



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Tratamiento Automático de Datos de una Red de Sensores de Uso Agrícola

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Autor: Salvador Roca Guillén
Director: Roque Torres Sánchez
Codirector: Fulgencio Soto Vallés

Cartagena, 16 de junio de 2015



Universidad
Politécnica
de Cartagena

ÍNDICE

1	Resumen	3
2	Abstract	5
3	Introducción	7
4	Instrumentación: Sensores y Comunicaciones	9
4.1	Humedad: Sentek EnviroSCAN Probe	9
4.2	Potencial Matricial: Decagon MPS-6	10
4.3	Crecimiento: Dendrómetros	11
4.3.1	Dendrómetros perimetrales: UMS D6	12
4.3.2	Dendrómetros radiales: LVDT de Solartron Metrology	13
4.4	Nodos de Comunicaciones Inalámbricas basados en ZigBee.....	14
4.4.1	Nodo coordinador: ZC.....	14
4.4.2	Nodos de toma de datos: ZED.....	14
4.5	Sistema de Adquisición de Datos: Campbell Scientific CR1000.....	15
4.6	Interfaz SDI-12	15
4.7	Interfaces Eléctricas Analógicas	16
5	Esquema de la Instalación	19
6	Programación y Funcionamiento del Software.....	23
6.1	Programación en <i>MATLAB</i>	24

6.2	Programación en <i>Visual Basic para Aplicaciones</i>	28
7	Requisitos de Uso y Manual de Usuario.....	35
8	Futuras Ampliaciones de <i>FODRIS</i>	37
9	Bibliografía.....	39

1 RESUMEN

En este trabajo se pretende elaborar una herramienta de software con la que un usuario pueda interpretar los datos recogidos por los distintos sensores de un cultivo, a partir del fichero de datos en bruto que éstos emiten. La necesidad de dicha herramienta viene dada por el gran volumen de datos recopilados y su compleja disposición en el archivo primitivo, siendo improductivo su procesamiento manual.

Para la confección de este programa se ha hecho uso de *MATLAB*, una herramienta de software matemático y entorno de programación con la que se ha implementado la selección del fichero de datos primitivo, un filtro de datos erróneos y su procesamiento hasta obtener unos archivos legibles en *Microsoft Excel*, donde el usuario visualizará finalmente la información recogida por los sensores. También se ha recurrido a la programación en *Visual Basic para Aplicaciones* en *Microsoft Excel* para importar automáticamente los archivos procesados en *MATLAB*, aplicar un filtro estadístico para la detección de datos incoherentes, clasificar cronológicamente la información y diseñar la apariencia de las hojas de datos, mejorando la experiencia del usuario.

El resultado que se ha obtenido del código compilado es una aplicación ejecutable y un libro de Excel habilitado para macros de manera que, al ejecutar el primero, se muestra en el segundo una visión clara de la información del cultivo, en una interfaz cómoda para el usuario.

2 ABSTRACT

The purpose of this project is to develop a software tool for the user to be able to read the data collected by the different sensors settled in a crop, from the raw data file they send out. This requirement is justified by the large amount of data and its complex arrangement in the primitive file, which makes manual processing unproductive.

For the confection of this program, *MATLAB* has been used. This is a mathematical software tool and programming environment in which has been programmed the selection of the primitive data file, a corrupted data filter and its processing to obtain readable data files for *Microsoft Excel*, where the user will finally visualize the information collected by the sensors. Another resource used is programming in *Visual Basic for Applications* in *Microsoft Excel* to automatically import the files processed by *MATLAB*, apply a statistical filter for inconsistent data detection, classify the information chronologically and design the worksheets appearance, improving the user experience.

The result obtained from the implemented program code is an executable application and an Excel macro-enabled spreadsheet in order that, when running the first one, the second one shows a clear view of the information of the crop, in a friendly user interface.

3 INTRODUCCIÓN

La introducción de la instrumentación electrónica en el ámbito agrario ha hecho posible la monitorización y supervisión directa de los cultivos, una actividad que se ha convertido en una necesidad para los grandes productores de productos hortofrutícolas. En concreto, este método de control consiste en la recogida de datos de interés directamente del suelo y las plantas, ya sea o no en tiempo real, de forma que el los técnicos y el productor puedan tomar decisiones para mejorar la calidad del producto, la gestión de los recursos hídricos y nutricionales del cultivo y evitar a tiempo diferentes problemas que se puedan presentar en el mismo.

Para llevar a cabo dicha monitorización, es necesario conocer en profundidad la instrumentación empleada, la comunicación entre los distintos elementos y la estructura de las tramas de datos que se obtienen de los mismos. Ésta última es el principal objeto de estudio en este trabajo, ya que es imposible que el responsable del cultivo conozca el estado del mismo si no es capaz de interpretar la información adquirida. Además, se incluye una descripción de los sensores utilizados y sus características, junto con una explicación de la comunicación y de la adquisición de datos.

Nos situamos en el contexto de Jumilla, en los campos de cultivo propiedad de Finca Toli, una empresa dedicada al cultivo y producción de cereza, uva y derivados de la misma. En concreto, el desarrollo de este proyecto se centra en una de sus parcelas de plantación de cereza. El principal problema destacable con el que tienen que lidiar los productores de la zona sureste de la Península Ibérica es la escasez de los recursos hídricos para regadío. Esto supone que se deben establecer estrategias de riego deficitario, mediante las cuales se pretende optimizar el uso del agua aplicando la irrigación durante las fases sensibles a la sequía de un cultivo, y restringiendo su uso a las fases fenológicas en las que el cultivo puede tolerar la sequía, que usualmente se corresponden con las etapas vegetativas y el período de maduración final.

La monitorización del estado del cultivo resulta de gran ayuda para la aplicación de estas estrategias, ya que permite recopilar información sobre el uso del agua con variables como la humedad del suelo y el potencial matricial (o mátrico), que se define como el potencial necesario para extraer el agua adherida a las partículas sólidas en la matriz del suelo; en otras palabras, la presión que debe vencer una planta para absorber el agua del suelo. Junto con los datos de crecimiento del cultivo, se tendrá información suficiente para que el experto sea capaz de gestionar y llevar a cabo el riego deficitario, de forma que se obtenga la máxima productividad del agua de riego.

Se han establecido 10 puntos de medida, y en cada uno de ellos se han dispuesto dos sensores de potencial matricial, un sensor de humedad a tres niveles de profundidad y dos dendrómetros, que dan la medida del diámetro del tronco en que están situados. Estos datos se recogen en un nodo de comunicaciones inalámbricas, se envían a un nodo coordinador y, de éste, se envían a un datalogger (sistema de adquisición de datos) para ser recibidos en un ordenador, donde se genera el fichero de datos primitivo.

Este archivo de datos está dotado de una estructura coherente, de forma que un usuario experimentado es capaz de interpretarlos. No obstante, será imposible trabajar directamente con estos datos, por lo que este fichero debe ser sometido a un tratamiento informático antes de ser utilizado. Con el entorno de programación *MATLAB* y el tratamiento de hojas Excel con *Visual Basic para Aplicaciones (VBA)* se ha desarrollado una herramienta capaz de llevar a cabo este tratamiento.

Es de vital importancia que los datos sean dotados de una estructura coherente y un formato adecuado, ya que la información que se obtiene es procesada para obtener unos indicadores que estiman las necesidades hídricas del cultivo. Dichos indicadores requieren unos cálculos y procesos que son dependientes de las variables medidas, que se llevarán a cabo también en *Excel*. Para ello, se permite al usuario establecer intervalos de fecha y hora sobre los que se aplicarán los cálculos, a fin de obtener la información que considere relevante, además de definir las acciones que se han de tomar ante la posibilidad de recibir una trama errónea o datos fuera de un margen personalizable de error admisible.

Al finalizar la etapa de tratamiento de datos, el productor y los técnicos disponen de toda esta información en una cómoda interfaz, en la que a simple vista pueden conocer el estado del cultivo y tomar las medidas pertinentes para conseguir sus objetivos.



Ilustración 3.1 Cerezo en fase de maduración del fruto

4 INSTRUMENTACIÓN: SENSORES Y COMUNICACIONES

A continuación se describen los equipos utilizados para la implantación del sistema de monitorización, detallando sus características técnicas y, en el caso de los sensores, las variables medidas por los mismos junto con la estructura de los datos emitidos.

4.1 HUMEDAD: SENTEK ENVIROSCAN PROBE

Este dispositivo de campo, desarrollado por Sentek Technologies, es el responsable de la medición de humedad del suelo. Su funcionamiento se basa en la Reflectometría de Dominio de Frecuencias (FDR), que explica cómo la capacitancia dieléctrica de un condensador que utiliza al suelo como dieléctrico depende del contenido de agua del mismo, tal que conectando a este condensador un oscilador formando un circuito eléctrico, los cambios de humedad del suelo pueden ser detectados por cambios en su frecuencia de operación. En la *ilustración 4.1.1* se visualiza el modo en que se forma este circuito eléctrico.

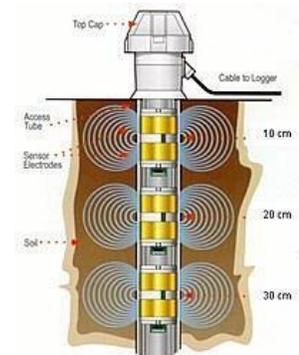


Ilustración 4.1.1 Esquema de funcionamiento EnviroSCAN

La sonda, mostrada en la *ilustración 4.1.2*, consta de un procesador que transforma la señal de frecuencia medida a valores de contenido volumétrico de humedad del suelo, puede realizar medidas tanto discretas como continuas y la transmisión de datos puede ser vía cable, módem telefónico o radio. Para nuestra aplicación, usaremos transmisión por cable de mediciones discretas.



Ilustración 4.3.2 Sonda EnviroSCAN



Ilustración 4.2.3 EnviroSCAN instalado

Este tipo de sensor presenta una serie de ventajas, entre las que destaca la gran precisión de medida, con márgenes de error cercanos a 1% con una buena calibración del dispositivo; la flexibilidad en la configuración de la sonda, la posibilidad de ser conectado a un datalogger y el hecho de que no se vean afectados por altos niveles de salinidad a la hora de tomar mediciones.

En contrapartida, cabe mencionar que la zona de influencia al efectuar las medidas es pequeña (4 cm de radio aproximadamente), además de que su instalación debe ser especialmente cuidadosa para conseguir contacto íntimo entre el sensor y el suelo y evitar espacios vacíos. A esto se suma la necesidad de ser calibrado específicamente para cada tipo de suelo.

La instalación de los dispositivos consiste en su enterramiento a la profundidad deseada dentro de un tubo de PVC, quedando a la vista únicamente la tapa del tubo. Las sondas instaladas en el cultivo a monitorizar constan de 3 anillos de medida, cada uno a distinta profundidad (20, 40 y 70 cm), con el fin de obtener una estimación del perfil de humedades del suelo en cada medida. Por ello, la estructura de los datos que se obtienen en cada medición incluye el número de anillos en operación (generalmente 3) y los valores tomados por cada uno de ellos como se muestra en el siguiente ejemplo:

3+34.59946+23.07135+21.016096

Este sensor está basado en microprocesador, por lo que para el registro de la información tomada por este sensor, es necesario el uso de una interfaz SDI-12 (*Serial Data Interface at 1200 baud*), que especificaremos más adelante.

4.2 POTENCIAL MATRICIAL: DECAGON MPS-6

Aunque para la medida del potencial matricial del suelo se usan tradicionalmente tensiómetros, se ha optado por una alternativa desarrollada por Decagon Devices Inc., cuyo principio de funcionamiento es la medición de la humedad contenida en un sustrato poroso contenido en el sensor que, expuesto a la humedad del suelo, capta el agua del suelo. Durante el proceso de absorción de agua, un sensor de contenido de humedad integrado en el dispositivo es capaz de determinar el potencial matricial del suelo.



Ilustración 4.2.1 Decagon MPS-6

Las principales ventajas que presenta el aparato es su fácil instalación, dado que únicamente se requiere enterrarlo en la zona donde se quiere medir como se aprecia en la **ilustración 4.2.1**; su relativa precisión frente los elementos de medida tradicionales y el medidor de temperatura integrado del que también dispone, de manera que no se requiere instalar otro sensor si es necesario conocer la temperatura del suelo en una zona concreta. Otras ventajas que presenta son que no necesita calibración para cada uso y su buena compatibilidad con la mayoría de dataloggers del mercado.

La principal desventaja es que, a pesar de ser uno de los sensores de potencial matricial más precisos del momento, el error es de aproximadamente un $\pm 10\%$, lo que hace plantearse al usuario si realmente son fiables las medidas tomadas por el dispositivo. Su uso, por tanto, no aportará valores exactos, pero sí es válido para realizar una estimación de la evolución del potencial matricial a lo largo del tiempo.

En cada punto de medida se instalan dos sensores MPS-6 a dos profundidades distintas: 25 y 50 cm. Los datos proporcionados por este sensor son dos: uno para el potencial matricial (negativo) y otro para la temperatura (positivo), por lo que la trama emitida por los dos sensores de un punto de medida toman la forma expresada en el ejemplo siguiente:

-000005.5+20.6-000008.6+18.7

Dado que estamos hablando de un sensor inteligente (basado en microprocesador), será necesaria la aplicación de las interfaces SDI-12 anteriormente mencionadas.

4.3 CRECIMIENTO: DENDRÓMETROS

La medida del crecimiento del cultivo se llevará a cabo mediante dos tipos de dendrómetro, los perimétrales y los radiales. Como sus propios nombres indican, la diferencia entre éstos radica en la forma en que miden el crecimiento del tronco del cerezo en que se instalan.

A diferencia de los anteriores, estos sensores no están basados en microprocesador, y la señal que dan es un voltaje analógico. Esto implica el uso de interfaces eléctricas específicamente diseñadas en *EAGLE* para la lectura y comunicación de los datos a los elementos de nivel superior en la jerarquía de comunicación.

Más adelante, en el **apartado 4.7**, se muestran los esquemáticos de las interfaces utilizadas en estos sensores

4.3.1 Dendrómetros perimetrales: UMS D6

Estos dendrómetros desarrollados por UMS miden el crecimiento a largo plazo, así como las variaciones diarias de la circunferencia del tronco del árbol con una gran resolución, siempre y cuando el sistema de adquisición de datos admita dicha resolución. Así, es posible determinar el cambio de dimensiones así como las variaciones reversibles que el árbol en cuestión experimenta.



Ilustración 4.3.1.1 Ejemplo de instalación de dendrómetro perimetral

La manera en que este sensor mide estas variaciones es mediante el uso de galgas extensiométricas. Para instalarlo, se coloca una banda alrededor del tronco del árbol, sobre la cual se instala un alambre conectado a una galga, como se puede ver en la **ilustración 4.3.1.1**. De esta forma, cuando el árbol sufra deformaciones por crecimiento o bien varíen sus dimensiones a lo largo del día, la galga se estirará o contraerá debido a la tensión del alambre, variando su resistencia eléctrica. Conectada a un circuito, esta variación de resistencia hará que varíe la tensión de salida, siendo éste el valor que se obtiene en la medida.

Este sensor debe ser calibrado cuando se alcanzan ciertos límites de crecimiento. Esto supone un inconveniente, pero a su vez es una ventaja, ya que es aplicable para un amplio rango de tamaños de tronco.

La estructura de los datos proporcionados por este sensor son tres dígitos en hexadecimal, que una vez traducidos a decimal, no darán directamente un valor válido. Deberá emplearse una fórmula para llegar al resultado deseado.

4.3.2 Dendrómetros radiales: LVDT de Solartron Metrology

Un LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) o transformador diferencial de variación lineal es un elemento de medición muy utilizado en diferentes ámbitos de la industria. Consta de tres bobinas y un núcleo ferromagnético cilíndrico móvil, como se muestra en la **ilustración 4.3.2.1**. Siendo el devanado central el primario y los extremos los secundarios, se aplica al primario una tensión, de forma que la inductancia mutua entre primario y secundario varía según la posición del núcleo. Los devanados secundarios están conectados en serie e invertidos, así que la tensión de salida es la diferencia de las tensiones secundarias.

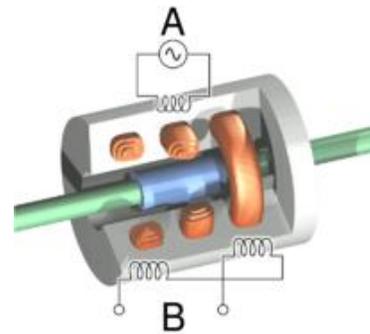


Ilustración 4.3.2.1 Esquema de funcionamiento LVDT

Aplicado en el tronco de un árbol tal como se aprecia en la **ilustración 4.3.2.2**, se sitúa en el exterior, alineado con el centro del tronco, por lo que los crecimientos moverán el núcleo ferromagnético y se obtendrán las medidas buscadas. La fiabilidad de este elemento de medida es muy alta, al no existir elementos de fricción ni contactos deslizantes en el interior. Para no corromper esta fiabilidad, se venden sellados, luego no puede verse el mecanismo de funcionamiento desde el exterior.

Este tipo de sensores, al igual que el anterior, debe ser calibrado cuando se alcanzan ciertos límites, y la salida de datos tiene también la misma estructura de tres dígitos en hexadecimal, debiéndose aplicar igualmente una fórmula para obtener el valor buscado.



Ilustración 4.3.2.2 Dendrómetro radial LVDT instalado

4.4 NODOS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS BASADOS EN ZIGBEE

La tecnología ZigBee es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN). Cuando la tasa de envío de datos es baja y se pretende maximizar la vida útil de las baterías que alimentan los nodos, ZigBee es la opción más aconsejable, ya que a pesar de tener un hardware muy sencillo que no permite tasas de transferencia muy altas, no precisa mucha energía para llevar a cabo su función. Existen dos tipos de dispositivo en nuestra red, el nodo coordinador (*ZigBee Coordinator, ZC*) y los dispositivos finales (*ZigBee End Device, ZED*).

4.4.1 Nodo coordinador: ZC

En toda red inalámbrica ZigBee debe existir un ZC. Controla la red, estableciendo las prioridades entre los ZED y el modo de comunicación.

La topología empleada en nuestra red es estrella, por lo que el nodo coordinador está situado en el centro y es el que recibe la información de los ZED para enviarla al datalogger situado en el mismo cuadro que este nodo, que llamamos cuadro coordinador y se muestra en la *ilustración 4.4.1.1*.



Ilustración 4.4.1.1 Cuadro coordinador

4.4.2 Nodos de toma de datos: ZED

Existen diez nodos como éste en la red, correspondientes a los puntos de medida distribuidos en la zona del cultivo seleccionada, dispuestos en el interior de unas cajas con etiqueta identificativa como la de la *ilustración 4.4.2.1*.

A ellos se conectan directamente los distintos sensores especificados anteriormente, y su funcionalidad se limita a comunicarse con el nodo coordinador para enviar los datos recopilados en cada punto de medida, sin existir la posibilidad ni la necesidad de comunicación entre nodos *End Device*.



Ilustración 4.4.2.1 Nodo End Device en caja

Esta característica permite que estos nodos estén la mayor parte del tiempo “dormidos”, aumentando la vida media de sus baterías. Además, los requerimientos de memoria son mínimos, lo que los hace ser significativamente más baratos que el nodo coordinador.

4.5 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS: CAMPBELL SCIENTIFIC CR1000

Este datalogger ha sido seleccionado por la gran versatilidad y compatibilidad de aplicaciones, además de ser uno de los recomendados por los fabricantes de los sensores instalados. Este dispositivo, mostrado en la *ilustración 4.5.1.1*, es esencial en nuestra instalación, pues recoge, almacena datos y controla periféricos, siendo el cerebro del sistema.



Ilustración 4.5.1.1 Campbell Scientific CR1000

Dispone de una memoria de 4 MB, ampliable con memoria externa. Soporta comunicaciones como TCP/IP y FTP y admite comunicaciones serie RS-232, que utilizaremos para conectarlo a un ordenador para volcar los datos adquiridos en la memoria del mismo.

Debido al elevado número de entradas, se hace necesario el uso de un multiplexador. Se ha recurrido al **Campbell Scientific AM16/32B**, por la compatibilidad directa con el CR1000 para incrementar el número de entradas al mismo.

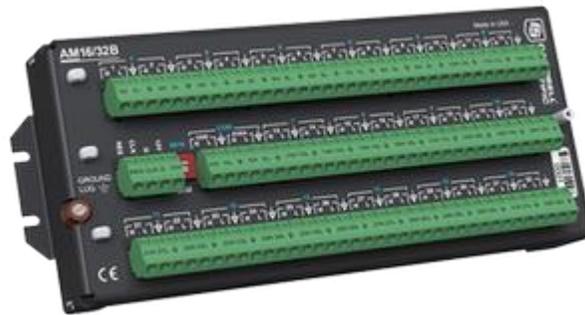


Ilustración 4.5.1.2 Campbell Scientific AM16/32B

4.6 INTERFAZ SDI-12

SDI-12 es un protocolo estándar de comunicaciones que proporciona un medio para transferir las medidas tomadas por un sensor inteligente (basado en microprocesador) a un sistema de adquisición de datos. Por ello, la interfaz SDI-12 permitirá la comunicación del sensor con sus elementos superiores en la jerarquía de comunicaciones, presentando otra serie de ventajas, como la fácil intercambiabilidad de los sensores y la alimentación eléctrica de los sensores a través de la interfaz.

Eléctricamente, esta interfaz consta de tres cables: datos, tierra y 12 V. La señal de datos utiliza niveles lógicos sobre 5 V, mientras que el cable de 12 V sirve como alimentación de los sensores. La comunicación es half-duplex de maestro a esclavo, correspondiendo a cada interfaz SDI-12 una

dirección asignada para el sensor al que acompaña. De esta manera, el maestro solicita que el esclavo envíe la información cuando lo requiera, permitiendo que el esclavo quede “dormido” el resto del tiempo, consiguiendo un mayor ahorro energético.

Como se ha comentado, se aplica esta interfaz a los sensores basados en microprocesador (también denominados inteligentes), que en nuestro caso son los EnviroSCAN y los MPS-6. El esquemático correspondiente a la interfaz SDI-12 es el mostrado en la **ilustración 4.6.1**.

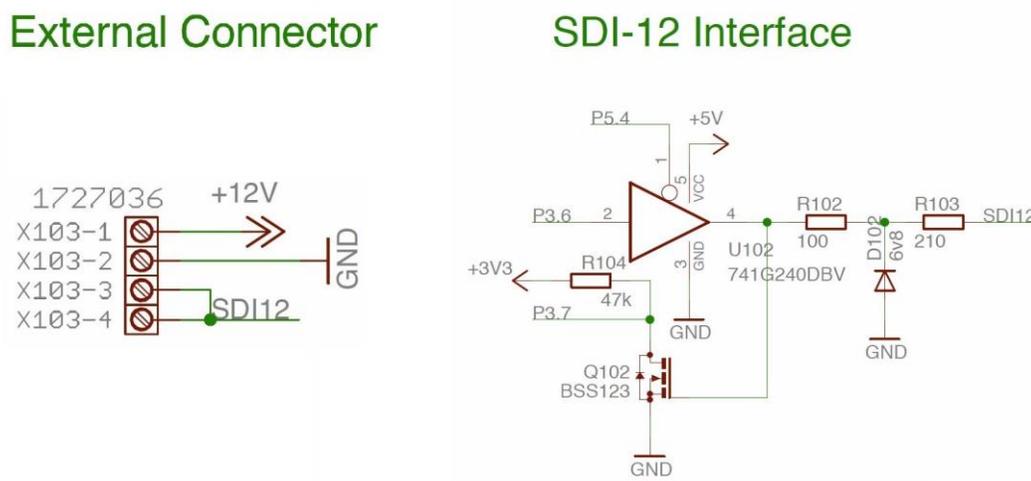


Ilustración 4.6.1 Esquemático Interfaz SDI-12

4.7 INTERFACES ELÉCTRICAS ANALÓGICAS

Como se ha comentado, los dendrómetros son sensores analógicos, por lo que no disponen de un microcontrolador para emitir los datos. Para la lectura de los mismos, es necesario hacer uso de interfaces eléctricas diseñadas específicamente para esta aplicación. Posteriormente, se debe aplicar al valor dado por el sensor una ecuación de conversión para obtener el valor real de la medida tomada.

Al ser dos sensores con distinto principio de funcionamiento, se diseñan dos interfaces eléctricas distintas, por lo que existirán dos ecuaciones de conversión de los datos distintas, en función de si el dendrómetro es perimetral o radial.

La **ilustración 4.7.1** corresponde al esquemático de la interfaz eléctrica de los dendrómetros perimetrales, basados en galgas extensiométricas, mientras que la **ilustración 4.7.2** muestra el esquemático de la interfaz eléctrica de los dendrómetros radiales, basados en LVDT.

PD Interfaces

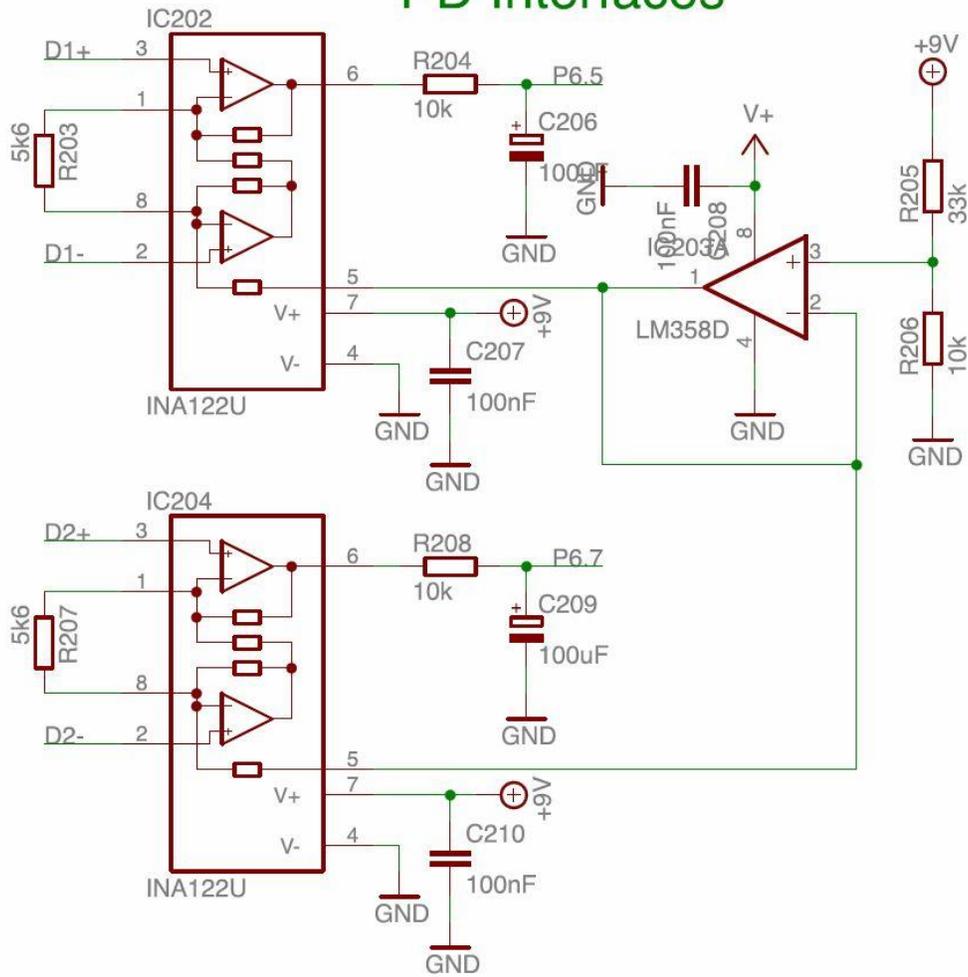


Ilustración 4.7.1 Esquemático Interfaz Eléctrica de Dendrómetro Perimetral

RD Interfaces

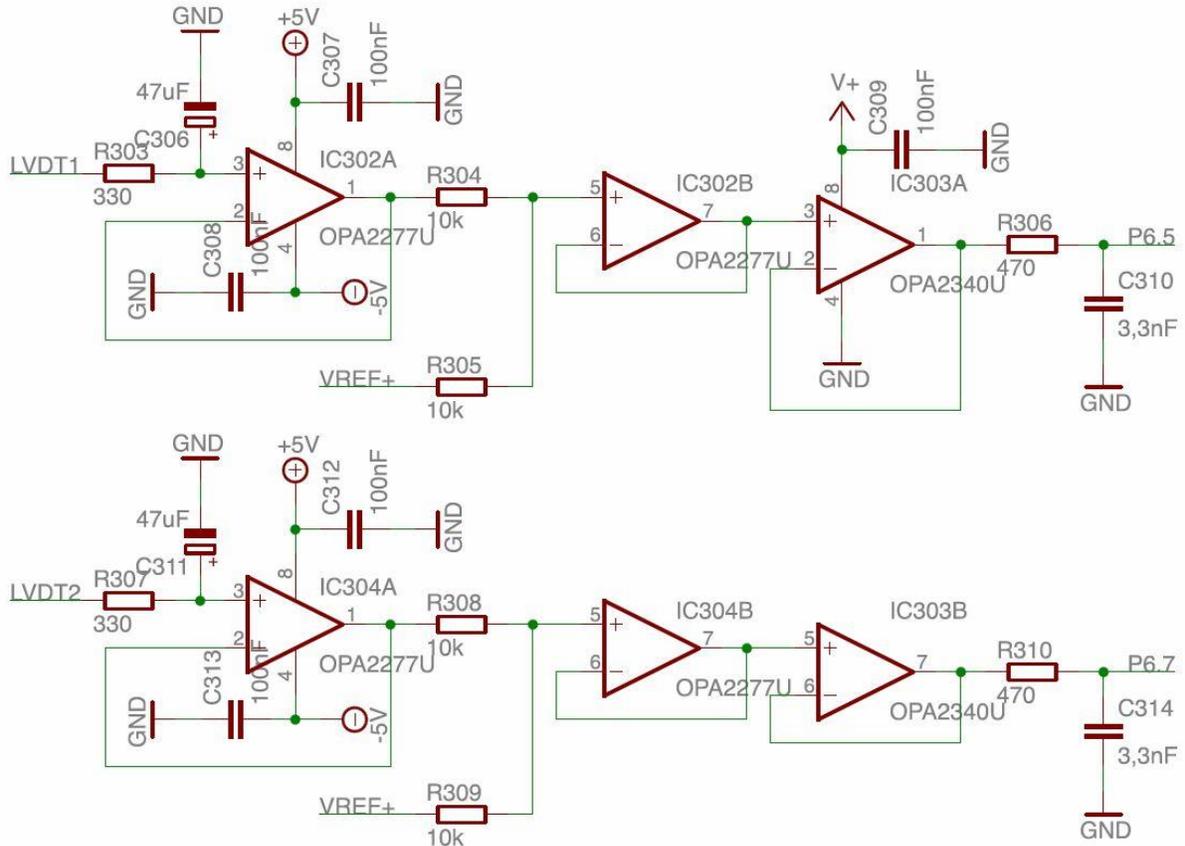


Ilustración 4.7.1 Esquemático Interfaz Eléctrica de Dendrómetro Radial

5 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

Una vez explicado el tipo de sensores empleados y su funcionamiento, se va a mostrar la distribución de los sensores en el cultivo. Para ello se debe, en primer lugar, localizar en un mapa la zona que se pretende monitorizar. Los cultivos de cereza propiedad de Finca Toli en que se realiza la instalación están aproximadamente 10 km al norte del núcleo urbano de Jumilla. El símbolo de estrella del plano de la *ilustración 5.1* indica la ubicación del cultivo en que se disponen los sensores.

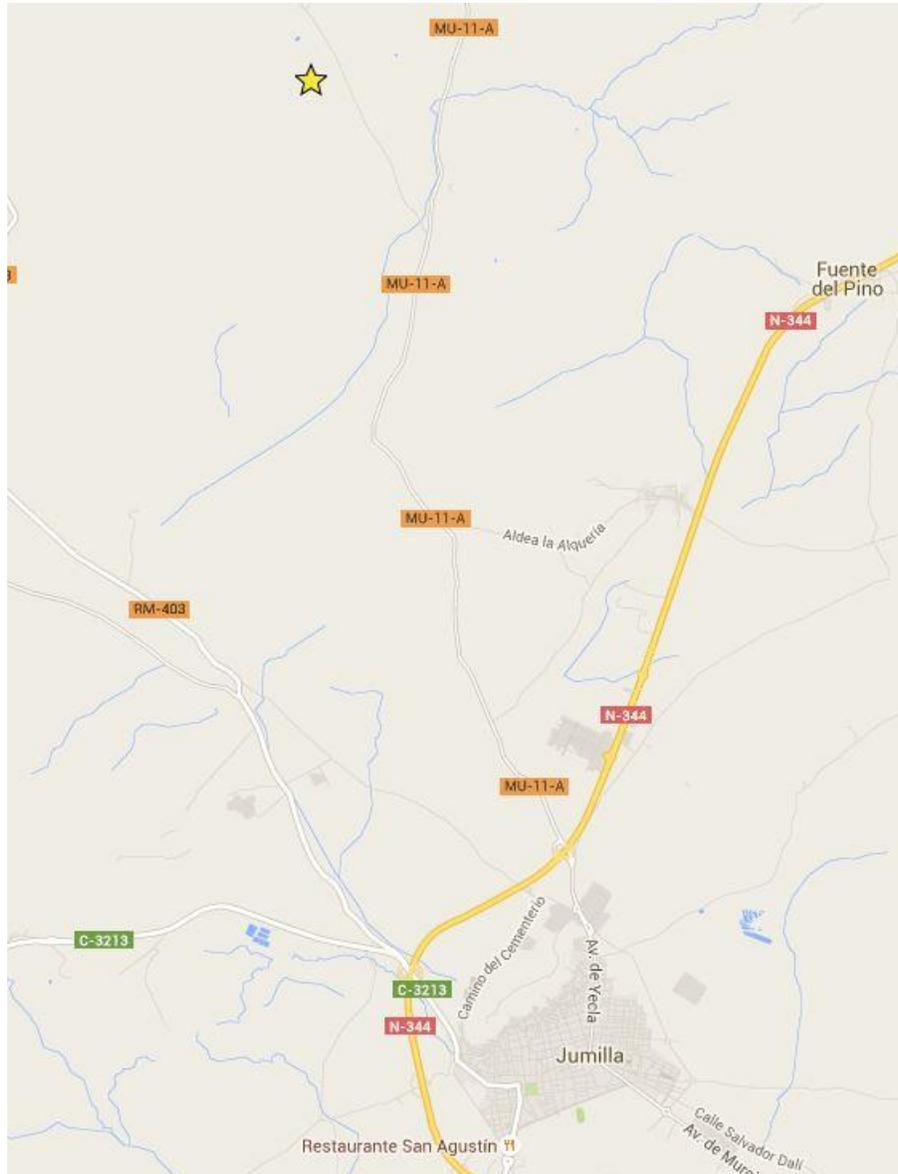


Ilustración 5.1 Plano de situación

La **ilustración 5.2** es una imagen de satélite que muestra el emplazamiento del cultivo, siendo apreciable a simple vista la cercanía del mismo a la planta principal de Finca Toli.



Ilustración 5.2 Plano de emplazamiento

Aproximando la vista al cultivo seleccionado, vemos la distribución de los diez nodos, correspondientes a los puntos de medida. Del marco de plantación marcado con el símbolo de la estrella, se ha seleccionado una zona concreta donde instalar los sensores, sin llegar a abarcar toda la superficie cultivada en dicho marco, ya que no es necesario para nuestro propósito.

En la **ilustración 5.3** se especifica la distribución de los diez nodos a los que se conectan los dispositivos de medida, y se refleja el número con que se identifica cada uno.

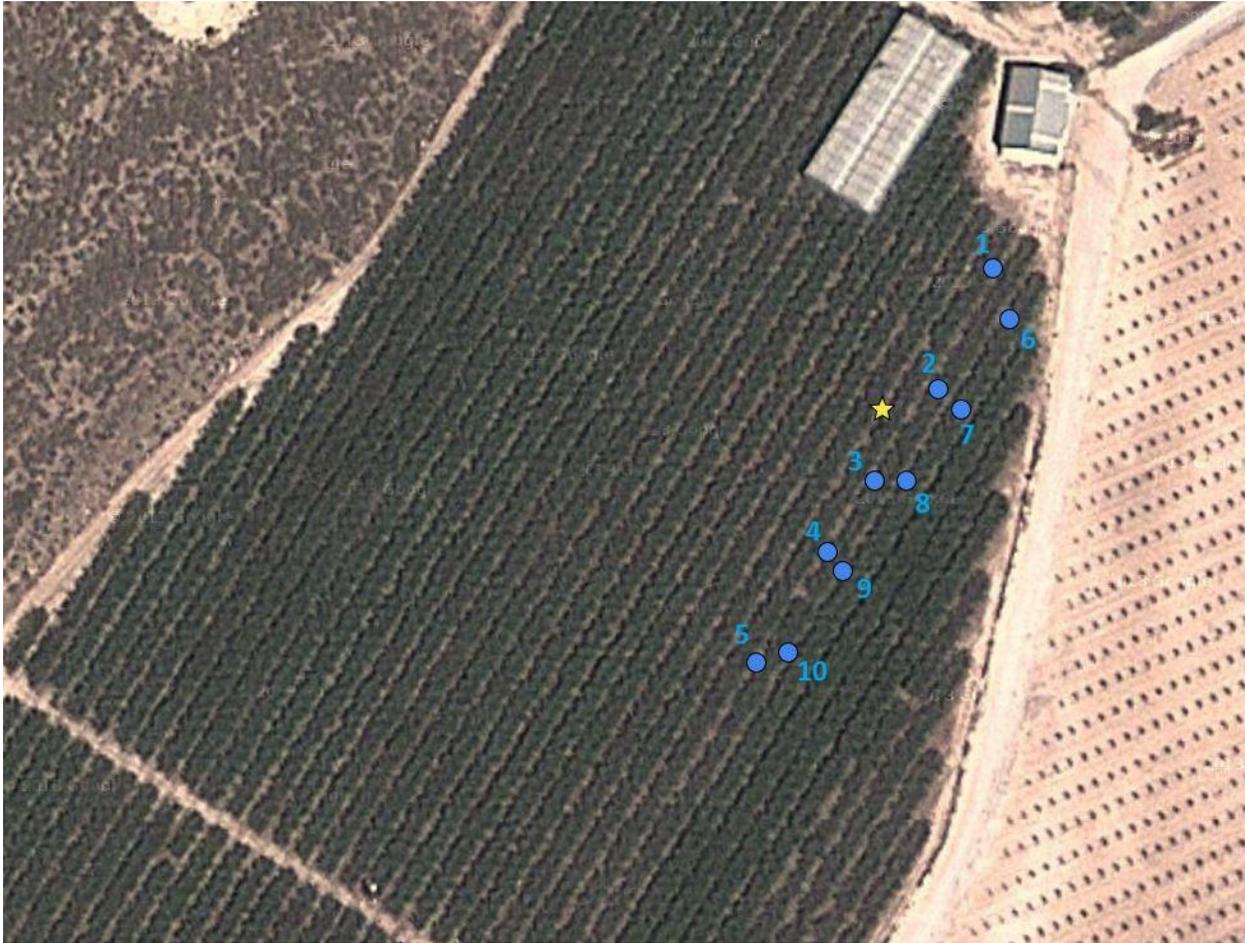


Ilustración 5.3 Plano de distribución de nodos

A cada nodo, representado por un círculo azul, se han conectado:

- 1 Sentek EnviroSCAN Probe para medición de humedad.
- 2 Decagon MPS-6 para medición de potencial matricial.
- 2 dendrómetros para medición de crecimiento:
 - UMS 6 (perimetrales) en nodos 3, 4 y 7.
 - LVDT de Solartron Metrology (radiales) en nodos 1, 2, 5, 6, 8, 9 y 10.

6 PROGRAMACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE

Como ya se ha comentado con anterioridad, la herramienta de software a desarrollar debe ser capaz de filtrar datos recogidos por el sistema descrito en los anteriores apartados. El volcado de datos del sistema de adquisición de datos se produce en formato *.txt*, el formato básico de archivos de texto. Para comenzar a plantear las funciones del programa, debemos prestar atención a estos archivos y analizarlos con algún programa capaz de leer tanto los caracteres visibles desde el *Bloc de Notas* de *Windows* como los ocultos, como puede ser *Notepad++*.

Al abrir un archivo de datos en bruto, se nos muestran las tramas con una estructura similar a la siguiente:

```
:0102D30001-000005.5+20.63+34.59946+23.07135+21.016096ED6EA3.992210232300100
:0109C30001-000008.6+18.7A966DA3.874035121170515
:0104D30001-000009.9+20.3-000011.7+20.03+37.47425+27.63633+2.541077FFFFFFF3.901739121170515
:0108D30001-000010.2+20.43+41.74644+30.43559+13.678826F96F34.124940131170515
:0106D30001-000053.4+20.23+37.20095-999.9999+37.519446EB6EB3.915047121170515
:0107D30001-000009.1+20.43+32.20924+23.59767+5.936666FFFFFFF3.915557222300100
:0102D30001-000005.5+20.63+34.49329+22.92572+20.959906EE6EB3.992225232300100
:0109C30001-000008.6+18.7A936DA3.884050121170515
:0104D30001-000009.9+20.3-000011.8+20.03+37.38120+27.48000+2.542788FFFFFFF3.911754121170515
:0108D30001-000010.3+20.43+41.67286+30.31540+13.650966F96F34.125055131170515
```

La irregularidad en la longitud de las líneas hace evidente que existen fallos en la toma de datos. Por ello, una de las prioridades en el código será detectar dichos fallos y solventarlos en la medida de lo posible para extraer la máxima cantidad de información posible de cada trama. Otro de los aspectos a tener en cuenta es la procedencia de los datos. Para no tener los datos entremezclados, se deberá agrupar el conjunto de datos correspondiente a cada nodo en hojas distintas.

Debido a las posibilidades que ofrece en cuanto a manejo de datos, importación desde archivos de texto y exportación a hojas de *Microsoft Excel*, se recurre a la programación en *MATLAB*. En este entorno de programación, se llevan a cabo las siguientes funciones del programa:

1. Lectura del *.txt* y eliminación de caracteres no permitidos.
2. Importación de tramas de datos a las diez *cell arrays* (N filas x 1 columna) correspondientes a cada nodo.
3. Recuento de caracteres (para identificar tipo de trama según error) y troceado de las tramas en distintas celdas, de donde resultan diez nuevas *cell arrays* (N x 18).
4. Exportación de *cell arrays* resultantes a archivo *.csv* y apertura del libro de *Microsoft Excel* habilitado para macros programado (*Datos.xlsm*).

Este libro, *Datos.xlsm*, está programado en *VBA* para que, con su apertura, realice las siguientes funciones:

1. Importación de archivos **.csv** en distintas hojas del libro, con traducción de valores de fecha y hora.
2. Selección de parámetros de cálculo y filtrado por parte del usuario mediante una interfaz gráfica.
3. Detección y tratamiento de valores no válidos para lectura.
4. Creación de la apariencia final de las hojas de datos y resultados seleccionados para la interpretación de la información recogida.

Durante la programación de la herramienta software, se presta especial atención a dos de los aspectos más importantes a tener en cuenta, la estructura y formato de los datos, ya que son estrictamente necesarios para realizar los cálculos de las variables indicadoras que permiten al usuario conocer el estado del cultivo.

A continuación, se explican en detalle los comandos introducidos en el código del programa en cada entorno de programación para conseguir que el software realice las funciones citadas.

6.1 PROGRAMACIÓN EN *MATLAB*

En primer lugar, se procede a la escritura del código para las funciones básicas del programa, que son las mencionadas anteriormente. Para que el usuario pueda elegir el archivo de datos, se ha llamado a la función *uigetfile*, que muestra en pantalla la ventana de selección de archivos típica de *Windows* de la **ilustración 6.1.1**. Restringiendo la visualización de archivos en esta ventana a los de tipo **.txt**, esta función obtiene la ruta y el nombre del archivo seleccionado, que introduciremos en la función *fopen* para abrir dicho archivo en una variable del programa, para posteriormente leerla con *fread* en un *cell array*.

```
[datos,ruta] = uigetfile('*.txt', 'Selecciona el archivo de datos');
fid = fopen(fullfile(ruta, datos), 'r');
if (fid == -1)
    exit
end
A = fread(fid);
```

La secuencia **if** cerrará el programa en caso de que el usuario cierre la ventana de selección del archivo, pues cuando la función *fopen* no se lleva a cabo correctamente, da como resultado -1 en el espacio de trabajo de *MATLAB*.

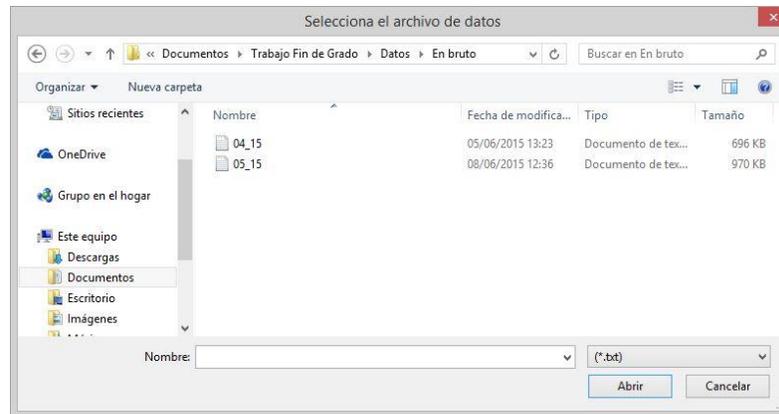


Ilustración 6.1.1 Ventana de selección del fichero de datos

Un *cell array* es un tipo de variable de *MATLAB* que consiste en una matriz que puede contener en sus celdas distintos tipos de variable (*string*, *integer*, *double*...). Abriendo el *cell array* *A* se denota la presencia de caracteres que de algún modo pueden falsear los datos y que no son visibles a simple vista, como los caracteres “salto de línea” y “nueva línea”, que son generados automáticamente por *Windows* en los archivos de texto, y que deben ser detectados y eliminados. Se hace uso de la función *find* para generar un *cell array* idéntico al anterior, pero en el que sólo se permiten los caracteres hexadecimales (0-9, A-F) y los símbolos de dos puntos, separador de decimales, signo positivo y signo negativo.

De este segundo *cell array* se extrae la información en un nuevo archivo de texto denominado *filtrado.txt* con ayuda de la función *fwrite*, para después escribir desde el mismo esta información, que ahora queda únicamente delimitada por los dos puntos del comienzo de cada trama, en un nuevo *cell array* con el comando *textscan*. Esta función de *MATLAB* permite leer archivos de texto y separar las cadenas de caracteres (*strings*) mediante el delimitador que se indique, en nuestro caso, ‘.’.

Hasta este punto, el resultado es un *cell array* de tantas filas como tramas de datos haya en el *.txt* primitivo y una sola columna. El contenido de cada celda son las tramas completas, estando aún mezclados los datos procedentes de cada nodo.

El siguiente paso es leer cada celda y enviar su contenido al *cell array* que corresponda, según el nodo del que proceda el dato. Se crean diez *cell arrays* vacíos, denominados *N1*, *N2*, ..., *N9*, *NA*, correspondientes a los nodos 1, 2, ..., 9 y 10 respectivamente. Usando la función *strncmp* para comparar *strings*, leemos los cuatro primeros caracteres de cada trama y los comparamos con los caracteres que correspondan a la referencia de cada nodo. Por ejemplo, para el nodo 1:

```
strncmp('0101',A{i},4)
```

Con este comando y los bucles **for** con sus contadores correspondientes, es posible llegar a separar los datos en cada *cell array* según su procedencia. Deberán hacerse las transposiciones correspondientes para la correcta lectura de los datos.

Una vez aislada la información de cada nodo, se pasa a buscar los distintos casos de pérdida de datos mediante el recuento de caracteres. Para ello, se declaran diez nuevos *cell arrays* inicialmente vacíos, denominados **C1, C2, ... , C9, CA**, que serán de idénticas dimensiones a **N1, N2, ... , N9, NA** y cuyo contenido corresponderá al número de caracteres de cada trama contenida en estos *cell arrays*. De esta forma, para conocer el número de caracteres de la trama contenida en la celda (167, 1) de **N5**, sólo necesitamos ver el número indicado en la celda (167,1) de **C5**. El comando utilizado para el recuento de caracteres de cada string es **length**.

Con todo lo explicado hasta ahora, para agilizar las pruebas del programa, se ha generado un script con el código escrito llamado **procesamiento_fichero.m**, de manera que sólo habrá que llamar a este script para llevar a cabo las tareas que hasta ahora se han conseguido realizar.

Antes de continuar con la programación, cabe destacar los distintos casos de pérdida de datos que se encuentran mediante el análisis de las *cell arrays* obtenidas hasta ahora:

- 89 caracteres: la trama está completa.
- 75 caracteres: no se reciben datos de un MPS-6.
- 61 caracteres, dos posibilidades:
 - Se reciben datos de MPS-6 pero no de EnviroSCAN.
 - Se reciben datos de EnviroSCAN pero no de MPS-6.
- 47 caracteres: se reciben datos de un MPS-6 pero ninguno del EnviroSCAN.
- 33 caracteres: no se reciben datos de ningún MPS-6 ni del EnviroSCAN.

Como se puede apreciar, no se menciona la posibilidad de que no se reciban datos de un anillo en concreto del EnviroSCAN, o que fallen los dendrómetros. Observando las distintas tramas de datos posibles, se detecta que estos fallos no se manifiestan por ausencia de caracteres, sino por valores erróneos en los mismos. Esto se explica de la siguiente manera:

- Cuando falla un dendrómetro, el valor que devuelve en hexadecimal es **FFF**.
- Cuando falla uno (o dos) de los tres anillos del EnviroSCAN, el valor dado es **-999.9999**.

Este tipo de fallos se filtrará más adelante en la macro de *VBA* del libro de *Microsoft Excel*.

A continuación, se escribe el código para la función **trocear_trama.m** que, en función del número de caracteres, establecerá la división de los mismos en las distintas columnas de diez nuevas *cell arrays* denominadas **A1, A2, ... , A9, AA**, llevando a cabo la traducción de valores hexadecimales a

decimales y formateando tanto la fecha como la hora de forma automática con un bucle **for**. La llamada a esta función tiene la siguiente sintaxis:

```
A1 = trocear_trama(N1,C1);
```

A1 será el resultado de aplicar la función **trocear_trama.m** a **N1**, tomando **C1** como *cell array* contador de caracteres de **N1**.

De esta forma, se obtienen las *cell arrays* definitivas, que se exportarán a un archivo **.csv** (*Comma Separated Values*) mediante la función **cell2csv.m**, descargada de la comunidad de *Mathworks* para facilitar esta operación. Se utiliza de la siguiente forma:

```
cell2csv('Nodo1.csv',A1,'\t');
```

El contenido de **A1** se vuelca en el archivo **Nodo1.csv**, separando los valores mediante tabuladores.

Para terminar con las funciones principales implementadas en el código de *MATLAB*, se recurre a la función **winopen** para abrir el libro de *Excel* habilitado para macros contenido en el *path* o ruta del programa, en el que se incluye el código para la ejecución de las operaciones correspondientes a *VBA*. La función **exit** hará que, una vez finalizada la exportación a **.csv** y la apertura de *Microsoft Excel*, se cierre automáticamente la ejecución del programa desarrollado en *MATLAB*.

Todas estas funciones se recogen en **tratamiento.m**, que compilaremos mediante el comando **mcc** en un archivo ejecutable llamado **tratamiento.exe**. Esta aplicación se podrá abrir sin necesidad de abrir *MATLAB*, siempre que el ordenador en que se ejecute disponga de *MATLAB R2015a* o, en su defecto, la versión 8.5 del *runtime* de *MATLAB* para hacer de puente entre el código de *MATLAB* y *MS-DOS*.

Se han añadido dos funciones secundarias relacionadas con la apariencia del programa. La primera de ellas es **waitbar**, que mostrará el progreso del tratamiento de ficheros que se realizará en segundo plano y tiene el aspecto mostrado en la **ilustración 6.1.2**.

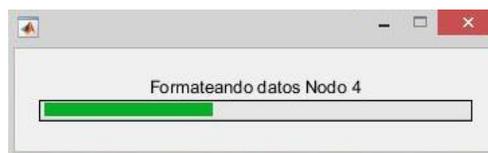


Ilustración 6.1.2 Ventana de progreso

La segunda funcionalidad es **SplashScreen.m**, una función descargada de la comunidad de *Mathworks* que permite mostrar una imagen en la pantalla, tal como la de la **ilustración 6.1.3**. Se ha utilizado para mostrar la información del programa al inicio de su ejecución: nombre, logo, organización, desarrollador, etc.



Ilustración 6.1.3 Imagen de inicio del Software (Splash Screen)

6.2 PROGRAMACIÓN EN *VISUAL BASIC PARA APLICACIONES*

Pasada la anterior fase de programación, creamos el libro de *Excel* habilitado para macros bajo el nombre de **Datos.xlsm**, ya que ésta es la denominación con la que se ha llamado a su apertura desde *MATLAB*. En él, se escribirán las funciones que darán como resultado las hojas de datos finales, bien sea manualmente o mediante grabación de macros, una característica que permite al desarrollador programar hojas de *Excel* sin escribir código, simplemente registrando las acciones que se realizan sobre el libro mientras se esté grabando la macro.

El primer paso es importar en distintas hojas de datos los archivos **Nodo1.csv**, **Nodo2.csv**, ..., **Nodo9.csv**, **NodoA.csv**. Para ello, hemos grabado la acción de importación en código, que sería el resultado de seleccionar “Datos > Obtener datos externos > Desde texto”, obteniendo en el código:

```
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:= _  
    "TEXT;" & Ruta, Destination:= _  
    Range("$A$1"))
```

Sin embargo, al grabar la macro es imposible importar sin seleccionar una ruta concreta, que podría cambiar según el ordenador donde se esté utilizando la aplicación. Para ello, hemos modificado la parte del código donde se indicaba la ruta y lo hemos sustituido por una variable llamada **Ruta**.

```
Ruta = ThisWorkbook.Path & "\Nodo1.csv"
```

De esta forma, encadenamos la ruta en la que se encuentra el libro *Datos.xlsm* con el nombre del archivo a importar en cada caso. Repitiendo el procedimiento diez veces, una por nodo, todos los datos quedan correctamente importados, y se muestran en la misma forma que en *MATLAB* en las diez hojas de datos generadas.

La eliminación de los archivos temporales se puede realizar desde *VBA* con el comando *Kill*, por lo que para evitar posibles conflictos al usar repetidamente el programa, se implementará este comando al terminar la importación de *.csv*, resultando el siguiente código:

```
Kill (ThisWorkbook ThisWorkbook.Path & "\*.csv")
Kill (.Path & "\filtrado.txt")
```

A continuación, se ha procedido a la sustitución de los valores numéricos correspondientes al día de la semana por su escritura en caracteres. La referencia se toma en que el 1 corresponde al domingo, por lo que con un bucle *for* en la columna 17, y las sentencias *if* se sustituirá el contenido de las celdas por el día de la semana que corresponda en cada caso.

El siguiente paso es la creación de una interfaz gráfica en la que el usuario puede decidir qué tratamiento se debe llevar a cabo con las tramas erróneas, qué intervalos de fecha y hora quiere visualizar, qué porcentaje de error admite en los datos recogidos por los sensores y qué operación ha de realizarse con los datos que no entren en dicho margen de bondad. El aspecto que tiene esta interfaz se refleja en la *ilustración 6.2.1*.

Esta interfaz muestra las opciones que tiene el usuario a la hora de visualizar datos y realizar cálculos sobre ellos, y debe ser programada para leer, escribir y filtrar información, todo ello sobre el libro de *Excel* en que se trabaja. Encontramos tres apartados: “Tratamiento de tramas erróneas”, “Fecha y hora” y “Filtrado según variación”, que trataremos como bloques a programar de manera independiente.

Para programar la interfaz de usuario, habrá que escribir el código correspondiente al procedimiento de cada elemento, como puede ser hacer clic en un botón o seleccionar un elemento de un cuadro de lista. Se han configurado estos elementos para que no se pueda producir errores no intencionados al seleccionar los parámetros de cálculo:

- No se permite seleccionar fechas y/o horas si el usuario no ha seleccionado la casilla de filtrado correspondiente.
- Se muestra un mensaje de error en caso de que el usuario decida filtrar por fecha y escoja un rango de fechas no válido (fecha inicial posterior a la fecha inicial).

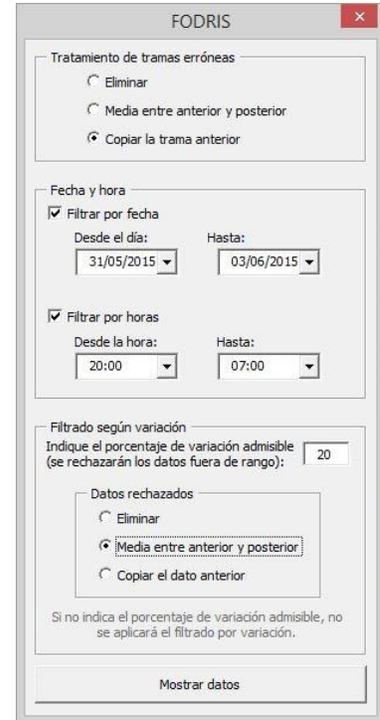


Ilustración 6.2.1 Interfaz de usuario para selección de parámetros de cálculo

- No se permite seleccionar qué acción tomar con los datos que quedan fuera del porcentaje de error admisible si no se especifica éste, siendo la acción predeterminada no realizar este tipo de filtrado.

Por motivos de posible error de cálculo al truncar los datos al filtrar por fecha y hora, en primer lugar se programa el filtrado según variación porcentual. La referencia con que se compara cada dato es la media de los cinco valores cronológicamente anteriores, de forma se le aplicará el porcentaje (por encima y por debajo) y si el dato analizado no entra en el intervalo, se rechazará el dato, aplicando el tratamiento que el usuario seleccione: eliminar el dato, ponderarlo como la media entre el dato anterior y el posterior o copiar el dato anterior. Hay que tener en cuenta que, si alguno de los cinco valores anteriores está en blanco, no deberá aplicarse el promedio, ya que podría falsearse este valor y eliminar datos válidos.

A continuación, se programa el tratamiento de las tramas erróneas, dando las mismas opciones que en el caso anterior: eliminar la trama, ponderar los datos de la misma como la media de los datos de la trama anterior y la posterior o copiar la trama anterior.

El filtrado según fecha y hora es el último de los procedimientos a programar en la interfaz de usuario. Debido a la configuración inicial de los mismos, los dos primeros cuadros de lista de elementos denominados **ComboBox** leen las fechas contenidas en el libro de *Excel*, asegurando que se filtrarán las tramas según fechas recogidas en el mismo. Tanto para la fecha como para la hora, si se activan las casillas correspondientes, se comparan los parámetros seleccionados con los de la tabla, eliminando las filas que contengan datos fuera de los intervalos de fecha y hora seleccionados.

Para mejorar el aspecto de las hojas de datos, se programa la inserción de una nueva primera fila donde se escriben las cabeceras de las columnas de datos, se autoajusta el ancho de las mismas para evitar la ocultación de caracteres y se asigna el color de fuente y relleno de esta fila grabando el código con la característica de grabación de macros. También se modificará el nombre de cada hoja del libro, haciéndose corresponder con el nodo del que proceden los datos de cada una.

Otra medida tomada para mejorar la apariencia del libro de *Excel* ha sido programar el coloreado del relleno de las filas que contienen los datos, de forma que las filas impares quedan de un color y las pares de otro. Este procedimiento se realizará con bucles **for**, y en función de si el contador es par o impar, se coloreará el fondo de las celdas de blanco o de un tono azulado claro. El código queda de la siguiente forma:

```
uf = ActiveSheet.Range("Q" & Rows.Count).End(xlUp).Row
For i = 2 To uf
    If (i Mod 2 = 0) Then
        With Range(Cells(i, 1), Cells(i, 18)).Interior
            .Pattern = xlSolid
            .PatternColorIndex = xlAutomatic
            .ThemeColor = xlThemeColorDark1
            .TintAndShade = 0
            .PatternTintAndShade = 0
        End With
    End If
End For
```

```

        End With
    End If
    If (i Mod 2 = 1) Then
        With Range(Cells(i, 1), Cells(i, 18)).Interior
            .Pattern = xlSolid
            .PatternColorIndex = xlAutomatic
            .ThemeColor = xlThemeColorAccent1
            .TintAndShade = 0.599993896298105
            .PatternTintAndShade = 0
        End With
    End If
Next i

```

En el mismo bucle se pueden incluir los filtros frente a los fallos de hardware mencionados en el **apartado 6.1** referente a la programación en *MATLAB*, que son aquellos que muestran valores extremos muy concretos cuando no se consigue tomar o enviar correctamente el dato en el caso de los anillos del EnviroSCAN (por separado) y los dendrómetros. Estos filtros dejarán en blanco las casillas que contienen datos corruptos, y su código es el siguiente:

```

If Cells(i, 10).Value = -999.9999 Then
    Cells(i, 10).ClearContents
End If

If Cells(i, 13).Value = 4095 Then
    Cells(i, 13).ClearContents
End If

```

El primer *if* corresponde al ejemplo del primer anillo del EnviroSCAN, y deberá repetirse para las dos columnas siguientes, la 11 y la 12, mientras que el segundo corresponde a las columnas de los dendrómetros y deberá repetirse para la columna 14.

Llegados a este punto, el usuario es capaz de visualizar los datos, tratados según los criterios tomados, pero no puede aún visualizar los resultados y gráficas que son realmente interesantes de cara a la monitorización del cultivo. Los parámetros que se busca representar en estas hojas de datos son:

- Valores máximos de las variables: diarios, semanales y acumulados.
- Valores mínimos de las variables: diarios, semanales y acumulados.
- Diferencia entre valores máximos y mínimos diarios de cada variable.
- Tasa de crecimiento: diario y semanal.
- Valor porcentual de cada dato respecto el valor máximo acumulado, mínimo acumulado en el caso del potencial matricial por tratarse de una magnitud negativa.

Es necesario representar gráficamente la evolución de las variables en el tiempo, de forma que se agrupan los datos referidos a cada variable en las mismas tablas: los datos procedentes de los MPS-6 se representan agrupados, de forma que existirán dos curvas de evolución temporal en un mismo gráfico, e igualmente se procede para los datos de los tres sensores de un EnviroSCAN y los datos de los dos dendrómetros. Es aspecto que adoptan las gráficas resultantes es similar al mostrado en la

ilustración 6.2.2. Usualmente, los expertos y técnicos agrarios hacen referencia a fechas por el número de día de que se trata o *DOY (Day Of Year)*, por lo que en el eje temporal los días no se muestran en forma de fecha, sino con el número del día del año al que corresponde dicho número. Por ejemplo, el día 29/05/2015 corresponde con el día 149 del año 2015.

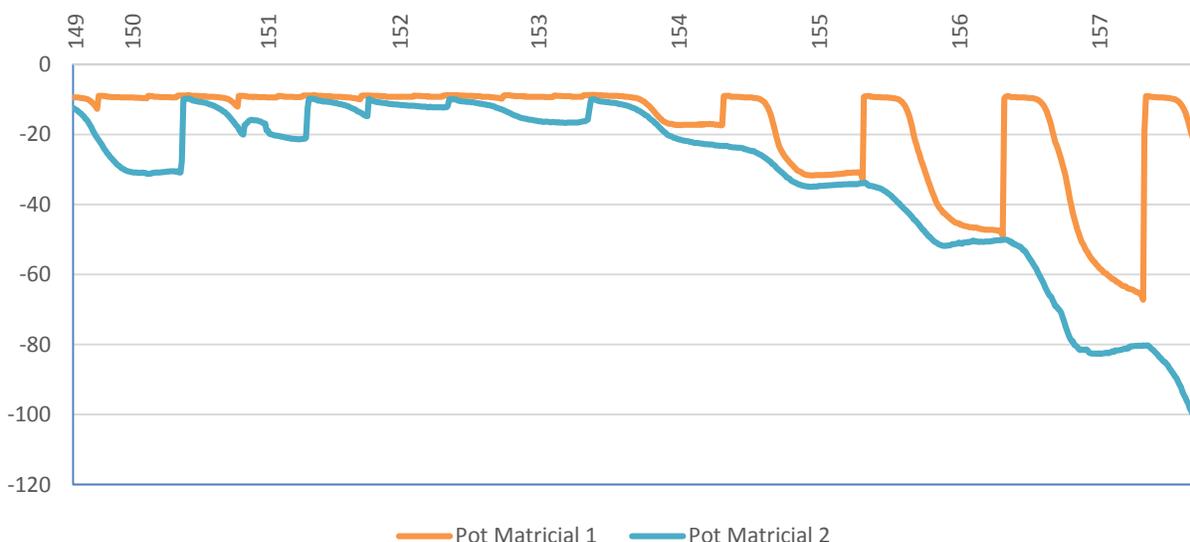


Ilustración 6.2.2 Gráfico de evolución temporal de los datos recogidos sobre potencial matricial

El conjunto de resultados y gráficas se recogen en una diez nuevas hojas de datos llamadas “Resultados 1”, “Resultados 2”, ... , “Resultados 9”, “Resultados 10”, correspondientes a los resultados obtenidos en cada una de las hojas de datos “Nodo 1”, “Nodo 2”, ... , “Nodo 9”, “Nodo 10”, respectivamente. En estas hojas de resultados se programa la apariencia en primer lugar, teniendo en cuenta que deberán mostrarse las fechas que existan en la hoja de datos a la que se refiere, de forma similar a como se ha hecho previamente. Una vez hecho esto, se incluyen en el código los cálculos que correspondan a cada celda, de manera que el usuario pueda ver en las tablas de las hojas de resultados los parámetros indicadores del cultivo anteriormente mencionados.

El último paso a realizar en la programación de esta herramienta de software de tratamiento de datos es la inclusión de las gráficas mencionadas y su personalización con la ayuda de la grabación de macros en *Excel*.

Finalmente, el usuario del programa dispondrá de 20 hojas de datos en el mismo libro de *Excel* que mostrarán tanto los datos como los resultados y gráficos necesarios para conocer el estado del cultivo en el intervalo de fechas y/o horas que haya especificado, observándose que las tramas y datos erróneos o fuera de un margen de fiabilidad establecido por el usuario han sido tratados para suplir los posibles fallos de hardware que pueden darse en el cultivo. Las **ilustraciones 6.2.3 y 6.2.4** muestran el aspecto final de las hojas de datos y resultados, respectivamente.

Datos [solo lectura] - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

Salva Roca Guillén

A1 : ID

ID	Máscara	Submáscara	Pot Matricial 1	Temperatura 1	Pot Matricial 2	Temperatura 2	Anillos	Humedad 20 cm	Humedad 40 cm	Humedad 70 cm	Diámetro 1	Diámetro 2	Batería	Hora	Día se		
1	10	D300	1	-8.5	18.6	-9.4	17.9	3	37.90614	33.79961	31.12343	1746	1750	4.15	13:15	Vier	
3	1	10	D300	1	-8.5	18.6	-9.4	17.9	3	37.83746	33.64029	31.01012	1749	1752	4.15	13:30	Vier
4	1	10	D300	1	-8.5	18.6	-9.5	17.9	3	37.76886	33.48141	30.89705	1751	1754	4.15	13:45	Vier
5	1	10	D300	1	-8.6	18.6	-9.5	17.9	3	37.70033	33.31507	30.79174	1753	1755	4.15	14:00	Vier
6	1	10	D300	1	-8.6	18.6	-9.5	17.9	3	37.62331	33.12558	30.67165	1753	1755	4.15	14:15	Vier
7	1	10	D300	1	-8.6	18.6	-9.5	17.9	3	37.52933	32.91317	30.55932	1754	1756	4.15	14:30	Vier
8	1	10	D300	1	-8.7	18.6	-9.5	17.9	3	37.444	32.72504	30.44723	1755	1758	4.15	14:45	Vier
9	1	10	D300	1	-8.7	18.6	-9.5	17.9	3	37.37582	32.56095	30.33539	1757	1759	4.15	15:00	Vier
10	1	10	D300	1	-8.7	18.6	-9.6	17.9	3	37.2992	32.38959	30.2238	1759	1760	4.15	15:15	Vier
11	1	10	D300	1	-8.7	18.6	-9.6	17.9	3	37.21419	32.2265	30.11245	1759	1760	4.15	15:30	Vier
12	1	10	D300	1	-8.8	18.6	-9.7	17.9	3	37.12082	32.04073	30.01615	1759	1760	4.15	15:45	Vier
13	1	10	D300	1	-8.8	18.6	-9.7	17.9	3	37.02757	31.86329	29.92002	1760	1761	4.15	16:00	Vier
14	1	10	D300	1	-8.8	18.6	-9.7	17.9	3	36.93447	31.69412	29.80934	1761	1762	4.15	16:15	Vier
15	1	10	D300	1	-8.8	18.6	-9.7	17.9	3	36.84994	31.53314	29.72097	1761	1762	4.15	16:30	Vier
16	1	10	D300	1	-8.9	18.6	-9.8	17.9	3	36.78241	31.37265	29.61808	1762	1762	4.15	16:45	Vier
17	1	10	D300	1	-8.9	18.6	-9.8	17.9	3	36.74868	31.21264	29.53005	1763	1763	4.15	17:00	Vier
18	1	10	D300	1	-9	18.6	-9.8	17.9	3	36.81618	31.06071	29.44217	1763	1763	4.15	17:15	Vier
19	1	10	D300	1	-9	18.6	-9.9	17.9	3	37.04451	30.91678	29.36176	1764	1763	4.15	17:30	Vier
20	1	10	D300	1	-9	18.6	-9.9	17.9	3	37.3673	30.84119	29.27419	1764	1764	4.15	17:45	Vier
21	1	10	D300	1	-8.9	18.6	-9.9	17.9	3	37.64898	30.90166	29.19404	1765	1764	4.15	18:00	Vier
22	1	10	D300	1	-8.8	18.7	-10	17.9	3	37.89756	31.16702	29.12131	1766	1765	4.15	18:15	Vier
23	1	10	D300	1	-8.6	18.7	-10	17.9	3	38.11263	31.57908	29.05593	1767	1766	4.14	18:30	Vier
24	1	10	D300	1	-8.4	18.7	-10	17.9	3	38.22474	31.94808	28.99789	1769	1767	4.14	18:45	Vier
25	1	10	D300	1	-8.4	18.7	-10.1	17.9	3	38.25065	32.17225	28.93992	1769	1768	4.14	19:00	Vier
26	1	10	D300	1	-8.4	18.7	-10.1	17.9	3	38.25065	32.3274	28.88202	1769	1767	4.14	19:15	Vier
27	1	10	D300	1	-8.4	18.8	-10.2	17.9	3	38.22474	32.42849	28.83864	1769	1767	4.14	19:30	Vier
28	1	10	D300	1	-8.4	18.8	-10.2	17.9	3	38.20749	32.51416	28.79531	1770	1767	4.14	19:45	Vier
29	1	10	D300	1	-8.4	18.8	-10.2	17.9	3	38.18159	32.56875	28.76643	1770	1767	4.14	20:00	Vier

LISTO

Ilustración 6.2.3 Captura de hoja de datos

Datos - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

Salva Roca Guillén

A1 : Valores máximos acumulados

Valores máximos acumulados								Valores mínimos acumulados							
PM1	PM2	H20	H40	H70	D1	D2		PM1	PM2	H20	H40	H70	D1	D2	
-8.7	-9.8	0	0	0	3055	4089		-67.2	-102.8	0	0	0	2826	4087	

Valores máximos diarios							
Día	PM1	PM2	H20	H40	H70	D1	D2
29/05/2015	-9.0	-12.5	0.0	0.0	0.0	2978	4089
30/05/2015	-8.8	-9.8	0.0	0.0	0.0	3011	4089
31/05/2015	-8.8	-9.8	0.0	0.0	0.0	3035	4089
01/06/2015	-8.8	-10.0	0.0	0.0	0.0	3052	4089
02/06/2015	-8.7	-10.0	0.0	0.0	0.0	3051	4089
03/06/2015	-9.0	-21.2	0.0	0.0	0.0	3039	4089
04/06/2015	-9.0	-33.8	0.0	0.0	0.0	3045	4089
05/06/2015	-9.1	-50.0	0.0	0.0	0.0	3051	4089

Valores mínimos diarios							
Día	PM1	PM2	H20	H40	H70	D1	D2
29/05/2015	-12.7	-30.6	0.0	0.0	0.0	2847	4087
30/05/2015	-12.1	-31.2	0.0	0.0	0.0	2826	4087
31/05/2015	-10.0	-21.4	0.0	0.0	0.0	2876	4087
01/06/2015	-9.8	-16.1	0.0	0.0	0.0	2907	4087
02/06/2015	-17.2	-21.1	0.0	0.0	0.0	2891	4088
03/06/2015	-31.7	-35.0	0.0	0.0	0.0	2873	4087
04/06/2015	-45.2	-51.9	0.0	0.0	0.0	2884	4088
05/06/2015	-57.2	-82.6	0.0	0.0	0.0	2877	4088

Diferencias máximo-mínimo diarias							
Día	PM1	PM2	H20	H40	H70	D1	D2
29/05/2015							

LISTO

Ilustración 6.2.4 Captura de hoja de resultados

7 REQUISITOS DE USO Y MANUAL DE USUARIO

A continuación, se recogen los requisitos de uso del programa *FODRIS*.

- Requisitos mínimos
 - *Microsoft Windows 7*
 - *MATLAB Runtime 8.5* (permite abrir ejecutables de *MATLAB R2015a*)
 - *Microsoft Excel 2007*

- Configuración recomendada
 - *Microsoft Windows 8.1* (64 bits)
 - *MATLAB R2015a*
 - *Microsoft Excel 2013*

El programa no requiere instalación, puede ejecutarse desde memorias extraíbles USB o desde el ordenador. Si desea disponer del programa en su ordenador, deberá mover la carpeta *FODRIS* a cualquier ubicación del disco local C:\ del mismo. Este software no escribe en el registro del sistema, por lo que si desea eliminar el programa, bastará con trasladarlo a la Papelera de Reciclaje y, desde ahí, eliminarlo definitivamente del sistema.

Para usar el programa:

1. Haga clic en el ejecutable ***FODRIS.exe*** contenido en la carpeta del programa. Por su comodidad, puede crear un acceso directo al programa en el escritorio.
2. Tras mostrar la imagen de inicio del programa, éste le solicitará que seleccione el archivo de datos (***.txt***) que quiere visualizar.
3. Una vez seleccionado, aparecerá una barra de progreso que, al completarse, abrirá el programa *Microsoft Excel*.
4. Se mostrará la interfaz de usuario en la que puede seleccionar el modo en que desea visualizar los datos y el tipo de tratamiento de datos erróneos o incoherentes según el porcentaje de variación admisible que indique. En los bloques “Fecha y hora” y “Filtrado según variación”, puede dejar campos en blanco.
5. Tras una breve espera, dispondrá de los datos en las hojas denominadas “Nodo X” y los parámetros y gráficos representativos en las hojas “Resultados X”, donde X hace referencia al número del nodo del que se han extraído los datos.
6. **IMPORTANTE**: si desea guardar este archivo de *Excel*, debe asegurarse de hacerlo en formato ***.xls*** o ***.xlsx*** (Libro de datos de *Excel*), ya que si lo guarda en formato ***.xlsm***

(Libro de datos de *Excel* habilitado para macros) es muy probable que en la apertura del archivo aparezcan mensaje de error diversos, relacionados con el código del programa.

8 FUTURAS AMPLIACIONES DE *FODRIS*

Debido a que el software diseñado para este trabajo tiene aplicación no sólo en el cultivo señalado (Finca Toli), sino en cualquier otra instalación de sensores en campo, se han determinado nuevos objetivos a cumplir de cara a la extensión del uso del programa.

En un cultivo, es posible disponer de distintos tipos de sensores, obteniendo distintas estructuras de tramas de datos según la instrumentación instalada. Se prevé, por ejemplo, el uso de sensores radiómetros para medir la intensidad de energía térmica radiante recibida por el cultivo, y es probable que no se usen siempre los mismos sensores. Una futura extensión del programa puede ser la especificación del tratamiento de las tramas en función de los sensores que se hayan instalado en el campo.

Los datos pueden estar alojados remotamente en un servidor FTP, de forma que otra posible ampliación del programa sería el acceso directo a los datos de dicho servidor desde la interfaz de usuario inicial. De esta manera, no será necesario recoger los datos del cultivo y guardarlos en el ordenador manualmente.

Por último, será necesario solventar los posibles fallos que pudieran detectarse tras el uso continuado del programa, además de atender a las necesidades del usuario a la hora de usar el mismo. Esto hace necesario que exista *feedback* de usuario a desarrollador, haciendo que esta herramienta de tratamiento y visualización de datos esté abierta a nuevas posibilidades.

9 BIBLIOGRAFÍA

Campbell Scientific. *AM16/32B Relay Multiplexer Instruction Manual*. Disponible en: <https://s.campbellsci.com/documents/es/manuals/am16-32b.pdf>

Campbell Scientific. *CR1000 Measurement and Control System Operator's Manual*. Disponible en: <https://s.campbellsci.com/documents/es/manuals/cr1000.pdf>

Decagon Devices. *MPS-6 Calibrated Water Potential Sensor*. Disponible en: <http://www.decagon.com/products/soils/water-potential/mps-6-calibrated-water-potential-sensor/>

Domingo Miguel, R. *Apuntes de Fitotecnia*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.

García Sabater, J. & Bravo i Reig, G. *Manual de Visual Basic para Excel*. Disponible en: http://cesotolliccu.mdl2.com/pluginfile.php/3101/mod_resource/content/1/MANUAL%20VISUAL%20BASIC.pdf

Martín Moreno, J. & Ruiz Fernández, D. *Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4)*. Alicante: Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante, 2007. Disponible en: http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe_ZigBee.pdf

MathWorks. *MATLAB Documentation*. Disponible en: <http://es.mathworks.com/help/>

Microsoft. *Referencia para desarrolladores de Excel 2013*. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/office/ee861528.aspx>

Moore, H. *MATLAB® para ingenieros*. México: Pearson Educación, 2007. ISBN: 978-970-26-1082-3. Disponible en: <http://cursos.itcg.edu.mx/libros/matlab%20para%20ingenieros.pdf>

Ruiz Canales, A. [et al.]. *Empleo de programadores para la gestión del riego (Parte 2)*. Disponible en: http://www.infoagro.com/documentos/empleo_programadores_gestion_del_riego_parte_ii_.asp

SDI-12 Support Group. *Serial Digital Interface at 1200 Baud*. Disponible en: <http://www.sdi-12.org>

Sentek Technologies. *EnviroSCAN Probe*. Disponible en: <http://www.sentek.com.au/products/enviro-scan-probe.asp>

UMS. *D6 Datasheet*. Disponible en: http://www.ums-muc.de/fileadmin/produkt_downloads/Pflanzenmesstechnik/D6_Datasheet.pdf

Universidad Tecnológica Nacional de Argentina. *LVDT*. Disponible en: <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/LVDT/lvdt.pdf>

Zanini, V. *Macros en Microsoft Excel 2013*. Buenos Aires: Fox Andina, 2013. ISBN 978-987-1857-99-9