

Agro-Tecnología educativa: Sistema de adquisición de datos climáticos para la docencia

Agro-Technology educational: Climatic data acquisition system for teaching

Saúl Vázquez López

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, España.
saulvalo@hotmail.com

Recibido para revisión 26 de octubre de 2009, aceptado 4 de junio de 2010, versión final 25 de junio de 2010

Resumen—En este trabajo se pretende desarrollar un sistema docente de supervisión del clima en un invernadero con incorporación de una webcam para conocer en todo momento y, a través de Internet, el estado del cultivo y la evolución de las distintas variables climáticas que le afectan. Para esto, se va a utilizar una tarjeta de adquisición de datos y un bloque de acondicionamiento de señal, para recibir y procesar la señal de los distintos sensores climáticos. Los datos obtenidos se procesarán en el ordenador con el software de programación LabVIEW, de esta forma, desarrollaremos un sinóptico que nos permita conocer lo que ocurre en el invernadero.

Palabras Clave: Sensor, Clima, Invernadero, DAQ, LabVIEW, Instrumento Virtual, Sinóptico.

Abstract—In this work, we try to develop a teaching system to control the ambient in a greenhouse, incorporating a webcam in order to know by Internet, what are the growing conditions and how it are developing. In this way, we are going to use a DAQ (data acquisition system) and signal conditioning modules, to get inputs and process signals from climatic sensors. All the data acquired will be processed in the computer with the developer software LabVIEW, so, we will create a synoptic which let us to know what is happening in the greenhouse.

Keywords: Sensor, climate, greenhouse, DAQ, LabVIEW, Virtual Instrument, Sinoptic.

I. INTRODUCCIÓN

La importancia de la agricultura en nuestra sociedad se hace evidente para todos. Igualmente la tecnología impregna la realidad de los tiempos en que vivimos. Aunque a veces parezcan opuestas, la agricultura y la tecnología van de la mano.

¿Pero cómo concebir estas dos caras de la realidad tan opuestas? ¿Cómo acercar el mundo agrícola a los alumnos

desde una perspectiva innovadora y cercana?

A través de la experiencia educativa que se relata en este artículo y que fue desarrollada en la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), se especifica cómo crear un sistema de adquisición de datos para la docencia. Este sistema, crea una forma práctica de conocer el estado del clima y las plantas a través del ordenador. De esta forma, se establece un puente entre la realidad tal y como la concebimos con nuestros sentidos (Temperatura, Humedad, Viento), y la realidad en forma de bits de datos que aparecen en una pantalla de ordenador.



Figura 1. Esquema del sistema de adquisición de datos docente

Clima en invernaderos

En primer lugar, pasamos a captar las variables climáticas agrícolas más importantes. Para esto, utilizamos una serie de sensores. Son los siguientes:

Temperatura del aire (interior y exterior) y Humedad del aire (interior y exterior)

Generalmente las variables que se miden con más frecuencia dentro y fuera de un invernadero son la temperatura y la humedad del medio aéreo.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta para la misma cantidad de agua.



Figura 2. Sensor de Humedad y Temperatura

Sensor de temperatura y humedad relativa (Vaisala, HMP45C), compuesto por una sonda de temperatura Pt 1000, y un sensor capacitivo HUMICAP 180. Ambos proporcionan una señal analógica de 0 a 2,5 V.

Velocidad del viento (interior)

Un correcto movimiento de aire y una correcta ventilación en un cultivo influyen en el buen funcionamiento de la planta, toda acción sobre el nivel de ventilación modifica a la vez la concentración de CO₂, la temperatura y la humedad del aire del invernadero.

Se ha utilizado un transductor para medir la velocidad del viento (anemómetro).

El anemómetro es un transductor pasivo, que proporciona un tren de pulsos a su salida (digital).

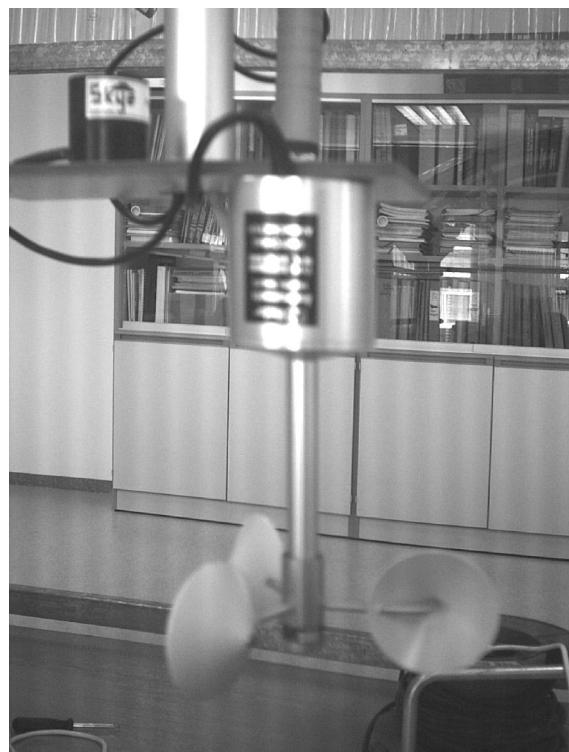


Figura 3. Anemómetro

Anemómetro de cazoletas (Vector Instruments, A100R). Es un transductor pasivo, que proporciona un tren de pulsos a su salida (1 pulso cada 1.25 metros), con un umbral de arranque de 0.2 m s⁻¹.

Radiación Neta (interior)

Se conoce como radiación neta al balance del conjunto de intercambios por radiación de longitud de onda corta y de longitud de onda larga en una superficie. Podríamos definirla entonces como la diferencia entre la radiación total incidente y la radiación total emitida.

El transductor utilizado para la medición de la radiación neta ha sido un pirradiómetro.



Figura 4. Pirradiómetro

espectral de 0 a 100 μm . Su señal de salida es $\pm 25 \text{ mV}$ que se corresponde proporcionalmente con su rango de media $\pm 2000 \text{ W m}^{-2}$, siendo su sensibilidad $10 \mu\text{V W}^{-1}\text{m}^{-2}$.

Radiación Global Solar (interior)

Es la que se recibe en la tierra desde los confines de la atmósfera, en ese paso por la atmósfera se atenúa, siendo la radiación recibida por la superficie terrestre función de las condiciones atmosféricas y de la altura angular del sol.

Se ha utilizado un transductor cuántico (fotopila) con semiconductor de silicio.

La respuesta espectral de este tipo de sensor depende de la longitud de onda de la radiación incidente (400-1100 nm)



Figura 5. Fotopila

Sensor de radiación global solar (Skye Instruments, SKS-1110). La sensibilidad del sensor corresponde a $1 \text{ mV} / 100 \text{ W m}^{-2}$ recibidos y el rango de trabajo es de 5000 W m^{-2} , por lo que el rango de tensión de salida será de $1-50 \text{ mV}$ correspondiendo linealmente con el margen de medida.

El sistema de adquisición de datos (DAQ)

Una vez captadas las señales de las variables que queremos medir, las pasamos por el DAQ. De esta forma "adaptamos" las señales de cada sensor a formato estándar que puede ser tratado por el ordenador. Para hacer esto utilizamos el DAQ de National Instruments.

Es un sistema de adquisición de datos multifunción formado por el dispositivo de adquisición de datos modelo PCI 6221.

Las señales emitidas por los transductores están dentro de unos rangos de tensión que requieren el uso de un bloque de acondicionamiento de señales para que la tarjeta de adquisición de datos pueda trabajar correctamente.

Se empleó una tarjeta de adquisición de datos (National Instruments, PCI 6221,) conectada a un PC (Pentium Celeron CPU 2,8 Ghz, memoria RAM de 512 Mby disco duro de 111 Gb). Se utilizó el sistema operativo Microsoft Windows XP Profesional 2002 y se instaló NI LabVIEW 8.2 y los drivers de la tarjeta PCI 6221.

La adquisición de las señales proporcionadas por los sensores se realizó a través de un bloque de acondicionamiento de señal, modelo SC-2345, conectado a la tarjeta PCI 6221.

Tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta PCI 6221 dispone de 16 entradas analógicas de 16 bits con una frecuencia de muestreo de 250 kmuestras/s, dos salidas analógicas de 16 bits a 833 kmuestras/s y dos contadores/temporizadores de 32 bits a 80 MHz. Esta tarjeta también ofrece 10 líneas de E/S digitales bidireccionales, dos de las cuales están correlacionadas a velocidades de hasta 1 MHz. Admite una entrada de 0-10 V.

Bloque y módulos de acondicionamiento de señal

El bloque de acondicionamiento de señal que se conectó a la PCI 6221 fue el modelo SC-2345. Para conducir y amplificar las señales de los sensores climáticos a los diferentes canales de la tarjeta se seleccionaron los siguientes módulos SCC:

2 MODULOS SCC-AI07. Posee dos canales con un rango de entrada de $\pm 50 \text{ mV}$ y salida $\pm 10 \text{ V}$. Al primer módulo se conectaron dos sensores SKS-1110 cuya salida es de $1-50 \text{ mV}$ y al segundo se conectó el sensor NR-LITE cuyo rango de salida es $\pm 25 \text{ mV}$.

2 MODULOS SCC-AI05. Posee dos canales con un rango de entrada de $\pm 1 \text{ V}$ y salida $\pm 10 \text{ V}$. A ambos módulos se conectaron dos HMP45C cuyos rangos de salida para temperatura y humedad relativa es de 0-1V.

El anemómetro A100R se conectó al pin 42 del bloque de conectores del SC-2345 que direcciona la entrada al contador CTR1 de la tarjeta de adquisición de datos.

Tabla 1. de acondicionamiento para cada sensor.

TRANSDUCTOR	SENSIBILIDAD	SALIDA	ACONDICIONAMIENTO	CONVERSIÓN A DIGITAL
Anemómetro	1 pulso/ 1,25 m.	5V DC	resistencia	No necesita 1 pulso = 1 bit
HR	0,01V / 1%HR	0-1 V AC	x10 (1V → 10V)	$0,1525 \text{ mV} = 0,001525\% \text{ HR}$
Temperatura	0,01428V/°C	0-1 V AC	X10 (1V → 10V)	$0,1525 \text{ mV} = 0,001068^\circ \text{C}$
Rad. Neta	$10 \mu\text{V W}^{-1}\text{m}^2$	$\pm 25 \text{ mV AC}$	X200 (25 mV → 10V)	$0,1525 \text{ mV} = 1,525 \text{ W/m}^2$
Rad. Global	$1 \text{ mV} / 100 \text{ W/m}$	$1-50 \text{ mV AC}$	X200 (50mV → 10V)	$0,1525 \text{ mV} = 1,525 \text{ W/m}^2$

Pasos previos

Una vez adaptadas las señales de nuestros sensores, pasamos a configurar el hardware (bloque acondicionador, módulos SCC y tarjeta de adquisición de datos) y software (LabVIEW) con drivers y controladores correspondientes suministrados por los fabricantes.

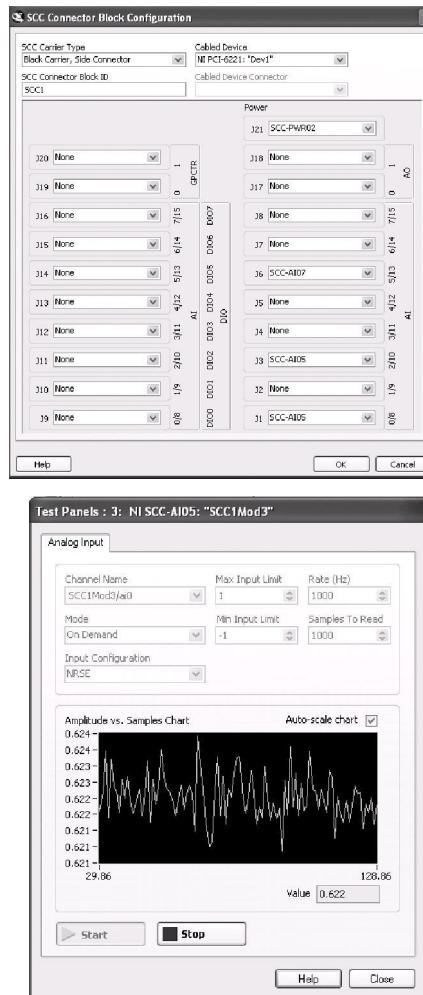


Figura 6. Configuración del bloque de conectores SCC.

Asimismo, también configuramos en que canales del SC-2345 tenemos conectados los módulos SCC, así como el modelo de cada módulo.

Labview

Para elaborar los algoritmos de control y toma de datos, se consideró que el lenguaje más apto es el LabVIEW. (Laboratory Virtual Engineering workbench). LabVIEW es una herramienta diseñada especialmente para monitorizar, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales analógicas y digitales capturadas a través de *tarjetas de adquisición de datos*, puertos serie y GPIBs (Buses de Intercambio de Propósito General). Las

razones de la elección son varias:

- Es muy simple de manejar, debido a que está basado en un nuevo sistema de programación gráfica, llamado lenguaje G
- Es un programa enfocado hacia la instrumentación virtual, por lo que cuenta con numerosas herramientas de presentación, en gráficas, botones, indicadores y controles, los cuales son muy esquemáticos y de gran elegancia. Estos serían complicados de realizar en bases como c++ donde el tiempo para lograr el mismo efecto sería muchas veces mayor.
- Es un programa de gran versatilidad donde se cuentan con librerías especializadas para manejos de DAQ, Redes, Comunicaciones, Análisis Estadístico, Comunicación con Bases de Datos (Útil para una automatización de una empresa a nivel total).
- Con este las horas de desarrollo de una aplicación por ingeniero, se reducen a un nivel mínimo.
- Como se programa creando subrutinas en módulos de bloques, se pueden usar otros bloques creados anteriormente como aplicaciones por otras personas.
- Es un programa que permite pasar las aplicaciones entre diferentes plataformas como Macintosh y seguir funcionando.

Tomando en cuenta todo lo anterior, se considera de gran utilidad para la implantación del sistema de adquisición de datos (DAQ) y es por ello que se ha elegido LabVIEW.

VIs (Instrumentos Virtuales) de LabVIEW

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan *Instrumentos Virtuales (VIs)*, porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales.

LabVIEW tiene la característica de descomposición modular ya que cualquier VI que se ha diseñado puede convertirse fácilmente en un módulo que puede ser usado como una sub-unidad dentro de otro VI. Esta peculiaridad podría compararse a la característica de procedimiento en los lenguajes de programación estructurada.

Es un sistema abierto, en cuanto a que cualquier fabricante de tarjetas de adquisición de datos o instrumentos en general puede proporcionar el driver de su producto en forma de VI dentro del entorno de LabVIEW. También es posible programar módulos para LabVIEW en lenguajes como C y C++, estos módulos son conocidos como Sub-VIs y no se difieren a los VI creados con LabVIEW salvo por el interfaz del lenguaje en el que han sido programados. Además estos Sub-VIs son muy útiles por ejemplo en el campo de cálculos numéricos complejos que no se encuentran incluidos en las librerías de LabVIEW.

Entorno de trabajo de LabVIEW

Se podría decir que en cualquier VI de LabVIEW existen dos caras bien diferenciadas: el Front Panel (Panel Frontal) y el Block diagram (Diagrama de Bloque). Las paletas de LabVIEW son las que proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el *panel frontal* como el *diagrama de bloques*.

El Panel Frontal

Es la cara que el usuario del sistema está viendo cuando se está monitorizando o controlando el sistema, o sea, el interfaz del usuario. Puede ser totalmente parecido al instrumento del cual se están recogiendo los datos, de esta manera el usuario sabe de manera precisa cual es el estado actual de dicho instrumento y los valores de las, señales que se están midiendo.

El diagrama de bloques

Es el conexionado de todos los controles y variables, que tendría cierto parecido al diagrama del esquema eléctrico del instrumento. Constituye el código fuente del *VI*. En el *diagrama de bloques* es donde se realiza la implementación del programa del *VI* para controlar o realizar cualquier procesado de las entradas y salidas que se crearon en el *panel frontal*.

Las Paletas

Proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el *panel frontal* como el *diagrama de bloques*. La paleta de controles para el *panel frontal*, nos permite, pinchando y arrastrando con el ratón del ordenador, insertar los controles necesarios para nuestra aplicación. La Paleta de herramientas, sirve tanto para el *panel frontal* como para el *diagrama de bloques*, nos permite diseñar/editar el *panel frontal*, mover *VIs*, la inserción de textos, la edición de colores, etc. La Paleta de funciones para la creación del *diagrama de bloques* nos permite elegir el tipo de función que queremos instalar en nuestro *diagrama de bloques*, pudiendo instalar, entradas de DAQ, operaciones matemáticas, estructuras, etc. Es a partir de esta paleta que se crea el *diagrama de bloques*.

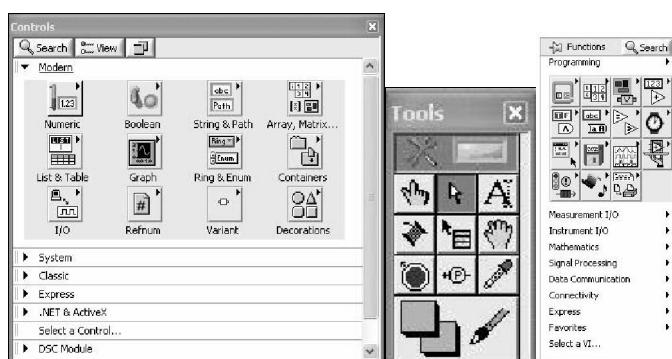


Figura 7. Paletas de trabajo en LabVIEW.

Sinóptico desarrollado

La interfaz gráfica del programa desarrollado consta de dos fichas o solapas:

a) En la solapa “Valores instantáneos” se presenta gráficamente los datos recibidos por los sensores ubicados en el interior del invernadero (temperatura y humedad relativa del aire, radiación global, radiación neta y velocidad del viento) y en el exterior (temperatura y humedad relativa del aire). También se muestran las imágenes tomadas por la webcam de forma continua, permitiendo su desactivación mediante un interruptor situado en la parte inferior de la imagen.

El interruptor general ON-OFF, ubicado en la parte inferior izquierda, permite interrumpir la aplicación. A la derecha de este interruptor, se muestra la fecha y hora actual.

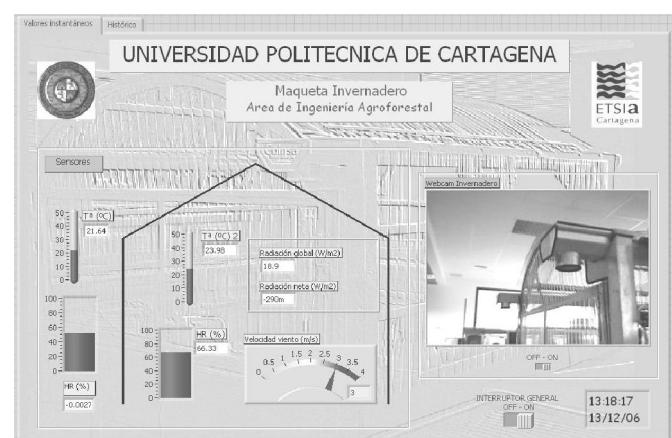


Figura 8. Panel frontal de la aplicación.

b) La solapa “Histórico” se presentan cuatro gráficas con la evolución de las variables climáticas medidas.

El *diagrama de bloques* de la aplicación está desarrollado bajo dos estructuras “while loop” que es el equivalente al bucle While empleado en los lenguajes convencionales de programación. Sirven para hacer que una secuencia de instrucciones se repitan una cantidad de veces, siempre y cuando una afirmación sea verdadera. En el LabVIEW se ejecutarán las funciones que se encuentren dentro del cuadro de ciclo, tomando los valores que quedaron almacenados en la frontera de entrada, y sacando los resultados a la frontera de salida.

La primera estructura es la encargada de adquirir, tratar, mostrar y almacenar los datos recogidos de los sensores climáticos y de mostrar las imágenes recibidas por la webcam. La segunda estructura while loop, situada en la parte inferior de la figura, es la que permite presentar la fecha y hora en el sinóptico.

Inicialmente se desarrolló un SubVI para cada sensor que, teniendo en cuenta su función de transferencia, convertía los valores de tensión recibidos por la tarjeta en un valor legible para su tratamiento y almacenamiento posterior ($^{\circ}\text{C}$, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, etc.)

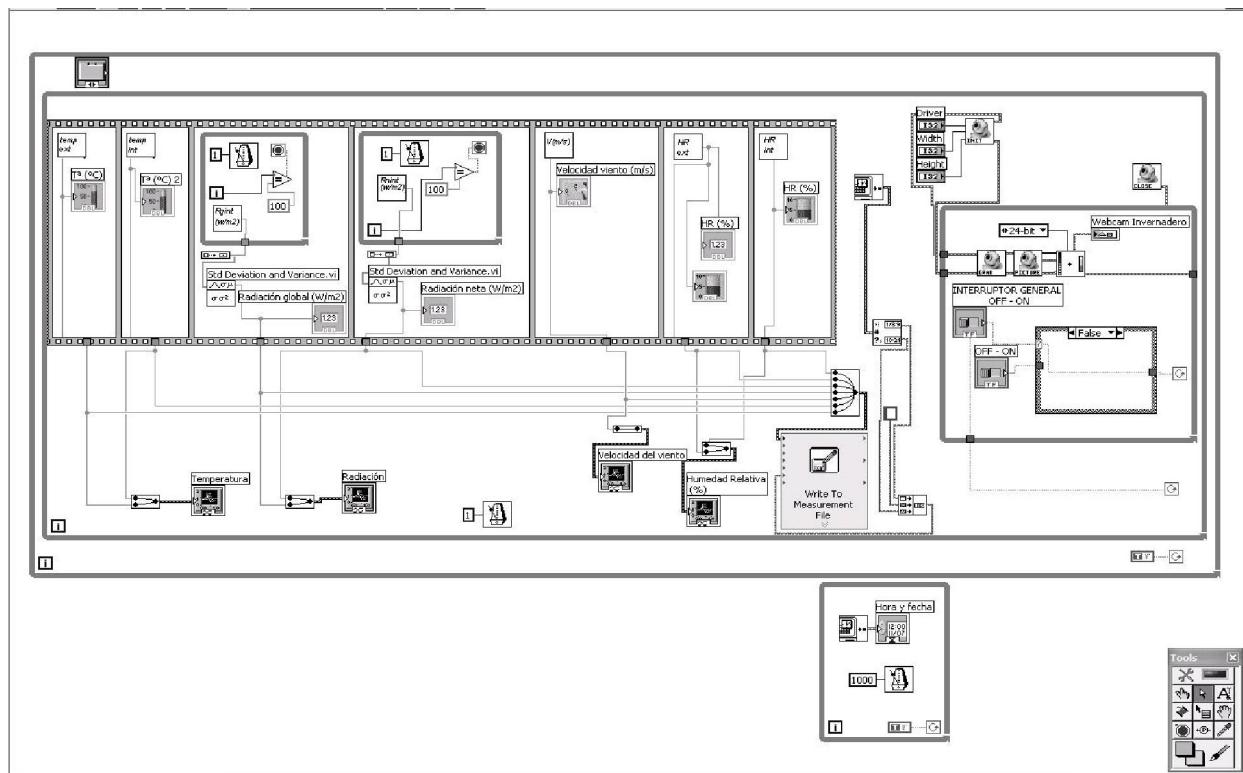


Figura 9. Diagrama de bloques.

En el primer “while loop” se observa que las lecturas de los sensores se realizan de forma ordenada dentro de la estructura “flat sequence”. A la hora de recoger los datos de los diferentes VI's nos encontramos que los VI's no tomaban los datos de forma ordenada. Además no se tomaban todas las lecturas, ya que cada módulo SCC, según la configuración del DAQ assistant de cada VI, intentaba tomar lecturas simultáneas de los dos canales que tiene, por lo que no podíamos tomar lectura.

Esto se solucionó instalando una estructura Flat Sequence que consiste en uno o más subdiagramas o marcos que se ejecutan secuencialmente. Esta estructura nos permitió asegurar que un subdiagrama se ejecutara antes o después de otro subdiagrama, permitiendo así la lectura primero de un canal y después de otro.

Los marcos en una estructura de secuencia plana se ejecutan de izquierda a derecha y sólo cuando todos los valores de datos conectados de un marco están disponibles. Los datos dejan el marco cuando el marco se termina de ejecutar.

En el caso de la radiación neta y de la radiación global se realiza una media de las 100 primeras muestras para que la indicación en el panel frontal no presente picos.

Una vez tomadas todas las lecturas, están salen del “flat sequence” y pasan: i) a las gráficas que se muestran en la segunda pestaña del panel frontal y ii) a un archivo denominado “datos.lvm” donde son almacenados. Este archivo, además de los datos de los sensores, incluye la fecha y hora de su adquisición.

El funcionamiento de la webcam ha sido desarrollado en una estructura “while loop” con objeto de que la cámara funcione continuamente con la condición “continue if true”. De esta forma la cámara emite continuamente imágenes. Un interruptor del modo on-off gobierna la condición del “while loop”, desactivando la cámara cuando es posicionado en off.

Análisis de datos obtenidos

Una vez tomados los datos durante 24 horas y exportados a Excel, pasamos a elaborar diferentes gráficas que nos permiten analizar los resultados obtenidos. Todos las gráficas y análisis estadísticos hechos se podrían haber realizado con LabVIEW, no obstante se ha preferido realizar en Excel para reafirmar la exportabilidad y el tratamiento de los datos obtenidos en un software diferente.

Los valores adquiridos durante las 24h que ha estado en marcha la aplicación, están dentro de lo esperado.

En cuanto a la temperatura, se puede observar como la temperatura exterior se ha mantenido a lo largo del día por encima de la temperatura interior, lo cual era de prever. También se observa la diferencia entre la temperatura nocturna y diaria.

Media diaria Temperatura exterior → 26,300 °C

Media diaria Temperatura Interior → 25,503 °C

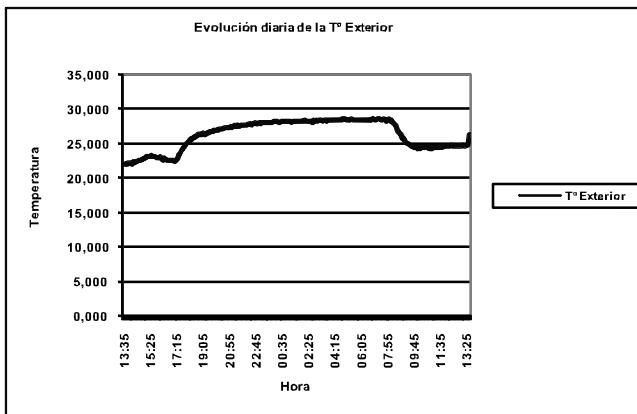


Figura 10. Evolución diaria de la Temperatura Exterior

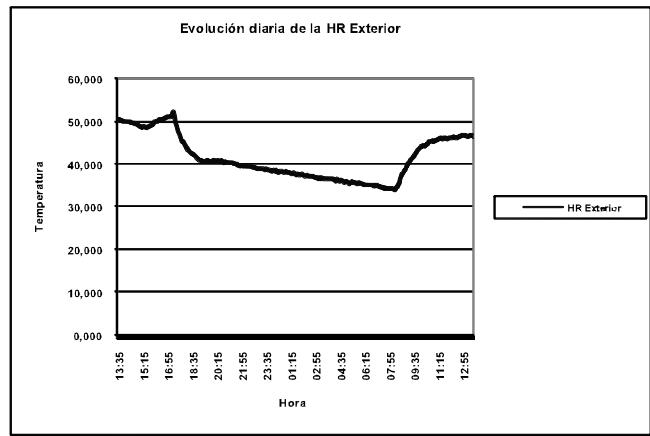


Figura 13. Evolución diaria de la HR Exterior

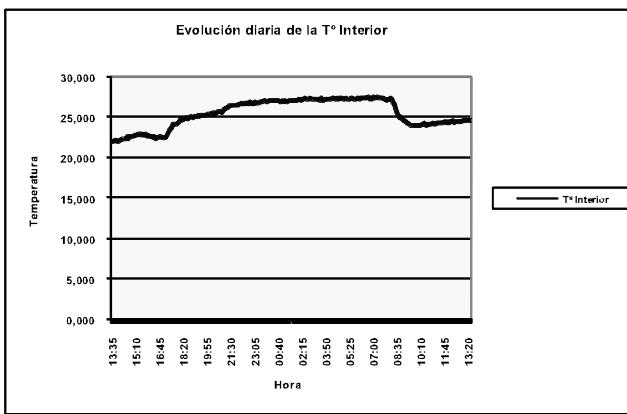


Figura 11. Evolución diaria de la Temperatura Interior

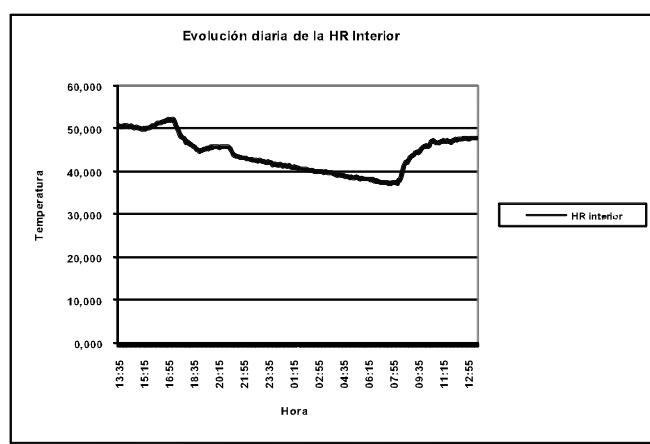


Figura 14. Evolución diaria de la HR Interior

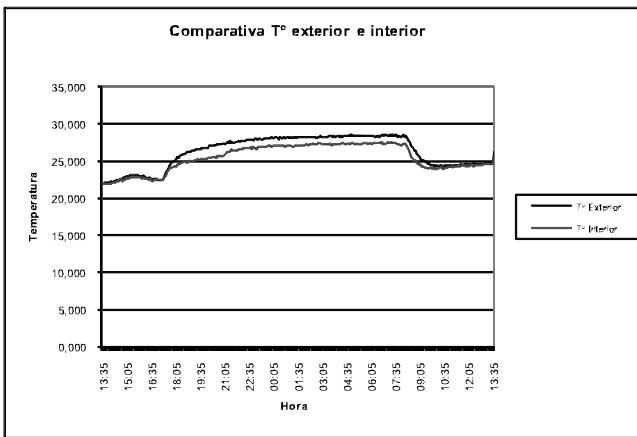


Figura 12. Comparativa de la evolución diaria de las temperaturas exterior e interior

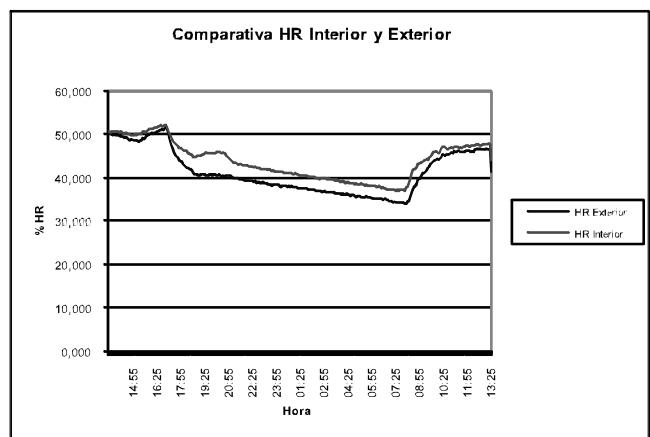


Figura 15. Comparativa de la evolución diaria de las HR exterior e interior

La HR interior se mantiene por encima de la exterior como también se esperaba, produciéndose los mayores valores de HR a lo largo de la noche y disminuyendo en el día.

Media diaria HR Exterior → 41,361 %

Media diaria HR Interior → 44,038 %

En cuanto a la velocidad del viento, los valores han variado en cuanto se ha modificado la velocidad del ventilador que estaba generando la corriente de aire. Así se puede observar que los valores obtenidos no han presentado ninguna anomalía.

Media diaria Velocidad del Viento → 0,417 m/s

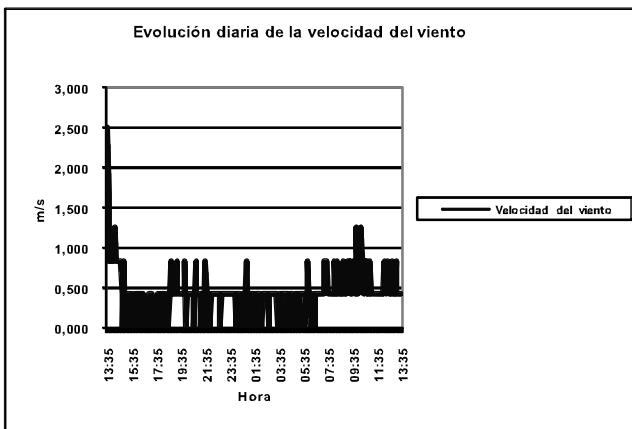


Figura 16. Evolución diaria de la velocidad del viento

Los datos obtenidos referentes a la radiación si requieren alguna aclaración. Dado que la maqueta del invernadero ha sido instalada en el interior de un edificio de la UPCT, se ha instalado una luz artificial de bombilla incandescente de 100 W. La iluminación recibida por los sensores ha sido mínima. De esta forma, revisando lo expuesto en lo referente al error de lectura de este tipo de transductores de radiación global solar, recordamos que el margen de error del mismo es elevado (error del 3%) y haya que tenerlo en consideración ($\pm 30 \text{ W/m}^2$).

En cuanto a la radiación neta, los valores obtenidos son poco fiables al no poderse realizar correctamente, debido a la baja intensidad de iluminación, el conjunto de intercambios por radiación de longitud de onda corta y de longitud de onda larga.

Media diaria Radicación Global $\rightarrow 14,34 \text{ W/m}^2$

Media diaria Radiación Neta $\rightarrow -1,275 \text{ W/m}^2$

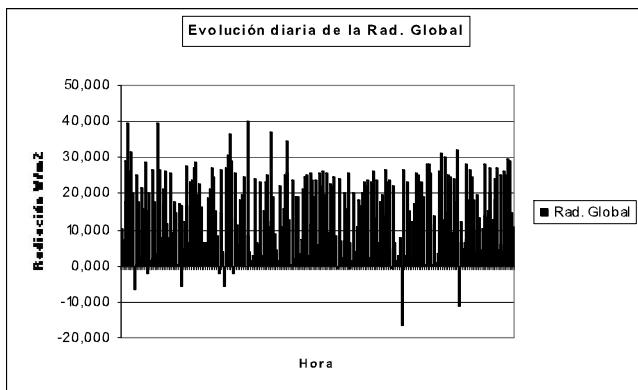


Figura 17. Evolución diaria de la Radiación Global

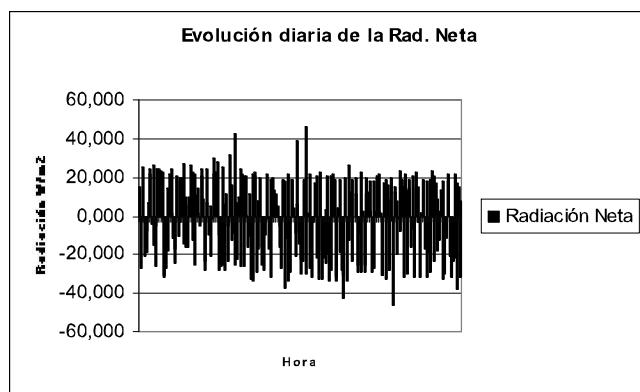


Figura 18. Evolución diaria de la Radiación Neta

Ya por último se adjunta una grafica donde se puede apreciar la interrelación de la variación entre HR y T°.

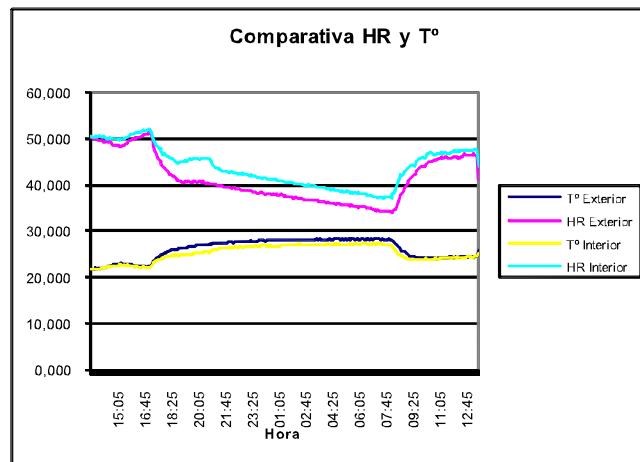


Figura 19. Comparativa de la evolución diaria de las HR y Temperaturas.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema que permite captar las variables climáticas de un invernadero, con objeto de ponerlas a disposición de un entorno docente. Para esto, se han instalado una serie de sensores que se han conectado a una tarjeta de adquisición de datos y un bloque de acondicionamiento de señal de National Instruments, para recibir y procesar la señal de los distintos sensores climáticos. Con el software de programación virtual Labview, se ha creado una aplicación que permite visualizar los datos del invernadero. Además, se ha incorporado una webcam que ha permitido conocer en todo momento y, a través de Internet, el estado del cultivo y estudiar sus relaciones con las distintas variables climáticas que le afectan.

El sistema desarrollado permite obtener lecturas continuas de las variables climáticas:

- Temperatura del aire (interior y exterior)
- Humedad del aire (interior y exterior)
- Velocidad del viento (interior)
- Radiación Neta (interior)
- Radiación Global Solar (interior)

Las lecturas obtenidas por los diferentes transductores entran dentro de los márgenes esperados, no habiéndose registrado anomalías en el proceso.

Usando el software de programación LabVIEW, se ha creado un entorno de información al usuario que permite consultar desde el panel frontal, el estado de las variables climáticas de forma conjunta. Desde este panel, también se puede acceder a una sección de historial de datos. En esta sección se muestran una serie de gráficas de cada variable climática, estas gráficas reflejan el historial de los datos adquiridos durante el tiempo que ha sido ejecutada la aplicación.

Igualmente, se puede visualizar el invernadero en tiempo real desde el panel frontal, gracias a la incorporación de una Webcam a la aplicación desarrollada.

La aplicación creada, exporta y almacena de forma automática a un fichero de texto, los datos climáticos adquiridos. Este fichero de texto, se ha utilizado para el análisis en Microsoft Excel, quedando reflejada plenamente la compatibilidad del mismo.

Desde la aplicación desarrollada se permite iniciar e interrumpir el funcionamiento del sistema de adquisición de datos creado.

Se ha conseguido, que cualquier usuario, con el software de programación LabVIEW instalado en su ordenador, pueda acceder a través de Internet al control de la aplicación desarrollada.

Los datos obtenidos se han exportado a Excel para pasar al análisis de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

- Alpi, A.; Tognoni, F., 1999. Cultivo en invernadero. Madrid. Ed. Mundiprensa.
- Baixaulí, C., 1996. Aspectos prácticos del control ambiental para hortalizas en invernadero. Caja Rural Valencia. Ed. Fundación Cultural y de Promoción Social.
- Benavente, R.M.; García, J.L.; Pastor, M.; Luna, L.; Nolasco, J., 2000. Sistemas para la automatización de los invernaderos. Revista Vida Rural N° 118. pp. 66-70.

- Díaz, J.R.; Pérez, J., 1994. Tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. Almería. Ed. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA).
- Lorenzo, P.; Sánchez-Guerrero, M.C.; Medrano, E.; Pérez, J.; Maroto, C., 1997. El enriquecimiento carbónico en invernadero del Sur Mediterráneo. Revista Horticultura. N° 118. pp 66-67
- Maroto, J.V., 2000. Elementos de Horticultura General. Ed. Mundiprensa.
- Matallana, A; Montero, J.I., 1995. Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. Ed. Mundiprensa. 207 P.
- Mandado Perez, E.; Marcos Acevedo, J.; Fernández Silva, C.; Armesto Quiroga, J.; Pérez López, S., 2004. Autómatas programables, entorno y aplicaciones. Ed. Thomson, Paraninfo S.A.
- Montero, J.I.; Antón, M.A., 1993. Tecnología del invernadero. Ed. Instituto Nacional Tecnología Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Buenos Aires. 128 P.
- Navarro, J.A., 1999. Pantallas térmicas para el control ambiental en invernadero. Plantflor. Cultivo y Comercio. Año 12. N° 3. pp. 20-24.
- Pallás Areny, R., 2003. Sensores y acondicionadores de señal. Ed. Marcombo S.A., ISBN: 84-267-1344-0.
- Serrano, Z., 1983. Invernaderos. Instalación y manejo. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 427 P.
- Serrano, Z., 1990. Técnicas de Invernadero. Ed. el autor. Sevilla. 644 P.
- Valera, D.L.; Molina, F.; Peña, A.A.; Pérez, J.; Urrestarazu, M., 1999. Gestión del clima en invernaderos de Almería. Plantflor. Cultivo y Comercio. Año 12. N° 3. pp 40-43.
- Velasco Ballano, J.; Oriol Velilla, M.; Otero Arias, J., (1998). Sistemas electrotécnicos de Potencia., Ed. Paraninfo.
- Vilarnau, A., 1997. El CO₂ en la horticultura. Horticultura N° 118. pp. 64-70.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Facultad de Minas



Escuela de Ingeniería de Sistemas

Grupos de Investigación

Grupo de Investigación en Sistemas e Informática

Categoría A de Excelencia Colciencias
2004 - 2006 y 2000.



GIDIA: Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial

Categoría A de Excelencia Colciencias
2006 – 2009.



Centro de Excelencia en Complejidad

Colciencias 2006

Escuela de Ingeniería de Sistemas
Dirección Postal:
Carrera 80 No. 65 - 223 Bloque M8A
Facultad de Minas. Medellín - Colombia
Tel: (574) 4255350 Fax: (574) 4255365
Email: esistema@unalmed.edu.co
<http://pisis.unalmed.edu.co/>

Grupo de Ingeniería de Software

Categoría C Colciencias 2006.

Grupo de Finanzas Computacionales

Categoría C Colciencias 2006.

