



ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN, ALMACENAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EN PARCELAS PILOTO PARA CULTIVOS”

TRABAJO DE FIN DE CARRERA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORES:

PABLO RAFAEL AGUIRRE CHAMBA

RODOLFO PABEL MERINO VIVANCO

DIRECTOR:

ING. CARLOS CALDERON

LOJA –ECUADOR



CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO

Yo, Pablo Rafael Aguirre Chamba, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y acepto la disposición del Art.67 del Estatuto de la Universidad Técnica Particular de Loja, el cual de forma textual menciona: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad".

Loja, Junio del 2011

Pablo Rafael Aguirre Chamba

TESISTA

Yo, Rodolfo Pabel Merino Vivanco, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y acepto la disposición del Art.67 del Estatuto de la Universidad Técnica Particular de Loja, el cual de forma textual menciona: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional de la Universidad".

Loja, Junio del 2011

Rodolfo Pabel Merino Vivanco

TESISTA

AUTORIA

Las ideas, conceptos, procedimientos y resultados escritos en el presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Pablo Rafael Aguirre Chamba

TESISTA

Rodolfo Pabel Merino Vivanco

TESISTA

CERTIFICACIÓN

Ing. Carlos Calderón, Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones y Docente de la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Técnica particular de Loja.

CERTIFICO:

Que el presente trabajo realizado por Pablo Rafael Aguirre Chamba y Rodolfo Pabel Merino Vivanco, ha sido orientado y revisado continuamente durante la ejecución del proyecto, el mismo que reúne los requisitos exigidos para este tipo de investigación, por lo que autorizo su presentación, sustentación y defensa.

Loja, Junio del 2011

Ing. Carlos Calderón

DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, por brindarme su Amor y permitir cumplir este sueño.

Dedico a mis padres y a mis hermanos pues siempre han sido las personas que me han apoyado y que gracias a sus consejos he podido lograr muchas cosas.

Dedico a mis amigos de clase, y en especial a mi grupo de estudio, porque este sueño lo hemos realizado juntos con mucho esfuerzo, solidaridad, amistad y cariño.

Pablo Rafael Aguirre Chamba

TESISTA

Este trabajo lo dedico a mis padres Wilman y Loly por ser siempre guía en mi camino, por brindarme siempre un apoyo incondicional en todo momento de mi carrera, a mis hermanos por ser parte fundamental de mi familia.

Rodolfo Pabel Merino Vivanco

TESISTA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en a Dios por haberme permitido seguir esta hermosa carrera y haberme dado la sabiduría necesaria. A mis Padres, mis hermanos que siempre han estado conmigo y han sabido darme sus consejos y comprenderme en muchos momentos. A la UTPL, en especial a la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, y a su planta docente por sus conocimientos impartidos durante estos 5 años. A nuestro director de tesis, y el codirector por su apoyo y guía en el desarrollo de este trabajo.

Pablo Rafael Aguirre Chamba

TESISTA

Mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica Particular de Loja por haberme acogido para mi formación superior, a la Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, a su planta de docentes que siempre estuvieron prestos para guiarme académicamente y brindarme sus conocimientos, de manera especial al Ing. Carlos Calderón nuestro director de Tesis, el cual ha sabido dirigirnos con certeza en el desarrollo de este proyecto, al Ing. Pablo Ochoa nuestro codirector de tesis quién siempre estuvo presto para nuestra ayuda.

Rodolfo Pabel Merino Vivanco

TESISTA

RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN

En las distintas ingenierías que se involucran conocimientos relacionados con el suelo y su estado, es de vital importancia saber el comportamiento del agua en el mismo y el efecto que ésta produce. Una de las características interesantes a medir es la infiltración o la velocidad de infiltración del agua en el suelo, esta característica es de vital importancia en la agricultura, ingeniería civil, geología y otras áreas de estudio del suelo.

El proyecto tuvo por objetivo la implementación de un sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de datos para determinar la velocidad de infiltración, para lo cual se necesitó medir la cantidad de agua que ha ingresado en el suelo, se utilizó una forma de medición indirecta de la humedad del suelo, a partir de una de las características físicas del suelo, como lo es la tensión, para este efecto utilizamos una malla de sensores de tensión que fueron ubicados a distintas profundidades, luego se recolectó los datos en un datalogger el cual se lo implemento a través de un PLC S7-200 y para la lectura de las señales analógicas de voltaje, se la realizó a través de módulos de expansión EM-231 y una tarjeta de memoria de 256 KB para su almacenamiento.

Para el cálculo de la velocidad de infiltración se necesitó saber la cantidad de agua que se había precipitado y para esto se utilizó la estación meteorológica Davis Pro II, que se la tiene instalada en el lugar destinado al estudio, además la estación nos ayuda con una referencia para los sensores de tensión ya que la misma cuenta con sensores de tensión similares ubicados a las mismas profundidades. Una vez que se obtiene los datos de precipitación y los datos de tensión, se tiene un software para su análisis, en él se grafican los datos de los sensores de tensión, más la posibilidad de graficar los valores de precipitación; temperatura y evapotranspiración, una vez que los datos se procesan en el programa, obtenemos la velocidad de infiltración.

Como resultado de la implementación del sistema de adquisición de datos, obtuvimos un error máximo del 5% con referencia a los instrumentos de medición (Tensiómetros analógicos) utilizados por Laboratorio de Suelos Agrícolas UTPL.

INDICE

CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO	II
AUTORIA	IV
CERTIFICACIÓN	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS.....	VIII
RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN.....	- 1 -
INDICE	- 2 -
INTRODUCCIÓN	- 9 -
OBJETIVOS.....	- 11 -
Objetivo general.....	- 11 -
Objetivos específicos.....	- 11 -
1. Infiltración.....	- 12 -
1.1. Distribución de la Precipitación en el Suelo	- 12 -
1.2. Parámetros de la Infiltración	- 13 -
1.2.1. Capacidad de infiltración o tasa de Infiltración	- 13 -
1.2.2. Velocidad de infiltración.....	- 13 -
1.2.2.1. Factores que intervienen en la capacidad de infiltración	- 14 -
1.2.3. Medida de la velocidad de infiltración.....	- 14 -
1.3. Humedad del suelo.....	- 16 -
1.3.1. El suelo y el agua.....	- 16 -
1.3.2. Diferentes estados del agua en el suelo	- 18 -
1.3.3. Medición del contenido de humedad del suelo	- 18 -
1.3.3.1. Los métodos de medición de humedad del suelo	- 19 -
1.4. Evapotranspiración	- 20 -
2. Adquisición de datos	- 22 -
2.1. Sensor de tensión.....	- 23 -
2.1.1. Tipo de sensor.....	- 23 -
2.1.2. Características del sensor.....	- 24 -

2.1.3.	Curva característica del sensor.	- 24 -
2.1.4.	Número de sensores.....	- 25 -
2.2.	Controlador PLC S7-200.....	- 26 -
2.3.	Características técnicas del PLC S7-200 CPU 224.....	- 27 -
2.4.	Algoritmos.....	- 28 -
2.4.1.	Adquisición de datos.....	- 28 -
2.4.2.	Algoritmo de registro de datos en el PLC	- 28 -
2.4.2.1.	Lectura y Registro de datos.....	- 30 -
2.4.2.2.	Almacenamiento de datos.	- 32 -
2.4.2.3.	Descarga de datos.	- 33 -
2.5.	Aplicación basada en LabVIEW.	- 34 -
2.5.1.	Software de LabVIEW de tratamiento de datos.	- 35 -
2.5.2.	Etapas de alimentación	- 36 -
3.	Implementación	- 38 -
3.1.	Ensamblaje de paneles	- 38 -
3.1.1.	Panel de control.....	- 38 -
3.1.2.	Panel de alimentación.....	- 41 -
3.2.	Montaje de la caseta.....	- 43 -
3.3.	Instalación de sensores.....	- 44 -
3.3.1.	Colocación de sensores	- 44 -
3.3.2.	Instalación del cableado	- 45 -
3.4.	Montaje de los paneles en la caseta.....	- 47 -
3.5.	Calibración del PLC	- 48 -
3.5.1.	Configuración de los módulos EM-231	- 48 -
3.5.2.	Calibración de los módulos EM-231	- 49 -
4.	Análisis de resultados	- 51 -
4.1.	Cálculo de la infiltración.	- 51 -
4.2.	Primeros datos obtenidos.	- 53 -
4.2.1.	Errores por el nivel de ruido en el suelo.....	- 53 -
4.2.2.	Correcciones del ruido en el sistema.	- 54 -

4.2.2.1.	Sistema de mallado de tierras.....	- 54 -
4.2.2.2.	Discriminador de ruido en software	- 55 -
4.3.	Validación de los datos obtenidos en el sistema.	- 56 -
4.3.1.	Instrumento de referencia.....	- 60 -
4.4.	Análisis de Resultados	- 61 -
4.4.1.	Gráficas de tensión en el suelo.....	- 61 -
4.4.2.	Comparación de los datos adquiridos.....	- 62 -
4.4.3.	Velocidad de Infiltración.....	- 63 -
CONCLUSIONES		- 64 -
RECOMENDACIONES.....		- 65 -
BIBLIOGRAFÍA.....		- 66 -
ANEXOS		- 68 -
ANEXO A Enforcer ST-series. Cargador de batería y fuente de poder		- 68 -
A.1.	<i>Descripciones</i>	- 68 -
A.2.	Especificaciones.....	- 69 -
ANEXO B Sensor de humedad watermark 200SS-V		- 70 -
B.1	Watermark sensor de humedad 200SS-V especificaciones.....	- 70 -
B.2.	Forma de instalación de los sensores de humedad WATERMARK 200SS-V.....	- 71 -
ANEXO C ESTACIÓN METEOROLOGICA DAVIS VANTAGE PRO 2		- 74 -
C.1.	Características técnicas.....	- 74 -
C.2.	La evapotranspiración medida por la estación meteorológica	- 75 -
C.3.	Diferentes maneras de calcular ETo en la estación meteorológica Davis	- 75 -
C.4.	Datos de muestreo y variables necesarias para el cálculo	- 76 -
ANEXO D ADQUISICIÓN DE DATOS A TRAVÉS DEL PLC S7-200.....		- 78 -
ANEXO E MANUAL DE USUARIO		- 83 -
E.1.	Obtención de los datos.	- 83 -
E.1.1.	Datos Datalogger PLC	- 83 -
E.1.2.	Datos estación meteorológica Davis Pro 2	- 86 -
E.3.	Programa de análisis de datos.....	- 89 -

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de un Infiltrómetro de cilindros concéntricos.....	-15-
Figura 2.1. Imagen del sensor de humedad WaterMark 200SS-V.....	-23-
Figura 2.2. Curvas de retención de humedad de algunos suelos.....	-25-
Figura 2.3 Esquema de la ubicación de los sensores en el suelo.....	-26-
Figura 2.4. Esquema del algoritmo del programa en el PLC	-29-
Figura 2.5. Formato de la palabra de datos de entrada de los módulos de ampliación EM231	-31-
Figura 2.6. Segmento de programación para la lectura y escritura.....	-31-
Figura 2.7. Pantalla del explorador S7 200 Network Explorer.....	-33-
Figura 2.8 Pantallas del procedimiento de lectura del cartucho de memoria a través del s7 200 Network Explorer.....	-34-
Figura 2.9. Diagrama de bloques para la lectura de los datos.....	-35-
Figura 2.10. Parte del programa que convierte los datos a valores de centibares....	-36-
Figura 3.1 .Diagrama de la distribución y conexiones del panel de control.....	-39-
Figura 3.2. Fotografía de armado del panel central.....	-40-
Figura 3.3. Fotografía del panel de control ya terminado.....	-40-
Figura 3.4. Esquema de conexiones del panel de alimentación.....	-41-
Figura 3.5. Esquema del panel de alimentación.....	-42-
Figura 3.6. Distribución de las parcelas y ubicación de la caseta de instalación de equipos.....	-43-
Figura 3.7. Ubicación de la caseta.....	-44-
Figura 3.8 Sensores instalados en las parcelas.....	-45-
Figura 3.9. Esquema del tendido de las mangueras en el terreno.....	-46-
Figura 3.10. Imagen de la ubicación de las mangueras en el terreno.....	-47-
Figura 3.11. Paneles de control y de alimentación instalados y conectados.....	-48-
Figura 3.12. Ubicación de los potenciómetros de calibración y de los interruptores DIP de configuración de los módulos EM 231.....	-50-
Figura 4.1. Pantalla del programa en la que se grafica la tensión de la parcela 3 en color verde la tensión de sensor a 10 cm y en color negro el sensor a 40 cm.....	-52-

Figura 4.2. Pantalla de programa en donde se presentan los datos de tensión, temperatura y precipitación.....	52-
Figura 4.3. Señales de tensión con ruido.....	54-
Figura 4.4. Esquema de la distribución de las varillas de cobre para el sistema de puesta a tierra.....	55-
Figura 4.5. Obtención de datos mediante el Tensiómetro IRROMETER.....	56-
Figura 4.6. Gráfica de los datos obtenidos por el sistema y por el tensiómetro. Y gráfica del error relativo.....	58-
Figura 4.7. Gráfica de los datos obtenidos por el sistema y por el tensiómetro. Y gráfica del error relativo.....	60-
Figura 4.8. Tensiómetro Irrrometer Modelo R.....	60-
Figura 4.9. Gráficas de las tensiones de los sensores en las parcelas ya corregido el ruido.	61-
Figura 4.10. Comparación de las gráficas de las tensiones en un mismo lapso de tiempo entre los datos del sistema del proyecto y la estación meteorológica Davis.....	62-
Figura 4.11. Pantalla del programa en la que se muestra los valores de la velocidad de infiltración de la parcela 3 y los datos que se relacionan a la misma.....	63-

FIGURAS ANEXOS

Figura A.1. Cargador de bacteria y fuente de poder ST-2406-2QA.....	68-
Figura B.1. Fotografía del sensor humedad WATERMARK 200SS-V.....	70-
Figura B.2. Gráfica de la representación de voltajes y su equivalente en centibares.....	73-
Figura D.1. Ventana de Asistente de registro de datos.....	78-
Figura D.2. Ventana de Asistente de registro de datos que permite crear o modificar una configuración de registro.....	79-
Figura D.3. Ventana del Asistente de registro de datos.....	79-
Figura D.4. Ventana del Asistente de registro de datos para definir el tipo de dato...-	80-
Figura D.5. Asignación de memoria en el registro de datos.....	80-
Figura D.6. Componentes creadas por el asistente.....	81-
Figura D.7. Activación de Bit para activar la subrutina de escritura de datos.....	82-

Figura E.1.- Cable de datos PPI/PC.....	83-
Figura E.2. Conexión del cable PPI/PC al PLC S7 200.....	84-
Figura E.3. Pantalla del explorador S7 200 Network Explorer.....	84-
Figura E.4. Pantallas del procedimiento de lectura del cartucho de memoria a través del s7 200 Network Explorer.....	85-
Figura E.5. Pantalla del escritorio con el programa WATERLINK.....	86-
Figura E.6 Pantalla principal del programa WATERLINK.....	87-
Figura E.7. Pantalla donde se indica la transferencia de datos de la estación meteorológica hacia la computadora.....	87-
Figura E.8. Pantalla del historial de datos de la estación meteorológica.....	88-
Figura E.9. Pantallas del programa para exportar datos y para elegir el rango de tiempo de datos a ser exportado.....	88-
Figura E.10. Pantalla donde se especifica la carpeta hacia donde se exportaran los datos de la estación meteorológica.....	89-
Figura E.11. Pantalla del programa de análisis de datos para determinar la velocidad de infiltración del agua en parcelas.....	90-

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación internacional de los suelos respecto al tamaño de sus componentes.....	-16-
Tabla 2.1. Características técnicas de la CPU 224.....	-27-
Tabla 2.2. Pasos para el manejo del registro de datos en el PLC S7-200.....	-32-
Tabla 3.1.Tabla de interruptores de configuración del EM 231 para seleccionar el rango de entradas analógicas.....	-49-
Tabla 4.1. Datos obtenidos día 17 de Febrero 2011.....	-57-
Tabla 4.2. Datos obtenidos día 22 de Febrero 2011.....	-59-
Tabla 4.3. Velocidades de infiltración.....	-63-

TABLAS ANEXOS

Tabla A.1.1. Especificaciones técnicas del cargador de bacteria y fuente de poder ST-2406-2QA.....	-69-
Tabla A.1.2. Programación para la salida de voltaje DC del cargador de bacteria y fuente de poder ST-2406-2QA.....	-69-
Tabla A.1.3. Estados del cargador de bacteria y fuente de poder ST-2406-2QA a través de los diodos LED.....	-69-
Tabla B.1. Representación de voltajes y su equivalente en centibares.....	-72-
Tabla C.1. Unidades de conversión y fórmulas para sus cálculos.....	-76-
Tabla E.1. Detalle de las funciones de cada botón y menú del programa.....	-90-

INTRODUCCIÓN

En hidrología, la infiltración es un proceso que se desarrolla bajo la superficie de la tierra, el agua que se filtra se transforma en humedad del suelo, en el momento actual se está tomando conciencia de la importancia de tener conocimiento del comportamiento hidrológico, hidráulico e hidrogeológico del agua en el suelo.

El proceso de infiltración define gran parte de la futura función del agua que cae sobre una superficie, en el momento de la presencia de precipitaciones o riego, el comportamiento del agua se realiza en dos posibles casos, en el primero el agua será acumulada en el perfil para el aprovechamiento por parte de las plantas y en el segundo caso el agua puede deslizarse pendiente abajo con lo que contribuiría con el escurrimiento superficial y favorecer la erosión hídrica. Los suelos que se incorporan para uso en agricultura, sufren profundas modificaciones en las propiedades físicas, que son las que tienen mayor influencia sobre la infiltración.

La tecnificación de los procesos agrícolas nos da como resultado el aprovechar de mejor manera los recursos naturales, lo que nos permite tener mejores niveles de producción. En las últimas décadas la tecnificación en la agricultura ha ganado espacios importantes, uno de los aspectos de mayor enfoque es la utilización óptima del recurso agua para el riego de los cultivos, como sabemos este recurso es limitado, otro aspecto a tomar en cuenta es la conservación del suelo previniendo su erosión, uno de los indicadores que reúne características tanto del agua como de la erosión es el proceso de infiltración.

La determinación de la infiltración o la velocidad de infiltración se realiza en el campo, debiendo trabajar en condiciones lo más semejante posible a las condiciones que se quiere caracterizar (Porta *et al.*, 1994). Entre los principales instrumentos más utilizados se encuentran el infiltrómetro de doble anillo (Forsythe, 1975), infiltrómetros de discos de tensión y los simuladores de lluvia (Porta, *et al.*, 1994).

En variedad de las ingenierías, el cálculo de la infiltración y por consecuencia del escurrimiento superficial, permite mejorar el tratamiento de procesos vitales para la

conservación del suelo y el agua, por ende se mejora las formas de cultivo. Entre algunas de las ventajas se tiene:

- La correcta definición de un marco jurídico para el manejo, control y preservación de los recursos hídricos.
- El óptimo manejo de sistemas de almacenamiento de agua subterránea.
- El manejo de sistemas de riego, control de la erosión, control del deterioro de la capa arable.

Basándonos en los antecedentes, este proyecto se justifica gracias a la necesidad de tener un flujo continuo de datos de infiltración de una manera digital, que nos permita hacer correcciones de riego, tratamiento de cultivos, o manejo de cuencas hidrográficas, entre otras.

Uno de los propósitos de este proyecto es tener la posibilidad de almacenar, y visualizar los datos de la velocidad de infiltración, para operar de manera más eficiente los recursos hídricos, además el tener un registro histórico de todos estos datos.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Diseñar e implementar un sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de datos para determinar la velocidad de infiltración del agua en parcelas piloto para cultivos de papa.

Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de adquisición y registro de datos para 16 variables de humedad en un terreno de 240 m².
- Desarrollar una herramienta software para el análisis y gestión de los datos de humedad, precipitación pluvial, temperatura y evapotranspiración.
- Implementar un sistema automático de adquisición y registro de datos basado en PLC e integrarlo con 16 sensores analógicos de humedad.

CAPÍTULO I

1. Infiltración

La infiltración ha sido definida por varios investigadores de las características dinámicas del suelo, una de las más aceptadas nos dice que: "Infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno en el suelo; se distingue del proceso de percolación por que este último es el movimiento hacia debajo de agua desde o a través de la zona no saturada hasta el nivel freático o zona no saturada"¹

El concepto de infiltración es claro pero no es una variable a determinar, partiendo de esta definición, encontramos una variable que es de mayor interés la cual es la velocidad de infiltración.

1.1. Distribución de la Precipitación en el Suelo

Para el análisis de la precipitación y su distribución en el suelo, hacemos alusión a los distintos fenómenos que por la caída de la lluvia se presentan, entre ellos se tiene que la lluvia se consume totalmente y se distribuye en los siguientes casos; detención superficial o almacenamiento en depresiones, humedad del suelo, precipitación directa sobre la corriente del suelo, agua subterránea, flujo subsuperficial y escorrentía superficial.

De acuerdo a Monsalve (2008) los fenómenos de flujo superficial son:

- *Detención superficial.*- Es el porcentaje de agua que se almacena en depresiones, pozas y luego se evapora
- *Humedad del suelo.*- Esto hace referencia al volumen de agua que se infiltra y no alcanza un nivel freático, pues esta humedad es absorbida por las raíces de las plantas o por la evaporación, se puede distinguir entre dos zonas.

¹ (Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico *Serie Textos Universitarios*, Núm. 1IV. INFILTRACIÓN Y HUMEDAD DEL SUELO).

- Zona saturada es la parte en la cual todos los poros o espacios vacíos, dejados por los granos que componen el suelo, se encuentran completamente llenos de agua.
- Zona no saturada, en esta zona el espacio entre los granos que componen el suelo se encuentra relleno de agua y aire.
- *Agua subterránea.*- Es aquella, cuando el volumen de lluvia que se infiltra y logra que el suelo llegue a su capacidad de campo, por acción de la gravedad el agua llega a la zona saturada esta se encuentra delimitada por la zona freática que divide la zona saturada de la no saturada.
- *Flujo subsuperficial.*-Está formado por parte del agua gravitacional que no logra llegar al nivel freático, debido a que tiene una dirección paralela a la superficie del suelo para luego convertirse en escorrentía superficial.
- *Escorrentía superficial.*-Es el volumen de lluvia que no se infiltra. (Monsalve, 2008).

1.2. Parámetros de la Infiltración

1.2.1. Capacidad de infiltración o tasa de Infiltración

Se denomina capacidad de infiltración o tasa de infiltración a la velocidad máxima con la que el agua penetra en el suelo y sus unidades se las da en milímetros sobre hora (mm/h). Esta capacidad depende del tipo de suelo, por ejemplo, un suelo desagregado y permeable tiene mayor tasa de infiltración que un suelo compacto y arcilloso.

Otro factor, es la humedad inicial del suelo, importante para el cálculo de la velocidad de infiltración, ya que un suelo con gran parte de sus poros saturados de humedad, tendrá una menor capacidad de infiltración que un suelo con humedad relativamente baja.

1.2.2. Velocidad de infiltración

Esta es la velocidad media con la que el agua penetra el suelo, y depende de muchos factores, como la temperatura del agua o del suelo, la estructura y

compactación de la textura, estratificación, contenido de la humedad, agregación de actividades microbianas (Gavade *et al.* 1972); Además depende de la permeabilidad y el gradiente hidráulico, por lo cual, por si sola no es un buen parámetro de la infiltración, la capacidad de infiltración depende de las condiciones del contorno, lo que la hace una variable más expresiva (Monsalve, 2008).

1.2.2.1. Factores que intervienen en la capacidad de infiltración

- *Tipo de suelo.- A medida de una mayor porosidad, mayor tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento, la capacidad de infiltración será mayor.*
- *Humedad del suelo.- Un suelo seco tiene mayor capacidad de infiltración, por lo cual la infiltración varía en forma inversamente proporcional a la humedad del suelo.*
- *Acción de la precipitación sobre el suelo.- El agua de lluvia al chocar contra el suelo facilita la compactación de su superficie disminuyendo la capacidad de infiltración.*
- *Temperatura del suelo y condiciones del contorno.- Las temperaturas bajas del suelo o del agua dificultan la infiltración, una cubierta vegetal densa favorece a la infiltración, ya que la lluvia cesa, esta es retirada a través de las raíces aumentando la capacidad de infiltración para futuras precipitaciones, las acciones dadas por el hombre o animales compactan el suelo y la superficie tiende a hacerse impermeable.*

1.2.3. Medida de la velocidad de infiltración

Para calcular la velocidad de infiltración, se lo puede hacer empleando lisímetros o parcelas de ensayo, de manera análoga a la medida de la evaporación y de la evapotranspiración desde el suelo. Sin embargo es normal hacer determinaciones in-situ.

La forma de hacerlo es muy sencilla, se usa el infiltrómetro. El más común consiste en un cilindro de 15 cm de radio y 50 cm de alto; se pone en él una determinada cantidad de agua y se observa el tiempo que tarda en infiltrarse. A este aparato se le atribuyen algunos defectos: el agua se infiltra por el círculo que constituye

el fondo, pero como alrededor de él no se está infiltrando agua, las zonas del suelo a los lados del aparato participan también en la infiltración, por lo tanto, da medidas superiores a la realidad.

El error apuntado se corrige colocando otro tubo de mayor diámetro (40 cm) alrededor del primero, constituye una especie de corona protectora. En éste también se pone agua aproximadamente al mismo nivel, aunque no se necesita tanta precisión como en el cilindro del interior; con ello se evita que el agua que interesa medir se pueda expandir.

La medición es menor que la que se hubiera obtenido antes y más concordante con la capacidad real del suelo²

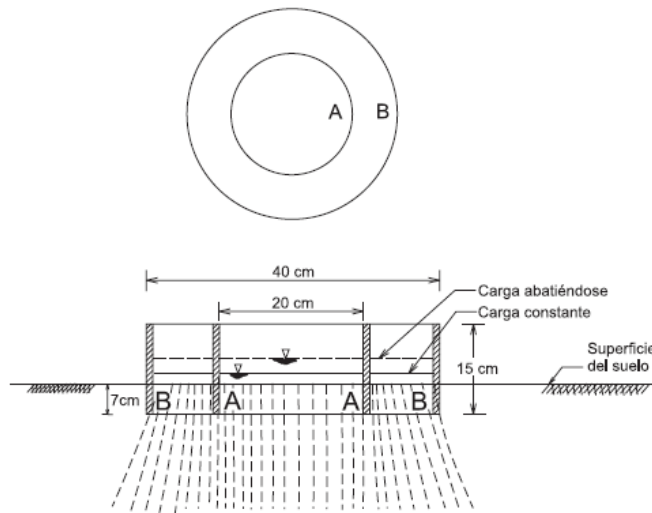


Figura 3.1 Esquema de un Infiltrómetro de cilindros concéntricos.²

Existe otro método que carece de instrumento alguno, se trata de hacer un hoyo en el suelo, cuyas medidas sean conocidas, se procede a llenar de agua hasta cierta altura y luego se toma datos de la variación de esta altura a través del tiempo. La

² (Principios de hidrogeografía. (Estudio del ciclo hidrológico *Serie Textos Universitarios*, Núm. 1

<http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia/cp4.pdf>))

infiltración se produce tanto por las paredes y por la parte inferior y el caudal infiltrado será igual a la superficie del cilindro multiplicado al coeficiente de infiltración.

Otra de las formas de determinar la capacidad de infiltración es partiendo de una cuenca que esté perfectamente controlada, es decir, que se posea datos precisos de precipitación, evaporación, evapotranspiración y escurrimiento. Por lo tanto al conocer estos términos podemos establecer la infiltración. Este método es ideal pero su aplicación está delimitada solo a cuencas de ensayo y se las utiliza para poder contrastar los datos medidos con otros procedimientos.

1.3. Humedad del suelo

1.3.1. El suelo y el agua

Se denomina humedad del suelo, desde el punto de vista hidrológico, a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno, y, la capacidad de retenerla o contenerla depende de las propiedades físicas del suelo.

Textura del suelo.- Es la composición física de un suelo y hace referencia a la cantidad de los materiales en porcentaje que constituyen el suelo. A nivel internacional se tiene acordada una clasificación y podemos ver la tabla 1.

Tabla 1.1 Clasificación internacional de los suelos respecto al tamaño de sus componentes

Pedregosos	Partículas con diámetro mayor a 20mm
Gravosos	Partículas con diámetro entre 2 y 20mm
Arenas Gruesas	Partículas con diámetro entre 0.2 y 2mm
Arenas Finas	Partículas con diámetro entre 0.02 y 2mm
Limos	Partículas con diámetro entre 0.002y 0.02mm
Arcillas	Partículas con diámetro menor a 0.002mm

Además de esta clasificación, existe una clasificación denominada trilineal, la cual se basa en la combinación de tres elementos: arcilla, limo, arena y según el

porcentaje de presencia de estos tres elementos a los suelos se los clasifica en nueve tipos,

**Suelos arenosos*

**Suelos arena limosos*

**Suelos arena arcillosos*

**Suelos limosos*

**Suelos limo arenosos*

**Suelos limo arcillosos*

**Suelos arcillosos*

**Suelos arcillo arenosos*

**Suelos arcillo limosos*

**Suelos francos cuando se presenta igual proporción porcentual de arena, limo y arcilla. (USDA, 2003)*

Estructura del suelo.- Hace referencia a la forma en la que se encuentran distribuidas las partículas del suelo en las tres dimensiones espaciales, a su forma de unión aditiva, lo cual da a conocer la discontinuidad del suelo, es decir, los espacios huecos que posee, lo que a su vez serán los conductos para el aire y agua necesarios para el desarrollo de las plantas. Partiendo de estos conceptos la estructura del suelo puede ser granular, nuciforme, filiforme, laminar, columnar, prismática, de bloque y amorfa.

Densidad real o peso específico real.- Es el peso de las partículas que conforman un suelo, su cifra oscila entre (2.5 a 2.7 g/cm³).

Densidad aparente o peso específico aparente.- Es la relación existente entre un volumen de suelo tomado en seco y el peso del mismo volumen de agua, este concepto engloba la estructura, textura y la compactación.

Porosidad.- Es el porcentaje del volumen que ocupan los espacios vacíos del suelo que se encuentran llenos de agua o aire en su relación con el volumen total.

Permeabilidad.- Se define como la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

1.3.2. Diferentes estados del agua en el suelo

Para hablar de los estados del agua en el suelo vamos hacer referencia a los poros del suelo, y si estos se encuentran llenos de aire o agua. La fuerza que interviene cuando el suelo se encuentra saturado de agua es la gravedad, por lo cual el agua es libre de circular y descender por entre los poros del suelo. Luego de este estado el suelo pasa por percolación, el agua logra variar la textura del suelo, esto lo hace en horas en suelos arenosos y días en suelos arcillosos, al pasar el tiempo solo queda agua retenida por fuerzas mayores a la gravedad, se las conoce como fuerzas capilares y es producida por el contacto de agua-aire, formado un mecanismo que retiene agua a favor de las plantas, es por este efecto de capilaridad que el agua se retiene en el suelo después de una lluvia y las plantas la pueden utilizar.

1.3.3. Medición del contenido de humedad del suelo

Existen dos métodos claramente marcados para medir el contenido de humedad del suelo, estos métodos son elegidos de acuerdo a criterios como las características del tipo de suelo, los objetivos para los cuales se miden la humedad, la gente que va a ser uso de las mediciones y por último el presupuesto disponible.

Todos los métodos de medición usan una propiedad física que cambia con la humedad entre estas se tiene:

- *El peso del suelo.*
- *La tensión del agua dentro del suelo*
- *La humedad del aire dentro del suelo*
- *La dispersión de la radiación que entran en el suelo*
- *La atenuación de la radiación que entra en el suelo*

- *La constante dieléctrica del suelo*
- *La resistencia eléctrica del suelo*
- *La textura del suelo*
- *La energía para cambiar la temperatura del suelo*

1.3.3.1. Los métodos de medición de humedad del suelo

Existen básicamente dos tipos de métodos para medir la humedad del suelo, los métodos directos miden la cantidad de agua que hay en el suelo, y los métodos indirectos calculan la humedad mediante una calibración entre la humedad y una propiedad física que es más sencilla de medir (ejemplo la tensión), la gran mayoría de métodos son indirectos.

○ **Métodos directos**

- **Gravimétrico.-** Para este método se toma muestras de suelo se las lleva al laboratorio y se realiza su pesaje, para luego secarlo en la estufa a 105°C hasta que su peso sea constante, luego se pesa la muestra seca y la diferencia de peso es la humedad del suelo. Este es el método más exacto de todos pero necesita de mucho tiempo, es caro y destruye la muestra.
- **Reflectometría.-** Esta se basa en la relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y su constante dieléctrica, el agua tiene una constante dieléctrica más alta que el suelo, por lo que la constante dieléctrica del suelo dependerá principalmente de su contenido de humedad, esta constante se mide aplicando una onda electromagnética de alta frecuencia al suelo y se mide la velocidad de propagación, a mayor humedad menor será la velocidad de onda. Entre sus principales ventajas tenemos que funciona en un alto rango de suelos, se puede medir el contenido continuamente, se tiene una medida de humedad volumétrica, su precisión es del +/- 2%, en contraparte tiene altos costos y una instalación en la cual los tubos de acceso deben de quedar en estrecho contacto con el suelo.

o **Métodos indirectos**

- **Tensiometros.-** son un método indirecto de medir el potencial de humedad en el suelo, a través de la variable de tensión, de él es decir, la fuerza que ejercen las plantas para quitar la humedad del suelo, funcionan en un rango de 0-70 cbar; tienen una instalación complicada, aparte un de limitado rango de acción, tienen una lenta respuesta de lectura, no operan en suelos muy secos o de texturas gruesas.
- **Bloques de resistencias.-**Su operación se basa en el hecho de la conductividad eléctrica de muchos materiales la cual varía en función del contenido de agua; la conductividad de los bloques aumenta a medida que la cantidad de agua del suelo es absorbida por los bloques. De estos bloques los más comunes son de yeso, en la actualidad su rango de medición es de 0 a 239 cbar, no necesitan de mantenimiento, además se los puede monitorear continuamente, su costo es moderado y necesitan de una etapa previa de adaptación antes de su instalación.

Existen otros métodos pero por su poca aplicación no se los tomó en cuenta para este proyecto³.

1.4. Evapotranspiración

Uno de los datos que en este proyecto se obtuvo a través de la estación meteorológica es la evapotranspiración, considerado uno de los datos fundamentales en el análisis del comportamiento del agua en el suelo.

Se define la evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa, junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo⁴.

Los factores que intervienen en el proceso de evapotranspiración son diversos, variables en el tiempo y en el espacio y se pueden agrupar en aquellos de

³ Medición de la humedad del suelo, relación agua planta.
www.sap.uchile.cl/descargas/sap/MEDICION1.PDF

⁴ Evapotranspiración <http://es.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiraci%C3%B3n>

orden climático, los relativos a la planta y los asociados al suelo. Esta diversidad de factores, por una parte, ha dado lugar a distintas orientaciones al abordar el complejo fenómeno y diferentes respuestas ante su estimación; ha favorecido, por otro lado, el desarrollo de una serie de conceptos tendentes a lograr una mayor precisión de ideas al referirse al fenómeno y surgen como un intento de considerar las distintas condiciones de clima, suelo y cultivo prevalecientes en el momento en que el fenómeno ocurre ⁵.

Los valores de evapotranspiración para este proyecto son calculados a través de la estación meteorológica Davis Vantage pro 2 y su explicación la encontramos en el anexo C.

⁵ Vargas, 1963; Salgado, 1966; Manríquez, 1971; Tosso, 1972; Merlet, 1986; Rojas, 1994.

CAPITULO II

2. Adquisición de datos

Éste proyecto partió de la necesidad de conocer la variable que caracteriza a la infiltración, lo cual hace imperioso el buscar una forma apropiada para obtener esta medida, en el capítulo anterior se describieron y compararon algunos métodos de medición de la infiltración.

La variable a determinar es la humedad del suelo, una de las formas de obtenerla es a través de la relación entre humedad y tensión. La tensión del suelo es la fuerza que ejercen las plantas para extraer el agua, a menor humedad, mayor fuerza y viceversa, existen sensores que varían su voltaje de salida en relación lineal a la tensión, la cual se puede relacionar con la humedad.

Como se describió en el apartado (*Métodos de medición de humedad del suelo*), existen algunos métodos para medir la humedad del suelo, en este proyecto se optó por utilizar uno de los métodos indirectos de medición de la humedad, estos métodos son los más utilizados para medir esta variable, dentro de los cuales se utilizó el método de los bloques de resistencia por sus ventajas ya explicadas en el apartado mencionado con anterioridad y la variable a medir es la tensión del suelo, que es la fuerza con la cual el agua es retenida en los poros del suelo entre sus partículas. Las plantas deben ejercer una succión para extraer el agua del suelo. A medida que el suelo se seca, la tensión aumenta y las plantas tienen más dificultad para extraer el agua. La energía que una planta debe gastar para extraer el agua está directamente relacionada con la tensión del suelo.

Para medir la tensión del suelo, en el mercado existe una amplia variedad de sensores que miden la tensión, entre éstos tenemos el sensor WaterMark 200SS-V de la Compañía Irrrometer, especialista en sistemas de control de riego, la ventaja de este sensor está en que posee un amplio margen de medida de tensión, así también, el tener una salida de voltaje, lo hace compatible con la mayoría de dataloggers.

2.1. Sensor de tensión.

El sensor WaterMark 200SS-V, fabricado por la Compañía Irrrometer, es uno de los más utilizados para nivel de aplicaciones de campo, por su bajo costo y su alto nivel de prestaciones. Este sensor mide la tensión en el suelo la cual se puede relacionarla con el nivel de humedad. En la figura 2.1 podemos ver el sensor.



Figura 4.1. Imagen del sensor de humedad WaterMark 200SS-V

2.1.1. Tipo de sensor.

El sensor utilizado para este proyecto es de tipo resistivo, es decir varía la resistencia interna al variar la tensión del suelo, otra característica es que son sensores GMS(Granular Matrix Sensor), los sensores GMS utilizan, para su funcionamiento, el principio de la resistencia eléctrica variable. Los electrodos del sensor están empotrados en un relleno regular situados debajo de una placa de yeso, sobre la placa de yeso se encuentra más material matricial granular, lo que hace posible la entrada y salida de agua del sensor.

La Tensión Matricial del Suelo (TMS Tension Matrix Soil) es la fuerza que las raíces deben emplear para extraer el agua del suelo, esta tensión refleja el nivel de humedad del suelo, cuanto más alta está la tensión más seco está el suelo⁶.

2.1.2. Características del sensor.

- *Provee una calibración estable, es decir, no se necesita de establecer nuevos valores para la calibración.*
- *Totalmente constituido de estado sólido.*
- *No se disuelve en el suelo.*
- *No se afecta en temperaturas bajas.*
- *Internamente compensa los niveles de salinidad del suelo.*
- *Compatible con dispositivos lectores de voltaje*
- *Rango de medida de 0 a 239 centibares.*
- *Voltaje de salida de 0-2.8 V.*
- *No requiere de mantenimiento.*
- *El adaptador electrónico calza dentro de un tubo de ½ " PVC pre-montado en el sensor.*

2.1.3. Curva característica del sensor.

La salida del sensor es un nivel de voltaje que varía en función de la tensión del suelo, este voltaje es una señal analógica que varía desde 0V hasta 2.8V y es lineal,

⁶ (Técnicas de la Agricultura Sostenible EM 8900-S-E • Octubre 2006 El control del riego mediante la tensión matricial del suelo C.C. Shock, R. Flock, E. Feibert, C.A. Shock, A. Pereira y L. Jensen)

estos datos son continuos en el tiempo, por lo que para la lectura, almacenamiento y posterior análisis, se deben digitalizar a través de un conversor analógico a digital (CAD), el cual forma parte del módulo de entradas analógicas del PLC Siemens. Las características del conversor análogo a digital son: posee una resolución de 12 bits con una entrada de 0 a 5 voltios, lo que da una unidad mínima de fondo de escala de 1.22mV, con una pérdida de datos por resolución del 0,02%, que es aceptable en este proyecto.

De lo citado en el párrafo anterior, se puede extraer que su resolución es 1.22 mV, lo que equivale a 0.1 centibares.

La relación existente entre la tensión y el voltaje es directa, 0 bares de tensión equivalen a 0 voltios de salida del sensor y 239 bares tensión son equivalentes a 2.8 voltios de salida. Las características completas del sensor se muestran en el Anexo B.

Otra de las relaciones importantes a citar, es la relación existente entre la tensión y la humedad porcentual del suelo, en la figura 2.2 se pueden ver las curvas para obtener la humedad a partir de la tensión del suelo, estas curvas dependen del tipo de suelo.

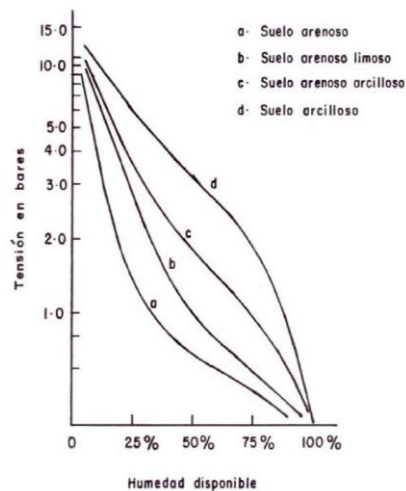


Figura 2.2. Curvas de retención de humedad de algunos suelos.⁷

2.1.4. Número de sensores.

7 Riego por goteo métodos para medir la humedad del suelo.

Jueves, 17 de Junio de 2010 15:25 <http://www.rregar.com/index.php/?/201006171526/riego-por-goteo/riego-por-goteo-metodos-para-medir-la-humedad-del-suelo.html>

El número de parcelas a ser analizadas en este proyecto es de ocho, en cada una de ellas se encuentran instalados dos sensores de humedad, ubicados en diferentes profundidades, un sensor se encuentra a diez centímetros de profundidad y el otro a cuarenta centímetros; como son ocho parcelas y dos sensores por parcela, se tiene un total de 16 sensores. En la figura 2.3 se observa la forma en que se dispusieron los sensores en el suelo.

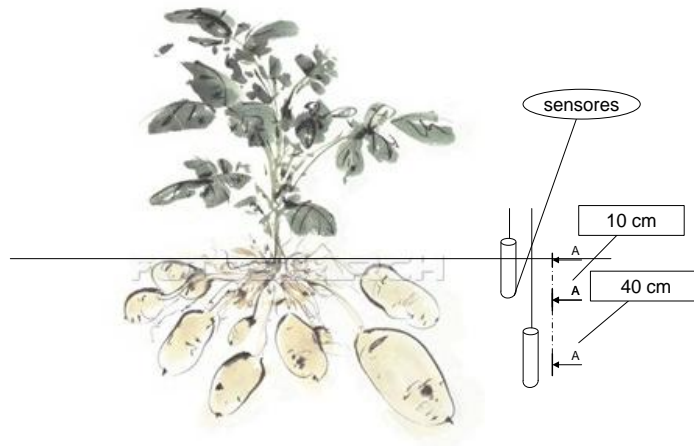


Figura 2.3. Esquema de la ubicación de los sensores en el suelo.

2.2. Controlador PLC S7-200

En el proyecto, el controlador cumple con las funciones de un data logger, además como parte de la ampliación del proyecto se contempla contralar algunos actuadores, como son electroválvulas para un sistema de riego automático, por lo cual se optó por la utilización de un PLC Siemens de la gama S7-200 CPU 224, el mismo que tiene opciones de hardware y software adecuadas para las tareas a cumplir, entre ellas tenemos la posibilidad de almacenar datos en un cartucho de memoria y de añadir hasta siete módulos de expansión para las entradas de los sensores, comunicación a través del cable PPI con la computadora para bajar los datos y programar el PLC.

2.3. Características técnicas del PLC S7-200 CPU 224

Tabla 2.1. Características técnicas de la CPU 224⁸

Función	CPU 224
Dimensiones físicas	120,5x80x62
Memoria del programa	
con edición runtime	8192 bytes
Sin edición runtime	12288 bytes
Memoria de datos	8192 bytes
Memoria de backup	100 horas (tip.)
E/S integradas	
Digitales	14E/10S
Analógicas	-
Módulos de ampliación	7 módulos
Contadores rápidos	
Fase simple	6 a 30 kHz
Dos Fases	4 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2 a 20 kHz
(c.c.)	
Potenciómetros analógicos	2
Reloj de tiempo real	Incorporado
Puertos de comunicación	1 RS-485
Aritmética en coma flotante	Si
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256(128E/ 128S)
Velocidad de ejecución booleana	0,22 microsegundos / operación

⁸ (Tomada del Manual del sistema de automatización S7-200 Edición 08/2005 Número de referencia del manual: 6ES7298-8FA24-8DH0)

2.4. Algoritmos.

Para este proyecto se desarrollaron dos algoritmos, el primero de ellos es para la lectura y almacenamiento de los datos en la memoria del PLC y el segundo algoritmo es para la visualización y análisis de los datos en la computadora.

2.4.1. Adquisición de datos

Como se necesita adquirir los datos de dieciséis sensores de humedad, al PLC se le incorporó 4 módulos EM 231, en cada módulo se tiene cuatro entradas analógicas, por lo cual se cuenta con dieciséis entradas, una por cada sensor, los datos se guardan en memoria del PLC cada cinco minutos, tiempo establecido por conveniencia para tomar el tipo de análisis a efectuarse.

2.4.2. Algoritmo de registro de datos en el PLC

El algoritmo registro de datos residente en el PLC está basado en lógica de escalera en un compilador de lenguaje de programación KOP, el interfaz de programación es la aplicación llamada MicroWin V.4 de Siemens, este mismo software nos permitió descargar el programa desde el PC hasta el PLC.

El algoritmo básico realiza las tareas de la lectura, escritura y almacenamiento de datos.

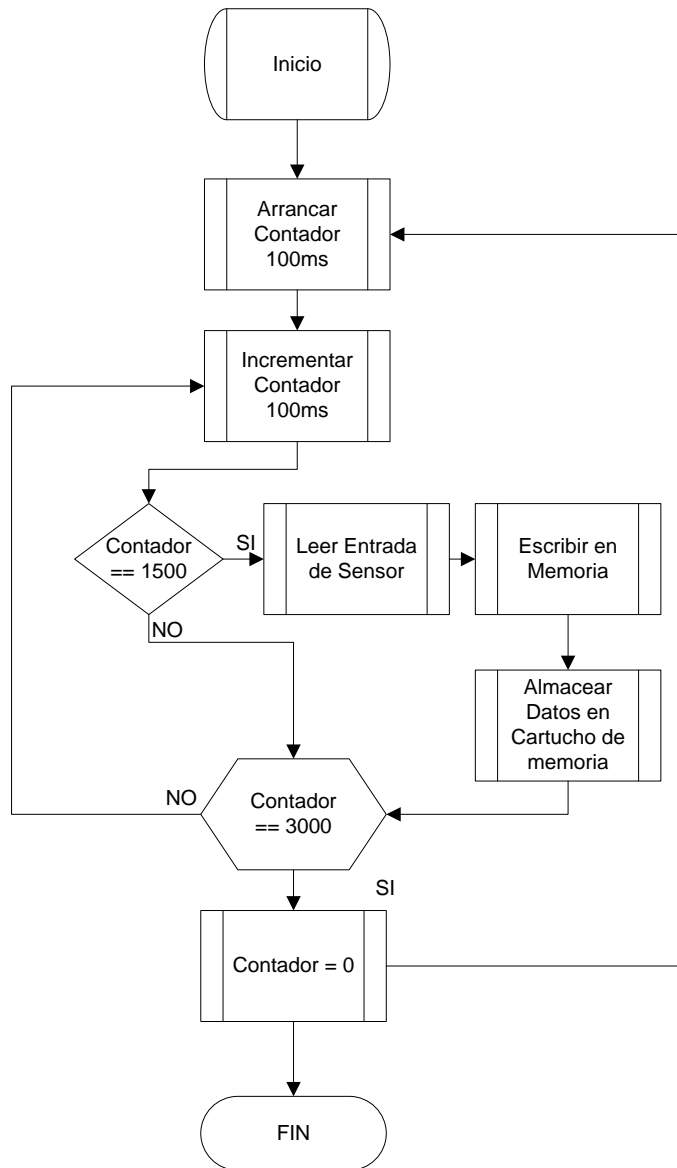


Figura2.4. Esquema del algoritmo del programa en el PLC

Para el proceso de adquisición y almacenamiento de datos en el PLC, describimos el siguiente algoritmo: iniciamos y arrancamos con el contador y temporizador de 100ms, este valor se debe a los diferentes tipos de contadores que dispone el PLC, es decir, por cada 100ms el contador aumenta en uno. Este es un proceso repetitivo hasta alcanzar el valor de 3000, que representa 5 minutos, debido al siguiente calculo.

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$5 \text{ min} = 5(60 \text{ s})$$

$$5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

y como 100ms corresponde a la décima parte de un segundo, multiplicamos el valor de 300s por 10 para obtener el valor del contador para alcanzar 5 minutos, en este caso corresponde a 3000. Una vez alcanzado los 3000 el contador se reinicializa.

Para obtener una señal y poder almacenar los datos comparamos el valor del contador con una constante, en este caso 1500, que representa a 2 minutos 30 segundos. Con esta señal obtenida mediante esta comparación activamos un bit el cual nos permite almacenar la señal en el cartucho de memoria.

2.4.2.1. Lectura y Registro de datos.

La lectura de la señal de los sensores en el PLC se la realizó mediante módulos de expansión del PLC, en este caso un modulo de 4 entradas analógicas, cuya configuración permite leer de 0-5V con una resolución de 12 bits.

Para la lectura de los sensores se hizo una referencia a la dirección de memoria que representan las entradas, es decir, para las entradas analógicas su lectura se debe hacer al espacio de memoria AIWXX:

AI: Entrada Analógica

W: Formato de dato tipo WORD.

XX: Hace referencia al número de entrada analógica.

Como la lectura de los datos es de 12 bits, necesariamente se debe escribir en palabras tipo WORD que representan a 16 bits, los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

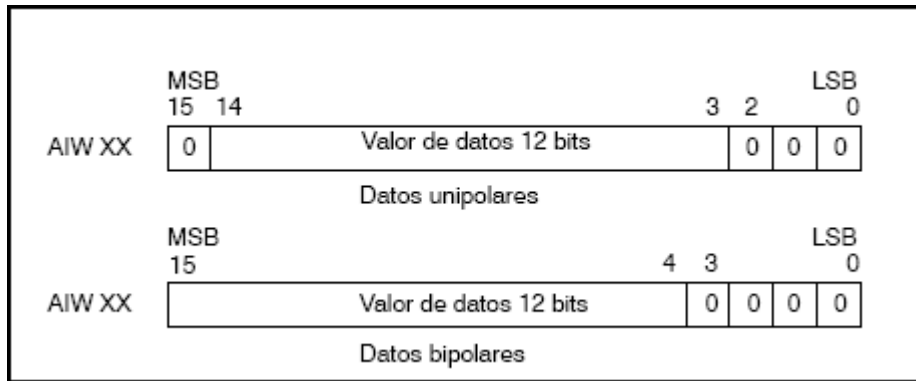


Figura 2.5. Formato de la palabra de datos de entrada de los módulos de ampliación EM231.

Dentro de las funciones que nos permite leer la entrada analógica se encuentra la función MOV_W, esta función se encuentra dentro de la paleta de transferencia, la cual permite realizar la lectura y la escritura de datos en formato WORD.

Con el siguiente segmento de programación realizamos la lectura y escritura:

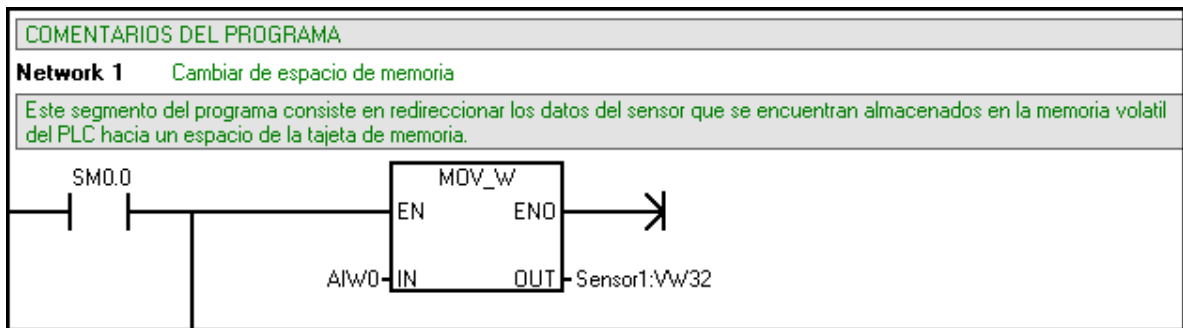


Figura 2.6. Segmento de programación para la lectura y escritura.

Las entradas analógicas son representadas por el PLC en variables de formato WORD, es decir, ocupan 2 bytes para su representación y se almacena en registro de la siguiente nominación AIW0.

Estos datos deben ser copiados a una dirección de registro que se encuentre dentro del cartucho de memoria, en este caso como se observa en la Figura 2.6, el registro es Sensor1: VW32, utilizando la función MOV_W, que permite copiar información de un

registro a otro con formato WORD y una marca especial SM0.0 que no es más que un bit el cual siempre se encuentra activado. Esta rutina debe repetirse 16 veces para abarcar la lectura de los 16 sensores.

2.4.2.2. Almacenamiento de datos.

Para poder registrar los datos y almacenar en un cartucho de memoria de forma ordenada, hacemos uso de una herramienta que posee MicroWin, el cual es un asistente para registro de datos, esta operación ayuda a la creación de una subrutina de almacenamiento de datos. A continuación se detallan los pasos para el manejo del registro de datos.

Tabla 2.2. Pasos para el manejo del registro de datos en el PLC S7-200

Paso	Descripción
1	Ingresar al Asistente de registro de datos
2	Crear una nueva configuración de registro de datos
3	Activar las opciones de incluir hora y fecha en el registro de datos
4	Seleccionar las variables a almacenar y el tipo de formato de cada variable
5	Asignar el espacio de memoria donde se van a almacenar las variables
6	Finalizar la creación de la subrutina de registro de datos

Para ingresar al asistente de registro de datos nos dirigimos a Herramientas en la barra de tareas dentro de MicroWin y seleccionamos Asistente de registro de datos. En el anexo D se muestra con detalle este procedimiento.

2.4.2.3. Descarga de datos.

En la descarga de datos del PLC al computador, utilizamos otra herramienta de Siemens, esta herramienta es un explorador de las memorias de PLC, ya sea la memoria interna o el cartucho de memoria.

El explorador se denomina S7-200 Explorer, para que dicha aplicación lea al PLC, éste debe estar conectado, mediante un cable PPI/PC–USB, al computador. El cable PPI/PC nos sirve además para descargar el programa de MicroWin en el PLC.

Para poder acceder al registro de datos, primero debemos ingresar al programa s7-200 Explorer, en la cual aparecen los dispositivos conectados por medio del cable PPI/PC.

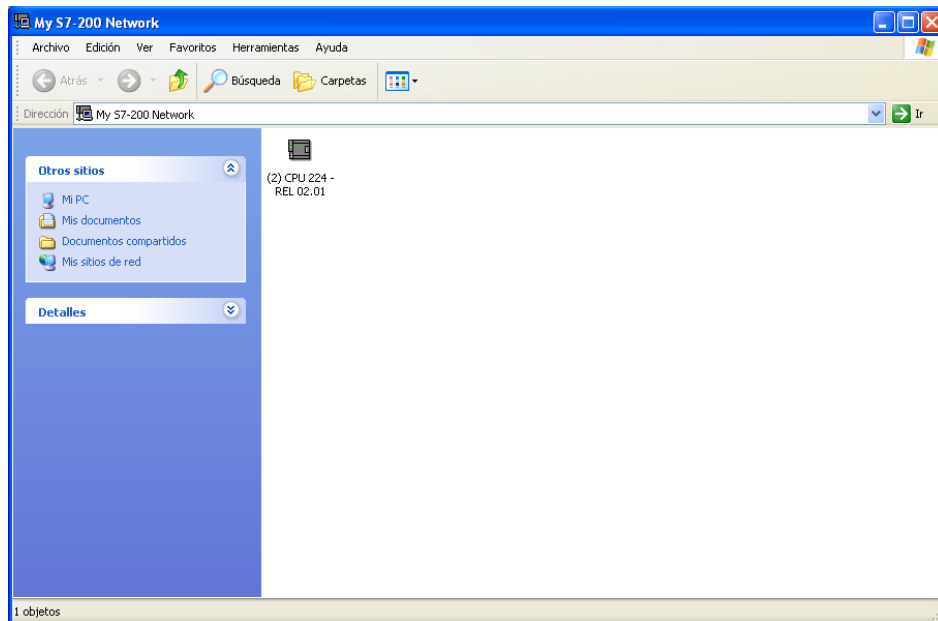


Figura 2.7. Pantalla del explorador S7 200 Network Explorer

Luego se selecciona el PLC que está cumpliendo con la función de registro de datos, luego de esto nos mostrará la información dentro del PLC, por ejemplo, cartucho de memoria, bloque de programa, bloque de datos y bloque de sistema. Escogemos cartucho de memoria a ser explorado, en ese momento aparecen todos los registros de datos que tengamos configurados, y por último acudimos al documento de registro de datos, hacemos clic derecho y escogemos la opción de “Descargar en la PG”.

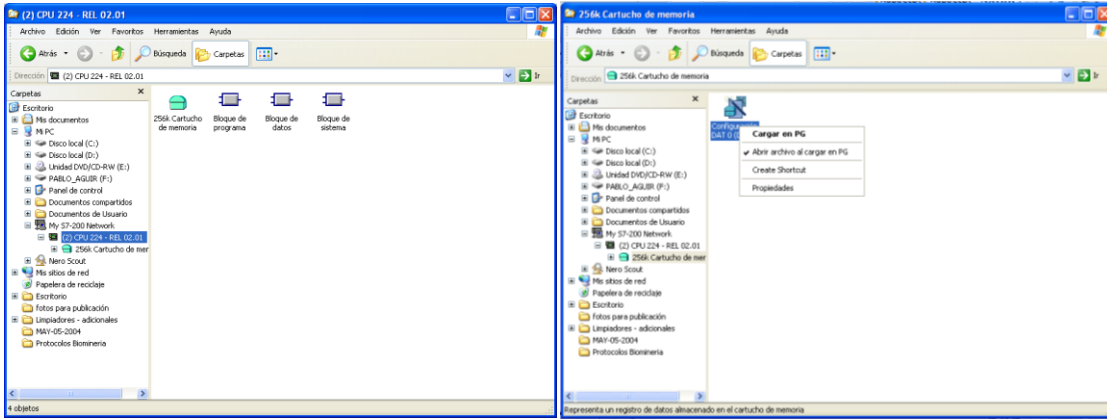


Figura 2.8. Pantallas del procedimiento de lectura del cartucho de memoria a través del s7 200 Network Explorer.

Con ésto obtenemos un archivo de formato .CSV, que es un archivo compatible con el programa Microsoft Excel.

2.5. Aplicación basada en LabVIEW.

En LabVIEW hacemos la aplicación de análisis de datos, la cual tiene las siguientes funciones principales:

- *Lectura del archivo de registro de datos del PLC donde se almacena la información acerca de los sensores del suelo.*
- *Lectura del archivo de registro de datos de la estación meteorológica de la cual se extrae los datos de temperatura, lluvia y evapotranspiración.*
- *Unir los datos de todos los archivos cargados y almacenarlo en un solo archivo donde se contenga toda la información.*
- *Visualización gráfica de los datos obtenidos por de los sensores de tensión y por la estación meteorológica.*
- *Analizar y obtener los resultados de la velocidad de infiltración mediante un algoritmo de análisis de datos.*

2.5.1. Software de LabVIEW de tratamiento de datos.

Para la lectura de datos usamos funciones de la paleta de FILE I/O, del diagrama de bloques de LabVIEW, el cual podemos observarlo en la figura 2.9, mediante funciones de arrays extraemos la información necesaria de las hojas de datos ya sea del PLC como de la estación meteorológica.

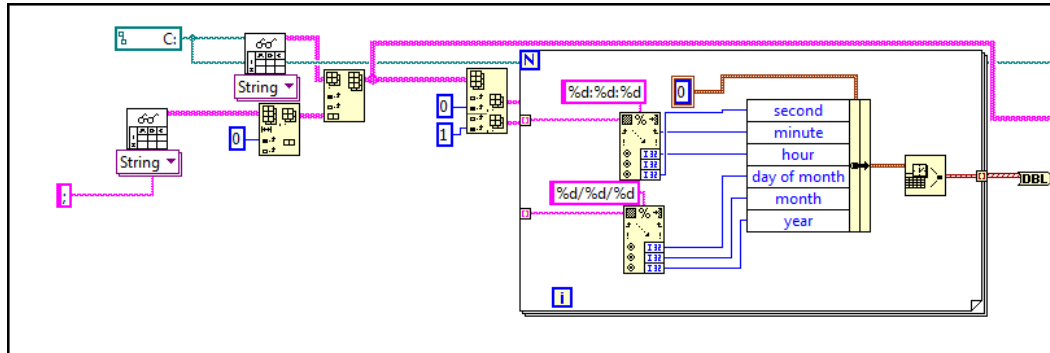


Figura 2.9. Diagrama de bloques para la lectura de los datos

Para unir los datos utilizamos funciones de arrays y procesos repetitivos haciendo comparaciones sucesivas, es decir, utilizando el método de la burbuja para el ordenamiento de datos, en este caso ordenamos los datos de mayor a menor de acuerdo al tiempo que ha sido tomado.

Antes de visualizar los datos, realizamos una conversión de los mismos entregados por el PLC, el cual entrega la variable de tensión con un valor numérico de 0 a 18000, lo que representa de 0 a 239 centibares. Para esta conversión de datos del PLC, los transformamos a un arreglo de booleanos, del cual extraemos los 3 bits menos significativos y lo convertimos en número nuevamente. Una vez realizado esto, pasamos la información a centibares mediante el siguiente algoritmo que podemos observarlo en la Figura 2.10.

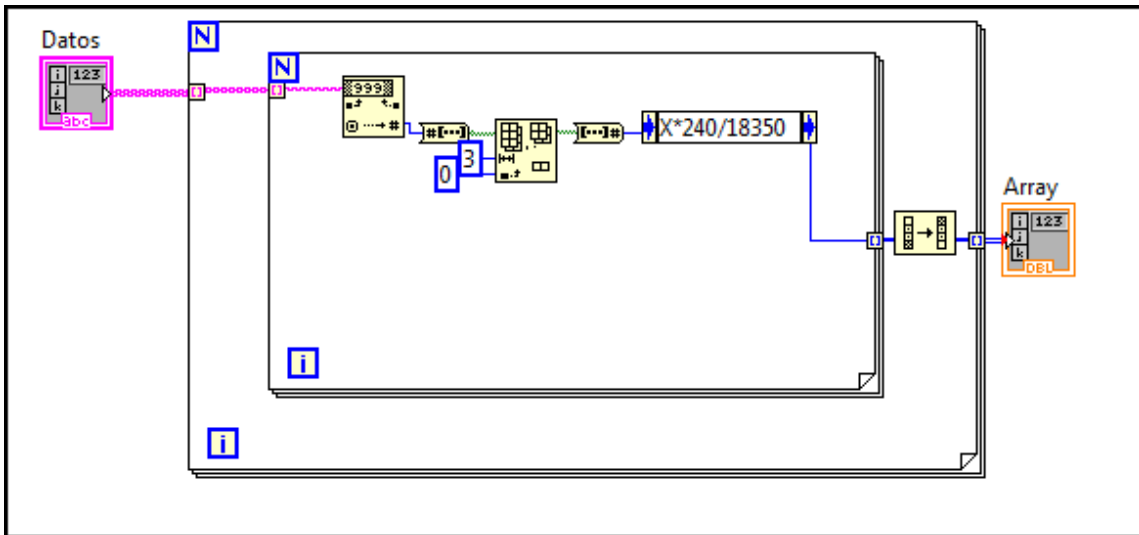


Figura 2.10. Parte del programa que convierte los datos a valores de centígrados.

Para visualizar los datos en una sola gráfica, extraemos el archivo global en donde se contiene toda la información de los sensores, datos de temperatura, lluvia y evapotranspiración.

Para obtener la velocidad de infiltración hacemos una búsqueda dentro de los datos, partiendo del dato que el operador del programa lo ingrese, y se calcula la diferencia de tiempos.

2.5.2. Etapa de alimentación

La etapa de la alimentación se encarga de suplir las necesidades de energía que el sistema requiere, por lo cual, se encuentra dividida en dos partes, la primera es para alimentar a los dispositivos SIEMENS, los cuales funcionan a 24 voltios y su consumo de corriente total es de 238 mA, para esto se utilizó un módulo que regula el voltaje y adicionalmente mantiene la carga de las baterías de respaldo del sistema.

Para la alimentación de los sensores, la cual es de 6 voltios, se utilizó un transformador y una tarjeta, que igual que la anterior, se encarga de mantener la carga de la batería de respaldo y la alimentación del sistema, la totalidad de la corriente es de 1.5mA por cada sensor lo que da un total de 24 mA en los dieciséis sensores, la tarjeta provee hasta 2 amperios, lo cual asegura la estabilidad de la alimentación del sistema de sensores.

La autonomía de conexión a la energía eléctrica del sistema depende directamente del valor amperios/hora de las baterías, en el caso de la alimentación de 24V, la batería cuenta con una carga eléctrica de 7 Ah y el cálculo para el estimado de tiempo es:

$$\textit{Tiempo de descarga} = \frac{\textit{carga eléctrica de la batería}}{\textit{consumo eléctrico del dispositivo}}$$

$$\textit{Tiempo de descarga 1} = \frac{7 \textit{ Ah}}{0.238 \textit{ A}}$$

$$\textit{Tiempo de descarga 1} = 29 \textit{ horas}$$

Para los sensores, el tiempo de autonomía es de:

$$\textit{Tiempo de descarga 2} = \frac{5 \textit{ Ah}}{0,0024 \textit{ A}}$$

$$\textit{Tiempo de descarga 2} = 208.3 \textit{ horas}$$

La autonomía del sistema es de 29 horas, ya que es el tiempo mínimo de duración de las dos partes de alimentación del sistema.

CAPITULO III

3. Implementación

3.1. Ensamblaje de paneles

El ensamblaje de paneles se enfoca en la colocación y distribución de los dispositivos electrónicos dentro de cajas de metal o plástico, para un óptimo funcionamiento se distribuyó estos dispositivos en dos paneles los cuales constan de un panel central de control y un panel de energía o alimentación de todo el sistema.

3.1.1. Panel de control

En el panel de control se encuentra el PLC S7-200, los módulos de expansión EM-231, para el ensamblado de este panel se utilizó una caja de plástico de 60x50cm, ríeles tipo DIN, canaleta ranurada 20x20, borneras y cable de 16 AWG de hilos. La distribución de los componentes, dentro del panel de control, se muestra en la figura 3.1. Para el ensamblaje se utilizó tornillos autoperforantes para asegurar las riles DIN y la canaleta ranurada a la base metálica del tablero, en la riel DIN se asegura los dispositivos del PLC y los módulos de EM-231 y por las canaletas se guía los cables de datos y energía necesarios para el funcionamiento del sistema. En las figuras 3.2 y 3.3 se muestran fotografías del proceso de ensamblaje y del tablero finalizado.

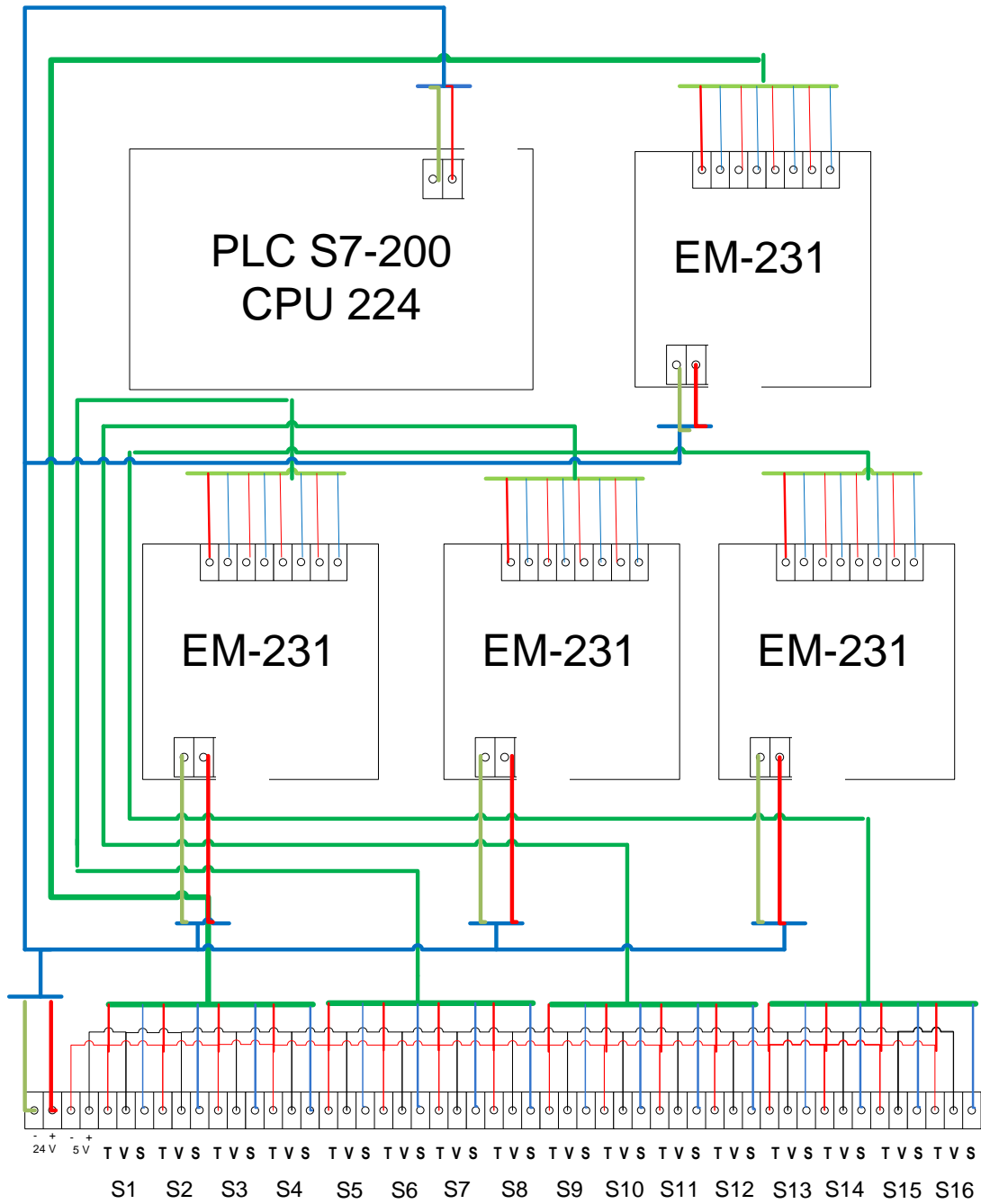


Figura 3.1 . Diagrama de la distribución y conexiones del panel de control.

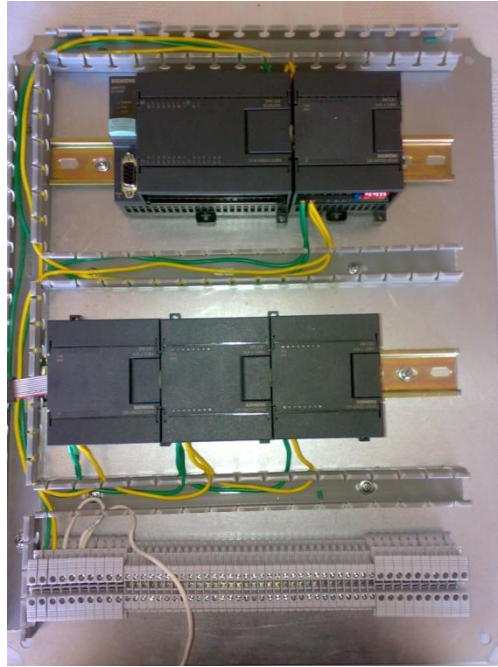


Figura 3.2. Fotografía de armado del panel central.



Figura 3.3. Fotografía del panel de control ya terminado.

3.1.2. Panel de alimentación

Para el panel de alimentación se realizó un proceso similar utilizando rieles DIN, borneras, canaletas ranuradas, además se precisó utilizar correas de amarre y una platina para asegurar las baterías, en la figura 3.4 se muestra el esquema del panel de alimentación, en el cual se detalla la entrada de 110V y las salidas de 24V y 6V, además se esquematiza las conexiones internas entre los distintos dispositivos y el respectivo respaldo de baterías, tanto para los dispositivos que necesitan 24V, como para los dispositivos que requieren 6V. Para la alimentación de 24V se utilizó una conexión en serie de de 2 baterías de 12V. En el anexo A se muestra la hoja de especificaciones del cargador de batería y fuente de poder.

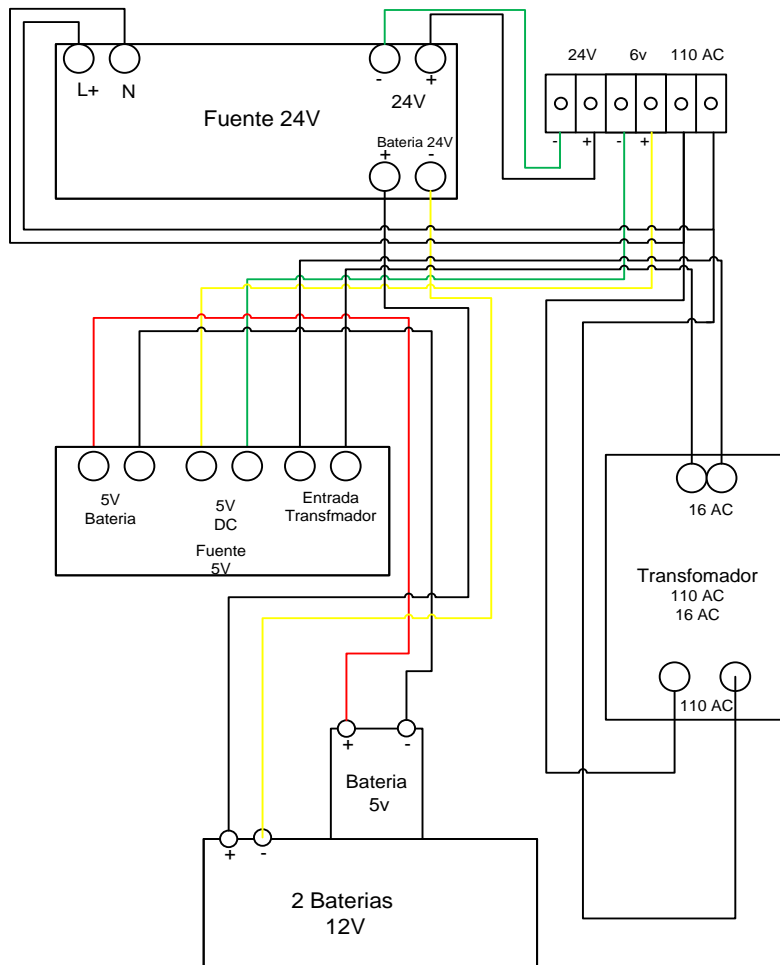


Figura 3.4. Esquema de conexiones del panel de alimentación

En la figura 3.5 se puede ver el panel ensamblado en la caja metálica de dimensiones 40cm x 30cm.

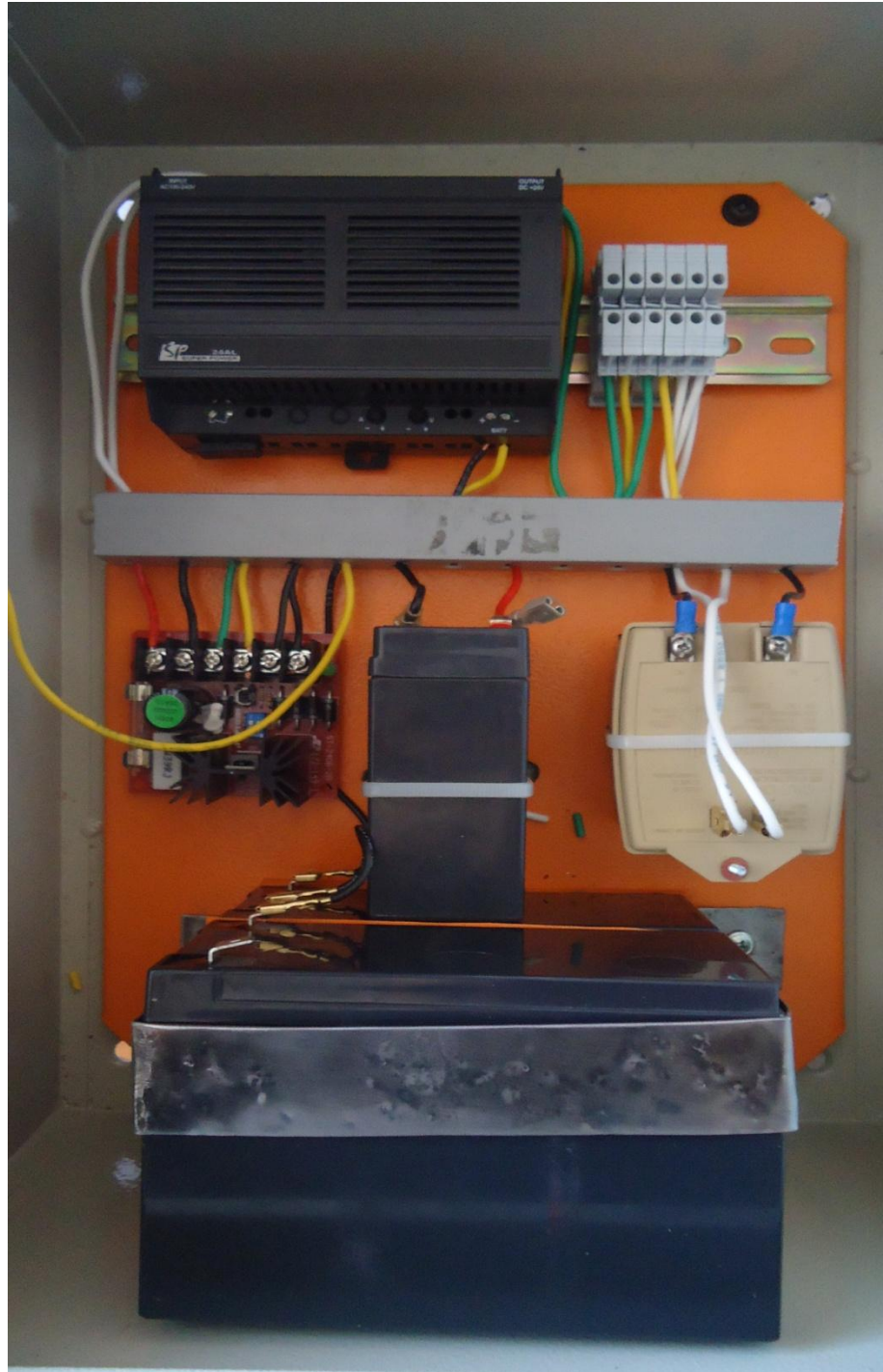


Figura 3.5. Foto del panel de alimentación

3.2. Montaje de la caseta

Para ubicación de la caseta donde se instalarán los paneles de control y de alimentación se tomó en cuenta las necesidades de la aplicación, como la disposición de las parcelas, la inclinación del terreno, y la comodidad a la hora de utilizar la aplicación, por lo que el diseño de la caseta se lo realizó con los siguientes materiales: madera, eternit y tableros MDF. En la figura 3.6 se puede observar la ubicación de la caseta dentro de la distribución de las parcelas.

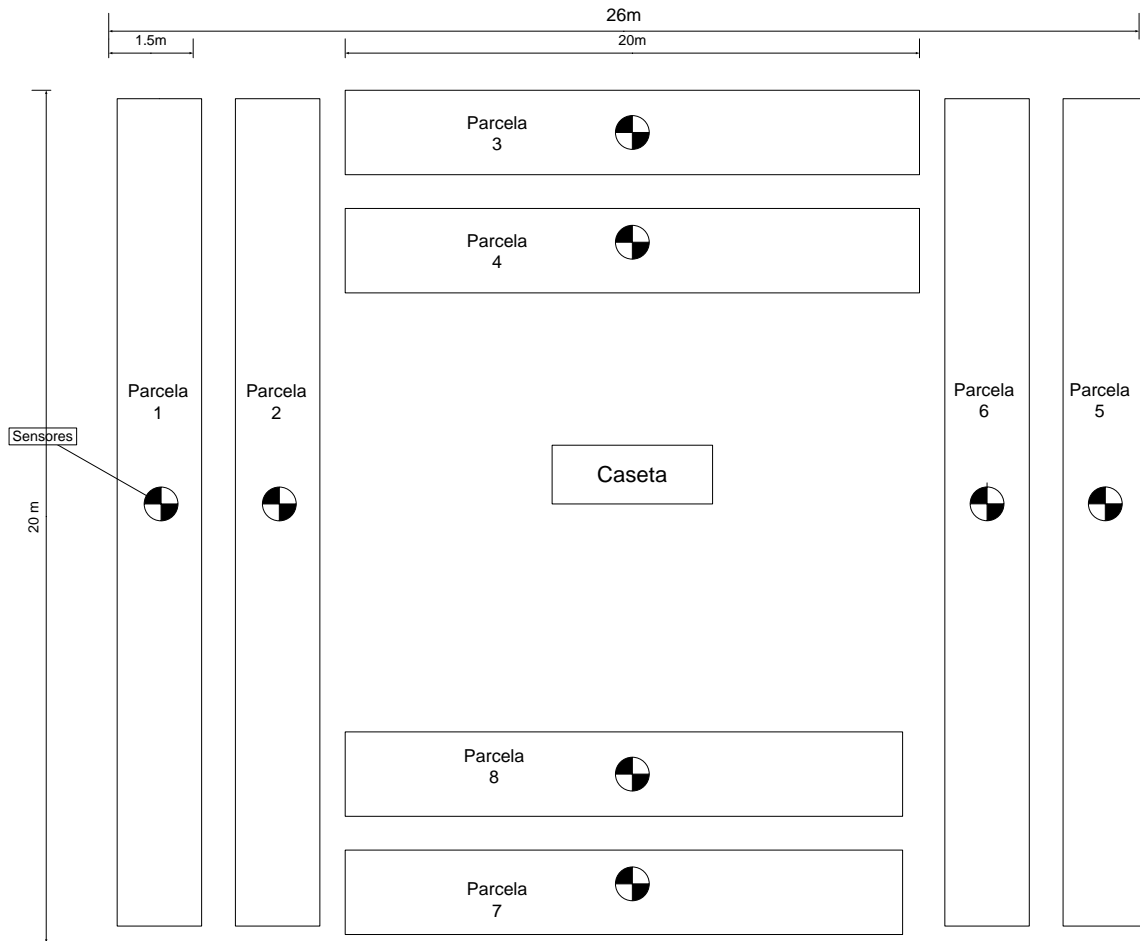


Figura 3.6. Distribución de las parcelas y ubicación de la caseta en el terreno.

En la figura 3.7 se puede ver la ubicación de la caseta en relación a las parcelas.



Figura 3.7. Ubicación de la caseta.

3.3. Instalación de sensores

Para la instalación de los sensores se tomó en cuenta las especificaciones del fabricante, tanto en la parte electrónica como la parte física de colocación de los sensores.

3.3.1. Colocación de sensores

Siguiendo las indicaciones del fabricante entre las cuales se recomienda, siempre que los sensores sean nuevos y por su naturaleza de ser sensores de matriz granulada, que deben someterse a un proceso de humedecimiento antes de ser ubicados, además se recomienda que no se coloquen en las misma vertical, para medir la humedad en un mismo sector. El primer sensor se colocó a 12cm de profundidad y el segundo sensor a 42 cm de profundidad, ésto a pesar de que las

mediciones de los sensores se realizan a 10 cm y 40 cm, pero los sensores son de forma tubular y el área efectiva de medición se ubica a dos centímetros del extremo final del sensor.

Para la colocación de los sensores en el suelo se utilizó barrenos para hacer los hoyos, una vez que la profundidad es la adecuada se colocó los sensores y se los recubrió de una mezcla espesa de tierra y agua llamada “colada”, la cual se encarga de cubrir el sensor y dejarlo enterrado listo para tomar datos. En la figura 3.8 se muestran los sensores instalados.

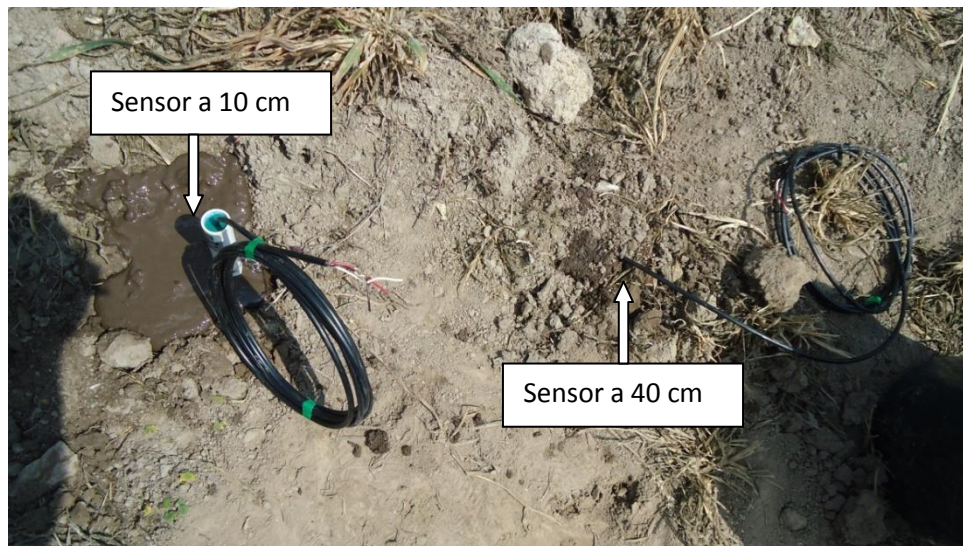


Figura 3.8. Sensores instalados en las parcelas.

3.3.2. Instalación del cableado

Una vez que se realizó la instalación de los sensores en el suelo, se encuentra con el problema que la longitud del cable de los sensores es de tres metros y el panel central se encuentra a unos 15 metros aproximadamente, por lo cual se utilizó cable UTP categoría 5, por la posición de los sensores y por su cercanía entre parcelas adyacentes, se optó por la utilización de una manguera corrugada plástica de $\frac{3}{4}$ de pulgada, dentro de la cual atraviesan dos cables UTP; como cada sensor tiene dos cables para la alimentación y uno para la señal de voltaje, lo que da un total de tres

cables por sensor, en cada parcela tenemos dos sensores por lo cual por cada parcela se ocupa un cable UTP (8 hilos), como la ubicación de los sensores en parcelas adyacentes es en el centro, para cada dos parcelas se emplea una manguera corrugada, quedando la distribución de las mangueras como lo indica la figura 3.9; de esta manera, cada manguera contiene dos cables UTP y se encuentran aseguradas al nivel del terreno con estacas de madera para su inmovilización.

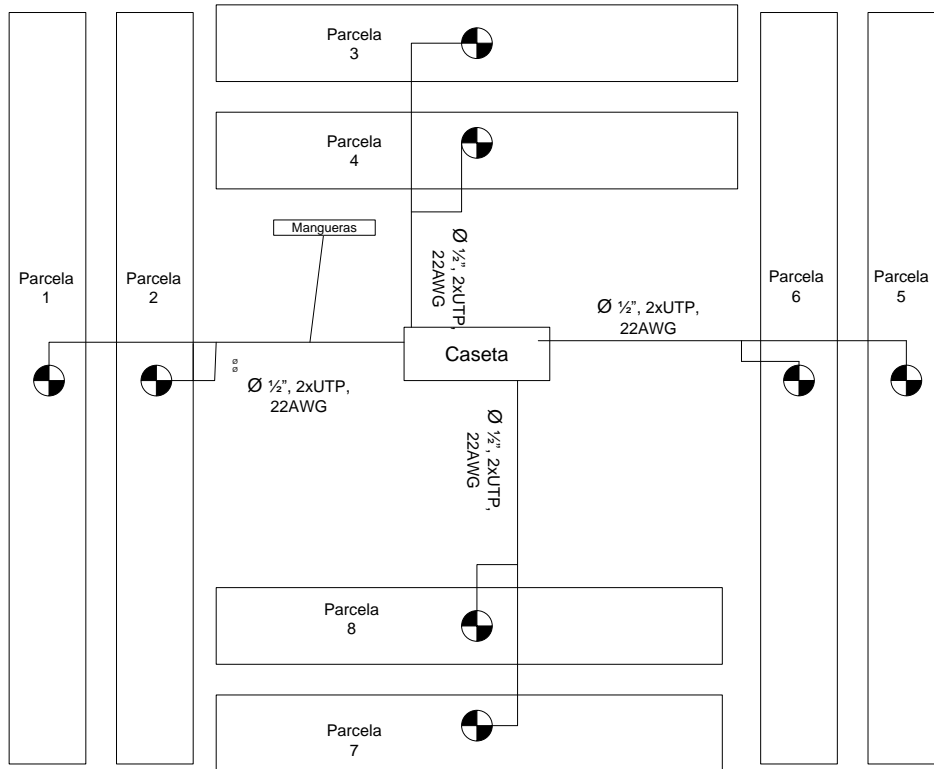


Figura 3.9. Esquema del tendido de las mangueras en el terreno

En la figura 3.10 podemos observar la distribución de las mangueras en el terreno.



Figura 3.10. Imagen de la ubicación de las mangueras en el terreno.

3.4. Montaje de los paneles en la caseta.

Para el montaje de los paneles en la caseta se aseguró las cajas de los correspondientes paneles a una base de madera y un tablero MDF en su parte posterior, una vez aseguradas las cajas se atornilló los paneles y se aseguró las mangueras a la caja de paso.

Para la conexión de los sensores y entradas de alimentación en las borneras se utilizaron conectores que facilitaron la manipulación y conexión de los cables.

En la figura 3.11 se observa los paneles instalados y todos los dispositivos electrónicos conectados.

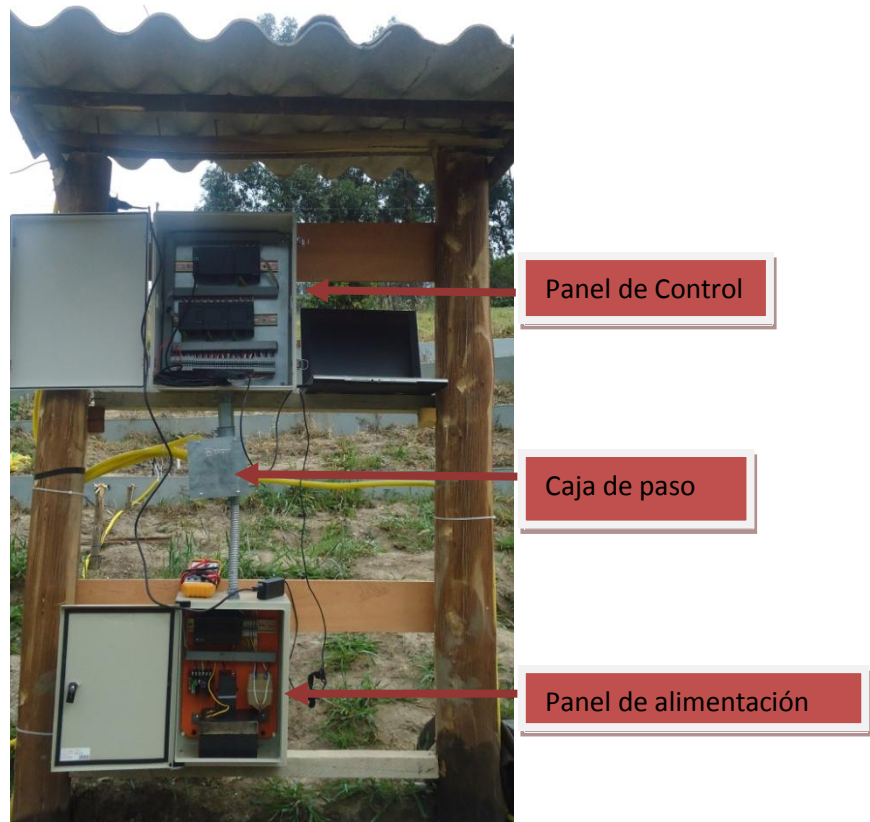


Figura 3.11. Paneles de control y de alimentación instalados y conectados

3.5. Calibración del PLC

En el momento que ya tenemos todas las conexiones realizadas, debemos configurar los módulos EM-231, para que la lectura de las entradas analógicas sea de voltaje y no de corriente, además se debe calibrar la ganancia con el potenciómetro de las entradas analógicas (disponible en el módulo EM-231).

3.5.1. Configuración de los módulos EM-231

La tabla 3.1 muestra cómo configurar el módulo EM 231 utilizando los interruptores DIP. El rango de las entradas analógicas se selecciona con los interruptores 1, 2 y 3. Todas las entradas analógicas se activan en un mismo rango. En la tabla, ON hace referencia al estado cerrado y OFF hace referencia al estado abierto. Los ajustes de los interruptores se leen sólo cuando está conectada la

alimentación. (Manual del sistema de automatización S7-200 Edición 08/2005 Número de referencia del manual: 6ES7298-8FA24-8DH0)

Tabla 3.1. Tabla de interruptores de configuración del EM 231 para seleccionar el rango de entradas analógicas⁹

Unipolar			Rango máx.	Resolución
Int.1	Int.2	Int.3		
ON	OFF	ON	0 a 10V	2,5mV
	ON	OFF	0 a 5V	1,25mV
			0 a 200mA	5uA
Bipolar			Rango máx	Resolución
Int.1	Int.2	Int.3		
OFF	OFF	ON	5V	2,5 mV
	OFF	OFF	2,5V	1,25mV

La configuración escogida es de lectura unipolar con un rango de 0 a 5 V con una resolución de 1.25mV, esto se debe a que la salida de los sensores es de 0 a 2.8 V por lo cual se optimiza en nivel de resolución del sistema. En la figura 3.12 se puede apreciar la ubicación de los DIP switches.

3.5.2. Calibración de los módulos EM-231

Se debe configurar la ganancia de los módulos, esto se lo realiza a través de un potenciómetro, primero se conecta en las entradas un nivel mínimo de señal 0V y este nivel debe dar un valor de cero, luego se somete a las entradas a un nivel de señal máximo, que es de 5V y debemos obtener un nivel de 32000; para obtener estos

⁹ (Tomada del Manual del sistema de automatización S7-200 Edición 08/2005 Número de referencia del manual: 6ES7298-8FA24-8DH0)

valores se calibra la ganancia de los módulos. En la figura 3.12 se puede ver la ubicación del potenciómetro y el esquema general del modulo EM-231.

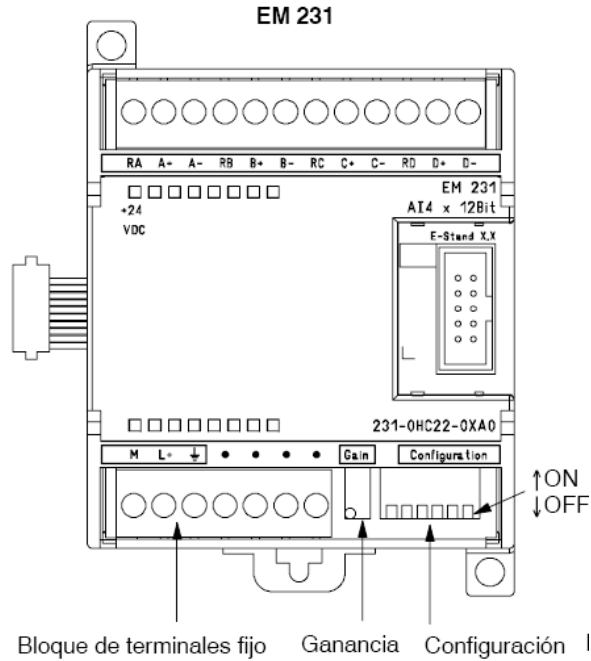


Figura 3.12. Ubicación de los potenciómetros de calibración y de los interruptores DIP de configuración de los módulos EM 231.

CAPITULO IV

4. Análisis de resultados

En el presente proyecto, la variable principal a obtener es la velocidad de infiltración, esta variable se la obtiene de manera indirecta, por medio de sensores de tensión, los cuales se encuentran a dos profundidades, a 10 cm y 40 cm; como la infiltración es una medida de velocidad, se calcula a partir de puntos referenciales, contando con los datos de la estación meteorológica.

4.1. Cálculo de la infiltración.

Para hacer el cálculo de la infiltración recurrimos a los dos sensores localizados en un mismo punto de medición, dado que los sensores están ubicados a diferentes profundidades podemos obtener la velocidad de infiltración a partir de los siguientes datos; los valores tensión en el suelo de los diferentes sensores y los valores de las precipitaciones (éstos se encuentran en una misma línea de tiempo), es decir, los datos de la estación meteorológica y los datos del datalogger; precipitación y tensión del suelo, respectivamente, están sincronizados en el tiempo.

Una vez que los datos del datalogger y aquellos de la estación meteorológica se encuentran en el programa, los podemos graficar por parcela, como vemos en el figura 4.1; además se pueden ver los datos de precipitación, evapotranspiración y temperatura, ésto se lo observa en el figura 4.2. Mayores especificaciones del software en Anexo E.

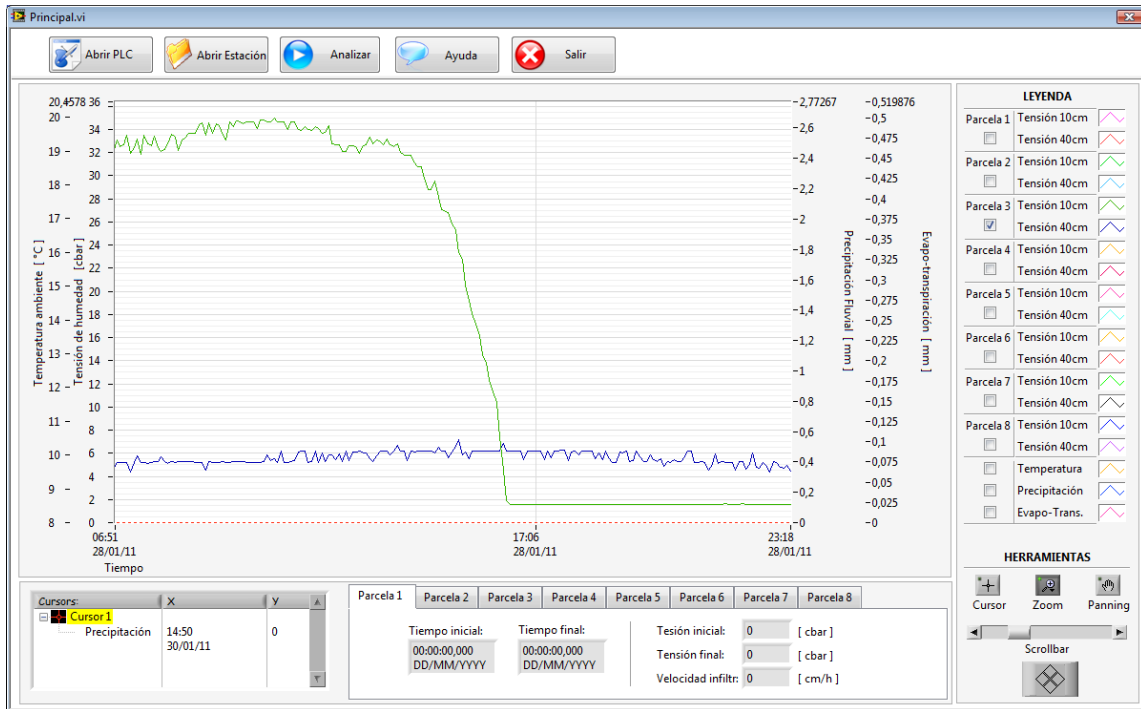


Figura 4.1. Pantalla del programa en la que se grafica la tensión de la parcela 3.

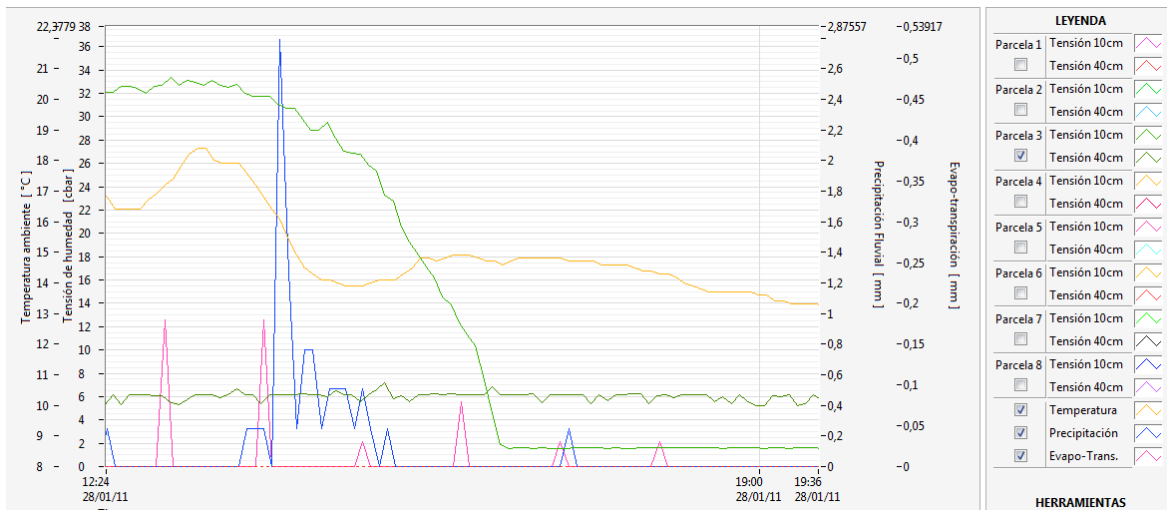


Figura 4.2. Pantalla de programa en donde se presentan los datos de tensión, temperatura y precipitación.

Para el análisis de la velocidad de infiltración, se tiene los datos de tensión del suelo y de precipitación en el programa, luego se escoge un punto inicial para el cálculo, por lo general este inicio se lo da en un pico de lluvia, en este momento se toman las condiciones iniciales de los sensores y a medida que la precipitación transcurre varía

la tensión instantánea del suelo y cuando la tensión cae en una variación de 15 centibares se obtiene el cálculo, esto se lo hace de la siguiente manera.

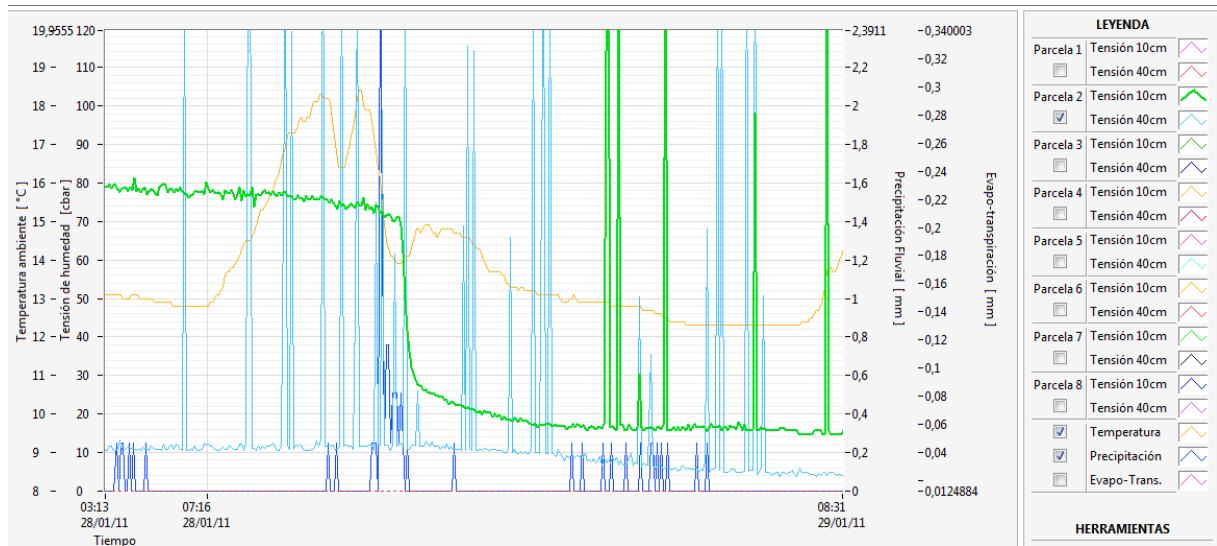
Para calcular la velocidad de infiltración tenemos los siguientes datos: tensión inicial, tensión final, tiempo transcurrido y profundidad de los sensores, con lo cual, el tiempo que demora en caer 15 centibares la tensión en cada sensor es el tiempo de infiltración, y conociendo la profundidad de cada sensor, se obtiene la velocidad de infiltración.

4.2. Primeros datos obtenidos.

Una vez que se realizó la instalación de todo el sistema, se empezó con la lectura de los datos arrojados por los sensores en los cuales se observó inestabilidad, estos datos oscilaban en valores muy ajenos al comportamiento regular de la tensión en el suelo, por lo cual se procedió a la investigación del error en los sensores a los cuales los sometimos a diferentes procedimientos para aislar la causa del error. Luego de estos procedimientos se concluyó que el error se debía a que, en el suelo donde se encuentran instalados los sensores hay presencia de ruido eléctrico, que hace que los sensores presenten inestabilidad en su voltaje de salida.

4.2.1. Errores por el nivel de ruido en el suelo

El nivel de ruido eléctrico en el suelo afecta de manera considerable al comportamiento de los sensores, haciendo que la medida de la tensión oscile entre 10 y 230 centibares en segundos y esto es imposible que se de en condiciones normales, lo que inutiliza la eficacia del proyecto. En la figura 4.3 se observan las señales contaminadas con el ruido del sistema. Si observamos con detenimiento, el comportamiento de la señal se mantiene, aunque el ruido siga presente.



4.2.2. Correcciones del ruido en el sistema.

Para corregir estos niveles de ruido en el sistema, primero se encontró la fuente de ruido. Para ello nos enfocamos en identificar la procedencia del mismo, luego de algunas pruebas como; aislar completamente el sistema de la energía eléctrica y solo hacer uso de baterías para su alimentación; la desconexión de la energía eléctrica (proveniente de la empresa distribuidora EERSSA) en el sector de medición; se concluyó que la fuente de ruido es externa al sistema, en pocas palabras, el sistema implementado no genera el ruido presente, este ruido se genera por agentes externos.

4.2.2.1. Sistema de mallado de tierras

Luego de investigaciones extensas sobre como corregir estos niveles de ruido se procedió a hacer una conexión robusta de tierra, un mallado de tierras, es decir, como en cada punto de medición el ruido tiene diferente magnitud promedio, se hizo una suma y resta de ruidos, en cada lugar de medición se colocó un electrodo de cobre, y uno cerca del panel del datalogger, luego se unió todas las tierras logrando así bajar el ruido en un 75 %, este porcentaje sale del número de sensores afectados por el ruido que en un principio eran 16 (la totalidad), luego de este procedimiento se

obtuvo que 12 de los 16 sensores tuvieran datos correctos, pero este porcentaje no es aceptable por lo que se procedió a discriminar el ruido dentro del software del PLC. En la figura 4.4 podemos observar el esquema de la distribución de las varillas de cobre.

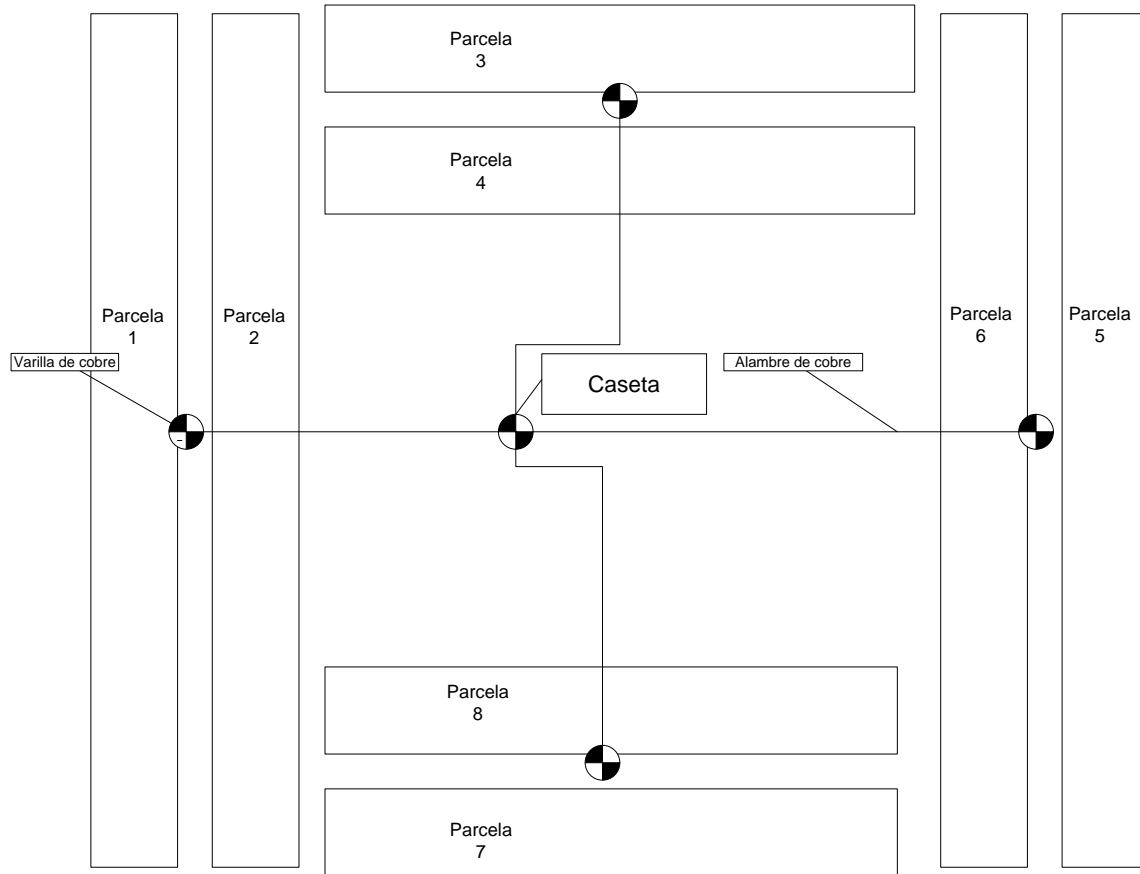


Figura 4.4. Esquema de la distribución de las varillas de cobre para el sistema de puesta a tierra.

4.2.2.2. Discriminador de ruido en software

Para implementar el discriminador de ruido, nos basamos en su rango de magnitud y el intervalo de frecuencia mínima y máxima de ocurrencia. En base a ello podemos observar que la señal siempre contiene un conjunto de valores válidos y otro conjunto de valores no válidos, el discriminador de ruido en software hace que se

graben en memoria solo los valores correctos, ésto se realiza siguiendo las características de la variable tensión más la característica del ruido, al ser la tensión una variable lenta, no puede variar de una manera brusca, por lo cual, se empleó un algoritmo con las siguientes condiciones:

- Si el valor instantáneo, tomado a intervalos de 100 ms, es mayor o igual al 500% de su valor predecesor, este valor no se almacena ya que la tensión del terreno no puede variar a dicha velocidad y se guarda el valor anterior, esto implicaría que suelo tendría una tensión de 239 cbar que es imposible en las condiciones de terrenos de este tipo.
- Si el valor instantáneo es menor igual a 3 cbar, este valor no se almacena, y se guarda el valor antecesor.

4.3. Validación de los datos obtenidos en el sistema.

Para la validación de los datos obtenidos se realizó dos ensayos con Tensiómetros de suelo Irrometer (Fig. 4.5), recomendados por el Laboratorio de Suelos Agrícolas UTPL, en cada ensayo se obtuvo 12 muestras en dos días diferentes, cada muestra es tomada a intervalos de una hora, la validación consistió en la comparación de los datos, y la obtención del error relativo máximo por cada experimento realizado, dicha validación nos permite darnos cuenta de cuan acertados son los datos obtenidos en el sistema, con respecto a la referencia dada.



Figura 4.5. Obtención de datos mediante el Tensiómetro IRROMETER.

Para obtener el error relativo instantáneo utilizamos la siguiente fórmula:

$$e(\%) = 100 \left(\frac{DT - DS}{DT} \right)$$

Donde:

e: Error relativo

DT: Datos de la lectura del Tensiómetro

DS: Dato obtenido del sistema.

En la tabla 4.1 mostramos el resultado de los datos adquiridos el día Jueves, 17 de Febrero del 2011, en el cual adquirimos datos a partir de las 07h30, hasta 18h30.

Tabla 4.1. Datos obtenidos día 17 de Febrero 2011

FECHA	HORA	LECTURA DE TENSIOMETRO (cbar)	LECTURA DEL SISTEMA (cbar)	ERROR RELATIVO (%)
jueves, 17 de febrero de 2011	7:30	29	28,014652	3,39775167
jueves, 17 de febrero de 2011	8:30	29	28,3064713	2,39147825
jueves, 17 de febrero de 2011	9:30	31	31,5164835	-1,66607586
jueves, 17 de febrero de 2011	10:30	33	32,1001221	2,72690273
jueves, 17 de febrero de 2011	11:30	33	33,2673993	-0,81030081
jueves, 17 de febrero de 2011	12:30	35	35,7770452	-2,22012908
jueves, 17 de febrero de 2011	13:30	35	35,1350427	-0,38583639
jueves, 17 de febrero de 2011	14:30	35	34,4346764	1,61521019
jueves, 17 de febrero de 2011	15:30	37	36,9443223	0,15048015
jueves, 17 de febrero de 2011	16:30	37	36,4774115	1,41240141
jueves, 17 de febrero de 2011	17:30	37	36,6525031	0,93918094
jueves, 17 de febrero de 2011	18:30	37	36,3023199	1,88562189

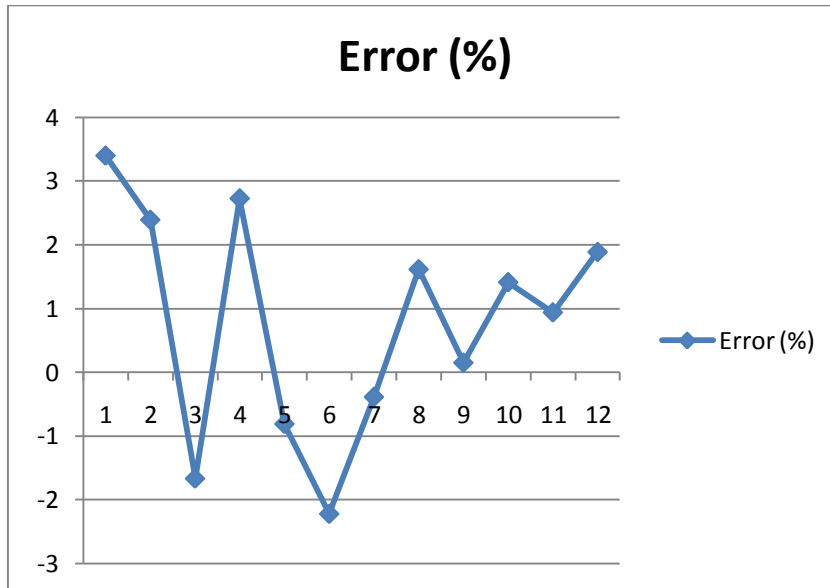
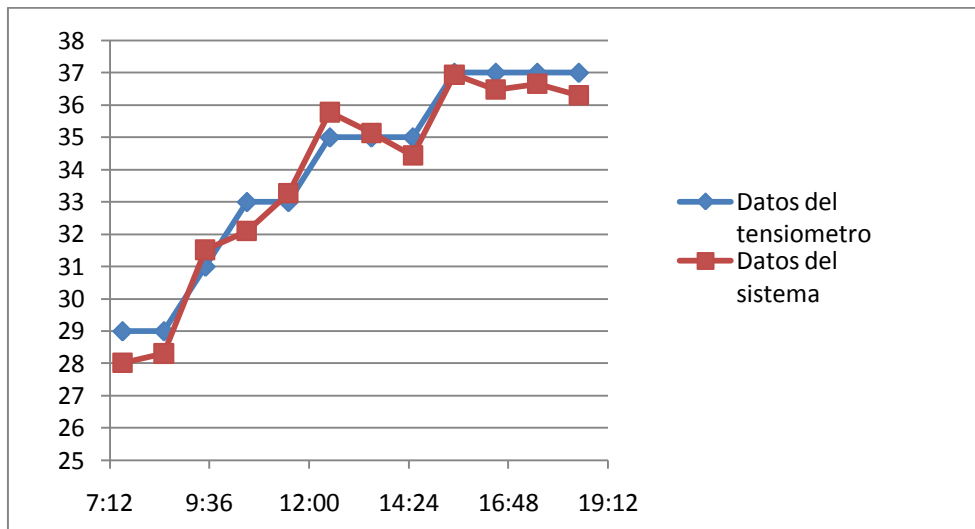


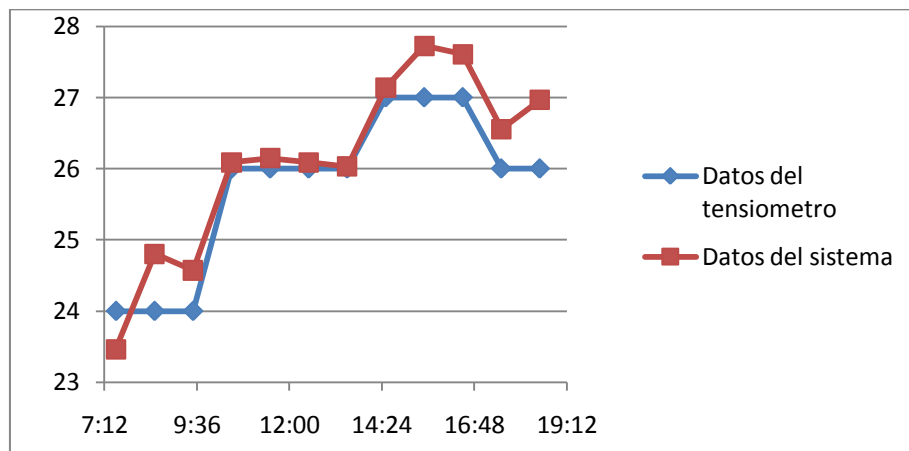
Figura 4.6. Gráfica de los datos obtenidos por el sistema y por el tensiómetro. Y gráfica del error relativo.

El resultado obtenido en la figura 4.6 nos muestra que el error máximo del día 17 de febrero, es de un 3,39%. De un error máximo permitido del 5% según el CITTE Servicios Agropecuarios, Laboratorio de Suelos Agrícolas UTPL.

En la tabla 4.2 vamos a los datos del 22 de febrero, desde las 7h30 hasta las 18h30. Y el cálculo del error relativo.

Tabla 4.2. Datos obtenidos día 22 de Febrero 2011

FECHA	HORA	LECTURA DE TENSIOMETRO (cbar)	LECTURA DEL SISTEMA (cbar)	ERROR RELATIVO (%)
martes, 22 de febrero de 20011,	7:30	24	23,4622711	2,24053724
martes, 22 de febrero de 20011,	8:30	24	24,8046398	-3,35266585
martes, 22 de febrero de 20011,	9:30	24	24,5711844	-2,37993488
martes, 22 de febrero de 20011,	10:30	26	26,0886447	-0,34094111
martes, 22 de febrero de 20011,	11:30	26	26,1470085	-0,56541749
martes, 22 de febrero de 20011,	12:30	26	26,0886447	-0,34094111
martes, 22 de febrero de 20011,	13:30	26	26,0302808	-0,11646473
martes, 22 de febrero de 20011,	14:30	27	27,1391941	-0,51553385
martes, 22 de febrero de 20011,	15:30	27	27,7228327	-2,67715823
martes, 22 de febrero de 20011,	16:30	27	27,606105	-2,24483336
martes, 22 de febrero de 20011,	17:30	26	26,5555556	-2,13675214
martes, 22 de febrero de 20011,	18:30	26	26,9641026	-3,70808679



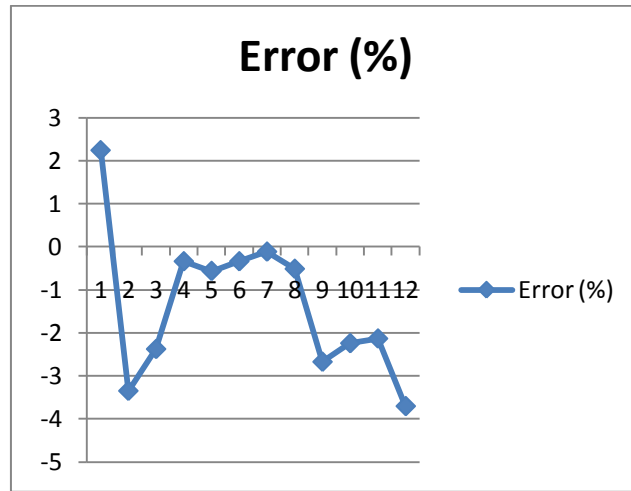


Figura 4.7. Gráfica de los datos obtenidos por el sistema y por el tensiómetro. Y gráfica del error relativo.

Según la figura 4.7 el error máximo obtenido del día 22 de febrero del 2011, es de 3,7%. Este valor se encuentra dentro del valor máximo de error permitido que es del 5%.

4.3.1. Instrumento de referencia.

El tensiómetro de marca Irrometer modelo R con el que se realizó la validación de los datos, tiene un rango de medición de 0 a 100 cbar (kPa) con una precisión de $\pm 3\%$ basado en el estándar ASME B40 Grado B, la temperatura de operación es de 0° a 65°C . En la figura 4.8 podemos observar la apariencia del Tensiómetro.



Figura 4.8. Tensiómetro Irrometer Modelo R.

4.4. Análisis de Resultados

Para el análisis de resultados se presentan las gráficas de la tensión por parcela, además se hace una comparación con los valores de tensión de la estación meteorológica, y por último se presenta el valor estimado de la velocidad de infiltración.

4.4.1. Gráficas de tensión en el suelo

Como se puede observar en la figura 4.8 vemos la evolución de la tensión en un tiempo predestinado, el cual puede ser de días o meses según sea la necesidad, se ven dos líneas y un cursor, cada línea representa la tensión de cada sensor, si es necesario se pueden ver las señales de todas las parcelas juntas, más la señal de la lluvia y temperatura que se las extrae de la estación meteorológica, como se representa en la figura 4.9.

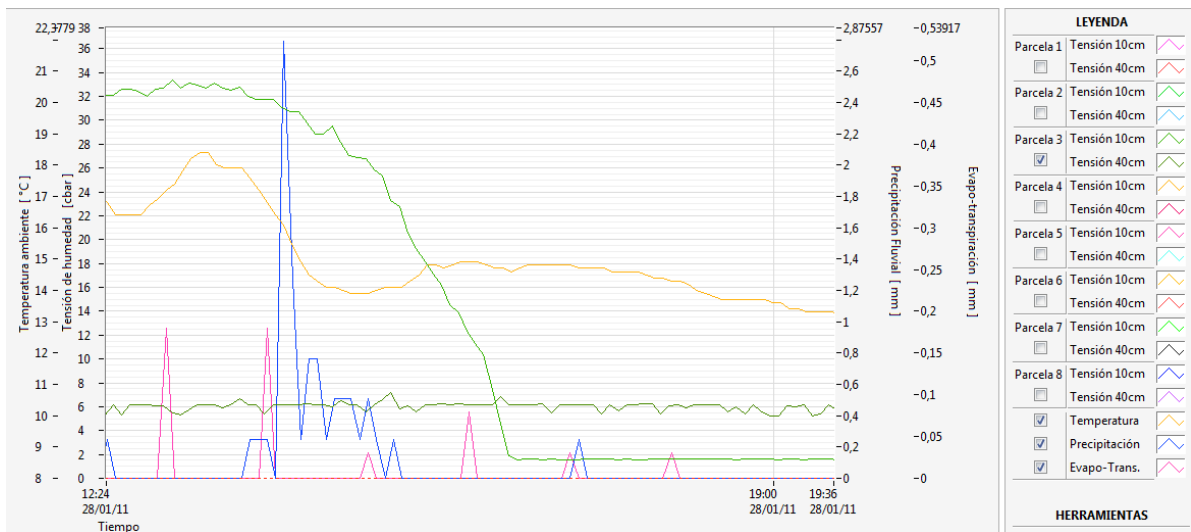


Figura 4.9. Gráficas de las tensiones de los sensores en las parcelas ya corregido el ruido.

4.4.2. Comparación de los datos adquiridos

Para comparar los datos de tensión, nos referenciamos a la estación meteorológica la cual posee dos sensores similares ubicados a las mismas profundidades que en el proyecto, en la figura 4.6 podemos observar la comparación entre los datos del proyecto y de la estación, los datos poseen igual dinámica aunque sus valores no son idénticos, esto sucede porque el terreno donde se encuentran los sensores de la estación no se encuentra cultivado, este suelo se encuentra compactado y con vegetación, por el contrario el suelo donde se encuentran los sensores del presente sistema es un suelo arado.

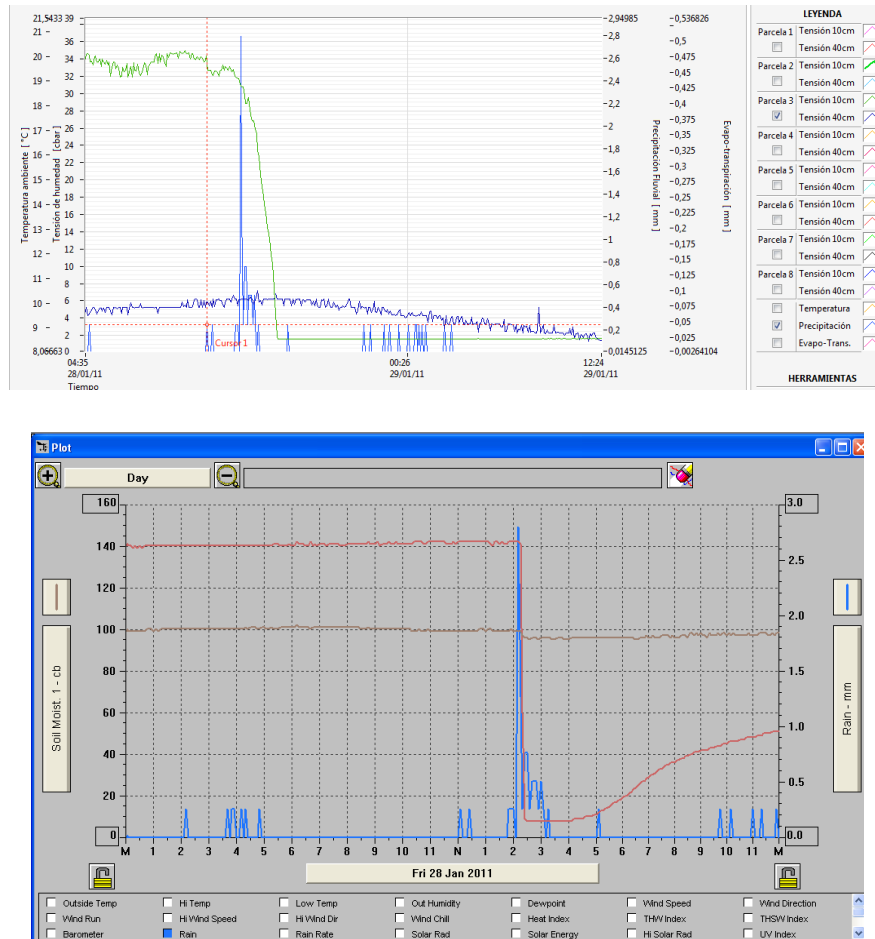


Figura 4.10. Comparación de las gráficas de las tensiones en un mismo lapso de tiempo entre los datos del sistema del proyecto y la estación meteorológica Davis Vantage PRO II

4.4.3. Velocidad de Infiltración

En apartados anteriores se explicó cómo se realiza la medición de la velocidad de infiltración, es así, que en la tabla 4.1 se muestra las diferentes velocidades de infiltración obtenidas de las 16 parcelas en un mismo instante, estas velocidades se calcularon a partir de un mismo pico de lluvia y su diferencia radica en el comportamiento del agua en los diferentes tipos de suelo que se tiene en el proyecto, en la figura 4.7 se observa los datos arrojados por el programa para la parcela 3.

Tabla 4.3. Velocidades de infiltración

# de Parcela	Velocidad (cm/h)
1	6,08
2	6,41
3	5,05
4	4,42
5	7,85
6	6,41
7	5,45
8	6,77

Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela 5	Parcela 6	Parcela 7	Parcela 8
Tiempo inicial: 13:50:00,000 28/01/2011		Tiempo final: 15:48:36,000 28/01/2011	Tensión inicial: 32 [cbar]		Tensión final: 17 [cbar]		Velocidad infiltr: 5,05902 [cm/h]

Figura 4.11. Pantalla del programa en la que se muestra los valores de la velocidad de infiltración de la parcela 3 y los datos que se relacionan a la misma.

CONCLUSIONES

- Al finalizar el diseño e implementación del sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de datos se determinó la velocidad de infiltración en las distintas parcelas piloto, además se estableció la variación de las velocidades de infiltración de cada parcela.
- En el diseño del sistema de adquisición y registro de datos, la mejor opción es tener un sistema abierto el cual permite modificar, ampliar y optimizar, el sistema para nuevos requerimientos, además como se basa en un PLC S7-200 se tiene la facilidad de optar por opciones de control.
- En el software para el análisis y gestión de los datos de humedad, precipitación pluvial, temperatura y evapotranspiración se realizó el contraste de todas las variables en un mismo gráfico ya que esto permite tener una visión global de la evolución de todo el cultivo.
- En el análisis de los datos de precipitación se observó que picos de lluvia altos y de corta duración tienen a humedecer los sensores a 10 cm de profundidad mientras que los de 40 cm de profundidad mantienen su humedad, esto podría deberse a características físicas de los suelos.
- Los sensores de 40 cm de profundidad varían su tensión en etapas largas de sequía, mas no, en lapsos normales de clima.
- El error máximo permitido según investigadores del CITTE Servicios Agropecuarios, Laboratorio de Suelos Agrícolas UTPL es del 5%, en dos experimentos realizados nuestro error máximo obtenido fue del 3,7% lo que nos permite conocer que los datos arrojados por el sistema están dentro del margen de error permitido.
- El sistema dispone de una independencia de energía de 29 horas en caso de corte de suministro de energía eléctrica, puesto que dispone de batería de 7 A/h

RECOMENDACIONES

- En proyectos similares se debe realizar pruebas de laboratorio para la verificación del estado de sensores y de los equipos adquiridos.
- Verificar las condiciones y características eléctricas de terreno donde implementarían nuevos proyectos y dependiendo de estas condiciones hacer un correcto diseño de sistemas de puestas a tierra.
- Para un óptimo desarrollo y utilización de los sensores se recomienda hacer todo el proceso de preinstalación dado por la compañía fabricante de los sensores.
- Se debe realizar una correcta calibración de los módulos de entrada SIEMENS EM231, para obtener una fidelidad de los datos obtenidos.
- Para mayores niveles de autonomía de red eléctrica se puede colocar baterías de mayor capacidad lo que daría semanas de independencia de la red eléctrica.
- Para un mejor uso del PLC S7/200 se puede complementar el sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de datos de tensión con un sistema de control y monitoreo de riego.
- Se recomienda realizar una implementación modular para el fácil manejo y movilización de los equipos, además de un correcto etiquetado y nomenclatura de los terminales de instalación.
- La estación meteorológica se debe de instalar cerca de los puntos de medición para tener un correcto análisis de los datos obtenidos.
- Para futuros proyectos relacionados recomendamos profundizar en el estudio de controles de riego.
- El tablero de control dispone de una protección IP 64 (NEMA 4). Totalmente protegida contra el polvo y protegido contra rocíos directos de todas las direcciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Evapotranspiración. Tomado : 20 de mayo 2011. <http://es.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiraci%C3%B3n>.
- [2] FORSYTHE, W. (1 975): Física de Suelos. Ed. IICA.
- [3] GAVANDE SA (1972): Física de suelos. Principios y aplicaciones Edición: Limusa Wiley
- [4] MANRÍQUEZ, NOVOA MANRÍQUEZ, ISIDORO (1971): Determinación de uso consumo en 6 cultivos, sometidos a diferentes tratamientos de humedad de suelo, para la provincia de Ñuble, Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
- [5] Manual del sistema de automatización S7-200 Edición (2005) Número de referencia del manual: 6ES7298-8FA24-8DH0.
- [6] Medición de la humedad del suelo, relación agua planta. Tomado: 20 de mayo 2010. www.sap.uchile.cl/descargas/sap/MEDICION1.PDF.
- [7] MERLET B. H.A. (1986): Evapotranspiración potencial y necesidades netas de agua de riego en Chile. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias Agrícolas.
- [8] MOLSALVE (2008): Hidrología en la Ingeniería. Segunda Edición.
- [9] Movimiento del agua en el Suelo: Determinación de la velocidad de Infiltración con cilindros infiltrómetros. <http://www.monografias.com/trabajos82/movimiento-del-agua-suelo/movimiento-del-agua-suelo.shtml>
- [10] SALGADO SEQUEL, LUIS GABRIEL (1966): Métodos para determinar evapotranspiración actual y potencial. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.
- [11] PORTA, J., M. LOPEZ-ACEVEDO, Y C. ROQUERO DE LABURU. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 807 p. Mundi Prensa, Madrid, España.

[12] Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico Serie Textos Universitarios, Infiltración y humedad del suelo.

[13] Riego por goteo métodos para medir la humedad del suelo. Tomado: Jueves, 17 de Junio de 2010 <http://www.rregar.com/index.php?/201006171526/riego-por-goteo/riego-por-goteo-metodos-para-medir-la-humedad-del-suelo.html>.

[14] ROJAS CERPA, NELSON ZILAY (1994): Determinación de la evapotranspiración de Pinus radiata D. Don en vivero, mediante lisímetro de drenaje. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

[15] SALGADO SEGUEL, LUIS GABRIEL (1966): Métodos para determinar evapotranspiración actual y potencial. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

[16] C. SHOCK, R. FLOCK, E. FEIBERT, C.A. SHOCK, A. PEREIRA Y L. JENSEN. (2006): Técnicas de la Agricultura Sostenible: El control del riego mediante la tensión matricial del suelo

ANEXOS

ANEXO A Enforcer ST-series. Cargador de batería y fuente de poder

A.1. Descripciones

- *Interruptor selectivo salida voltaje CC.*
- *Salida de voltaje filtrada y regulada.*
- *Protección contra corto circuito.*
- *Protección térmica y compensación.*
- *Cargador de batería de respaldo integrada.*
- *Switches automáticamente se activan en la batería de respaldo cuando se pierde el poder.*
- *Protegida con un fusible para la carga de la batería.*
- *2 LED's para indicar entrada de poder CA y salida de poder CC.*
- *Compatible con baterías recargables gel-type o que lleven acido.*
- *Polaridad reversible protegida.*
- *Puede operar a baja temperatura.*
- *Guías para la batería y foam type incluido.*
- *Diseño compacto*

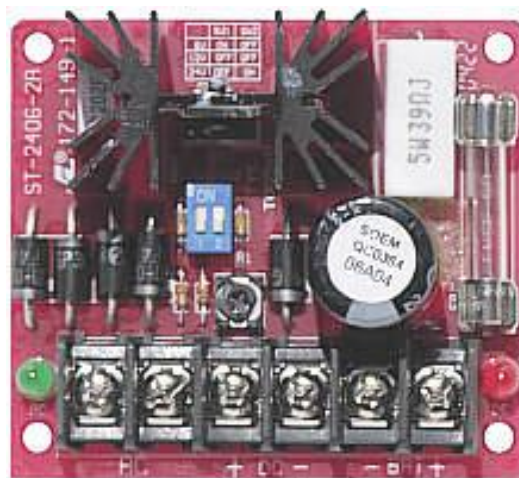


Figura A.1. Cargador de batería y fuente de poder ST-2406-2QA

A.2. Especificaciones

Tabla A.1.1.-Especificaciones técnicas del cargador de batería y fuente de poder ST-2406-2QA

Modelo #	C.C. Voltaje	Corriente (continua)	Corriente (Max)	Tamaño
ST-2406-2AQ	6, 12, 24	1.5A	2.0A	2 ⁷ / ₈ "x2 ¹ / ₂ "x1 ³ / ₈ " (73x64x35 mm)

Tabla A.1.2. Programación para la salida de voltaje DC del cargador de batería y fuente de poder ST-2406-2QA

Voltaje	SW1	SW2
6V	ON	OFF
12V	OFF	OFF
24V	OFF	ON

Tabla A.1.3. Estados del cargador de batería y fuente de poder ST-2406-2QA a través de los diodos LED.

LED verde	LED rojo	ESTADO
ON	ON	NORMAL
OFF	ON	NO VCA ENTRADA
ON	OFF	NO VDC SALIDA
OFF	OFF	NO VCA ENTRADA Y NO VCA SALIDA

ANEXO B Sensor de humedad watermark 200SS-V

B.1 Watermark sensor de humedad 200SS-V especificaciones

Dimensiones

Diámetro 22mm

Longitud 18,5 cm

Peso 181 g

Longitud del cable: 3 m conductor AWG 22

Eléctrico: 3.2-30 voltios, 1.5 mA de entrada, protección de polaridad, salida lineal de 0 -3 voltios /0-239(kPa)=0-2.8 voltios es lineal / 2.9 voltios = código de falla por congelamiento / 3.0 voltios = falla de código por circuito abierto

-En la lectura de la humedad del suelo la temperatura se compensa automáticamente

-Cuando la energía es aplicada la lectura es suministrada luego de 500 ms



Figura B.1. Fotografía del sensor humedad WATERMARK 200SS-V

B.2. Forma de instalación de los sensores de humedad WATERMARK 200SS-V

Colocar en agua los sensores durante toda la noche en agua de riego. Siempre se debe instalar el sensor húmedo. Si el tiempo lo permite, humedezca el sensor por 30 minutos en la mañana y deje secar hasta la noche. Esto aumentará la respuesta del sensor en los primeros riegos.

Hacer un hoyo de acceso al sensor a la profundidad deseada con una herramienta de instalación IRROMETER o una vara de 7/8 pulgadas (22mm). Llene el hoyo con agua y empuje el sensor hacia dentro del hoyo hasta que toque fondo. Una tubería PVC de ½ pulgadas de longitud puede ser acoplada sobre el sensor y puede ser usada para empujar el sensor. Un buen ajuste en la tierra es importante. Esta tubería PVC puede ser soldada al sensor.

Si la extensión de la tubería PVC no se dejó puesta en el sensor, rellene los hoyos para que el sensor quede enterrado. Si la tubería PVC ya está puesta, compacte la tierra alrededor de la superficie para aislar el hoyo. La tubería PVC actúa como un conducto para los cables del sensor. Etiquete cada cable del sensor para indicar la medida de la profundidad.

Para tierras muy ásperas o con mucha grava, un hoyo de 1-1.25 pulgadas (25mm-32mm) puede ser usado para evitar el daño por abrasión a la membrana del sensor. En este caso, taladre un hoyo a la profundidad deseada y haga una mezcla espesa con la tierra y algo de agua. Llene el hoyo con esta mezcla y luego instale el sensor. Esto se debe hacer para asegurar un buen ajuste.

Si los sensores son removidos, límpielos y séquelos. Los sensores pueden ser almacenados indefinidamente en un lugar limpio y seco. Siempre póngalos en remojo antes de la reinstalación.

Tabla B.1. Representación de voltajes y su equivalente en centibares
(<http://www.irrometer.com/sensors.html>)

Centibares (kPa)	Voltaje (v)
0	0
10	0.117155
20	0.23431
30	0.351464
40	0.468619
50	0.585774
60	0.702929
70	0.820084
80	0.937238
90	1.054393
100	1.171548
120	1.405858
130	1.523013
140	1.640167
150	1.757322
160	1.874477
170	1.991632
180	2.108787
190	2.225941
200	2.343096
210	2.460251
220	2.577406
230	2.694561
240	2.811715

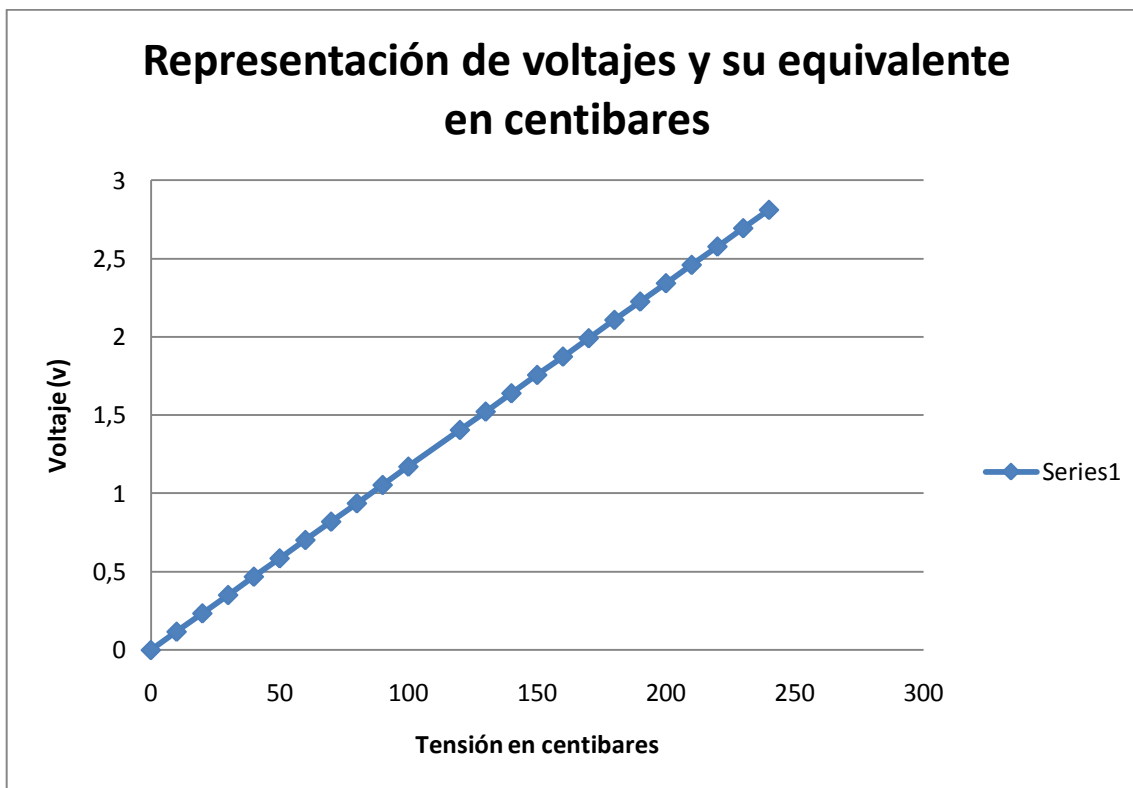


Figura B.2. Gráfica de la representación de voltajes y su equivalente en centibares.

ANEXO C ESTACIÓN METEOROLOGICA DAVIS VANTAGE PRO 2

C.1. Características técnicas

Funciones: temperatura y humedad relativa ambiente, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, pluviómetro, cálculo de punto de rocío y sensación térmica, memorias de máximas y mínimas.

Otras características: Unidad de adquisición externa con transmisión inalámbrica de datos hasta 300 m. en campo abierto, alimentación solar, Software WeatherLink con interface USB o RS232 y Datalogger programable desde 1 a 120 minutos, capacidad de almacenaje: 2560 sets de datos, con posibilidad de generar registros de sensores opcionales de: temperatura y humedad edáfica, mojado foliar, radiación solar y evapotranspiración.

Rangos:

Temperatura: -40° a $+65^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.5^{\circ}$)

Humedad: 0 a 100% ($\pm 3\%$)

Presión: 540 a 1100 (± 1.0 hPa)

Velocidad del viento: 3 a 241 km / h ($\pm 5\%$)

Dirección: 0° a 360° ($\pm 4^{\circ}$)

Pluviometría: 0 a 9999 mm / d

Fuente: 3 baterías tipo C o mediante conexión a red.

C.2. La evapotranspiración medida por la estación meteorológica

La evapotranspiración (ET) es la cantidad de agua que se mueve desde el suelo (y las plantas del suelo) a la atmósfera a través de la evaporación y la transpiración.

La medida de la ET para un determinado lugar requiere de la medición de variables meteorológicas a diferentes alturas y está más allá de las capacidades de la estación meteorológica Davis. En su lugar, un único conjunto de datos meteorológicos se utilizan para el cálculo de la ET de referencia (ET_o).

ET_o es la cantidad de ET que se espera en un lugar en condiciones de referencia especificadas en las condiciones meteorológicas reinantes. Las dos condiciones de referencia más utilizadas para fines agrícolas son la de referencia al pasto y la de referencia a la alfalfa.

Para determinar una ET de una ET_o se debe multiplicar a la ET_o por un coeficiente de cultivo (K_c). El valor del coeficiente de cultivo para cada planta depende de la madurez de la planta así como de factores locales, tales como tipos de suelos. La estación meteorológica Davis no proporciona coeficientes de cultivo, corresponde a cada usuario determinar el K_c adecuado.

C.3. Diferentes maneras de calcular ET_o en la estación meteorológica Davis

Existen tres maneras en que la ET_o es calculada por estaciones meteorológicas Davis. Estas se diferencian en cómo se toman los datos en el tiempo de la radiación solar neta. Los tres métodos son: GroWeather que se calcula en la consola, Groweather calculada en la PC, y Vantage Pro (calculada en la consola), en los tres métodos los valores se calculan hora a hora, las diferencias surgen en las capacidades de cómputo de cada estación GroWeather, la estación Vantage Pro y el PC.

C.4. Datos de muestreo y variables necesarias para el cálculo

En este proyecto se utiliza la estación meteorológica Davis Vantage Pro la cual toma muestras de la temperatura, la velocidad del viento y de la radiación solar durante el periodo de una hora, luego el valor de saturación de presión se calculan a partir de los valores actuales de temperatura y humedad. Estos valores de presión de vapor (en kPa) se utilizan para calcular la presión de saturación y la presión promedio de vapor de agua, esta estación tiene la capacidad de hacer operaciones con punto flotante

Cálculo general de la ETo

Las variables a evaluar son las siguientes

Tf : Es la temperatura media del aire medida en décimas de grado Fahrenheit.

Umph: Es la velocidad del viento medida en millas por hora .

R: Significa la radiación solar medida en vatios por metro cuadrado.

Pin: presión atmosférica medida en milésimas de pulgadas de mercurio.

Valores calculados (unidades de conversión)

Tabla C.1 Unidades de conversión y fórmulas para sus cálculos

<p><i>T_c es la temperatura medida en celsius</i></p> $T_c = (T_F - 32) * \frac{5}{9}$	<p>γ es la constante psicométrica</p> $\gamma = 0.000646 * (1 + 0.000946 * T_C) * P_{KPa}$
<p><i>T_K es la temperatura medida en Kelvin</i></p> $T_K = T_C + 273.16$	<p>W factor de ponderación que expresa la contribución relativa del componente de la radiación</p> $W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$
<p><i>P_{KPa} presión atmosférica medida en kPa</i></p> $P_{KPa} = Pin * 33.864$	<p>F es la función del viento indica la cantidad de energía que el viento contribuye hacia la ET. Hay dos funciones,</p>

	<p>una para el día (la radiación solar > 0) y un para la noche.</p> $F_d = 0.03 + 0.0576 * U \text{ m/s}$ $F_n = 0.0125 + 0.0439 * U \text{ m/s}$
<p>$U_{m/s}$ es la velocidad del viento en m/s</p> $U_{m/s} = U_{MPH} * 0.44704$	<p>λ es el calor latente de vaporización. Se utiliza para convertir la radiación neta en vatios por metro cuadrado en la cantidad de agua evaporada en mm.</p> $\lambda = 694.5 * (1 - 0.000946 * T_c)$
<p>$R_n = \text{Radiación neta por hora}$</p>	<p>ET₀ potencial en mm</p> $ET_0 = W * \frac{R_n}{\lambda} + (1 - W) * (e_a - e_d) * F$
<p>e_a es la presión de la saturación de vapor de agua</p> $e_a = 0.6108 * e^{\frac{17.27 * T_c}{T_c + 237.3}}$	
<p>e_d valor actual del vapor de agua</p>	
<p>Δ</p> $e_d = e_a * \frac{H}{100}$ <p>Δ es la pendiente de la curva de saturación de vapor en T_c</p> $\Delta = \frac{e_a}{T_k} \left(\frac{6790.4985}{T_k} - 5.02808 \right)$	

ANEXO D ADQUISICIÓN DE DATOS A TRAVÉS DEL PLC S7-200

A continuación se presenta la ventana de trabajo del asistente, señalando las funciones que desempeña.

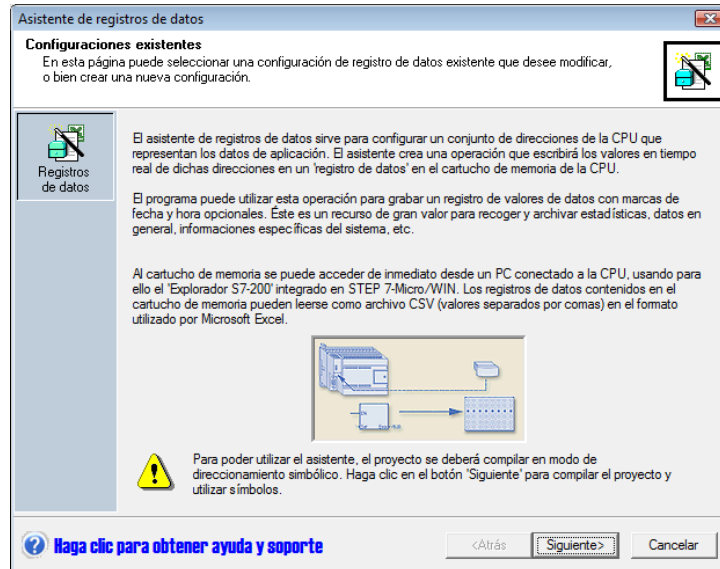


Figura D.1. Ventana de Asistente de registro de datos.

Una vez entendido el significado y funcionamiento del registro de datos, pulsamos en siguiente, para crear una nueva configuración de registro de datos.

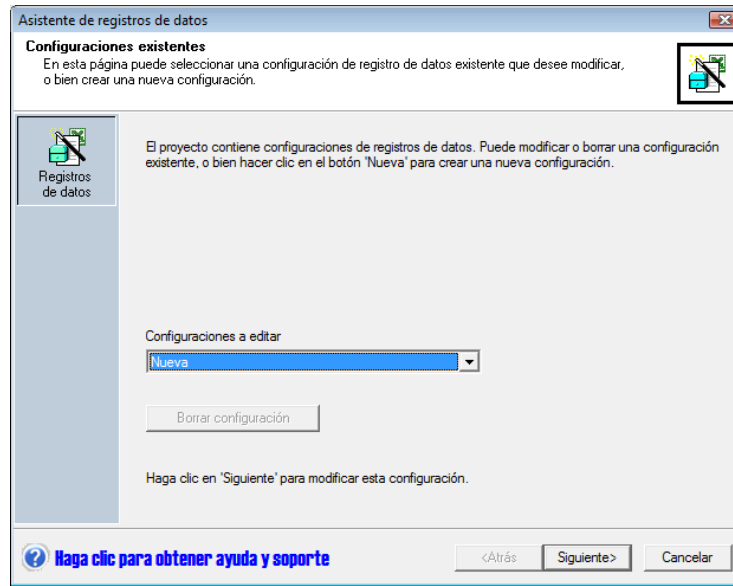


Figura D.2. Ventana de Asistente de registro de datos que permite crear o modificar una configuración de registro.

El siguiente paso es activar las opciones que se aprecia en la siguiente figura, las opciones son: Incluir la marca de hora cada vez que se active el registro de datos, incluir la marca de fecha cada vez que se active el registro de datos y borrar el registro de datos una ve que se cargue los datos en la PG.

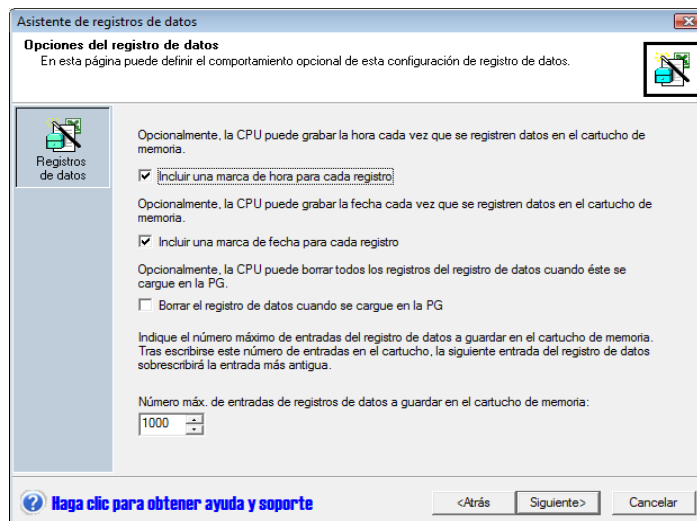


Figura D.3. Ventana del Asistente de registro de datos.

Ahora debemos ingresar el tipo de dato y el nombre de la variable de registro de datos. El tipo de dato puede ser BOOL, BYTE, WORD, INT, DWORD, DINT y REAL. A la vez es recomendable ingresar comentarios sobre la variable para tener una referencia de que dato estamos archivando, como la posición y función.

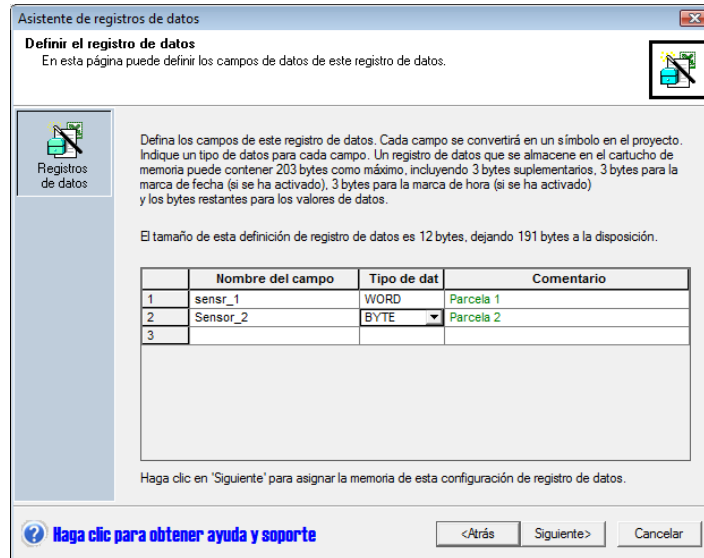


Figura D.4. Ventana del Asistente de registro de datos para definir el tipo de dato.

El proceso siguiente es asignar un espacio de memoria a ocupar dentro del cartucho, esto podemos definir nosotros o usar el asistente de diseño automático.

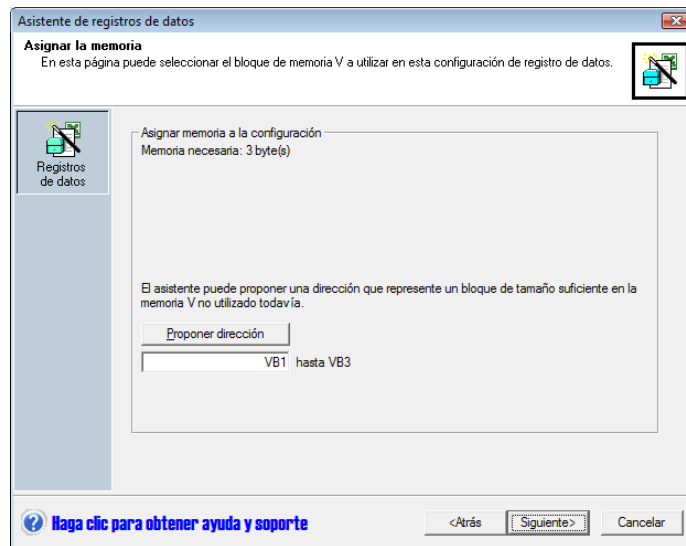


Figura D.5. Asignación de memoria en el registro de datos.

Para finalizar con el asistente observamos todas las componentes que se crearon en la nueva configuración de registro de datos.

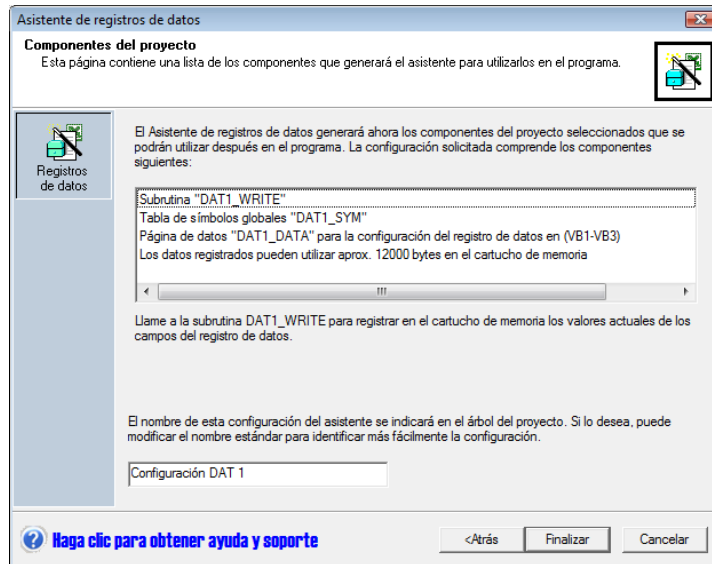


Figura D.6. Componentes creadas por el asistente.

Para el control del tiempo de registro nos basamos en un temporizador de 100ms, este temporizador ocupa dentro del espacio de memoria como T37, para que el almacenamiento sea de 5 minutos se utiliza un temporizador que se ejecute 3000 veces, debido al siguiente cálculo.

1 segundo 10 veces uso de temporizador

1minuto equivale $60 \times 10 = 600$ veces de uso de temporizador

5min equivale a $5 \times 600 = 3000$ veces de uso de temporizador,

Por esto es que usamos un temporizador que alcance un contador hasta 3000, una vez alcanzado este valor se activa un bit de escritura de dato, el cual permite almacenar el dato en el cartucho de memoria.

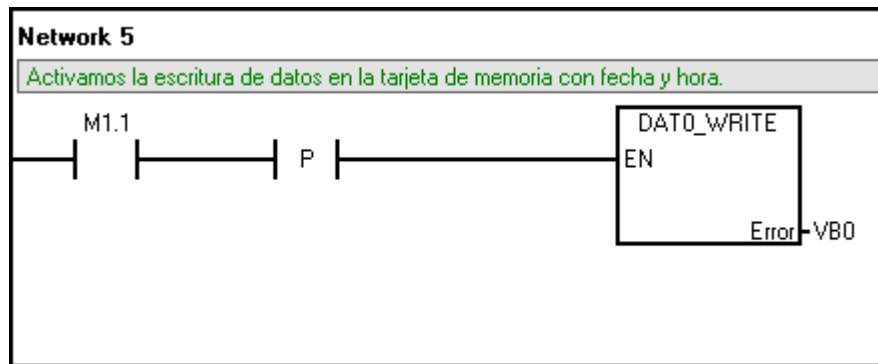


Figura D.7. Activación de Bit para activar la subrutina de escritura de datos.

ANEXO E MANUAL DE USUARIO

En el presente manual de usuario se detalla la manera correcta de uso tanto del software como parte del hardware, del sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de datos para determinar la velocidad de infiltración del agua en parcelas piloto para cultivos.

E.1. Obtención de los datos.

Los datos son suministrados de dos únicas fuentes, una de ellas es el datalogger basado en el PLC y la segunda proviene de la estación meteorológica Davis Pro 2, a continuación se detallan los pasos para obtener los datos de las dos fuentes.

E.1.1. Datos Datalogger PLC

Para adquirir los datos de datalogger se utiliza para la comunicación PC-PLC un cable PPI/PC, el mismo se lo observa en la figura E.1



Figura E.1. Cable de datos PPI/PC

Este cable se conecta al PLC a través de su puerto RS 232 como se puede ver en la figura E.2



Figura E.2. Conexión del cable PPI/PC al PLC S7 200

Ya que se encuentran conectado el PLC a la computadora se utiliza en software explorador S7-200 Explorer, el cual se conecta al PLC mediante un cable PPI/PC por el puerto USB, ante una previa configuración.

Para poder acceder al registro de datos, primero debemos ingresar al programa s7-200 Explorer, en la cual nos aparecen los dispositivos conectados por medio del cable PPI/PC.

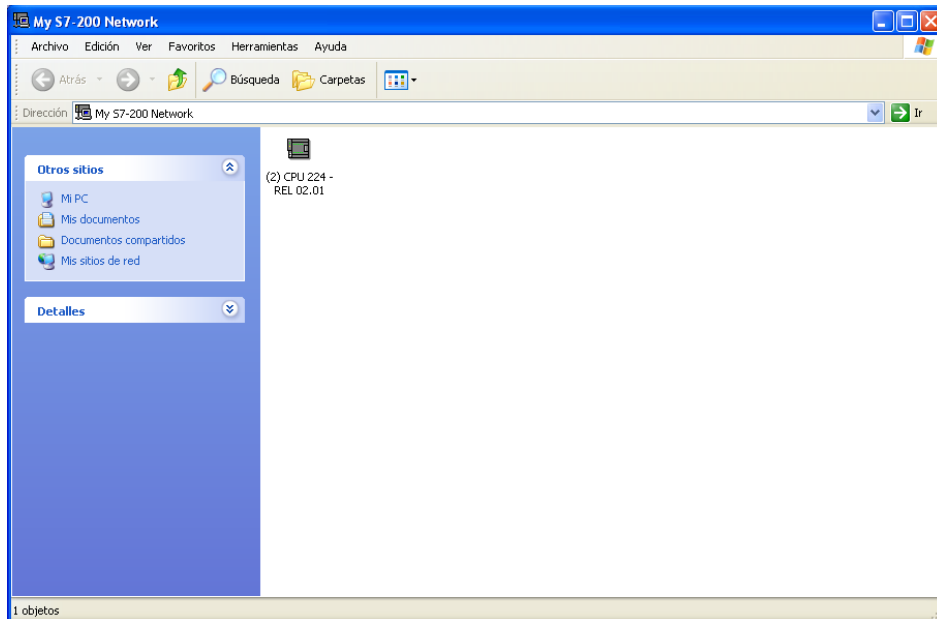


Figura E.3. Pantalla del explorador S7 200 Network Explorer

En la cual seleccionamos el PLC que está cumpliendo con la función de registro de datos, luego de esto nos mostrara la información dentro del PLC por ejemplo, cartucho de memoria, bloque de programa, Bloque de datos y bloque de sistema, nosotros escogemos cartucho de memoria, en ese momento aparecen todos los registros de datos que tengamos configurados, y por ultimo acudimos al documento de registro de datos nuestro, hacemos clic derecho y escogemos la opción de “Descargar en la PG”.

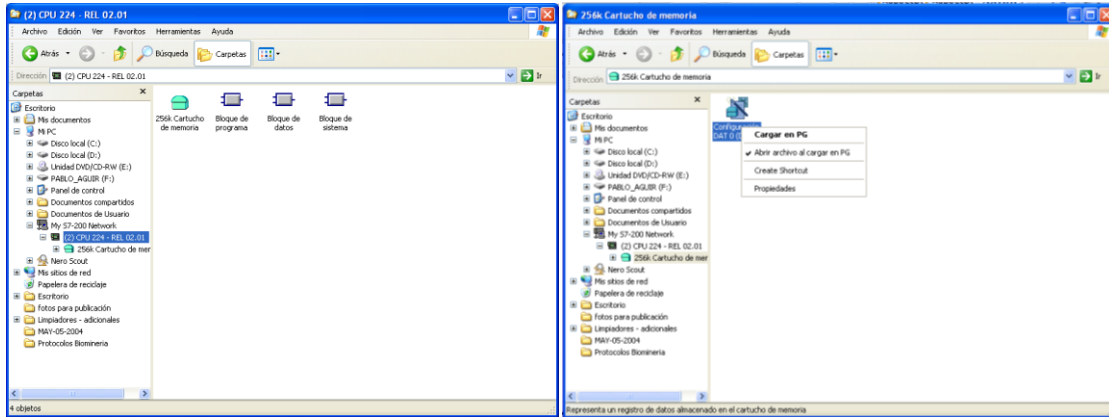


Figura E.4. Pantallas del procedimiento de lectura del cartucho de memoria a través del s7 200 Network Explorer.

Con esto obtenemos un archivo de formato .CSV, que es un archivo compatible con el programa Microsoft Excel.

Si el procesamiento de la información se va a realizar en la misma computadora donde se descargaron los datos del datalogger se recomienda tener una sola carpeta de descarga de datos, además el programa s7 200 Network Explorer crea automáticamente una carpeta donde se guardan los datos, la dirección de esta carpeta es C:\Program Files\Siemens\S7-200 Explorer, si el procesamiento de los datos se realiza en otra computadora los datos se deben almacenar en una dispositivo de memoria, esto se lo hace ingresando a la carpeta donde se guardan los datos C:\Program Files\Siemens\S7-200 Explorer y se realiza un clic izquierdo en el archivo seleccionado que estará con nombre indicando la fecha de almacenamiento de los datos y se lo guarda en el dispositivo de almacenamiento para su posterior análisis.

E.1.2. Datos estación meteorológica Davis Pro 2

Para la obtención de los datos desde la estación meteorológica realizamos el siguiente proceso.

1. Ingresamos al programa WATERLINK, que se encuentra en el escritorio, o en el menú de programas.



Figura E.5. Pantalla del escritorio con el programa WATERLINK.

2. Una vez dentro del software procedemos a descargar los datos de la estación activando la función que se encuentra dentro de la barra de herramientas como se muestra en la figura a continuación.

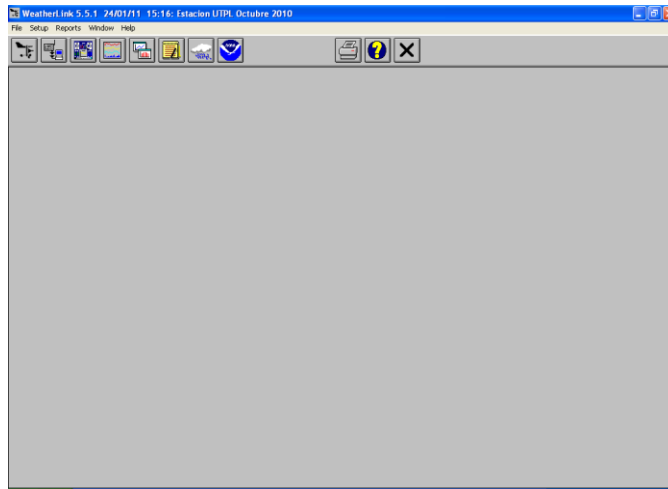


Figura E.6. Pantalla principal del programa WATERLINK.

En el momento que está activada la función aparece una ventana de aviso, preguntándonos si deseamos recibir la información desde la estación meteorológica. Hacemos clic en aceptar.

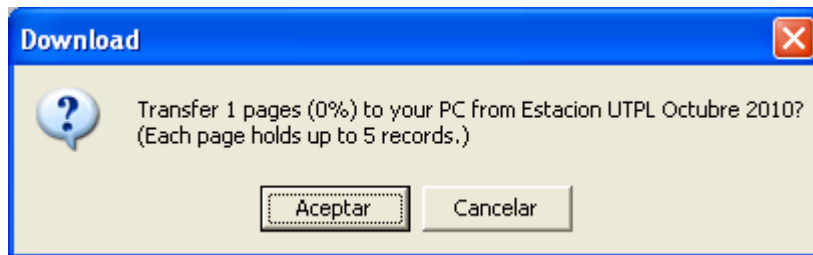


Figura E.7. Pantalla donde se indica la transferencia de datos de la estación meteorológica hacia la computadora.

Cuando los datos se encuentran descargados en el PC, a través del software waterlink se los puede guardar para esto hacemos clic en el ícono de browse records en el cual vemos el historial de los datos bajados de la estación; esto se lo puede ver en la figura E.8

Date	Time	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run	Hi Speed	Hi Dir	Wind Chill	Heat Index	THW Index	THSW Index	Bar	Rain	R
24/01/11	14:25	21.3	21.3	21.3	49	10.1	1.8	WNW	0.54	4.0	W	21.3	20.3	20.3	24.7	1003.6	0.00	
24/01/11	14:30	21.6	21.7	21.6	44	8.8	2.7	NW	0.80	4.9	N	21.6	20.4	20.4	24.2	1003.4	0.00	
24/01/11	14:35	21.6	21.7	21.6	46	9.5	0.9	NW	0.27	3.1	NW	21.6	20.6	20.6	23.0	1003.4	0.00	
24/01/11	14:40	21.8	21.9	21.7	42	8.3	2.2	WNW	0.67	5.4	WNW	21.8	20.7	20.7	23.1	1003.4	0.00	
24/01/11	14:45	22.0	22.0	21.9	43	8.8	2.7	NW	0.80	5.8	NW	22.0	21.0	21.0	26.2	1002.8	0.00	
24/01/11	14:50	21.9	21.9	21.8	44	9.1	0.9	NW	0.27	3.6	NW	21.9	20.9	20.9	25.6	1002.8	0.00	
24/01/11	14:55	22.1	22.2	21.9	44	9.2	0.9	NW	0.27	3.1	NW	22.1	21.1	21.1	26.4	1002.8	0.00	
24/01/11	15:00	22.5	22.8	22.2	42	8.9	0.9	W	0.27	5.4	NW	22.5	21.7	21.7	26.6	1002.2	0.00	
24/01/11	15:05	22.7	22.8	22.5	40	8.4	1.8	NW	0.54	4.9	WSW	22.7	21.9	21.9	25.2	1002.2	0.00	
24/01/11	15:10	22.3	22.5	22.3	42	8.8	2.2	NW	0.67	5.8	WNW	22.3	21.4	21.4	26.6	1002.2	0.00	

Figura E.8. Pantalla del historial de datos de la estación meteorológica.

Una vez que se visualizan los datos estos se los puede exportar a una carpeta externa al lugar donde se guardan inicialmente o se también se los puede exportar hacia una dispositivo de almacenamiento externo, para realizar esta operación hacemos clic en el icono de Browse y vamos a menú de Exportar Records, luego en la siguiente pantalla que aparece figura E.9 podemos seleccionar el tiempo de datos que deseamos exportar, eso puede ser en meses días o años, se recomienda que este tiempo sea el mismo que los datos que se obtuvieron del datalogger del PLC para el correcto funcionamiento del programa.

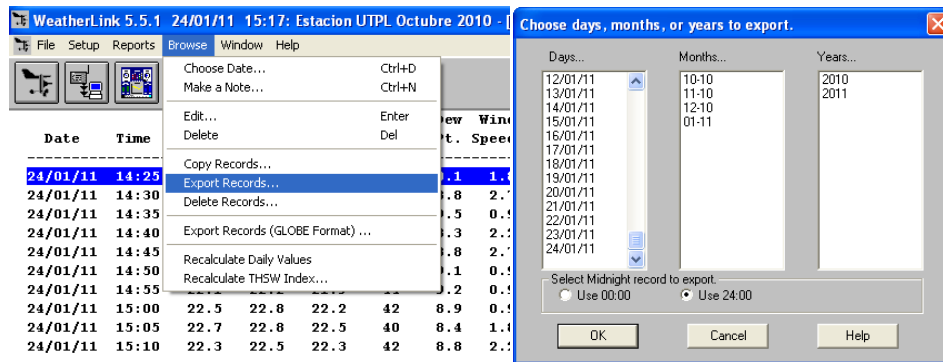


Figura E.9. Pantallas del programa para exportar datos y para elegir el rango de tiempo de datos a ser exportado.

En el momento de que se escogió en rango en tiempo de los datos a ser exportados el siguiente paso es guardarlo en una carpeta predestinada donde se guardan los datos para ser usados seguidamente por el software de análisis de datos; esto lo podemos ver en el figura E.10

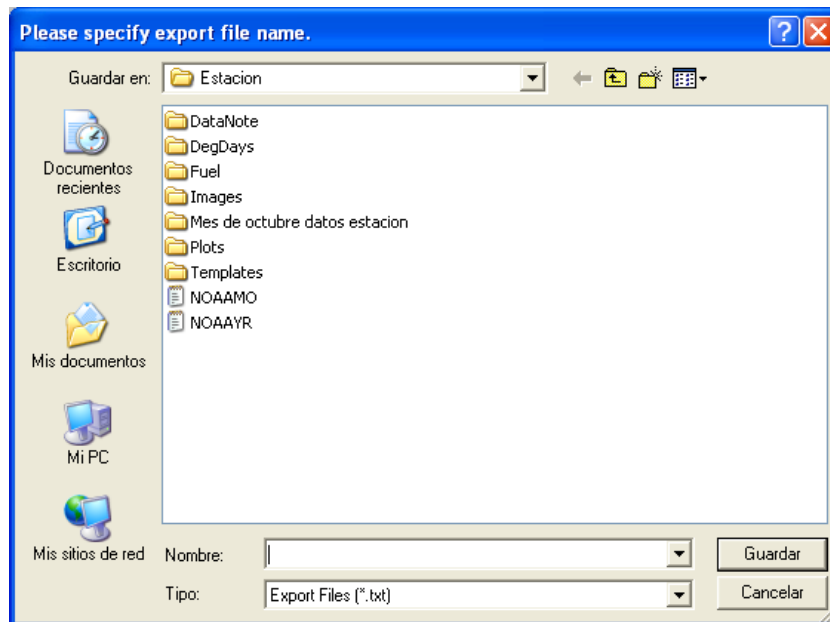


Figura E.10. Pantalla donde se especifica la carpeta hacia donde se exportaran los datos de la estación meteorológica.

E.3. Programa de análisis de datos

Cuando se tiene los datos, el siguiente paso es utilizar el software para su análisis, para lo cual se realiza el siguiente procedimiento.

Hacemos doble clic en el icono del programa y se desplegara la ventana que observamos en la figura E.11

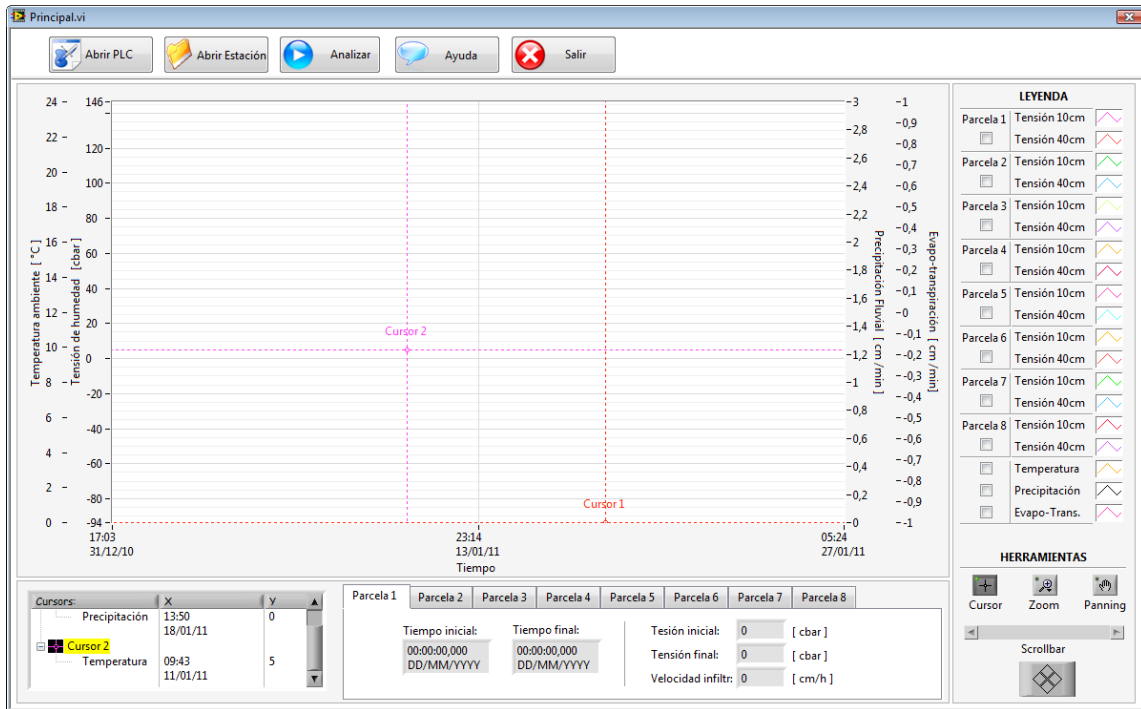

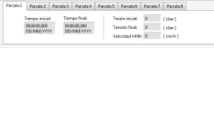
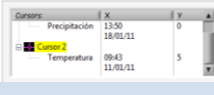
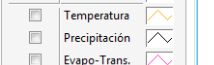


Figura E.11. Pantalla del programa de análisis de datos para determinar la velocidad de infiltración del agua en parcelas.

A continuación se detallaran la función de cada botón:

Tabla E.1. Detalle de las funciones de cada botón y menú del programa

	Con este botón se importa los datos del datalogger desde la carpeta donde se encuentran
	En este botón se importan los datos de la estación meteorológica desde la carpeta donde se encuentran estos datos
	Cuando los datos se encuentran cargados en el programa, con este botón se empieza el análisis
	Este es el botón de ayuda donde se despliega un texto de ayuda en formato PDF
	Cuando se a acabado el análisis con este botón salimos del programa
	En este menú se escoge la parcela al ser graficada para su análisis además podemos escoger el tipo de color para las gráficas de las tensiones.
Herramientas	
	Este botón sirve para obtener los puntos de inicio de la precipitación para hacer el calculo de la velocidad de infiltración
	Con este botón se trabaja en las graficas el Zoom de cualquier área para un mejor análisis

	El panning se lo utiliza para movernos dentro de la gráfica
	En esta parte tenemos el menú donde vemos los datos arrojados por el análisis por parcela, datos como tiempo inicial del análisis, tiempo final, tensión inicial y final, además de la velocidad de infiltración.
	En este menú escogemos el cursor para el análisis, ya que escogemos el cursor podemos empezar con el análisis de los datos de la velocidad de infiltración.
	En este menú se puede graficar la temperatura, precipitación y evapotranspiración.

Para iniciar el análisis en el software se procede a cargar los datos tanto del PLC como de la estación meteorológica para esto hacemos uso de los botones de abrir PLC, abrir Estación, ya que los datos se encuentran cargados se procede a la análisis de los datos por parcelas y se puede realizar contrastes con los datos de temperatura, evapotranspiración y precipitación.

Para el cálculo de la velocidad de la infiltración se debe tener los datos de tensión y de precipitación en la gráfica, y coloca el cursor en el lugar de precipitación donde queremos hacer el análisis, se recomienda hacerlo en un pico de lluvia, luego de esto los datos de la velocidad de infiltración se obtienen por parcela y se puede hacer el análisis de todas las parcelas.