



12

SOLICITUD DE PATENTE DE INVENCION

21 NÚMERO DE SOLICITUD

200501738

22 FECHA DE PRESENTACIÓN

15 JUL 2005

62 PATENTE DE LA QUE ES
DIVISORIA

31 NÚMERO

DATOS DE PRIORIDAD

32 FECHA

33 PAÍS

71 SOLICITANTE (S)

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y
JUNTA DE ANDALUCÍA

DOMICILIO SERRANO, 117 - 28006 MADRID

NACIONALIDAD ESPAÑOLA

72 INVENTOR (ES) JOSÉ ENRIQUE FERNÁNDEZ LUQUE, JUAN CARLOS MONTAÑO ASQUERINO, JOSÉ LUIS CAMPOY CANO Y JOSÉ
LUIS MURIEL FERNÁNDEZ

51 Int. Cl.

GRÁFICO (SÓLO PARA INTERPRETAR RESUMEN)

54 TÍTULO DE LA INVENCION

CONTROLADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO PARA PLANTACIONES DE
ÁRBOLES FRUTALES

57 RESUMEN

CONTROLADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO PARA PLANTACIONES DE ÁRBOLES FRUTALES

El objeto de la invención es un controlador automático de riego para plantaciones frutales. Se basa en la medida de flujos de savia en el tronco de árboles representativos de la plantación; a partir de esa medida, el aparato calcula automáticamente el caudal a aportar en el riego siguiente, y controla el funcionamiento de la bomba y de las electroválvulas del sistema de riego para aportar la dosis de riego calculada.

TITULO**CONTROLADOR AUTOMÁTICO DE RIEGO PARA PLANTACIONES DE
ÁRBOLES FRUTALES****5 OBJETO DE LA INVENCION**

El objeto de la presente invención es un controlador automático de riego para plantaciones frutales, que se denomina CRP (Controlador de Riego de la Plantación). Se basa en la medida de flujos de savia en el tronco de árboles representativos de la plantación; a partir de esa medida, el aparato calcula automáticamente el caudal a
10 aportar en el riego siguiente, y controla el funcionamiento de la bomba y de las electroválvulas del sistema de riego para aportar la dosis de riego calculada.

ESTADO DE LA TECNICA

Se presenta el diseño de un controlador automático de riego para plantaciones frutales,
15 denominado CRP (Controlador de Riego de la Plantación). Se basa en la medida de flujos de savia en el tronco de árboles representativos de la plantación; a partir de esa medida, el aparato calcula automáticamente el caudal a aportar en el riego siguiente, y controla el funcionamiento de la bomba y de las electroválvulas del sistema de riego para aportar la dosis de riego calculada.

20 La diferencia principal con los controladores de riego actualmente existentes en el mercado, es que en la mayoría de los casos, el agricultor tiene que calcular la dosis de riego, dar esta información al controlador y, entonces, éste actúa sobre la bomba y las electroválvulas. En la presente invención, el CRP hace el cálculo de la dosis de riego automáticamente, y no necesita el concurso del agricultor, pudiendo controlar el riego
25 de manera totalmente automática.

Existe un antecedente de controlador de riego capaz de calcular la dosis de riego automáticamente. Se trata del CommonSensor, un aparato fabricado por una compañía israelí homónima. Este aparato se basa en medidas tensiométricas, por lo que es adecuado únicamente para controlar riegos en torno a capacidad de campo.

30 El CRP puede controlar riegos de cualquier tipo, tanto para mantener el suelo en torno a capacidad de campo como deficitarios, y está especialmente diseñado para riegos de alta frecuencia.

La medida de flujo de savia en los árboles se hace con el método de compensación de pulso de calor descrito por Green y Clothier en 1988 (Green S.R., Clothier B.E.. 1988. *Water use of kiwifruit vines and apple trees by the heat-pulse technique. Journal of Experimental Botany* 198: 115-123) y por Green et al. en 2003 (Green S.R., Clothier B.E., Jardine B. 2003. *Theory and practical application of heat-pulse to measure sap flow. Agronomy Journal*, 95: 1371-1379), y se usa para ello la última versión de las sondas de flujo de savia y controladores de pulso de calor fabricados por el Dr. Green (Palmerston North, Nueva Zelanda), descritas brevemente en Green et al. (2003). El resto de los componentes del CRP, que se describen a continuación, han sido diseñados por los inventores.

El fundamento del método en el que se basa el CRP se menciona, con mayor o menor detalle, en algunas publicaciones científicas. En concreto, en una publicación de Palomo et al. del año 2000 (Palomo M.J., Fernández J.E., Díaz-Espejo A. 2000. *Designing an irrigation controller based on sap flow measurements. Proc. of the 5th International Workshop "Plant Water relations and Sap Flow Measurements". R. Tognetti and A. Raschi, eds., November 9-10, 2000. Firenze, Italy. Pp. 109-122*) y en otra de Fernández et al. del año 2001 (Fernández J.E., Palomo M.J., Díaz-Espejo A., Clothier B.E., Green S.R., Girón I.F., Moreno F. 2001. *Heat-pulse measurements of sap flow in olives for automating irrigation: tests, root flow and diagnostics of water stress. Agricultural Water Management*, 51: 99-123), en las cuales se discute el uso de diversas estrategias para el control del riego basadas en medidas de flujo de savia, y en un trabajo presentado en un congreso en 2002 (Fernández J.E. 2002. *Diseño de un controlador automático para el riego de alta frecuencia de plantaciones frutales. Programa y resúmenes del XIII Congreso Científico del INCA. 12-15 de noviembre de 2002, San José de las Lajas*, en el cual se explica el fundamento del método de riego en el que se basa el CRP, y se mencionan los trabajos de evaluación del método que se han diseñado para llevar a cabo en finca experimental.

EXPLICACION DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención es un controlador automático de riego para plantaciones de árboles frutales, que consta de los siguientes elementos:

- a) sondas de flujo de savia instaladas en árboles representativos de la parcela

- b) unidades de medida que recogen la información aportada por las sondas de flujo de savia y la almacenan en dispositivos de memoria
- c) controlador que monitoriza el estado de las unidades de medida, procesa la información que recibe y realiza el cálculo del caudal de riego necesario
- 5 d) controlador de las electroválvulas y de la bomba de riego que recibe del controlador el dato correspondiente al caudal de riego necesario y se encarga de abrir la electroválvula, activar la bomba y contabilizar el caudal regado.

Las sondas de flujo de savia se instalan en al menos 3 árboles por cada 50 hectáreas de
10 plantación y se instala una unidad de medida por cada dos árboles.

El controlador implementa un programa de ordenador para procesar la información que recibe de las unidades de medida y realizar el cálculo del caudal de riego, y el controlador de electroválvulas y de la bomba comanda hasta tres bombas de riego, cada una de ellas con hasta cuatro electroválvulas, aunque estas cantidades son fácilmente
15 ampliables, debido a su diseño modular.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1: Intercomunicación y relación entre los diversos dispositivos que componen el CRP.

20 **Figura 2:** Partes que componen las UM, así como un básico diagrama de flujo de las señales que entran y salen de cada una de las fases básicas que lo componen.

Figura 3: Partes que componen el CEV, así como un básico diagrama de flujo de las señales que entran y salen de cada una de las fases básicas que lo componen.

Figura 4: Esquema electrónico simplificado para un único canal de cada tarjeta de
25 amplificación/filtro. Cada tarjeta contiene 4 esquemas como éste, y cada UM contiene 6 tarjetas.

Figura 5: Esquema electrónico del multiplexor analógico 24-12 simplificado.

Figura 6: Esquema simplificado del sistema microcontrolador para las unidades de medida.

30 **Figura 7:** Esquema simplificado del controlador de electroválvulas.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

El controlador de riego de la plantación (CRP) consiste en un conjunto de dispositivos, con una misión específica que interactúan entre sí para proporcionar un sistema de medición y cálculo de las necesidades diarias de riego en plantaciones frutales. Consta de los siguientes módulos:

Unidades de Medida (UM): son sistemas electrónicos analógicos digitales que actúan como interfaz entre los instrumentos de medida (sondas de flujo de savia instaladas en árboles representativos de la parcela) y el controlador (C). Recogen la información aportada por dichas sondas y la almacenan en dispositivos de memoria; además permiten la comunicación mediante el estándar de comunicación serie asíncrono RS485 con el controlador (C). Se instalan varias de estas unidades en la parcela a regar, dependiendo su número de la heterogeneidad de la plantación.

Controlador (C): es un equipo informático conectado en red con las Unidades de Medida (UM) y con el Controlador de las Electroválvulas (CEV). Coordina la recepción de datos procedentes de las sondas, procesa la información y realiza el cálculo del caudal de riego necesario, comunicándolo al (CEV).

Controlador de las Electroválvulas y de la Bomba (CEV): recibe por parte de (C) el dato correspondiente al caudal de riego necesario, y se encarga de abrir la electroválvula y activar la bomba, así como de contabilizar el caudal regado. Mantendrá en funcionamiento la bomba y abierta la electroválvula mientras el caudal contabilizado no alcance el valor necesario.

25

La intercomunicación y relación entre los diversos dispositivos que componen el CRP se muestra en la figura 1.

A continuación se detallan los elementos de cada uno de los módulos que constituyen el controlador automático de riego objeto de la presente invención.

30

Unidades de Medida (UM)

Es el sistema hardware que actúa como interfaz entre las sondas dispuestas en los árboles y el equipo informático (C) encargado de procesar la información.

Las unidades de medida constan de una serie de circuitos impresos que se describen a continuación:

- 5 • **Etapas de Adaptación de señales:** se encarga de tratar las señales procedentes de las sondas de flujo de savia, de manera que sean fácilmente manejables y puedan ser analizadas. Para ello, se amplifican y se filtran analógicamente. La etapa de Adaptación de señales consta de dos niveles de amplificación y otro de filtrado, con un filtro paso bajo.
- 10 • **Etapas de Multiplexión:** se encarga de multiplexar las señales procedentes de las sondas, para analizar en cada instante un solo árbol, de modo que se puedan reducir a la mitad la cantidad de señales que hay que manejar. Además, esto facilita la alimentación de las agujas calefactoras de las sondas de flujo de savia sin riesgo de superar el amperaje máximo que pueden proporcionar las baterías con las que se alimentan los equipos.
- 15 • **Sistema Electrónico Digital:** está básicamente compuesto por un sistema microcontrolador que se encarga de convertir a digital los 12 canales analógicos procedentes de la etapa de multiplexión, almacenando el valor máximo, así como el instante en que se ha producido, con la finalidad de localizar el $T_{máx}$ correspondiente a cada señal. El valor correspondiente a los $T_{máx}$ para cada señal de las seis sondas se almacenará en cada sesión de medida en un
- 20 dispositivo de memoria, al cual (C) podrá acceder en cualquier instante.

En el esquema de la figura 2 se muestran las partes que componen las UM, así como un básico diagrama de flujo de las señales que entran y salen de cada una de las fases básicas que lo componen.

25 **Controlador (C)**

Básicamente está formado por un equipo informático, en el cual se instalará el software de control de las UM y el CEV. Mediante dicho software, C monitoriza el estado de las UM y se comunica con ellas para poder descargar, al final de cada jornada, los valores de $T_{máx}$ almacenados en los dispositivos de memoria. Con esta información, efectúa

30 los cálculos necesarios para obtener la dosis de riego necesaria para la siguiente jornada, que será transmitida al CEV.

Controlador de Electroválvulas y de la Bomba (CEV)

Es un sistema electrónico digital, basado en un microcontrolador, que recibe por parte de C la dosis de riego diaria, y se encarga de la apertura y cierre de la electroválvula y bomba de riego, así como del control sobre el caudal que atraviesa el contador situado en la tubería de alimentación.

Este dispositivo se encuentra conectado a C mediante un cable puerto serie (COM), y realiza la comunicación atendiendo al estándar RS232 de comunicación serie asíncrona. Dispone de dos tomas del secundario de un transformador de C.A. de 220/24 V, las cuales puede cerrar o abrir según se desee activar o no los relés que conmutan la electroválvula y la bomba.

En el esquema de la figura 3 se muestran las partes que componen el CEV, así como un básico diagrama de flujo de las señales que entran y salen de cada una de las fases básicas que lo componen.

MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION

Características Generales de las UM:

- **Comunicación Serie Asíncrona:** soporta los estándares físicos de comunicación establecidos por las normas RS232 y RS485. Durante el proceso de operación, las transferencias de datos se efectúan mediante el protocolo diseñado para la norma RS485, puesto que en la red hay múltiples dispositivos conectados (tres (UM) y (C)). El puerto con conexión RS232 se ha integrado con la finalidad de permitir una conexión rápida mediante un PC y poder acceder a la memoria y otras características de la (UM) de forma individual, así como para poder reprogramar el microcontrolador de forma rápida y sencilla.
- **Memoria de almacenamiento de 256 Kbits:** se trata un dispositivo de memoria no volátil, es decir, en ausencia de alimentación, no se pierden los datos almacenados en él), tipo EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), que, dadas sus características, permite hasta 1.000.000 de ciclos de escritura/borrado, y cuya capacidad permite el almacenamiento de mediciones de Tmax de hasta 11 días.

- **Reloj en Tiempo Real (RTC – Real Time Clock):** este Circuito Integrado, programable, permite sincronizar las (UM) entre sí y con (C), de modo que las sesiones de medida se inicien a las horas preestablecidas. El sistema está diseñado para poder programar el Reloj mediante órdenes de (C), lo cual permite a éste hacer los ajustes necesarios para garantizar que la hora que proporciona este dispositivo es siempre la correcta. Además, el RTC dispone de un condensador de gran capacidad (Super Condensador) para poder continuar alimentando a dicho integrado aún en ausencia de alimentación (el tiempo máximo de reserva estimado es de 194 horas).
- **Frecuencia de oscilación de 20 Mhz:** es la frecuencia a la que trabaja el microcontrolador del Sistema Electrónico Digital, lo cual, permite ejecutar instrucciones en tiempos del orden de 0.2 μ s. Esto proporciona una elevada velocidad de cálculo y respuesta al sistema.
- **24 Canales analógicos de entrada + 6 Canales adicionales analógicos de referencia:** esto permite a las UM recibir las señales procedentes de hasta 6 sondas (tres sondas por árbol). Como en cada instante tan sólo se analizan las sondas correspondientes a un árbol, dichos canales analógicos, se multiplexan para dar lugar a 12, que son los que el sistema microcontrolador escanea y analiza.
- **Microcontrolador de 8 bits (CPU de 16 bits) PIC18F4525:** cualquier característica relacionada con este dispositivo, se encuentra ampliamente documentada en el DataSheet proporcionado por el fabricante, Microchip.
- **Etapas de Amplificación y filtro para cada uno de los 24 canales:** debido a que las señales procedentes de las sondas, por estar éstas basadas en termopares, son extremadamente débiles (se alcanzan valores máximos del orden de 60 microvoltios), se ha prestado especial atención en el diseño y desarrollo de la etapa de amplificación y filtro, con la intención de que la pérdida de información sea mínima, y se obtenga una señal amplificada, fácilmente manejable por los

elementos del sistema microcontrolador, lo más fidedigna posible a la señal original. Para ello se ha dividido la fase de amplificación y filtro en tres etapas:

- 5 o **Primera Etapa:** amplifica la señal procedente de la sonda con una ganancia de aproximadamente 100 ($\text{Señal resultante} = \text{señal original} * 100$), mediante un sistema basado en el amplificador operacional de ultraprecisión ICL7650B.
- 10 o **Segunda Etapa:** se amplifica la señal procedente de la primera etapa, con una ganancia de 27, mediante un sistema basado en el amplificador operacional de precisión OP07. Para compensar la deriva consecuente de la amplificación (tensión de offset a la salida), se dispone de un potenciómetro ajustable.
- 15 o **Tercera Etapa: Filtro Paso Bajo Butterworth de 2º Orden, con Ganancia 2 y Frecuencia de Corte 1 Hz.** En esta etapa, la señal tan sólo se amplifica con una ganancia 2, y sufre un filtrado que elimina la mayoría de las componentes de ruido que puede poseer la señal.

20 El objeto de dividir la fase de amplificación y filtro en tres etapas, obedece a la intención de reducir en la medida de lo posible los valores de los componentes discretos empleados para la construcción del amplificador (resistencias y condensadores), pues, a estos niveles de tensión, elementos discretos de valor elevado introducen componentes de ruido adicionales de magnitud muy similar a las propias señales.

25 En la figura 4 se muestra un esquema electrónico simplificado, para un único canal de cada tarjeta de amplificación/filtro. Cada sonda proporciona cuatro señales analógicas, más la de referencia y la del cable de aislamiento. Cada tarjeta, pues, está compuesta por cuatro etapas de amplificación/filtro idénticas, por lo cual contiene 4 esquemas como el representado. Para cada sonda se utiliza una tarjeta Amplificadora/Filtro. Como son 6 sondas por UM, cada UM constará de 6 tarjetas idénticas.

30 En la figura 5 se muestra un esquema electrónico simplificado del Multiplexor analógico 24-12. Cada UM estará dotado de una placa cuyo esquema es el representado.

En la figura 6 se muestra un esquema simplificado del sistema Microcontrolador para las UM.

Características generales del Controlador (C)

- 5 Básicamente está formado por un equipo informático, en el cual se instala el software de control de las UM y CEV. Mediante dicho software, C monitoriza el estado de las UM y se comunica con ellas para poder descargar, al final de cada jornada, los valores de $T_{máx}$ almacenados en los dispositivos de memoria. Con esta información, efectúa los cálculos necesarios para obtener la dosis de riego necesaria para la siguiente jornada, que será transmitida al CEV. Las tres UM y C se encuentran conectados entre sí
10 mediante una red de comunicación serie asíncrona RS485.

Controlador de Electroválvulas y de la bomba (CEV)

- Es un sistema electrónico digital, basado en un microcontrolador, que recibe por parte de (C) la dosis de riego diaria, y se encarga de la apertura y cierre de la electroválvula y
15 bomba de riego, así como del control sobre el caudal que atraviesa el contador situado en la tubería de alimentación.

- Este dispositivo se encuentra conectado a (C) mediante un cable puerto serie (COM), y realiza la comunicación atendiendo al estándar RS232 de comunicación serie asíncrona. Dispone de dos tomas del secundario de un transformador de C.A. de 220/24 V, las
20 cuales puede cerrar o abrir según se desee activar o no los relés que conmutan la electroválvula y la bomba.

Las UM y el CEV no presentan comunicación directa entre sí.

Características Generales del CEV:

- **Microcontrolador de 8 bits (CPU de 14 bits) PIC16F877:** Cualquier característica
25 relacionada con este dispositivo, se encuentra ampliamente documentada en el DataSheet proporcionado por el fabricante, Microchip.
- **Puerto de Comunicación serie RS232:** Permite la comunicación con (C) mediante el puerto serie. Sólo permite comunicación según el estándar RS232 puesto que la comunicación será “Punto a Punto” (CEV) tan sólo estará conectado con (C)).
- **Frecuencia de Oscilación de 4 MHz:** Es la frecuencia de trabajo del
30 microcontrolador que compone este dispositivo. Ésto permite ejecución de instrucciones en tiempos del orden de 1 μs .

- **Relés miniaturizados con excitación a 5 V de continua, e intensidad máxima 1A:** Se utilizan para cerrar o abrir las tomas del secundario del transformador de 220/24V, y generar así las señales de control para apertura y cierre de la bomba y de la electroválvula.
- 5 En la figura 7 se muestra un esquema simplificado del sistema controlador de los Relés y Electroválvulas (CEV).

REIVINDICACIONES

1.- Controlador automático de riego para plantaciones de árboles frutales, caracterizado porque consta de los siguientes elementos:

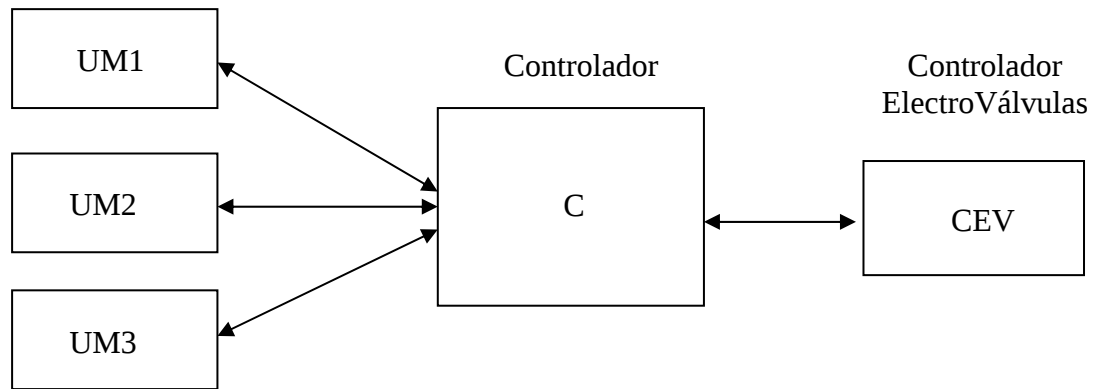
- e) sondas de flujo de savia instaladas en árboles representativos de la parcela
- 5 f) unidades de medida que recogen la información aportada por las sondas de flujo de savia y la almacenan en dispositivos de memoria
- g) controlador que monitoriza el estado de las unidades de medida, procesa la información que recibe y realiza el cálculo del caudal de riego necesario
- 10 h) controlador de las electroválvulas y de la bomba de riego que recibe del controlador el dato correspondiente al caudal de riego necesario y se encarga de abrir la electroválvula, activar la bomba y contabilizar el caudal regado.

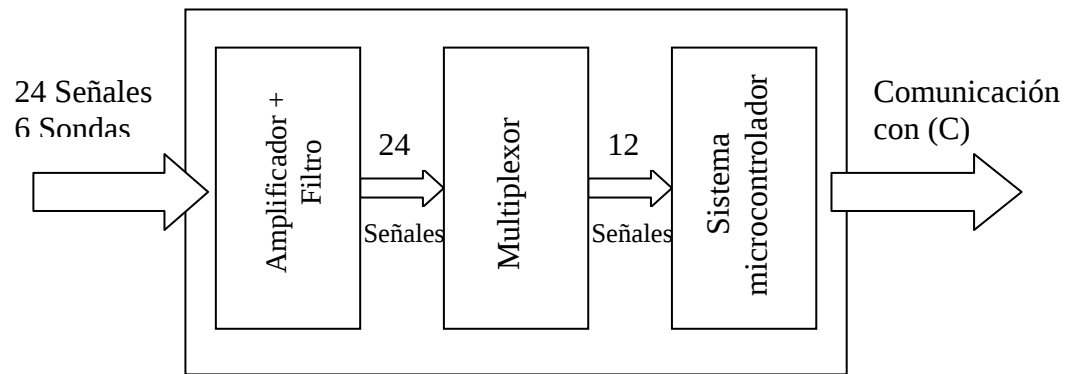
2.- Controlador automático de riego para plantaciones de árboles frutales según la reivindicación 1, caracterizado porque se instalan sondas de flujo de savia en al menos 3
15 árboles por cada 50 hectáreas de plantación.

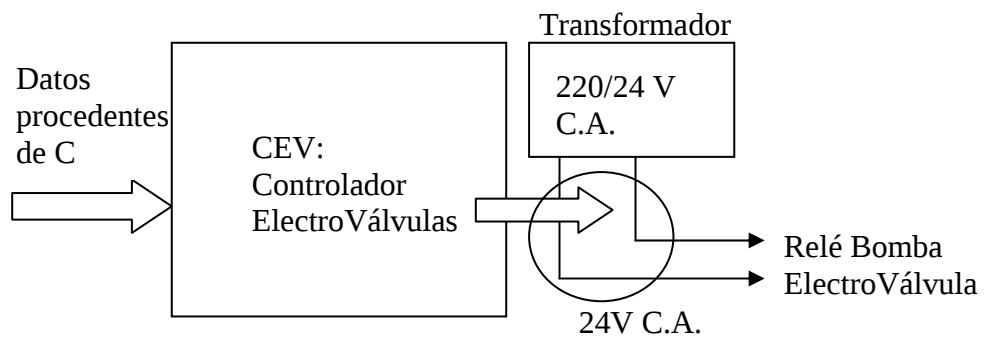
3.- Controlador automático de riego para plantaciones de árboles frutales según las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque se instala una unidad de medida por cada dos árboles..
20

4.- Controlador automático de riego para plantaciones de árboles frutales según las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque el controlador implementa un programa de ordenador para procesar la información que recibe de las unidades de medida y realizar el cálculo del caudal de riego.
25

5.- Controlador automático de riego para plantaciones de árboles frutales según las reivindicaciones 1-4, caracterizado porque el controlador de electroválvulas y de la bomba comanda hasta tres bombas de riego, cada una de ellas con hasta cuatro electroválvulas.

**Figura 1**

**Figura 2**

**Figura 3**

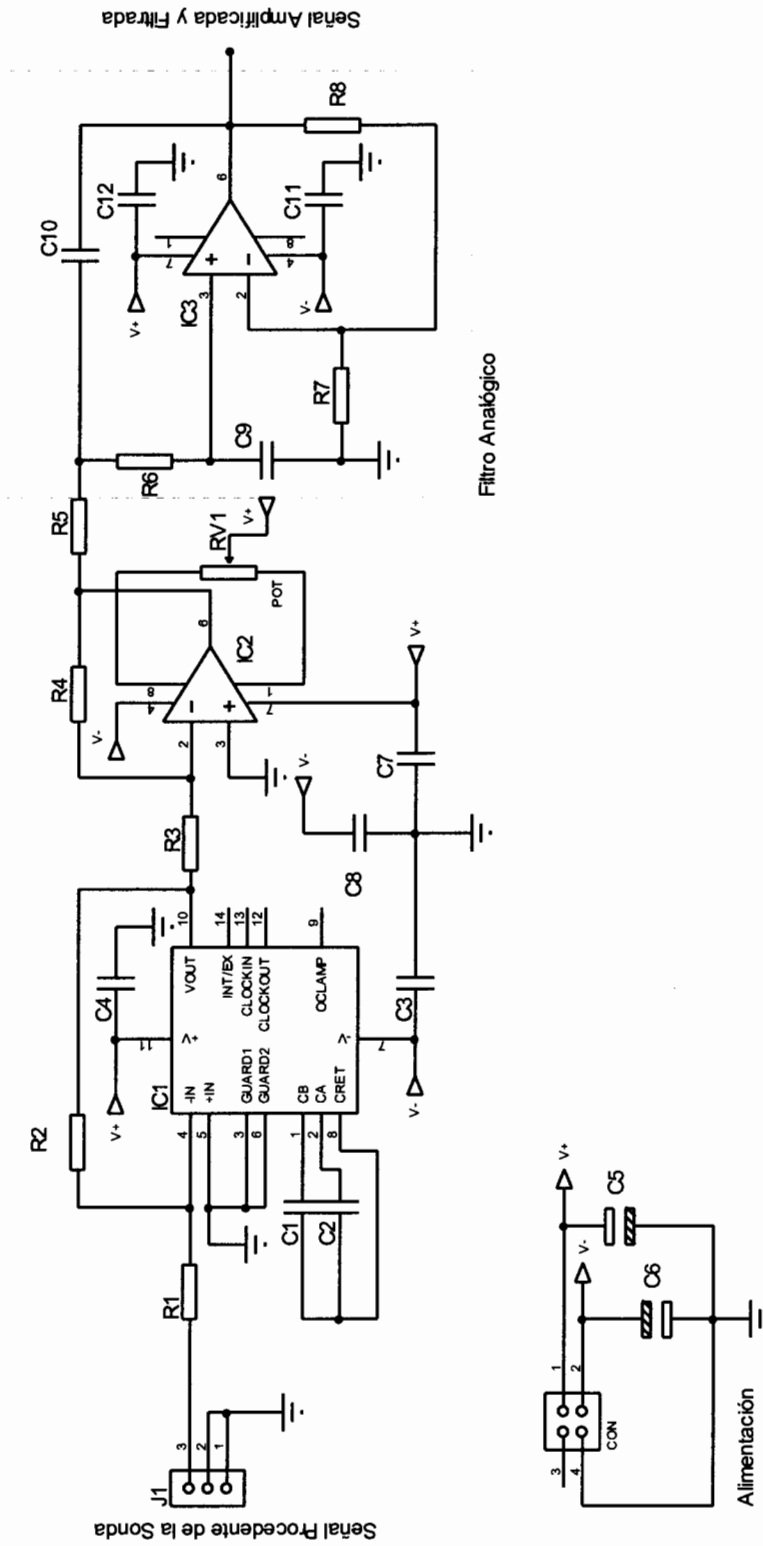


Figura 4

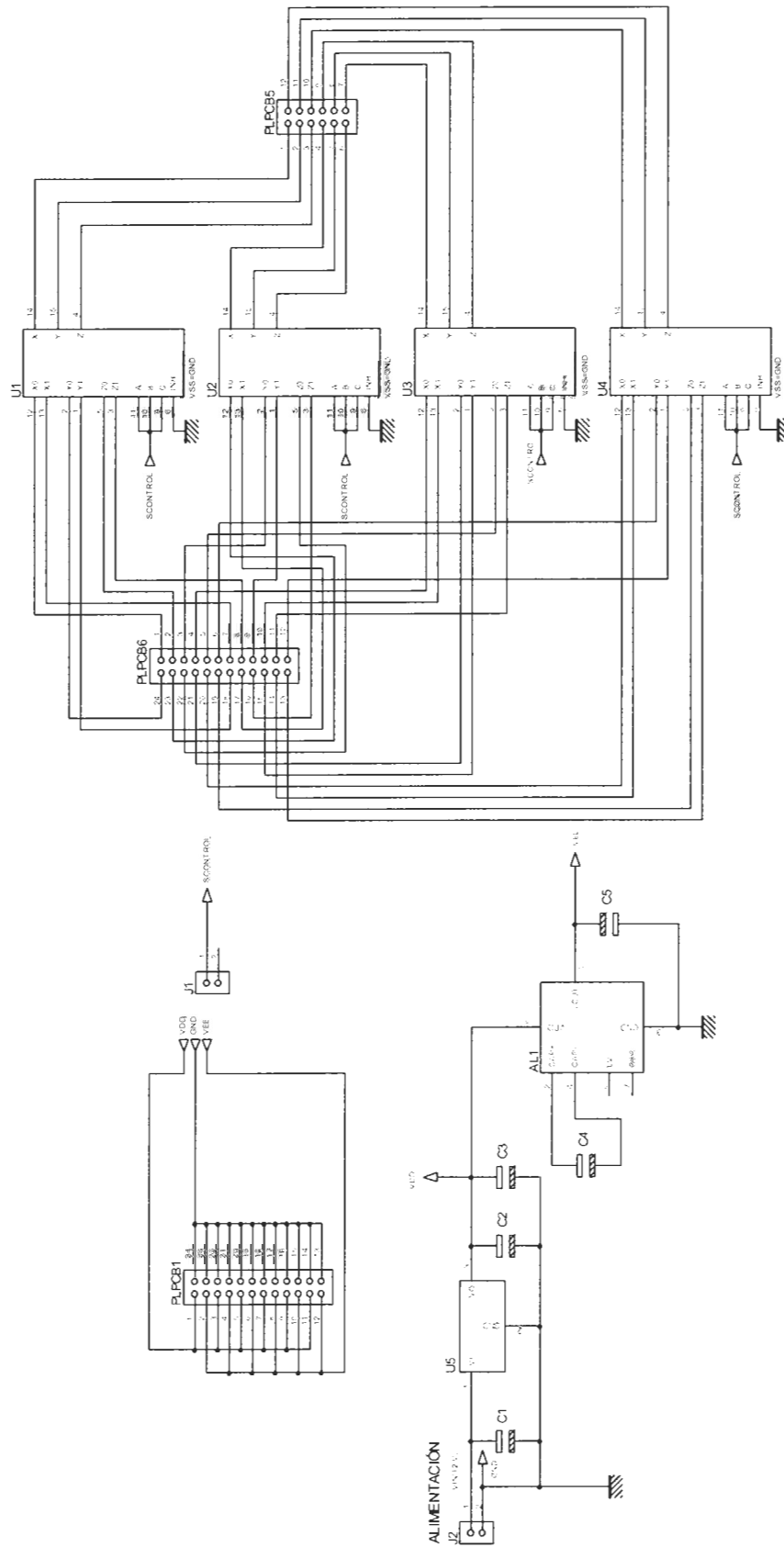


Figura 5



Figura 6

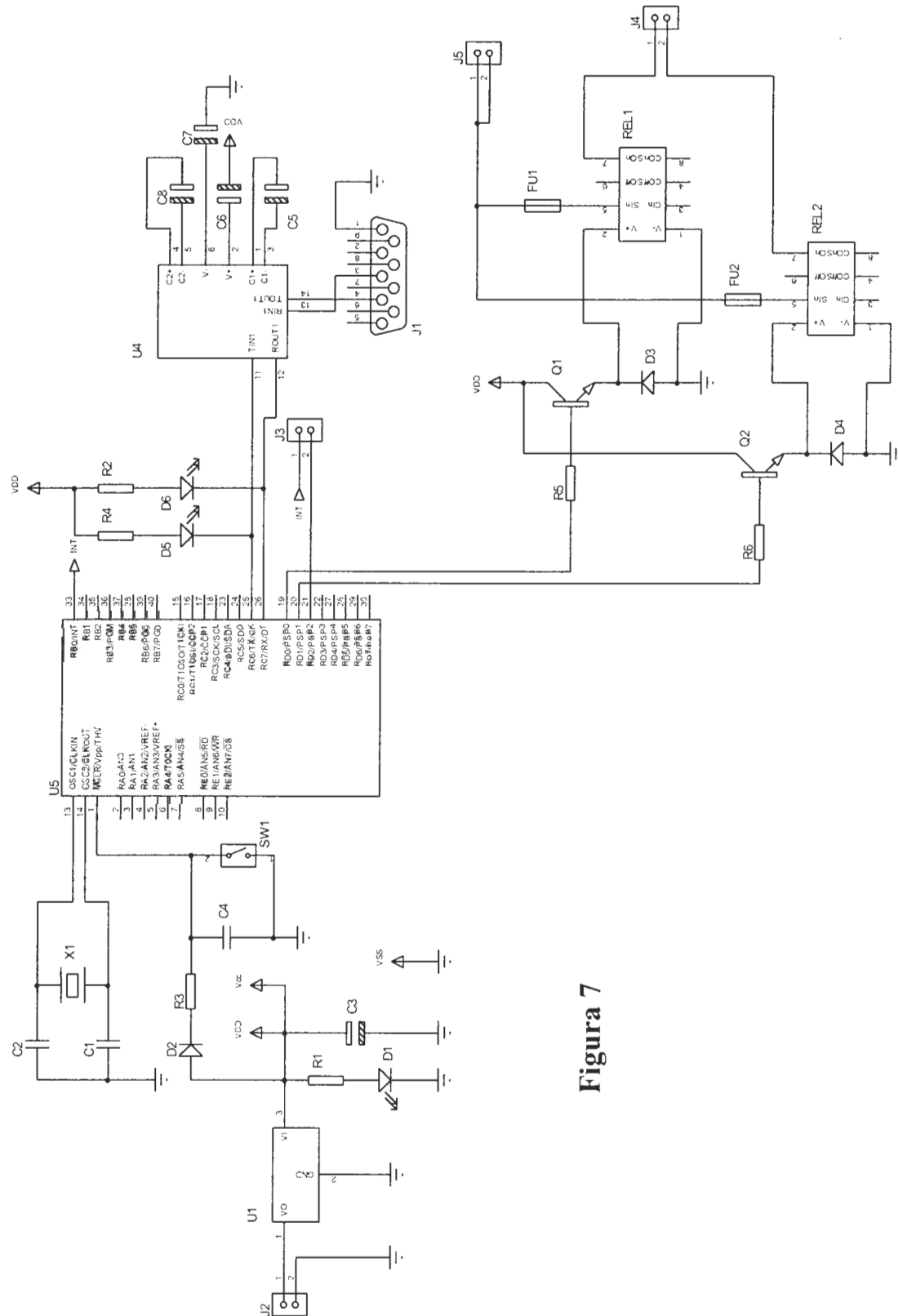


Figura 7