

② Fecha de presentación: **16.12.2004**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **16.12.2006**

Fecha de la concesión: **30.10.2007**

④ Fecha de anuncio de la concesión: **16.11.2007**

④ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**16.11.2007**

⑦ Titular/es:  
**Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Serrano, 117  
28006 Madrid, ES**

⑦ Inventor/es: **Ros Torrecillas, Salvador;  
Egaña Arechavaleta, Aimar y  
Ros Muñoz, Margarita Matilde**

⑦ Agente: **No consta**

⑤ Título: **Sistema automático de medida del estrés hídrico de árboles basado en la monitorización de la variación diametral del tronco.**

⑤ Resumen:

Sistema automático de medida del estrés hídrico de árboles basado en la monitorización de la variación diametral del tronco.

La presente invención lo constituye un sensor electromecánico útil para valorar el estrés hídrico de plantas, preferentemente árboles, basado en la medición de la curvatura de un elemento metálico sensible que se sitúa en el tronco o en una rama de la planta que está constituido por i) una estructura perteneciente al siguiente grupo:

a) una estructura con una base formada por una pinza

b) una estructura formada por dos piezas de aluminio rectangulares con un corte semicircular y,

ii) y un microcontrolador donde la señal proveniente del puente es amplificada, filtrada y almacenada y que actúa como núcleo del sistema.

ES 2 264 360 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCIÓN

Sistema automático de medida del estrés hídrico de árboles basado en la monitorización de la variación diametral del tronco.

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere a un dispositivo electromecánico para monitorizar la variación diametral del tronco del árbol y determinar el exceso o falta de agua en su interior para su óptimo desarrollo. Como tal, es de aplicación en el sector industrial agrónomo.

10 **Estado de la técnica**

La phytomonitorización (monitorización de la “salud” de las plantas) se basa en el control continuo de diferentes factores de la planta: humedad del suelo, crecimiento del fruto, temperatura de las hojas, fotosíntesis y variación del flujo [AgriStoreOnline, <http://www.agrisupportonline.com/store/sensors.htm>]. Su finalidad es obtener un desarrollo máximo natural del fruto y derivado de esto un mayor rendimiento de la explotación.

Entre los diferentes factores de phytomonitorización, el que presenta un uso más extendido en el mercado es el control sobre la variación del flujo del agua del tronco. Para determinar el flujo de agua en su interior se emplean diferentes técnicas:

- *Potencial del agua de la hoja.*
- *Potencial del agua del tronco.*
- *Diferencia térmica.*
- *Oscilaciones del diámetro del tronco.*

Las dos primeras técnicas consisten en medir la presión del agua en la hoja de la planta. La hoja se introduce en una cámara de presión manteniendo el tallo fuera y se aumenta la presión hasta que se aprecia que el agua comienza a brotar por el tallo. En el caso concreto del *Potencial del agua del tronco* se emplea una bolsita de polietileno con la que se cubre la hoja pocas horas antes de realizar la lectura [D. A. Goldhamer, “Almonds: Monitoring Tree Water Status for Irrigation Management,” *Irrigation Journal*, Jul/Aug 1999]. Aunque los resultados de estas técnicas son buenos hay que destacar los inconvenientes: proceso manual y muy lento.

La *Diferencia térmica* consiste básicamente en un sistema que envuelve un tramo del tronco y genera un punto de calor en el mismo. Unos sensores de temperatura situados a igual distancia del punto de calor miden la diferencia de temperatura y de esta manera se obtiene el nivel de flujo de la planta [L. Wu, J. Oster, “*Instruments for Water and Plant Management*”, Department of Soil & Environmental Sciences, University of California]. El problema básico de esta técnica reside en la generación del punto de calor ya que el calentamiento requiere un consumo de energía elevado y la temperatura ambiente tiene una gran influencia en el mismo.

La técnica de *Oscilaciones del diámetro del tronco* se basa en el siguiente principio: Las plantas aumentan o disminuyen su volumen en función de la absorción o pérdida de agua en su ciclo natural [A. Naor, S. Cohen, “Sensitivity and Variability of Maximum Trunk Shrinkage, Midday Stem Water Potential, and Transpiration Rate in Response to Withholding Irrigation from Field-grow Apple Trees,” *HortScience*, vol. 38(4), July 2003] de manera que es posible hallar una relación entre la cantidad relativa de agua y de la variación del diámetro del tronco. Se ha demostrado que en determinadas condiciones la monitorización de este factor es suficiente para controlar su desarrollo aunque en climas muy cambiantes se han de introducir factores de corrección debido a que el clima afecta directamente a la variación del tronco [D.A. Goldhamer, E. Fereres, M. Salinas, “Can almond trees directly dictate their irrigation needs?,” *California Agriculture*, vol. 57, num. 4, pp. 138-144].

En la actualidad el sistema más empleado para controlar la variación del diámetro del tronco del árbol con precisión es un sistema basado en sensores LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) [D. A. Goldhamer, “Almonds: Monitoring Tree Water Status for Irrigation Management,” *Irrigation Journal*, Jul/Aug 1999]. Estos dispositivos electromecánicos ofrecen una gran precisión en cuanto a la variación de la medida pero presentan, fundamentalmente, dos aspectos no deseados: se trata de sistemas *invasivos* para la planta (fijación de los sistemas basados en LVDT a la superficie del tronco mediante tornillos) y tienen un *elevado* coste que hacen necesaria una gran inversión por parte del agricultor.

65

## Descripción de la invención

### Breve descripción de la invención

5 Un objeto de la presente invención lo constituye un sensor electromecánico útil para valorar el estrés hídrico de plantas, preferentemente árboles, basado en la medición de la curvatura de un elemento metálico sensible que se sitúa en el tronco o en una rama de la planta que está constituido por

10 i) una estructura perteneciente al siguiente grupo:

15 a) una estructura con una base formada por una pinza cruzada que permite su sujeción en la planta, sin que esto afecte al crecimiento natural del tronco y por una parte sensible constituida por una lámina de acero o aluminio flexible que reposa tangencialmente sobre dicha pinza formando un puente y en la que se han fijado dos galgas extensiométricas para acero y aluminio a cada lado y que se encuentra atornillada por uno de sus extremos a la parte rígida en forma de "L" de forma precisa mediante de ajuste micrométrico (Figura 1), o

20 b) una estructura formada por dos piezas de aluminio rectangulares con un corte semicircular en cada una de ellas de tal manera que "envuelven" el tronco o la rama del árbol, donde una de los cuales tiene un escaso grosor que permite apreciar la variación del tronco cuando se absorben los nutrientes empleándose un puente de galgas aunque únicamente dos son las encargadas de medir la variación (Figura 2), y,

25 ii) y un microcontrolador donde la señal proveniente del puente es amplificada, filtrada y almacenada y que actúa como núcleo del sistema.

30 Finalmente, otro objeto de la presente invención lo constituye el uso del sensor de la invención para la medida del estrés hídrico de plantas, preferentemente árboles, y por tanto para el control eficaz del crecimiento del mismo o para el control del riego de los mismos.

### 30 Descripción detallada de la invención

35 En la presente invención se detallan dos sensores basados en una misma tecnología que son capaces de medir con gran precisión la variación del tronco con un costo muy inferior a otros sistemas. Los sensores desarrollados controlan la dilatación del tronco de manera no invasiva mediante la medición de la curvatura de un elemento metálico que se sitúa en el tronco o en una rama de la planta. Estos sensores son útiles para la toma de decisiones por ejemplo de riego de árboles, de tal forma que conociendo los ciclos de desarrollo del árbol y la combinación de otros sistemas de control se puede determinar el punto de riego óptimo para un crecimiento máximo del árbol.

40 Las capacidades del sensor de la invención desarrollado son:

45 1.- Medición precisa de la variación del tronco: El sistema debe de ser capaz de apreciar las pequeñas variaciones ( $\mu\text{m}$ ) que puede tener el árbol en su tronco o en su rama para determinar su estado en cuanto a niveles de agua se refiere, y

50 2.- Almacenamiento y transmisión de la información: Los datos almacenados se pueden transferir de manera periódica a una unidad portátil (PALM) o estación informática (PC) que, por ejemplo, se encargue de controlar el sistema de regadío de tal manera que se pueda ajustar con mayor eficacia la cantidad de agua necesaria para los cultivos.

55 El sistema presenta claras ventajas respecto a otros sistemas. El empleo de múltiples dispositivos para grandes extensiones agrícolas puede suponer una inversión muy elevada para el agricultor por lo que con este sistema se reduce considerablemente dicho coste. Otra de las ventajas es que al tratarse de un sistema de abrazadera su colocación resulta sencilla y rápida. Además el sensor A no resulta invasivo y permite una sensorización del desarrollo natural del árbol. Por otro lado, la facilidad y el bajo coste de implantación de este sistema permite optimizar la plantación tanto en el aspecto de crecimiento del árbol como en el empleo de agua para el regadío.

60 Así, un objeto de la presente invención lo constituye un sensor electromecánico útil para valorar el estrés hídrico de plantas, preferentemente árboles, en adelante sensor de la presente invención, caracterizado porque se o basa en la medición de la curvatura de un elemento metálico sensible que se sitúa en el tronco o en una rama de la planta que está constituido por

i) una estructura perteneciente al siguiente grupo:

65 a) una estructura con una base formada por una pinza cruzada que permite su sujeción en la planta, sin que esto afecte al crecimiento natural del tronco y por una parte sensible constituida por una lámina de acero o aluminio flexible que reposa tangencialmente sobre dicha pinza formando un puente y en la que se han fijado cuatro galgas extensiométricas (dos por cada lado de la lámina flexible conectadas electrónicamente en puente). La lámina se encuentra atornillada por uno de sus extremos a una pieza móvil (husillo) de

## ES 2 264 360 B1

manera perpendicular al eje de desplazamiento de éste, el cual está controlado por un tornillo de precisión micrométrica que realiza el desplazamiento necesario para obtener la correcta presión de apoyo de la lámina (Figura 1), o

- 5 b) una estructura formada por dos piezas de aluminio rectangulares con un corte semicircular en cada una de ellas para “envolver” el tronco o la rama del árbol, donde uno de los lados es de un escaso grosor para apreciar la deformación que sufre dicha sección de la pieza derivado de la variación del tronco cuando se absorben los nutrientes. Para la detección del cambio del estado del tronco se emplean dos galgas extensiométricas aunque por motivos de compensación térmica se han empleado otras dos no sensibles a la dilatación troncal para formar un puente de galgas completo (Figura 2), y,

10 ii) y un microcontrolador donde la señal proveniente del puente es amplificada, filtrada y almacenada y que actúa como núcleo del sistema.

- 15 En el sensor de a) la lámina sensible se flexa o se curva hacia un lado u otro en función de la apertura o el cierre de la pinza que tiene lugar a medida que el diámetro del tronco aumenta o disminuye y dicha variación es captada por las galgas extensiométricas.

- 20 En el caso del sensor de b) la unión de las dos piezas se realiza mediante tornillos hasta que el ajuste resulta suficientemente robusto para su estabilidad. En este caso, debido a que la pieza envuelve las variaciones a lo largo del perímetro del tronco resulta más sensible para determinar la dilatación del árbol.

- 25 En ambos casos la señal proveniente del puente es amplificada, filtrada y almacenada en un microcontrolador que actúa como núcleo del sistema. Para realizar una lectura del estado del sensor se habilita su alimentación de manera automática volviéndose a deshabilitar para un ahorro máximo de batería.

- 30 Una vez finalizado un periodo de almacenamiento de datos o si en un momento dado es necesario analizar el desarrollo del árbol se puede descargar la información mediante comunicación serie RS-232 a otro dispositivo (PC, PALM, etc.) mediante el software desarrollado que permite ver gráficamente la evolución de la planta.

- 35 Finalmente, otro objeto de la presente invención lo constituye el uso del sensor de la invención para la medida del estrés hídrico de plantas, preferentemente árboles, y por tanto para el control eficaz del crecimiento del mismo o para el control del riego de los mismos.

### 35 Descripción de las figuras

Figura 1.- Sensor a.

40 Figura 2.- Sensor b.

Figura 3. Gráfico con las variaciones del diámetro del tronco de un manzano joven.

### Ejemplos de realización

#### 45 Ejemplo 1

*Elaboración del sensor electromecánico de la invención*

El sensor de la invención se elaboró de la siguiente forma:

- 50 a) una estructura con una base formada por una pinza cruzada que permite su sujeción en la planta, sin que esto afecte al crecimiento natural del tronco y por una parte sensible constituida por una lámina de acero o aluminio flexible que reposa tangencialmente sobre dicha pinza formando un puente y en la que se han fijado cuatro galgas extensiométricas (dos por cada lado de la lámina flexible conectadas electrónicamente en puente). La lámina se encuentra atornillada por uno de sus extremos a una pieza móvil (husillo) de manera perpendicular al eje de desplazamiento de éste, el cual está controlado por un tornillo de precisión micrométrica que realiza el desplazamiento necesario para obtener la correcta presión de apoyo de la lámina (Figura 1), y

- 60 b) una estructura formada por dos piezas de aluminio rectangulares con un corte semicircular en cada una de ellas para “envolver” el tronco o la rama del árbol, donde uno de los lados es de un escaso grosor para apreciar la deformación que sufre dicha sección de la pieza derivado de la variación del tronco cuando se absorben los nutrientes. Para la detección del cambio del estado del tronco se emplean dos galgas extensiométricas aunque por motivos de compensación térmica se han empleado otras dos no sensibles a la dilatación troncal para formar un puente de galgas completo (Figura 2).

- 65 En el sensor de a) la lámina sensible se flexa o se curva hacia un lado u otro en función de la apertura o el cierre de la pinza que tiene lugar a medida que el diámetro del tronco aumenta o disminuye y dicha variación es captada por las galvas extensiométricas.

## ES 2 264 360 B1

En el caso del sensor de b) la unión de las dos piezas se realiza mediante tornillos hasta que el ajuste resulta suficientemente robusto para su estabilidad. En este caso, debido a que la pieza envuelve las variaciones a lo largo del perímetro del tronco resulta más sensible para determinar la dilatación del árbol.

5 En ambos casos la señal proveniente del puente es amplificada, filtrada y almacenada en un microcontrolador que actúa como núcleo del sistema. Para realizar una lectura del estado del sensor se habilita su alimentación de manera automática volviéndose a deshabilitar para un ahorro máximo de batería.

10 Una vez finalizado un periodo de almacenamiento de datos o si en un momento dado es necesario analizar el desarrollo del árbol se puede descargar la información mediante comunicación serie RS-232 a otro dispositivo (PC, PALM, etc.) mediante el software desarrollado que permite ver gráficamente la evolución de la planta.

### Ejemplo 2

#### 15 *Monitorización del estrés hídrico de un árbol*

Para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo se han realizado varias pruebas y se ha estudiado el comportamiento para analizar la correlación de los resultados con el ciclo natural del manzano.

20 La prueba que se muestra a continuación se ha realizado al inicio del Otoño de 2004, en la que se ha regado la planta de forma clásica (manual) en todo momento para comprobar la relación entre el desarrollo del árbol en otoño y los resultados obtenidos. Además de ello se han comparado los resultados obtenidos con otros resultados publicados en revistas científicas con otro tipo de sensores (Figura 4).

25 En el ensayo que se muestra en este informe se puede apreciar que a partir de las 00:00 horas el árbol comienza a aumentar el diámetro troncal hasta prácticamente las 12:00 horas (Figura 3), fase en la que la planta absorbe agua de la tierra. Una vez llegados al mediodía comienza a reducir su volumen hasta llegar a la media noche repitiendo el mismo ciclo el día siguiente (fase de consumo de agua).

30 Si se comparan los resultados obtenidos con los aportados por otros estudios publicados (Figura 4) se puede apreciar que existe una clara correlación de los resultados por lo que se consideran válidos.

Como se puede comprobar, la variación positiva es siempre mayor que la negativa debido a que la planta realiza su desarrollo natural y su tronco crece paulatinamente.

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Sensor electromecánico útil para valorar el estrés hídrico de plantas **caracterizado** porque se basa en la medición de la curvatura de un elemento metálico sensible que se sitúa en el tronco o en una rama de la planta que está constituido por

i) una estructura perteneciente al siguiente grupo:

10 a) una estructura con una base formada por una pinza cruzada que permite su sujeción en la planta, sin que esto afecte al crecimiento natural del tronco y por una parte sensible constituida por una lámina de acero o aluminio flexible que reposa tangencialmente sobre dicha pinza formando un puente y en la que se han fijado cuatro galgas extensiométricas (dos por cada lado de la lámina flexible conectadas electrónicamente en puente). La lámina se encuentra atornillada por uno de sus extremos a una pieza móvil (husillo) de manera perpendicular al eje de desplazamiento de éste, el cual está controlado por un tornillo de precisión micrométrica que realiza el desplazamiento necesario para obtener la correcta presión de apoyo de la lámina (Figura 1), o

15 b) una estructura formada por dos piezas de aluminio rectangulares con un corte semicircular en cada una de ellas para “envolver” el tronco o la rama del árbol, donde uno de los lados es de un escaso grosor para apreciar la deformación que sufre dicha sección de la pieza derivado de la variación del tronco cuando se absorben los nutrientes. Para la detección del cambio del estado del tronco se emplean dos galgas extensiométricas aunque por motivos de compensación térmica se han empleado otras dos no sensibles a la dilatación troncal para formar un puente de galgas completo (Figura 2), y,

20 ii) y un microcontrolador donde la señal proveniente del puente es amplificada, filtrada y almacenada y que actúa como núcleo del sistema.

25 2. Uso del sensor según la reivindicación 1 para el control eficaz del crecimiento plantas o para el control del riego de las mismas.

30 3. Uso del sensor según la reivindicación 2 **caracterizado** porque la planta es un árbol.

35

40

45

50

55

60

65



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 264 360

② Nº de solicitud: 200402996

③ Fecha de presentación de la solicitud: **16.12.2004**

④ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ **Int. Cl.:** Ver hoja adicional

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 6009631 A (GENSLER et al.) 04.01.2000	1
A	DE 10112222 A1 (ARGUS ELECTRONIC GMBH MESTECHN) 19.09.2002	1
A	US 5884240 A (EDGAR et al.) 16.03.1999	1
A	EP 1553383 A1 (VERDTECH UN NUEVO CAMPO S A) 13.07.2005	1
A	FR 2726902 A1 (DAUPHANT PAUL) 15.05.1996	1

#### 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

29.11.2006

Examinador

Mª C. González Vasserot

Página

1/2

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

**A01G 25/16** (2006.01)

**G01F 23/00** (2006.01)

**G01B 7/12** (2006.01)

**G01B 5/20** (2006.01)

**G01B 5/213** (2006.01)

**G01B 5/08** (2006.01)