



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 208 091**

⑫ Número de solicitud: 200201739

⑮ Int. Cl.⁷: **G05D 1/02**
A01B 69/00
G06T 1/00
G08C 21/00

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **24.07.2002**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.06.2004**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
01.06.2004

⑰ Solicitante/s: **Universidad de Málaga**
Plaza de El Ejido s/n
29071 Málaga, ES

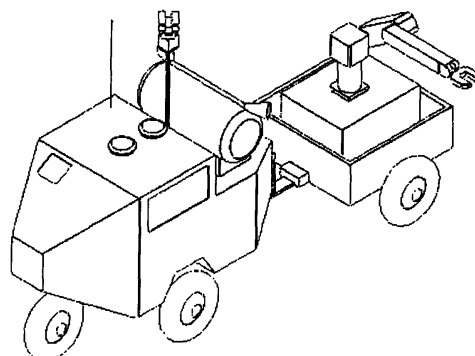
⑱ Inventor/es: **García Cerezo, Alfonso José;**
Ollero Baturone, Aníbal;
Simón Mata, Antonio;
Muñoz Martínez, Víctor Fernando;
Gómez de Gabriel, Jesús Manuel;
Martínez Rodríguez, Jorge Luis;
Mandow Andaluz, Anthony;
García Vacas, Francisco;
Fernández Lozano, Jesús y
Molina Mesa, Ricardo

⑳ Agente: **No consta**

㉑ Título: **Sistema robotizado para servicio en invernaderos.**

㉒ Resumen:

Sistema robotizado para servicio en invernaderos, caracterizado por una cabeza tractora autónoma, con capacidad sensorial y una estación para carga de pago, y un remolque también para carga de pago. El sistema puede portar diversos equipos necesarios para el trabajo en los invernaderos, como aparatos de fumigación, cámaras de inspección o brazos robot para recolección u otras tareas. El sistema puede moverse dentro del invernadero, bien autónomamente, gracias a un controlador y a sus sensores, entre los que puede contarse un sistema de posicionamiento global, bien según un plan establecido previamente, bien ser controlado remotamente por un operador humano con auxilio de cámaras de a bordo.



ES 2 208 091 A1

DESCRIPCIÓN

Sistema robotizado para servicio en invernaderos.

Sector de la técnica

La presente invención se encuadra en el campo de los sistemas inteligentes de automatización en agricultura y más concretamente en la horticultura.

Estado de la técnica

En los últimos años se ha experimentado un notable interés por los sistemas inteligentes de automatización en el ámbito de la agricultura y la horticultura. Por una parte, se dan unas condiciones de mercado que demandan una producción de alta calidad de forma rentable y sostenible. Por otra, los crecientes avances tecnológicos en campos como la informática, la robótica y los sensores han propiciado sistemas de automatización capaces de un alto grado de flexibilidad.

En este sentido, la investigación en sistemas robóticos se ha concentrado principalmente en tres aspectos:

1) Automatización de operaciones de vivero. Los robots manipuladores para la producción en viveros se han aplicado con éxito en Japón (Hashimoto et al., 2001) para operaciones de injertado y trasplante. Así, un robot para el injertado es capaz de producir un rendimiento diez veces mayor que el de un operador humano sobre distintas especies de cultivo en invernadero (Tomita y Wadake, 1998). Por otra parte, también se han comercializado manipuladores para el trasplante automático en semilleros según el crecimiento de las plántulas, para lo cual se incorporan distintos tipos de sensores (Yamada, 1999).

2) Cosecha y recolección. La cosecha y recolección ha recibido el interés de los investigadores desde los años 80, debido a su importancia y dificultad (Bourelly et al., 1990). En efecto, la recolección conlleva el desarrollo e integración de sistemas para la detección y caracterización de los frutos, para la manipulación de los mismos y para el transporte de productos y herramientas. En general, el problema de la recolección se ha concretado en el estudio de distintas técnicas de visión artificial y el diseño de manipuladores y efectores finales específicos, siempre orientados a tipos de cultivo muy concretos. Así, en la universidad de Okayama se ha experimentado con un sistema robótico que detecta los frutos a partir de curvas de reflectancia espectral obtenidas con una cámara CCD y sensores fotoeléctricos, y un manipulador con una mano especial para la recolección de tomates uno a uno (Kondo et al., 1992). Una aplicación similar es la propuesta por Buemi et al. (1995), pero en este caso se plantea un sistema de visión estereoscópica para guiar el manipulador. Por otra parte, Edan et al. (2000) utilizan imágenes en blanco y negro para la detección de melones y planificación de movimientos de un manipulador para la recolección. Otros autores han planteado prototipos tele-operados, como Takahashi et al. (2001), donde se persigue que el manipulador obtenga el fruto seleccionado por el usuario en una imagen con un efector final de tipo tijera. En España, investigadores del IVIA han trabajado en la localización de frutos mediante un sistema de visión para un robot de recolección de cítricos (Plá y Juste, 1994). El problema del reconocimiento de frutos también ha sido abordado en el CSIC (Jiménez et al., 1999).

3) Navegación autónoma de vehículos. La flexibilidad de los sistemas robóticos en el ámbito agrón-

mico requiere en muchos casos la movilidad de equipos y maquinaria. En este sentido, cabe distinguir entre la automatización de vehículos agrícolas pesados en cultivos de grandes extensiones y la navegación autónoma de vehículos ligeros para el apoyo en tareas de horticultura. En el primer caso, se ha acuñado el término "agricultura de precisión", en el que se aprovechan las tecnologías de obtención, almacenamiento y procesamiento de información georeferenciada sobre las diversas propiedades de los campos de cultivo para la localización y guiado de maquinaria, la monitorización del rendimiento y la dosificación de productos químicos. Así, existen patentes sobre un sistema de control de dirección, con módulo de posicionamiento, modelo paramétrico del campo y planificación de caminos (Staub y Motz, 2001; Motz y Staub, 2001), así como para la coordinación de varias de estas máquinas (Motz, 2001). Algunos autores han explorado las posibilidades del GPS diferencial y el GDS (Sensor de dirección geomagnética) para el guiado de tractores (Benson et al., 1998). Asimismo, investigadores de la universidad Carnegie Mellon han patentado un sistema de guiado para una segadora en la que se combina GPS y con un sistema de visión que permite establecer el camino en función del borde del cultivo segado (Pangels et al., 2002). El GPS también se utiliza como base de una patente para operaciones agrícolas tales como la plantación de semillas o la erradicación de hierbas (Keller et al., 2001). Por otra parte, los vehículos ligeros para jardinería y horticultura requieren un mayor grado de precisión. En este sentido, existe una patente para un vehículo robótico cuya localización se consigue a partir de lecturas odométricas y balizas emisoras de radiación electromagnética (Rocks, 1999). También se ha intentado el uso de balizas de colores en prototipos experimentales para invernaderos (Buemi et al., 1995). En lo que respecta a los vehículos ligeros, en (Ollero et al., 1994) se evaluaban los posibles beneficios de incorporar tecnología disponible en robótica móvil para la automatización ciertas operaciones de invernadero. El posterior desarrollo de un prototipo de robot móvil equipado con una mochila de fumigación adaptada permitió la experimentación en invernaderos (Ollero et al., 1995). Sobre este prototipo se experimentaron algoritmos de navegación autónoma con capacidades reactivas gracias a un sistema sensorial basado en sensores ultrasónicos (Madow et al., 1996). Asimismo, se desarrolló una arquitectura de control lo suficientemente flexible como para permitir la combinación de autonomía y teleoperación en robots móviles, la cual se implantó sobre el mismo prototipo (Gómez de Gabriel et al., 1996).

No obstante estos precedentes, hay todavía un vacío en cuanto a métodos y sistemas integrados (vehículo y actuadores) con la suficiente flexibilidad como para aplicarse en cultivos hortícolas (al aire libre e invernadero). Concretamente, las siguientes características son deseables: desplazarse autónoma o semi-autónomamente en entornos no modificados, ser multifuncional, y ser programables por personal no especializado en ingeniería.

Referencias

Belda, J.E., Lastres, J. (1999) "Reglamentos específicos de P.I. en cultivos hortícolas bajo abrigo" *Vida Rural*, N° 86. Mayo 1999.

Benson, E.R., Stombaugh, T.S., Noguchi, N., Will, J.D., Reid, J.F. (1998) "An evaluation of a geo-

magnetic direction sensor for vehicle guidance in precision agriculture applications". *ASAE Meeting Presentation*, Paper 983203.

Bjugstad, N., y Torgrimsen, T. (1994) "Operator Safety in Orchid Spraying". Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering. Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Bourelly, A., Rabatel, G., Grand d'Esnon, A., y Sevilla, F. (1990) "Fruit Harvest Robotization: 10 years of CEMAGREF Experience on Apple, Grape, and Orange". Proceedings of the AG-ENG 90 Conference, Berlin, VDI-AGR, Dusseldorf.

Brown, N.H., Wood, H.C., Wilson, J.N. (1990) "Image Analysis for Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance," *Optics in Agriculture*, Vol. 1379, pp. 54-68.

Buemi, F., Massa, M., Sandini, G. (1995) "AGROBOT: A Robotic System for Greenhouse Operation" IARP 4th International Workshop on Robotics in Agriculture and the Food Industry, Toulouse, pp. 172-184.

Dijkhuizen, A.A., Huirne, R.B.M., Harxhs, S.B., Gardner, R.W. (1997) "Economics of Robot Application" Computers and Electronics in Agriculture, 17, pp. 111-121.

Edan, Y., Rogozin, D., Flash, T., Miles, G.E. (2000) "Robotic Melon harvesting" *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 16, no. 6, pp. 831-834.

Gómez de Gabriel, J. M., Martínez, J. L., Ollero, A., Mandow, A., Muñoz, V. F. (1996) "Autonomous and Teleoperated Control of the AURORA Mobile Robot" *Proceedings of the 13th World Congress of IFAC*, San Francisco, pp. 181-186.

Grattoni, P., Cumani, A., Guiducci, A., Pettiti, G. (1993) "Automatic Harvesting of Asparagus: An Application of Robot Vision to Agriculture". Proceedings of the SPIE Conf. Mobile Robots VIII, pp. 200-210, Boston.

Hashimoto, Y., Murase, H., Morimoto, T., y Torii, T. (2001) "Intelligent Systems for Agriculture in Japan" *IEEE Control Systems Magazine*, October 2001, pp. 71-85.

Jiménez, A.R., Jain, A.K., Ceres, R., Pons, J.L. (1999) "Automatic Fruit Recognition: A Survey and New Results Using Range/Attenuation Images" *Pattern Recognition*, 32, pp. 1719-1736.

Keller, R.J., Nichols, M.E., Lange, A.F. (2001) "Methods and apparatus for precision agriculture operations utilizing real time kinematic global positioning system systems" US Patent 6,199,000; March 6, 2001.

Kondo, N., Shibano, Y., Mohri, K., Fujiura, T., Monta, M. (1992) "Request to Cultivation Method from Tomato Harvesting Robot" *ISHS Acta Horticulturae*, 319, pp. 567-572.

Mandow, A., Gómez de Gabriel, J. M., Martínez, J. L., Muñoz, V. F., Ollero, A., García-Cerezo, A. (1996) "The Autonomous Mobile Robot Aurora for Greenhouse Operation". *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 3, no. 4, Diciembre 1996.

Marchant, J.A., Hague, T., Tillet, N.D. (1997) "Row-Following Accuracy of an Autonomous vision-guided Agricultural Vehicle", *Computers and Electronics in Agriculture*, V. 16, N. 2, pp. 165-175.

Motz, D.S. (2001) "Apparatus and method for monitoring and coordinating the harvesting and transport operations of an agricultural crop by multiple

machines on a field" US patent 6,216,071; April 10, 2001.

Motz, D.S., Staub, M.D. (2001) "System and method for planning the operations of an agricultural machine in a field". US Patent 6,236,924; May 22, 2001.

Ollero, A., García-Cerezo, A., Mandow, A., Simón, A. (1994) "Autonomous Mobile Robot for Greenhouse Operations" Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering. F. Juste, Ed., pp. 447-455. Publicado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, España.

Ollero, A., J. L. Martínez, A. Simón, J. Gómez de Gabriel, V. F. Muñoz, A. Mandow, A. García-Cerezo, F. García, M. A. Martínez. (1995) "The autonomous robot for spraying: AURORA." 4th Workshop on Robotics in Agriculture and the Food Industry IARP'95, Toulouse, France, 1995.

Pangels, H., Pilarski, T., Fitzpatrick, K., Happold, M., Ollis, M., Whittaker, W., Stentz, A. (2002) "Agricultural Harvester with robotic control". US Patent 6,336,051; January 1, 2002.

Plá, F., Juste, F. (1994) "Fruit Location using Colour Images for Citrus Robotic Harvesting" Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering, Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, pp. 373-381.

Rocks, J.K. (1999) "System and method for performing mobile robotic work operations" US Patent 5,974,348; October 26, 1999.

Staub, M.D., Motz, D.S. (2001) "Autoguidance system and method for an agricultural machine" US Patent 6,236,916; May 22, 2001.

Takahasi, Y., Ogawwa, J., Saeki, K. (2001) "Automatic Tomato Picking Robot System with Human Interface using Image Processing", Proc. of the IECON'01: 7th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 433-438.

Tomita, T., Wadake, H. (1998) "Grafting Robot for Vegetable Seedling" *J. Soc. Instrum. Contr. Eng.*, vol. 37, n. 2, pp. 99-100.

Witter, S.H., Castilla, N. (1995) "Protected Cultivation of Horticultural Crops Worldwide". *Hort. Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 6-23.

Yamada, H. (1999) "Development of Transplanting Robot" *J. Robot. Mechatronics*, vol. 11, n. 3, pp. 227-230.

Explicación de la invención

La presente invención consiste en un sistema robotizado para servicio en invernaderos, constituido por una cabeza tractora con capacidad sensorial y un controlador, a la que se puede acoplar opcionalmente un remolque. Tanto la cabeza tractora como el remolque pueden llevar carga de pago, que puede consistir en fumigadores, manipuladores, sistemas de inspección o cualquier equipo que pueda considerarse necesario para el trabajo en un invernadero. El remolque, además, está dotado de sensores que permiten al sistema conocer su posición relativa respecto a la cabeza tractora.

La cabeza tractora dispone de sensores internos que le permiten conocer su posición respecto a una posición inicial del sistema. Este cálculo de la posición puede corregirse mediante un sistema basado en GPS e instalado a bordo de la cabeza tractora. Además, ésta dispone de sensores de ultrasonidos que le permiten, en conjunción con un método de control,

cumplir tareas que requieran moverse a través del invernadero.

El método de control permite que el usuario interactúe con el sistema mediante instrucciones de complejidad variable, y también incluye la posibilidad de que el usuario controle el sistema mediante una estación de trabajo remota, en la que además puede recibir una imagen tridimensional en tiempo real del entorno de trabajo del sistema, obtenida mediante un sistema de cámaras montado a bordo de la cabeza tractora y un tratamiento de las señales de vídeo.

Con estas características técnicas las principales ventajas que se obtienen son la posibilidad de desplazamiento autónomo o semiautónomo del sistema en entornos no modificados, como son los invernaderos; la posibilidad de realizar funciones muy diversas relacionadas con las tareas agrícolas (en virtud de los diferentes equipos que pueden portarse como carga de pago), y la posibilidad de ser programado y controlado por un operador de forma relativamente fácil. En suma, la presente invención constituye una plataforma polivalente para el trabajo en invernaderos.

Explicación de los dibujos

Figura 1: esquema general del sistema robotizado para servicio en invernaderos, en el que puede apreciarse la cabeza tractora a la izquierda, con las antenas del sistema GPS, la antena de látigo del sistema de radiofrecuencia, el sistema de cámaras montado en un mástil, y un equipo de fumigación montado en la zona para carga de pago. A la derecha puede apreciarse el remolque que monta un manipulador robot.

Figura 2: esquema general de la cabeza tractora, en el que se muestra el conjunto de sensores de ultrasonidos (a), las antenas (b) del sistema GPS, la antena de látigo (c) del enlace por radiofrecuencia, el sistema de cámaras de vídeo (d) montado en un mástil, los controladores (e) de los motores de la cabeza tractora, y una estación (f) para carga de pago.

Figura 3: esquema de distribución interna de la realización preferida de la cabeza tractora del sistema, en el que se muestra el controlador principal (g), los receptores (h) de GPS y el tanque de combustible (i) para el generador eléctrico (j). La rueda delantera (k) y la trasera (l) son ruedas directrices, actuadas mediante un motor (m) dedicado a esta tarea. Para transmitir el movimiento a ambas ruedas se hace uso de un eje de transmisión (n). Las ruedas laterales (o) (en la figura sólo se muestra la rueda izquierda, pues es una vista de perfil) son actuadas mediante los motores (p), que en la realización preferida de la invención son motores de corriente alterna.

Figura 4: esquema del movimiento de la cabeza tractora para un intervalo de tiempo pequeño, en el que puede suponerse que recorre el arco de una circunferencia. Se muestra el ángulo de direccionamiento α de las ruedas directrices con el eje de la cabeza tractora, el cambio en la orientación $\Delta\phi$ como consecuencia de haberse desplazado la cabeza una longitud de arco Δs con un radio de curvatura r .

Figura 5: signo de la curvatura a según el sentido de giro del sistema robotizado para servicio en invernaderos. La curvatura será positiva ($\alpha > 0$) para un giro a la derecha, y negativa ($\alpha < 0$) para un giro a la izquierda.

Figura 6: esquema de distribución de los sensores de ultrasonidos en la cabeza tractora. En la Figura 6 (a) se muestra una vista en planta, en la que pueden verse los sensores analógicos de medio alcance

(q), los sensores digitales de medio alcance (r) y los sensores digitales de corto alcance (s). Estos mismos sensores pueden verse en la Figura 6 (b), que muestra una vista de perfil de la parte delantera de la cabeza tractora.

Figura 7: estimación de la distancia recorrida por el sistema como una línea recta para un intervalo de tiempo pequeño. En este caso, la variación en las coordenadas globales del sistema consiste en unos incrementos Δx y Δy , relacionados con el cambio en la orientación $\Delta\phi$ y el espacio recorrido Δs .

Figura 8: método de control del sistema robotizado para servicio en invernaderos, en el que se distinguen cuatro niveles diferentes en función del tipo de interacción que puede tener el usuario con el sistema. El nivel de interfaz de usuario local permite la realización de las tareas de más alto nivel, como arrancar, parar, mantenimiento, etc. El nivel siguiente o nivel supervisor permite la elaboración de una tarea como un conjunto de procesos, que a su vez constituyen el nivel siguiente. Estos procesos implican una condición de activación, una condición de desactivación y una acción a realizar entre ambas. La interfaz entre esta acción y los sensores y actuadores del sistema es proporcionada por el último nivel. En una estación de trabajo remota se reproducen los tres niveles superiores, lo que permite a un operador remoto interactuar con el sistema a los mismos niveles que otro usuario que se encuentre junto al sistema. En el caso del nivel de procesos, un proceso especial de teleoperación permite el trabajo desde un punto remoto.

Figura 9: diagrama de bloques del sistema de visualización estereoscópica en tiempo real, compuesto por un módulo de a bordo y un módulo remoto. El primero está compuesto por un sistema de cámaras de vídeo sincronizadas, un circuito de mezcla que obtiene una sola señal de vídeo compuesta por los campos pares de una cámara y los impares de otra y un sistema de transmisión de la señal de vídeo mezclada mediante radiofrecuencia. El módulo remoto recibe la señal mezclada mediante un receptor de radiofrecuencia, y un circuito electrónico de diseño específico extrae la señal de sincronismo de esta imagen de vídeo mezclada. Otro circuito electrónico adapta la señal de sincronismo de modo que pueda controlar el oscurecimiento alternativo de los cristales de unas gafas LCD, que permiten que el usuario, el utilizarlas para mirar la imagen de vídeo mezclada mostrada en un monitor convencional, vea con su ojo izquierdo la imagen procedente de la cámara izquierda, y con su ojo derecho la de la cámara derecha, resultando en la percepción de volúmenes en la escena captada por las cámaras.

Descripción detallada de la invención

El sistema robotizado para servicio en invernaderos está constituido esencialmente por:

- una cabeza tractora autónoma, con capacidad sensorial y una estación para carga de pago,
- un remolque opcional, capaz de llevar carga de pago y dotado de sensores que permiten al sistema conocer su posición de giro respecto a la cabeza tractora, y
- una estación de trabajo remota que permite al usuario controlar el sistema a distancia.

El sistema puede portar, bien en la cabeza tractora bien en el remolque, diversos equipos necesarios para el trabajo en los invernaderos, como por ejemplo,

aunque no limitado a ello, aparatos de fumigación, cámaras de inspección o brazos robot para recolección u otras tareas (Figura 1). El sistema puede moverse autónomamente dentro del invernadero, gracias a un controlador y a un conjunto de sensores, o bien ser controlado remotamente por un operador humano con auxilio de cámaras de a bordo y una estación de teleoperación. Asimismo, también puede moverse de acuerdo con un plan establecido previamente.

A continuación, como un modo de realización de la invención, se describen detalladamente los componentes del sistema.

El sistema mecánico de la cabeza tractora se basa en una plataforma móvil de forma octogonal. Para proveer de energía al sistema de locomoción así como al controlador y a los demás equipos que lo precisen, dispone de un sistema de alimentación, que en la realización preferida del sistema consiste en un generador de corriente alterna de potencia suficiente. Otras opciones son un sistema mediante baterías o un sistema híbrido, compuesto por un generador eléctrico y un banco de baterías, de manera que la cabeza tractora pueda funcionar mediante el generador o mediante las baterías, esto último en caso de que se precise reducir las emisiones de gases o de ruidos. Asimismo, la cabeza tractora dispone de medios para recibir alimentación eléctrica a través de un cable de alimentación conectado a la red convencional de 220 V, de manera que pueda funcionar plenamente o en parte, o cargar las baterías si se encuentran presentes en la realización del sistema.

En la Figura 2 se encuentra un esquema general de la cabeza tractora, en el que se aprecia la ubicación de sus principales componentes externos. En la parte frontal de la cabeza se encuentra un conjunto de sensores de ultrasonidos (a), que le permiten al sistema localizar los pasillos del invernadero por los que debe circular, y mantener una distancia respecto a las plantas que constituyen las paredes del pasillo. Asimismo, estos sensores permiten detectar cualquier obstáculo que se interponga en su camino. Sobre la cabeza se encuentran las antenas (b) del sistema de posicionamiento global (GPS), que le permiten seguir un camino establecido según un plan previo. Junto a ellas se dispone la antena (c) del sistema de radiofrecuencia que permite enlazar el sistema con una estación de operación, en la que un humano controla el sistema. En un mástil se sitúa el sistema de cámaras de vídeo (d), que puede estar dotado de medios para orientar dichas cámaras a petición de un operador humano o del sistema, por ejemplo en función del radio de giro del sistema de modo que se pueda inspeccionar visualmente el terreno por el que va a pasar a continuación el sistema robotizado. En un costado se encuentran los controladores (e) de los motores que permiten el movimiento de la cabeza. En la realización preferida del sistema, en la que los motores de tracción son motores eléctricos de corriente alterna, estos controladores toman la forma de variadores de frecuencia, pero en otras realizaciones de la invención pueden ser otro tipo de controladores, adaptados a la naturaleza de los motores de tracción presentes en la realización de la invención. En la parte trasera de la cabeza hay una estación (f) que permite la colocación de carga de pago, como por ejemplo, pero no limitado a ello, equipos de fumigación, cámaras, o brazos manipuladores.

En la Figura 3 pueden verse algunos de los compo-

nentes internos de la cabeza tractora. En la parte superior se encuentra el controlador principal (g), que puede consistir en un computador tipo PC o una unidad de diseño específico, siempre que esté adaptado al trabajo en las condiciones ambientales propias de la aplicación, es decir, calor, humedad, polvo y vibraciones. Junto al controlador están dispuestos los receptores GPS (h) asociados a las antenas mostradas en la Figura 2. Asimismo, en esta zona se encuentra el sistema electrónico asociado a las cámaras de vídeo, y sistema de comunicación mediante radiofrecuencia. En la realización preferida de la invención, la zona central de la cabeza está ocupada por el tanque de combustible (i) para el generador eléctrico. En el caso de que el sistema de tracción sea de tipo híbrido, se dispone un banco de baterías a proa de dicho depósito. Si el sistema de alimentación es únicamente eléctrico, el banco de baterías es mayor y también ocupa el espacio del tanque de combustible. A popa de dicho tanque se encuentra el generador eléctrico (j) de corriente alterna (en la realización preferida de la invención). Las ruedas delantera (k) y trasera (l) de la cabeza son ruedas directrices, actuadas mediante un motor (m) dedicado exclusivamente a esa misión. Para que el ángulo de giro sea coherente en ambas ruedas, éstas se encuentran obligadas por un eje (n) que garantiza por medios mecánicos que esta condición se cumpla. Las ruedas laterales (o) (en la Figura sólo se muestra la de babor) son las ruedas motrices, que en la realización preferida de la invención se mueven gracias a motores de corriente alterna (p), si bien es disponer otros tipos de actuadores más apropiados asociados a otros medios de alimentación ya mencionados. Por ejemplo, en el caso de un sistema de alimentación exclusivamente mediante baterías, los motores de fracción pueden ser de corriente continua.

El sistema de locomoción consiste en cuatro ruedas localizadas en los vértices de un rombo con la diagonal principal en el eje longitudinal, lo cual proporciona un alto grado de maniobrabilidad (radio de giro cero con velocidad nula). Esta capacidad de maniobra es de especial importancia para el trabajo en los invernaderos, donde el espacio es reducido.

Las ruedas delantera y trasera son para la dirección, mientras que las dos ruedas centrales paralelas se dedican a la fracción. Con dicha configuración, el control del movimiento se consigue aplicando un direccionamiento diferencial sobre las ruedas derecha e izquierda de fracción, y el ángulo de giro correspondiente a las ruedas de dirección.

Todas las ruedas del vehículo son neumáticos de caucho de un diámetro suficiente para superar los obstáculos habituales en el entorno de trabajo. A tal fin, cada una de las ruedas cuenta con suspensión independiente.

Las dos ruedas directrices, situadas por delante y por detrás del vehículo, se encuentran sincronizadas mediante un eje rígido, y se orientan en la realización preferida de la invención mediante un motor de corriente alterna trifásica. Otros dos motores de corriente alterna trifásica están dedicados a la propulsión de cada una de las ruedas de tracción, que disponen de un engranaje de reducción para aumentar el par.

Cada uno de los motores de la cabeza tractora está gobernado por un controlador, por ejemplo en la realización preferida de la invención este controlador toma la forma de un variador digital de frecuencia,

que controla la velocidad de rotación según una determinada tensión de mando. Ninguno de los motores dispone de freno, ya que la velocidad no es muy alta y la superficie de trabajo no tiene grandes pendientes.

La cabeza tractora tiene el punto de referencia o punto guía en el punto medio de la recta que une los puntos de apoyo sobre el suelo de las ruedas de tracción.

Para intervalos de tiempo pequeños, la cabeza tractora se puede suponer que recorre el arco de una circunferencia, de radio infinito si se mueve en línea recta (ver Figura 4).

Se denomina ángulo de direccionamiento α al ángulo que forma el eje longitudinal del vehículo con la rueda delantera. Este ángulo puede tomar valores en el intervalo $(-\pi/2, \pi/2)$. La tangente del ángulo de direccionamiento α se calcula de la siguiente forma:

$$\tan(\alpha) = \frac{\zeta}{r} \quad (1)$$

donde r representa el radio del arco de circunferencia que describe el punto guía y ζ la semidistancia entre ruedas directrices. Como α puede tomar valores negativos y ζ se define como una distancia positiva, r se debe considerar con signo negativo cuando el ángulo de direccionamiento α sea negativo.

La longitud del arco de circunferencia recorrido por la cabeza tractora Δs , en el intervalo de tiempo Δt , es igual a la variación de la orientación de la cabeza $\Delta\phi$ por el radio de giro del centro de referencia de la cabeza r (ver Figura 4):

$$\Delta s = \Delta\phi r \quad (2)$$

La velocidad del centro de referencia de la cabeza tractora, que coincide con la media de la velocidad de las ruedas motrices, se calcula como:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{r\Delta\phi}{\Delta t} \quad (3)$$

La curvatura γ se define como la inversa del radio de giro con signo:

$$\gamma = \frac{1}{r} \quad (4)$$

Si se aplica 2 a 4 entonces resulta que la curvatura y equivale a la variación de la orientación de la cabeza tractora $\Delta\phi$ respecto a la distancia que recorre Δs :

$$\gamma = \frac{\Delta\phi}{\Delta s} \quad (5)$$

La velocidad angular del centro de referencia de la cabeza tractora w equivale a la variación de la orientación de la cabeza respecto del tiempo:

$$w = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\Delta\phi}{\Delta s} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \gamma v \quad (6)$$

La curvatura proporciona una medida de cómo la cabeza tractora modifica su orientación, es decir, de cómo se separa del comportamiento rectilíneo. De acuerdo con la definición de curvatura (ver ecuación 4), si el vehículo gira hacia la derecha tendrá una curvatura con signo positivo ($\alpha > 0$), mientras que si gira hacia la izquierda, la curvatura poseerá signo negativo

($\alpha < 0$) (ver Figura 5).

En el sistema robotizado para servicio en invernaderos se distinguen dos grupos de sensores: internos y externos. Los internos permiten realizar el control de bajo nivel del conjunto cabeza tractora más remolque (si éste está presente), así como obtener su estado. Los externos tienen como objetivo percibir el entorno de trabajo del sistema. El estado de los controladores de los motores así como la coherencia de las lecturas del sistema sensorial se comprueban continuamente para detener el sistema inmediatamente en caso de fallo.

Cada uno de los motores de tracción dispone de un sensor angular (preferentemente un codificador óptico incremental) que proporciona el número de cuentas según el eje interno de los motores. Esta información se utiliza para estimar la distancia recorrida por el vehículo y para realizar el control del motor. De igual forma, el motor de dirección dispone de un sensor angular, que en la realización preferida de la invención consiste en un codificador angular incremental. La información suministrada por éste permite el control del motor de dirección.

La posición del remolque, si éste se encuentra presente, respecto a la cabeza tractora, es obtenida mediante un sensor lineal, de manera que, conocida la posición de éste en el sistema, es posible calcular el ángulo que forman el remolque y la cabeza tractora.

Para la navegación, el sistema robotizado para servicio en invernaderos equipado con diez transductores ultrasónicos que se ubican en la mitad frontal de la cabeza tractora (Figura 6, donde (a) es una vista en planta de la proa de la cabeza tractora, y (b) es una vista de perfil).

En el conjunto se distinguen tres tipos de sónares:

- 1) Sónares analógicos de medio alcance (q). Devuelven un valor en función de la distancia a los objetivos detectados, hasta un alcance de aproximadamente 1 m.
- 2) Sónares digitales de medio alcance (r). Sensores de presencia, que proporcionan un valor binario. Se activan si detectan un objeto en el rango de 0,2 m a 1 m.
- 3) Sónares digitales de corto alcance (s). Sensores binarios de presencia, con un margen de maniobra entre 6 y 20 cm.

También dispone de un sistema DGPS formado por un receptor GPS y una base virtual de correcciones. El equipo GPS proporciona una estimación de la posición del sistema, que corrige con el concurso de la base virtual de correcciones, que las obtiene de una estación base que corrige el error atmosférico presente en la zona donde se sitúa el sistema robotizado de para servicio en invernaderos. La antena del sistema de posicionamiento global se encuentra sobre la cabeza tractora, en su mitad delantera.

La estimación más simple de la posición del sistema robotizado para servicio en invernaderos se lleva a cabo mediante sistemas odométricos, gracias a los sensores internos que miden el giro de las ruedas a intervalos regulares de tiempo. Sin embargo, esta estimación empeora según aumenta la distancia recorrida, y puede ser necesaria la corrección de la posición por sensores externos. En este caso, puede emplearse el sistema DGPS anteriormente descrito.

La distancia recorrida por cada una de las ruedas

de tracción se obtiene como:

$$\Delta s_i = \frac{\Delta c_{mi}}{CM_i} \quad (7)$$

$$\Delta s_d = \frac{\Delta c_{md}}{CM_D} \quad (8)$$

lo cual convierte el incremento del número de cuentas del codificador angular de los motores izquierdo y derecho (c_{mi} y c_{md}) a metros, utilizando las constantes CM_i y CM_D que son función de la reducción aplicada y de la resolución de los codificadores.

La distancia recorrida por el vehículo Δs es la media de los valores calculados en las ecuaciones 7 y 8:

$$\Delta s = \frac{(\Delta s_i + \Delta s_d)}{2} \quad (9)$$

Con este valor se pueden actualizar la estimación de la velocidad:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (10)$$

donde Δt es el periodo de muestro del sistema robotizado para servicio en invernaderos.

La curvatura γ se estima a partir de las cuentas del motor de dirección, teniendo en cuenta que el codificador está al revés, lo que obliga a una multiplicación por (-1):

$$\gamma = \tan\left(\frac{-c_d C_R}{\zeta}\right) \quad (11)$$

donde c_d es el valor de cuentas del codificador angular de dirección, y C_R un factor para la conversión de número de cuentas a radianes que depende de la resolución del codificador.

La variación de la orientación del sistema se obtiene como:

$$\Delta \phi = \Delta s \gamma \quad (12)$$

Cuando los cálculos se realizan a intervalos cortos de tiempo Δt , la distancia recorrida Δs se puede aproximar por una línea recta (ver Figura 7); con lo que la variación de las coordenadas globales de la posición en el eje X_g (Δx) y en el eje Y_g (Δy) se reducen a:

$$\Delta x = \sin(\phi) \Delta s \quad (13)$$

$$\Delta y = \cos(\phi) \Delta s \quad (14)$$

El método de control del sistema para servicio en invernaderos se organiza en cuatro niveles (Figura 8):

1) Nivel de interfaz de usuario. Permite al operador humano realizar las operaciones de más alto nivel, como el arranque, apagado, transporte, mantenimiento, etc. Está compuesto por unos medios de entrada de órdenes, como por ejemplo un teclado, bien adosado a la cabeza tractora, bien comunicado por ella a través de un enlace mediante radiofrecuencia u otros medios, y unos medios de presentación de la información, que igualmente pueden estar fijados a la cabeza tractora o ser independientes de ella, en cuyo caso mantienen una comunicación con ésta mediante una conexión con cable o inalámbrica.

2) Nivel supervisor. Este nivel elabora, en fun-

ción de la información que procede del nivel superior, una tarea compuesta de diversos procesos. Por ejemplo, una tarea de fumigación de un determinado invernadero puede comprender diversos tramos de seguimiento de pasillos y giro al final de los mismos, así como el control simultáneo del equipo de fumigación. El usuario define la tarea y este nivel la traduce a una secuencia de procesos (algunos de los cuales pueden ser concurrentes entre sí). Esta secuencia de procesos se comunica al nivel inferior, que a su vez comunica al nivel supervisor información acerca del estado de ejecución de los diferentes procesos.

3) Nivel de procesos. En este nivel se encuentran los diversos procesos elementales que puede emplear el nivel superior para construir una tarea. Cada proceso viene determinado por unas condiciones de activación y unas condiciones de desactivación. Por ejemplo, un proceso de seguimiento de una pared puede tener como condición de activación que las paredes se encuentren a menos de una cierta distancia, conocida a través de los sensores de ultrasonidos, y como condición de desactivación que esa distancia sea mayor que el umbral, y que el sistema ha recorrido una determinada distancia que permitirá al sistema torcer en la esquina que constituye el final de la pared. El usuario puede construir, si es necesario, nuevos procesos básicos que faciliten el trabajo de los niveles superiores. Cada proceso contiene, además una serie de acciones que se realizan entre la activación y la desactivación del mismo. Así por ejemplo, en el caso del proceso de seguimiento de pared, la acción sería "avanzar en línea recta".

4) Nivel de control del sistema. Cada proceso del nivel anterior implica una acción que debe realizar el sistema, y una información sensorial necesaria para llevarla a cabo. Para ello, este nivel provee una interfaz entre el nivel anterior y los sensores y actuadores del sistema.

En correspondencia con los tres niveles superiores del método de control, existe una estación de trabajo remota que reproduce estos tres niveles. De este modo, un usuario remoto puede interactuar con el sistema en estos tres niveles de control, siendo posible que, por ejemplo, especifique una tarea, diseñe un proceso, o simplemente supervise el funcionamiento del sistema. Físicamente, la estación de trabajo remota consiste en un computador, de tipo PC u otro, comunicado con el sistema mediante un enlace de radiofrecuencia. Esta estación provee de medios de entrada de órdenes (como teclados, palancas de control, volantes, u otros), y de presentación de la información. Entre éstos se encuentra un sistema de visualización estereoscópica en tiempo real (Figura 9). El sistema de visualización estereoscópica consiste en un módulo de a bordo y un módulo remoto anexo a la estación de trabajo remota. En el módulo de a bordo se recibe la imagen de dos cámaras de vídeo, sincronizadas de manera que las salidas de ambas presenten al mismo tiempo los campos par e impar. Un circuito electrónico de diseño específico construye una nueva imagen de vídeo a partir del campo par de una cámara y el impar de la otra. Esta nueva imagen de vídeo se envía mediante un enlace de radio frecuencia a la estación de trabajo remota, en la que un circuito electrónico de diseño específico extrae una señal que se activa con el campo par de la señal de vídeo y se desactiva con el impar, y modifica esta señal de modo que pueda controlar el oscurecimiento de un cristal u otro de unas

gafas LCD, de manera que, sincronizado este efecto con la presentación de la imagen de vídeo recibida en un monitor, el usuario de las gafas ve por su ojo derecho la imagen procedente de la cámara situada a la derecha en el sistema robotizado, y por su ojo izquierdo la imagen de la cámara izquierda. De esta manera, el usuario puede percibir tres dimensiones en la imagen de vídeo.

Aplicaciones

La agricultura en ambiente controlado ha ganado importancia al configurarse como el método más intensivo de producción de cultivos en la industria agrícola. Así, se estima que en el mundo existen 265.000 hectáreas dedicadas al uso de invernaderos de plástico (Witter y Castilla, 1995), de las cuales cerca de cien mil se concentran en la región mediterránea. Dentro de España, la principal concentración de invernaderos se da en la zona almeriense, donde la producción de frutas y hortalizas en invernadero, que ocupa ahora 11.500 hectáreas, ascenderá a 1,2 millones de toneladas -unos 418,3 millones de euros- y dará trabajo a unas 20.000 personas en el año 2002.

El crecimiento futuro de la agricultura en ambiente controlado depende en gran medida del desarrollo de sistemas de producción que sean competitivos en costos con aquellos de la agricultura a campo abierto. Para ello, la investigación y desarrollo debe tener en cuenta la especial problemática de este tipo de cultivos, tales como la alta incidencia de plagas y enfermedades, los residuos fitosanitarios, o los riesgos para la salud y seguridad de los productores. En este sentido, la importancia de la calidad de los productos alimentarios ha dado lugar a la creación de normas y reglamentos específicos para este tipo de cultivos, como la UNE 155 001.

La automatización de operaciones en invernaderos puede ser ventajosa en varios sentidos. En primer lugar puede sustituir al ser humano en operaciones, tales como la fumigación, que constituyen un riesgo demostrado para los trabajadores. En segundo lugar, la repetibilidad y precisión de los sistemas robóticos pueden ayudar a un incremento en la calidad y productividad de los invernaderos.

REIVINDICACIONES

1. Sistema robotizado para servicio en invernaderos, que comprende:

- a) una cabeza tractora dotada de sensores, medios de tracción y de control del sistema, y una estación para carga de pago,
- b) un remolque opcional, capaz de llevar carga de pago, y dotado de sensores que le permitan al sistema conocer su posición de giro respecto a la cabeza tractora, y
- c) una estación de trabajo remota que permite a un usuario controlar el sistema a distancia.

2. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicación 1), **caracterizado** porque la cabeza tractora está dotada de sensores de ultrasonidos.

3. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicación 1), **caracterizado** porque la cabeza tractora está dotada de una o varias cámaras y de medios para transmitir su imagen a distancia.

4. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicación 1), **caracterizado** porque la cabeza tractora está dotada de sensores que le permiten conocer el camino que ha recorrido y establecer su posición respecto a la posición inicial, y en el que el remolque, si está presente, está dotado de sensores que permiten que el sistema conozca la posición relativa de aquél respecto de la cabeza tractora.

5. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicación 4), **caracterizado** porque la posición del sistema se corrige mediante un sistema de posicionamiento global (GPS) constituido por un receptor GPS y una base virtual de correcciones.

6. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicación 1), **caracterizado** porque el método de control del sistema está organizado en cuatro niveles, de acuerdo con el tipo de interacción que puede tener el usuario con ellos:

- a) nivel de interfaz de usuario, en el que se pueden realizar las operaciones de más alto nivel, como arrancar, apagar, etc.,
- b) nivel supervisor, en el que se definen las tareas a completar por el sistema a partir de una serie de procesos básicos,
- c) nivel de procesos, formado por los procesos básicos que puede llevar a cabo el sistema, como seguir una pared, seguir un pasillo, admitir órdenes de la estación remota, etc., y en el que se pueden definir nuevos procesos a partir de unas condiciones de activación, que los inician, unas acciones a realizar por el sistema, y unas condiciones de desactivación que dan por finalizado el proceso, y
- d) nivel de control del sistema, en el que se lleva a cabo una interfaz entre las acciones descritas en los procesos del nivel anterior y los sensores

y actuadores del sistema.

7. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicaciones 1) y 6), **caracterizado** porque se dispone de una estación remota dotada de medios de entrada de órdenes y de medios de presentación de la información, y en la que se reproducen los tres niveles superiores del método de control del sistema robotizado, de manera que el usuario remoto pueda interactuar con el sistema robotizado a través de cualquiera de los tres niveles.

8. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicaciones 1), 6) y 7), **caracterizado** porque se dispone de un sistema de visualización estereoscópica en tiempo real, que comprende:

- a) un sistema de dos cámaras sincronizadas situadas en la cabeza tractora,
- b) un módulo de a bordo que mezcla las señales de vídeo de ambas de manera que la resultante posee un campo de vídeo de cada una de las señales,
- c) un sistema de transmisión de vídeo por radiofrecuencia situado a bordo de la cabeza tractora,
- d) un sistema de recepción de vídeo situado en la estación remota, un sistema electrónico que detecta la señal de sincronismo de la imagen de vídeo mezclada recibida y que adapta dicha señal para que pueda controlar unas gafas de tipo LCD, y
- e) unas gafas de tipo LCD controladas por la señal procedente del sistema electrónico anterior de manera que se oscurece alternativamente el cristal izquierdo o el derecho de las gafas en sincronía con la imagen de vídeo mezclada recibida y mostrada en un monitor.

9. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicaciones 1), 2), 3), 4), 5), 6), 7) y 8) **caracterizado** porque los actuadores que permiten el avance y el giro del sistema son de tipo eléctrico.

10. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicaciones 1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8) y 9) **caracterizado** porque la energía para el funcionamiento de los actuadores se obtiene de un banco de baterías.

11. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicaciones 1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8) y 9) **caracterizado** porque la energía para el funcionamiento de los actuadores se obtiene de un generador eléctrico.

12. Sistema robotizado para servicio en invernaderos según la reivindicaciones 1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8) y 9) **caracterizado** porque la energía para el funcionamiento de los actuadores se obtiene de un generador eléctrico y se dispone de un banco de baterías que permiten que el sistema funcione total o parcialmente durante un cierto tiempo sin necesidad de usar el generador.

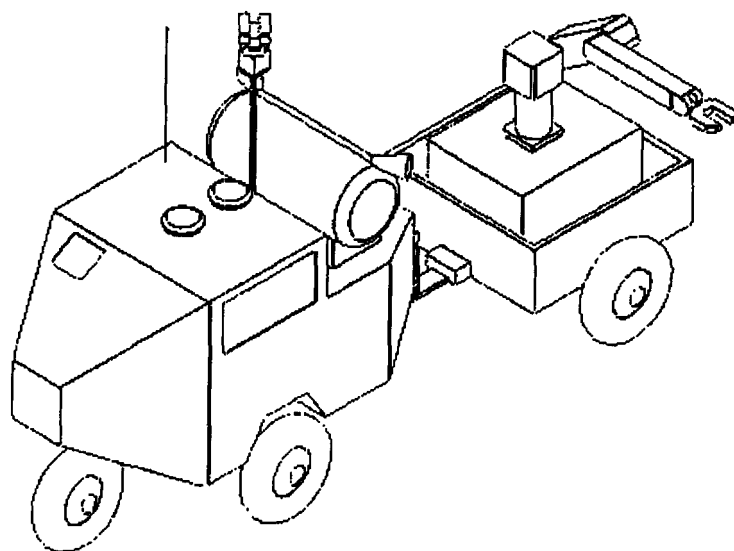


Figura 1

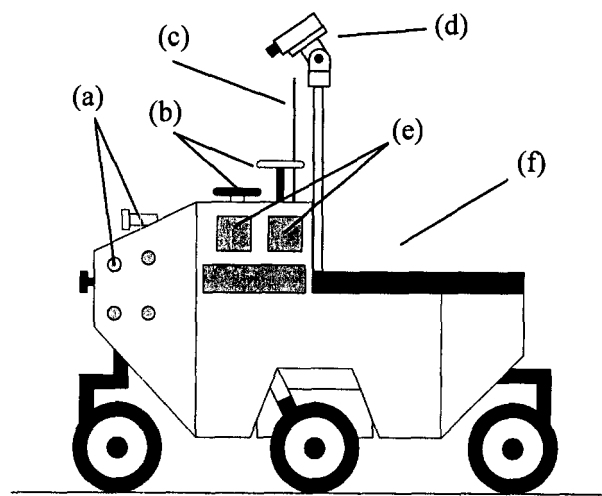


Figura 2

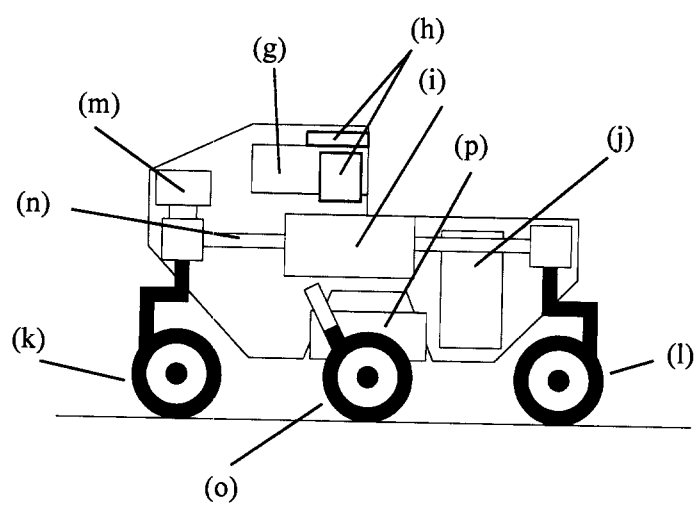


Figura 3

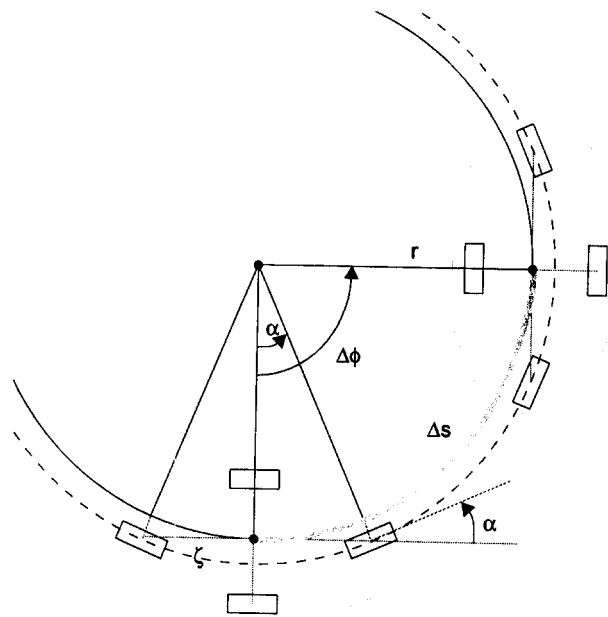


Figura 4

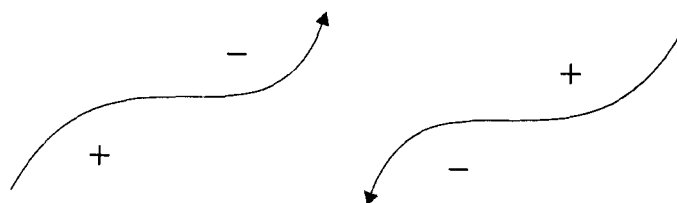
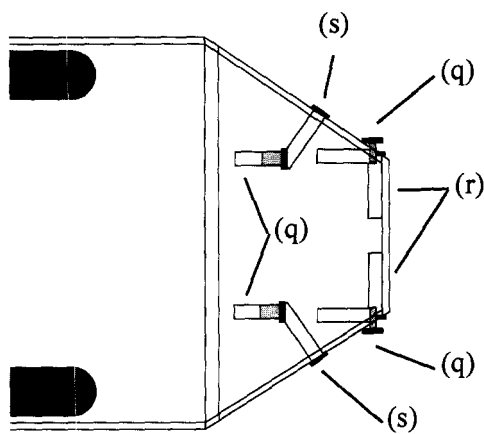
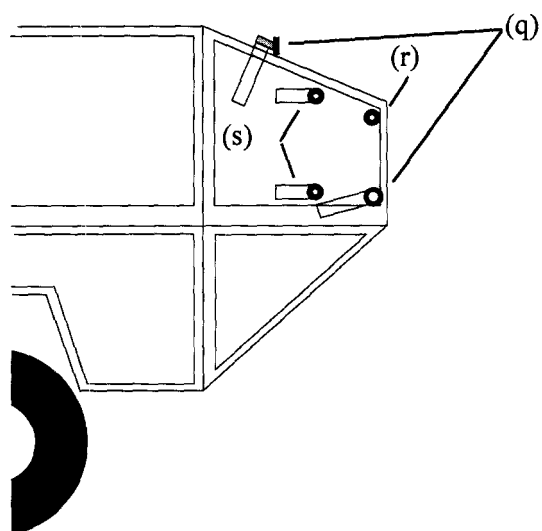


Figura 5



a)



b)

Figura 6

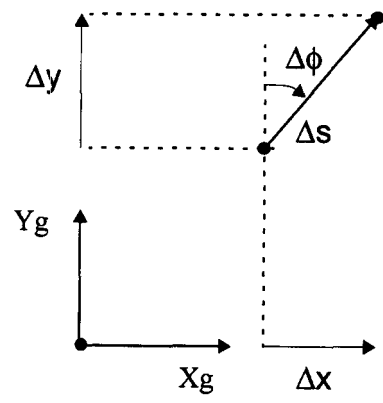


Figura 7

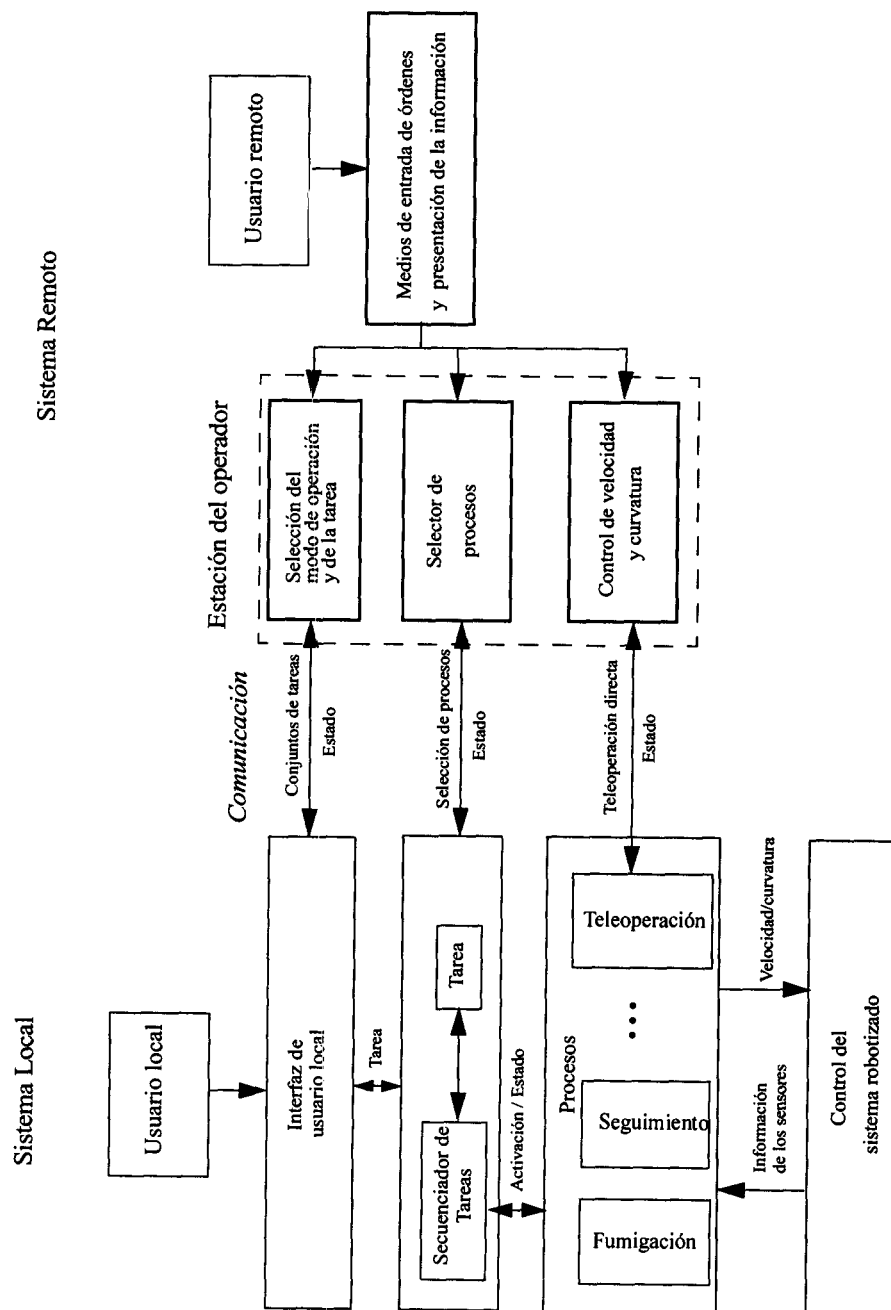


Figura 8

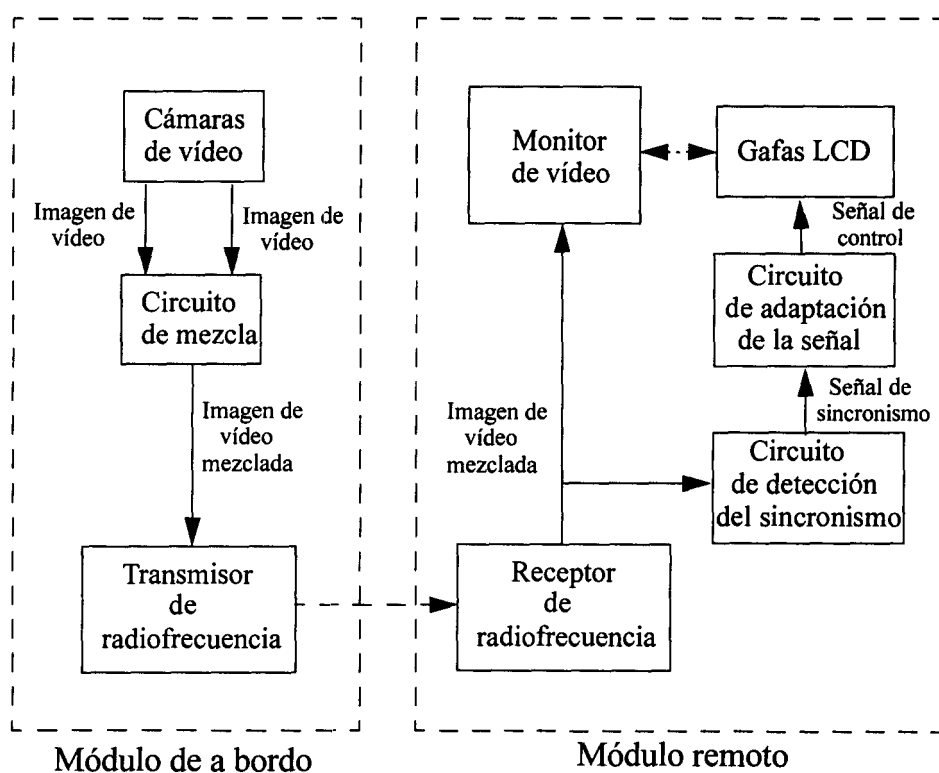


Figura 9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 208 091

⑫ Nº de solicitud: 200201739

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: **24.07.2002**

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ **Int. Cl.7:** G05D 1/02, A01B 69/00, G06T 1/00, G08C 21/00

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X A	US 6236916 B1 (STAUB et al.) 22.05.2001, todo el documento.	1,2,6,7 3-5,9-12
X A	US 6336051 B1 (PANGELS et al.) 01.01.2002, columna 3, línea 16 - columna 7, línea 24; figuras 1-5.	1,3-5 6-12
A	WO 0245915 A (ABB AB) 13.06.2002, página 10, líneas 30-35; página 15, línea 16 - página 16, línea 12.	1-5,9-12
A	US 5974348 A (ROCKS) 26.10.1999, columna 6, línea 52 - columna 7, línea 56; columna 8, línea 41 - columna 9, línea 49; figuras 2,3A.	1,3,4,7-12
A	US 20020060542 A1 (SONG et al.) 23.05.2002, página 2, párrafos 0023-0032; figuras 2-4.	1-3,6-10

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

15.12.2003

Examinador

P. Pérez Fernández

Página

1/1