

**CONTROL AUTOMATIZADO DE UN SISTEMA DE RIEGO Y FERTIRRIEGO**

**JERSON JAVIER AUX MORENO  
LUIS MANUEL BENAVIDES LASSO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERIA ELECTRÓNICA  
PASTO  
2015**

# **CONTROL AUTOMATIZADO DE UN SISTEMA DE RIEGO Y FERTIRRIEGO**

**JERSON JAVIER AUX MORENO  
LUIS MANUEL BENAVIDES LASSO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
Ingeniero Electrónico**

**Asesor: Jaime Orlando Ruiz Pazos  
Magister en sistemas digitales**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERIA ELECTRÓNICA  
PASTO  
2015**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1° del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**FIRMA DEL ASESOR**

---

**FIRMA DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

**San Juan de Pasto, 04 de Junio de 2015**

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestros agradecimientos.

A la Universidad de Nariño, por brindarnos la oportunidad de obtener el conocimiento necesario para la elaboración de este proyecto.

A nuestro Asesor ingeniero Jaime Ruiz Pasos, por apoyarnos en el proceso de formación y realización del proyecto.

Al servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Por brindarnos un espacio donde se llevó a cabo el desarrollo del proyecto

A los docentes de la finca LOPE, especialmente a los ingenieros Jesús Velásquez y Álvaro Moncayo, Por darnos la confianza y creer que este proyecto era posible.

A nuestros padres y familiares que siempre nos han acompañado y apoyado en el proceso de formación académica y personal.

**DEDICATORIA**

*A todas las personas que nos  
apoyaron incondicionalmente  
en la elaboración y culminación  
satisfactoria de este proyecto.*

*Jerson Javier Aux Moreno  
Luis Manuel Benavides Lasso*

## RESUMEN

El centro Internacional de Producción Limpia LOPE, (SENA Pasto), viene desarrollando algunas técnicas para la siembra y cuidado de los diferentes tipos de cultivo, entre ellos se destaca el cultivo de fresas en invernadero, que al igual que todos, necesita una dosificación adecuada de agua irrigada diariamente, pues esto permite obtener buenas condiciones de desarrollo, que generen óptimo rendimiento, además de una reducción de pérdidas por daños en las plantas y por uso excesivo de recursos de producción.

En el presente proyecto se pretende desarrollar un prototipo de herramienta de laboratorio que permita automatizar la dosificación controlada de agua y nutrientes hacia un cultivo de fresas ubicado en un invernadero de la finca LOPE, a fin de brindar una alternativa al método actualmente instalado, que presente un manejo sencillo y de la posibilidad de realizar pruebas para futuros estudios de forma controlada.

El prototipo es un sistema electrónico formado por dos secciones:

- Hardware encargada de toma de lectura de señal de los sensores, manejo de actuadores, revisión de estado de las electroválvulas y comunicación con la sección software.
- Software encargada de la interacción con el usuario a través de la visualización de datos y el ingreso de valores de funcionamiento.

Por su parte el hardware del prototipo se basa en una arquitectura de desarrollo programada en microcontrolador PIC, que posee los periféricos necesarios para la implementación de dicho sistema como son; los conversores ADC, salidas y entradas digitales, temporizadores, comunicación serial USART, entre otros. En cuanto al software, la interfaz de usuario se desarrolla en entorno de programación gráfica en LabVIEW, que posee una gran cantidad de librerías y funciones que facilitan el desarrollo de este tipo de sistemas.

Palabras claves: prototipo microcontrolado, sistema electrónico, interfaz de usuario con LabView.

## ABSTRACT

International LOPE Cleaner Production Center (SENA Pasto), has developed some techniques for planting and caring for different types of crops, including greenhouse cultivation fresasen stands, which like everyone needs proper dosage irrigation water daily, as this allows for good growing conditions that generate optimal performance, and a reduction of losses by damaging plants and excessive use of production resources.

In the present project is to develop unprototipo of laboratory tool that allows automate controlled dosing of water and nutrients to a strawberry farm located in a greenhouse of LOPE farm, in order to provide an alternative to the method currently installed, to submit a management Yde simple possibility for future studies testing in a controlled manner.

The prototype is an electronic system consisting of two sections:

- Hardware charge of making reading signal sensors, actuators management, review of state of the solenoid and communication with the software section.
- Software responsible for interaction with the user through data visualization and operating income securities.

Meanwhile the prototype hardware is based on a planned development architecture PIC microcontroller, which has the necessary peripherals for implementing the system as they are; ADC converters, digital inputs and outputs, timers, USART serial communication, among others. In cuantoal software, the user interface is developed in graphical programming environment LabVIEW, which has a lot of libraries and functions that facilitate the development of such systems.

Keywords: microcontroller prototype electronic system, user interface with LabView.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>1. GLOSARIO</b>	<b>11</b>
<b>2. INTRODUCCION</b>	<b>15</b>
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>17</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
4.1.OBJETIVO GENERAL	19
4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
<b>5. MARCO TEORICO</b>	<b>20</b>
5.1.REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LOS CULTIVOS	20
5.2.EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET) O USO CONSUMO	21
5.2.1. Elección del coeficiente de cultivo Kc.	22
5.3. TIPOS DE CULTIVOS	23
5.4.LA NUTRICIÓN CONTROLADA	23
5.5.MÉTODOS DE RIEGO O TIPOS DE RIEGO	25
5.5.1. Riego por goteo.	25
5.6.LA AUTOMATIZACIÓN	28
5.6.1. Definición de Automatización.	28
<b>6. METODOLOGIA</b>	<b>35</b>
6.1.DISEÑO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	35
6.1.1. Observación.	35
6.1.2. Entrevistas.	37
6.2.DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA	38
6.2.1. Descripción del sistema.	38
6.2.2. Diseño de ingeniería del sistema.	38
6.2.3. Diseño detallado modulo hardware y software.	40
6.2.4. Implementación y validación del hardware.	61
<b>7. RESULTADOS</b>	<b>63</b>
7.1. MODO AUTOMATICO	66
7.2. MODO MANUAL	67
7.3. MODO LECTURA DE SENSORES	68
7.4.SECCIONES AUXILIARES DEL SISTEMA	69
7.4.1. Revisión de electroválvulas.	69
7.4.2. Fertilización.	70
<b>8. DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACION</b>	<b>71</b>
8.1. IMPACTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL PROYECTO	71
8.2.IMPACTOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD	71
8.3. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y LA SOCIEDAD	71
<b>9. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	<b>73</b>
<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>74</b>
<b>11. RECOMENDACIONES</b>	<b>75</b>
<b>12. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>76</b>
<b>13. ANEXOS</b>	<b>78</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Flujo de agua en el suelo a partir de un gotero	26
Figura 2. Norma RS232 Ordenador – Microcontrolador PIC	34
Figura 3. Diagrama de bloques del sistema a implementar.	39
Figura 4. Sensor de temperatura LM35.	40
Figura 5. Tensiómetro electrónico IRROMETER.	40
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de lectura de sensores.	41
Figura 7. Simulación en Proteus 7.7 del proceso de registro de temperatura por sensores.	42
Figura 8. Simulación en Proteus 7.7 del proceso de registro de tensiómetros por sensores.	43
Figura 9. Proceso de funcionamiento de actuadores.	44
Figura 10. Simulación de actuadores del sistema.	45
Figura 11. Diagrama de flujo de revisión de electroválvulas	46
Figura 12. Simulación de revisión de electroválvulas	47
Figura 13. Motobomba.	47
Figura 14. Contactor.	48
Figura 15. Electroválvula para distribución de cultivos.	48
Figura 16. Electroválvula para dosificación de nutrientes.	48
Figura 17. Interfaz de usuario “Panel de control” y “Riegos”	49
Figura 18. Partes descriptivas de la interfaz de usuario	50
Figura 19. Etiquetas para Nombre de Cultivo	51
Figura 20. Botones Para la Activación de Cultivo	51
Figura 21. Selección de cultivo con tensiómetro	52
Figura 22. Columna para la introducción del Aforo	52
Figura 23. Columna para la introducción de los Centibares de referencia	53
Figura 24. Columna para La introducción de números de Riego	53
Figura 25. Columna para la introducción de La cantidad de agua a suministrar	54
Figura 26. Columna indicadora de los centibares	54
Figura 27. Columnas de introducción de los porcentajes de los fertilizantes	55
Figura 28. Indicador del cultivo que se está regando	55
Figura 29. Orden de los cultivos en la interfaz de usuario	55
Figura 30. Selector Automático/manual en modo automático	56
Figura 31. Selector Automático/manual en modo automático en modo manual	56
Figura 32. Visualizadores de temperatura	56
Figura 33. Indicador De Directorio y Selector De Puerto	57
Figura 34. Ventana para la selección de Directorio	58
Figura 35. Partes de la interfaz graficas	60

Figura 37. Prueba de comunicación entre ordenador y Microcontrolador PIC con norma RS232.	61
Figura 38. Prueba del actuadores del sistema a través de indicadores LED.	62
Figura 38. Simulación sensores de temperatura y presión.	63
Figura 39. Diagrama de flujo del sistema completo.	64
Figura 40. Diagrama de flujo de la interrupción USART.	65
Figura 41. Diagrama de flujo del modo automático.	66
Figura 42. Diagrama de flujo del modo manual.	67
Figura 43. Diagrama de flujo lectura de sensores.	68
Figura 44. Diagrama de flujo de revisión de electroválvulas	69
Figura 45. Diagrama de flujo de la fertilización	70

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Eficiencias posibles de alcanzar con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.	25
Tabla 2. Descripción de las observaciones realizadas en cada visita.	35

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1.Lixiviados generados por riego manual	78
Anexo 2.Amarillamiento y marchitez de plantas por riego manual	79
Anexo 3. Diseño e implementación	80
Anexo 4. Interfaz de usuario y graficas con su respectivo diagrama de bloques de código fuente.	83
Anexo 5. FIRWARE del microcontrolador	85
Anexo 6.Datasheets	90
Anexo 7. Evidencias de entrevistas	93

## 1. GLOSARIO

**ALGORITMO:** conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema

**CENTIBARES:** unidad de presión equivalente a la décima parte de un bar o una atmósfera. Referente a la unidad de medida de los tensiómetros.

**CONVERSION:** dispositivo que permite pasar de una variante de energía a otra (de tensión a corriente, de AC a DC, Análogo/Digital, etc.).

**FERTIRRIEGO:** aplicación de fertilizantes sólidos (diluidos) o líquidos en los cultivos por los sistemas de riego presurizados o por goteo.

**INTERFAZ DE USUARIO:** es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo.

**LabVIEW:** *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* (Laboratorio virtual de instrumentación para el entorno de trabajo de ingeniería)

**PERIFÉRICO:** aparato y/o dispositivos auxiliares e independientes conectados a la unidad central de procesamiento.

**PIC:** *Peripheral Interface Controller* (controlador de interfaz periférico).

**TENSIÓMETRO:** instrumento agrícola que mide la fuerza física actual de retención de agua en el suelo, medida en centibares (o kPa) de tensión de agua del suelo.

## 2. INTRODUCCION

En el centro de producción limpia LOPE, desde hace algunos años se vienen realizando varios tipos de cultivos y entre ellos está el de fresas. Este cultivo se realiza con técnicas de siembra muy variadas, una ellas es el uso de invernadero. Éste método permite tener un control por parte del operario de algunas variables ambientales que afectan el comportamiento de las plantas, de las cuales una muy importante es la dosificación de alimento. Sin embargo en el cultivo de fresas de la finca LOPE para realizar las tareas de riego y fertirriego, solo se contaba con un sistema asistido, que requería de un operario permanente durante su funcionamiento, y quien se encargaba de manejar la dosificación. Esto hacía de éste sistema alternativo poco preciso. Sumado a lo anterior, le hacía falta la medición de variables ambientales como la humedad del suelo, hecho que acarrearba desperdicio de agua y nutrientes, daños en las plantas por salinización, acidez del suelo y exceso o déficit de humedad. Además, no permitía realizar estudios encaminados a la mejora del uso de del invernadero en esta institución.

Para brindar una alternativa a la situación antes citada, se propone un prototipo de sistema automatizado para control de riego y fertirriego, a desarrollarse sobre el cultivo de fresas en invernadero con carácter pedagógico.

Con el desarrollo satisfactorio del proyecto se pretende brindar una alternativa de solución a las deficiencias anteriormente mencionada, por medio de la implementación de un prototipo de sistema, que permita al usuario determinar las condiciones de cantidad e intervalos entre suministros con una mayor precisión y que además posea una etapa de monitorización de variables ambientales, con el fin de fortalecer las labores de estudio sobre cultivos en invernaderos, encaminadas hacia el uso apropiado de nutrientes y a un alto grado en el rendimiento.

Para el desarrollo del proyecto se plantearon tres fases; así:

En la primera fase se establecieron las especificaciones técnicas de un sistema automatizado para el riego y el suministro de nutrientes a un cultivo de fresas, para ello se realizaron varias entrevistas a los instructores encargados del cultivo de fresas, además de consulta de textos con lo cual se logró recolectar información importante y determinar cuáles eran las deficiencias.

Una vez obtenida esta información, se procedió a investigar diferentes posibilidades de manejo y una vez seleccionada una, se comenzó a elaborar el prototipo del sistema de automatización, en las etapas que comprende el desarrollo, (se realizaron diagrama de flujo, simulaciones y aplicaciones de hardware y software).

Una vez instalado y puesto en marcha se procedió con la tercer y última fase, en la cual se estableció un protocolo de pruebas para validar el sistema automatizado de riego y suministro de nutrientes, donde se procede con la verificación del funcionamiento del sistema realizado por el instructor encargado del cultivo, quien observa el desempeño del prototipo en las tareas previamente establecidas.

Con la realización del proyecto, se pretende dotar a la finca LOPE y a sus operarios, de un instrumento de laboratorio que permita controlar la dosificación de riego y fertirriego, y además realizar estudios sobre el comportamiento de los cultivos bajo determinadas condiciones propuestas.

El proyecto muestra tres modos de funcionamiento:

- Automático con uso de tensiómetros
- Programado como temporizador
- Manual

Con lo que se pretende dar mayor funcionalidad al sistema logrando adaptarlo a diferentes situaciones.

Según el criterio del experto en cultivos, la facilidad del manejo del sistema y su funcionalidad, lo hace ideal para labores educativas, pues esta característica da oportunidad al usuario de realizar pruebas sobre el cultivo y revisar sus resultados. Otra características que él resaltada, es la posibilidad del control de riego y fertirriego de cinco cultivos independientes, además de su respectiva monitorización de estado de humedad.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia se caracteriza por su amplio sector agrario, donde sus agricultores han implementado diferentes métodos de siembra, fertilización, cuidado de la plantación, entre otros, que les permita obtener mayores rendimientos productivos y también un uso eficiente de los recursos disponibles.

Desde hace algunos años se viene trabajando con algunas de las tecnologías disponibles que permiten obtener las características requeridas por el productor (uso eficiente de recursos y rendimiento productivo), y según lo que se puede observar, los resultados han sido bastante satisfactorios como lo cita el tiempo en su artículo “Guajiros cultivan hortalizas en la arena”,<sup>1</sup> a pesar de que los productores no poseen toda la información necesaria, ni la tecnología suficiente que les permita obtener mejores resultados.

Sin embargo, se viene trabajando en éstas tecnologías y optando las que mejores resultados entregan al productor. A pesar de que Colombia es un país rico en extensiones de terreno aptas para la agricultura, se están optando técnicas de cultivos alternativas, pues se ha observado cómo éstas presentan las características que el productor requiere para su beneficio, ya que de esta forma es posible el control de malezas y plagas y dar un manejo adecuado al suministro de agua y nutrientes, de manera que la mayor parte de estos nutrientes entregados, sean aprovechados por el cultivo, dando como resultado mejores producciones.

Dentro de las técnicas de siembra se encuentran los cultivos que se hacen en suelo, aeroponía e hidroponía, en las cuales el productor, hace uso de su pericia para dar las mejores condiciones posibles a su cultivo y así obtener una ganancia considerable por medio de la reducción de daños en los productos con el uso adecuado de los nutrientes.

El centro internacional de producción limpia LOPE, está realizando diferentes técnicas de cultivos entre los cuales está la técnica de cultivos hidropónicos y en suelo, para desarrollar principalmente cultivos frutales de pequeña envergadura los cuales presentan un fácil manejo, y generan buen rendimiento.

Entre ellos está el cultivo de fresas que por ser un cultivo propio de clima frío, no necesita ser sometido a un ambiente enteramente controlado, sin embargo, si es necesario realizar un suministro de agua y nutrientes de manera más precisa apoyado en un monitoreo de ciertas variables como la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, intensidad de luz incidente, tensión del suelo, entre otras, las cuales aportan una idea de las condiciones reales del

---

<sup>1</sup> Guajiros cultivan hortalizas en la arena, *El tiempo* [en línea]. 22 de febrero de 1997. Recuperado: 2014, 11 de mayo. Disponible en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-573044>

cultivo, que posibilite un mejor control del mismo, que finalmente se traducirá en una adecuada dosificación de agua y nutrientes, que fortalezca el desarrollo de un estudio orientado a la mejora de la producción.

Para obtener mejores resultados en los diferentes tipos de cultivos (tanto en suelos como hidropónicos), es necesario aplicar el riego teniendo en cuenta las condiciones reales del sistema suelo-planta, debido a que de ésta manera, el cultivo aprovecha mejor los nutrientes y el agua que le son suministrados. Al presentarse ésta condición, se produce además poca liberación de líquidos lixiviado, que son líquidos sobrantes que atraviesan el material donde se alberga el cultivo.

Desafortunadamente esta labor en el área de producción de fresas del centro internacional de producción limpia LOPE, la debe llevar a cabo un operario, quien además debe cumplir con otras actividades que le son encomendadas en su jornada laboral, razón por la cual es difícil que se lleve a cabo esta actividad de la manera recomendada por el experto en el cuidado del cultivo.

Esta situación hace que se presente poca precisión en la dosificación, ya que la apertura y cierre de las válvulas correspondientes a los cultivos y a los tanques contenedores de las diferentes sustancias del riego y fertirriego, se realiza en forma manual, por tanto, se requiere de la disponibilidad completa de un operario en los intervalos de riego. Como esta situación no siempre se da, simplemente se desarrolla generalmente 4 veces al día ó de acuerdo a la disponibilidad del operario.

Teniendo en cuenta lo anterior, nace la inquietud:

¿Es posible desarrollar un sistema versátil que controle la dosificación del riego y fertirriego, según las indicaciones del operario y que monitoree algunas variables ambientales para fortalecer las labores de estudio y lograr un mejor desempeño del cultivo de fresas y otros cultivos del Centro Internacional de Producción Limpia LOPE?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Proponer una alternativa para el sistema de suministro de riego y fertirriego al cultivo de fresas del Centro Internacional de Producción Limpia LOPE con mayor precisión, que presente monitoreo de las variables ambientales y que facilite el estudio de fertilización.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer las especificaciones técnicas de un sistema automatizado para el riego y el suministro de nutrientes a un cultivo hidropónico de fresas.
- Diseñar e implementar un prototipo de un sistema de monitoreo y automatización para el suministro de riego y fertirriego.
- Establecer un protocolo de pruebas para validar el sistema de monitoreo y automatización de riego y suministro de nutrientes.

## **5. MARCO TEORICO**

### **5.1. REQUERIMIENTOS DE AGUA DE LOS CULTIVOS**

El desarrollo de la agricultura moderna ha llevado a la búsqueda de nuevas técnicas que permitan optimizar la utilización del recurso agua, manteniendo un equilibrio entre los requerimientos hídricos de la planta y la disponibilidad de este recurso vital, en el tiempo y en el espacio.

A pesar de todas sus leyes de conservación, la naturaleza puede, en algunas oportunidades ser considerablemente ineficiente, o al menos así parece. Uno de los ejemplos más significativos de lo anterior, es la forma en que las plantas extraen agua del suelo, en cantidades que superan ampliamente sus necesidades metabólicas.

El consumo de agua por parte de las plantas se hace por medio de un proceso llamado transpiración, no es necesariamente el resultado de la actividad vital de éstas. La transpiración es causada, más que por el crecimiento de los vegetales, por un gradiente de presión entre las hojas y la atmósfera que las rodea. En otras palabras, una vez absorbida por las raíces, el agua del suelo abandona la planta a través de las hojas, como resultado de la demanda evaporativa de la atmósfera.

Para crecer satisfactoriamente, las plantas deben alcanzar una economía de agua en que la demanda a la que están sujetas sea balanceada con la oferta disponible. El problema reside en que la demanda evaporativa de la atmósfera es casi continua, mientras que la lluvia o el riego ocurren ocasionalmente y en forma irregular. Para sobrevivir durante los periodos secos entre lluvias o entre riegos, la planta debe estar capacitada para hacer uso del agua contenida y retenida en el espacio poroso del suelo.

Uno de los aspectos principales de la operación de cualquier sistema de riego es la frecuencia. La determinación de la frecuencia de riego (cuándo regar), puede enfocarse desde el punto de vista del agua en el suelo, utilizando como índices, ya sea el contenido de agua o la tensión con que ésta se encuentra retenida en un momento dado. La frecuencia óptima del riego también se puede determinar a partir de una medición o una estimación del consumo de agua del cultivo, incluyendo dentro de éste, la transpiración de las plantas y la evaporación desde el suelo.

Las características del sistema suelo-agua determinan que el suelo sea un reservorio de agua a disposición de las raíces de las plantas; sin embargo es necesario establecer cuan fácilmente pueden absorber las plantas el agua retenida por el suelo y hasta que limite de tensión puede considerarse que no se afecta el crecimiento o la producción de los cultivos. En cierta forma, puede compararse la planta en el campo con la mecha de una lámpara de aceite, uno de

cuyos extremos está sumergido en el combustible y el otro está sujeto al fuego que consume el combustible. La mecha misma está constantemente transmitiendo el líquido desde el fondo hacia el tope, bajo la influencia de gradientes de succión física que la mecha no crea, pero que le son impuestas por las condiciones prevalecientes en sus dos extremos.

En forma similar, la planta tiene sus raíces en el reservorio suelo-agua y sus hojas están sujetas a la radiación del sol y a la acción del viento (condiciones meteorológicas externas), que le imponen la necesidad de transpirar incesantemente. Por cierto que esta analogía es una simplificación; la planta no es tan pasiva, pues tiene la propiedad de limitar la velocidad de transpiración, al cerrar los estomas de sus hojas.

Sin embargo al limitar la transpiración, se reduce al mismo tiempo su crecimiento potencial, dado que los mismos estomas que transpiran el vapor de agua hacia la atmósfera, sirven también para la absorción de anhídrido carbónico que es el sustrato principal de la fotosíntesis. Al mismo tiempo, una transpiración reducida contribuye a un alza en la temperatura interna de la planta, lo cual resulta perjudicial para sus actividades metabólicas, principalmente la respiración, que duplica su velocidad por cada 10°C de aumento de temperatura, hasta una temperatura crítica de 45°C, en que puede colapsar la estructura celular<sup>2</sup>.

## **5.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET) O USO CONSUMO**

El consumo de agua de los cultivos llamado evapotranspiración (*ET*) o uso-consumo (*UC*), se define como la cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa desde la superficie del suelo, mas aquella cantidad de agua que se reintegra a la atmosfera debido a la evaporación del agua (lluvia o riego) que intercepta la superficie foliar de la planta.

El método combinado de Penman-Monteith es un nuevo método estandarizado para el cálculo de la evapotranspiración de la referencia y los procedimientos para el cálculo de los varios parámetros que la fórmula incluye. El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de  $70 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$  y un albedo de 23% y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado el cual produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos. El método de Penman-Monteith utiliza la siguiente fórmula para el cálculo de la *ET<sub>o</sub>*

---

<sup>2</sup> GUROVICH R., Luis A. Riego Superficial Tecnificado. ALFAOMEGA Grupo Editor. México D. F., 1999.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \left( \frac{900}{T+273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Dónde:

<i>ET<sub>o</sub></i>	evapotranspiración de referencia (mm día-1)
<i>R<sub>n</sub></i>	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1)
<i>G</i>	flujo del calor de suelo (MJ m-2 día-1)
<i>T</i>	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
<i>u<sub>2</sub></i>	velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)
<i>e<sub>s</sub></i>	presión de vapor de saturación (kPa)
<i>e<sub>a</sub></i>	presión real de vapor (kPa)
<i>e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub></i>	déficit de presión de vapor (kPa)
$\Delta$	Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)
$\gamma$	Constante psicométrica (kPa °C-1)

La evapotranspiración de referencia (*ET<sub>o</sub>*) provee un estándar de comparación mediante el cual: se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones; se puede relacionar la evapotranspiración de otros cultivos.

La ecuación utiliza datos climáticos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Para asegurar la precisión del cálculo, los datos climáticos deben ser medidos o ser convertidos a 2m de altura, sobre una superficie extensa de pasto verde, cubriendo completamente el suelo y sin limitaciones de agua.<sup>3</sup>

**5.2.1. Definición de *K<sub>c</sub>*.** El coeficiente de cultivo (*K<sub>c</sub>*), expresa la relación entre la evaporación de un cultivo específico y la evaporación potencial de un cultivo de referencia. Dado de la siguiente forma:

$$K_c = \frac{ET_c(\text{mm/día})}{ET_o(\text{mm/día})}$$

**5.2.2. Elección del coeficiente de cultivo *K<sub>c</sub>*.** El valor de *k<sub>c</sub>* representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas y que produzca rendimientos óptimos.

La evapotranspiración del cultivo se expresa por:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

<sup>3</sup>GUROVICH R., Luis A. Riego Superficial Tecnificado. ALFAOMEGA Grupo Editor. México D. F., 1999.

Los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto están incorporados en el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando  $ET_o$  por  $K_c$ .

Las diferencias en evaporación y transpiración entre los cultivos de campo y el pasto de referencia pueden ser integradas en un coeficiente único del cultivo ( $K_c$ )

Los factores que determinan el valor de  $K_c$  son principalmente las características del cultivo, las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del período vegetativo, las condiciones climáticas y la frecuencia del riego.<sup>4</sup>

Donde

$ET_c$         evapotranspiración del cultivo [mm d-1],  
 $K_c$         coeficiente del cultivo [adimensional],  
 $ET_o$         evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d-1].

### **5.3. TIPOS DE CULTIVOS**

Los cultivo en suelo y cultivos hidropónico en combinación con los invernaderos, son posiblemente hoy en día los método más intensivos de producción de hortalizas, surge como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados al ambiente de producción, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas.

El cultivo en suelo es la práctica de sembrar semillas en la tierra y realizar las labores necesarias para obtener frutos de las mismas.

El cultivo hidropónico como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua, y en lugar de suelo se utiliza como sustrato un material inerte y estéril, o simplemente la misma solución nutritiva.<sup>5</sup>

### **5.4. LA NUTRICIÓN CONTROLADA**

La disolución nutritiva de los cultivos debe "diseñarse a la carta"; la investigación en Química Agrícola ha centrado sus esfuerzos, en los últimos años, en optimizar disoluciones nutritivas ideales para cada tipo de cultivo, sin olvidar que una nutrición ideal debe respetar las necesidades de la planta en cada estado de su desarrollo, esto es, mantener un balance nutriente evolutivo. De esta forma, se le

---

<sup>4</sup> GUROVICH R., Luis A. Riego Superficial Tecnificado. ALFAOMEGA Grupo Editor. México D. F., 1999.

<sup>5</sup> Ibid.

da a la planta lo que necesita en cada momento, evitando lixiviaciones contaminantes y posibles toxicidades.

Otra de las ventajas es la posibilidad de controlar el pH y la conductividad eléctrica de la disolución nutritiva, de acuerdo con los requerimientos óptimos del cultivo y de las condiciones ambientales. La conductividad que se expresa, a menudo, como mili siemens/cm, con un alcance deseado de 2,00 a 4,00, en cuanto al pH lo idóneo suele oscilar entre 5.5 y 6.5, (Los niveles fuera de estos rangos puede dar lugar a un marchitamiento, deteniendo el desarrollo y desecando los frutos) de forma que el especialista puede ajustar su disolución nutritiva a estos valores mediante la adición de fertilizantes.

Los fertilizantes se han venido desarrollando de tal forma que sea un compuesto más soluble en agua y así éste incorpore de manera más uniforme hacia los cultivos. Los componentes que conforman los fertilizantes no siempre vienen en su estado natural o puro, por la dificultad de su manipulación, y debido a que a la mayoría de ellos, pueden ser consumidos por las plantas solamente en forma de compuesto, por ejemplo el fósforo que viene en forma de  $P_2O_5$  aunque existen excepciones de algunos componentes que se consumen en forma natural tal es el caso del nitrógeno.

Hay que tener en cuenta de que los diferentes nutrientes se consiguen por separado, pero no todos se pueden mezclar entre sí, ya que pueden reaccionar entre ellos y colapsarse como es el caso del calcio que forma gránulos en la mezcla y no se disuelve en el agua provocando taponamiento de la tubería de irrigación, es importante tener en cuenta esto e identificar los diferentes componentes del fertilizantes tarea que le corresponde al ingeniero agrónomo quien hace los respectivos cálculos de cómo racionar los nutrientes y hacer mezclas de esto por lo cual debe disponer de varios tanques donde se encontraran las diferentes sustancias que serán irrigadas al cultivo en diferentes intervalos de tiempo<sup>6</sup>.

En general, un control preciso de la nutrición de las plantas, favorece a un mayor rendimiento y una mejora cualitativa de los productos. El empleo de la tecnificación del riego ayuda a un incremento en el número de cosechas al año por área de producción debido, a su precocidad en la que ésta se da.

Es preciso recordar que la mayoría de los cultivos requieren de un aporte regular y suficiente de agua, que a su vez actuará sobre la tasa de transporte de N (nitrógeno) y su distribución desde la corteza radicular hasta el vástago, lo cual se puede controlar por medio del riego.

---

<sup>6</sup>Gavi, F. (s.f). Uso de fertilizantes [Pdf], *secretaría de agricultura y ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (sagarpa)*. Recuperado: 2013, 9 de mayo. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Usode%20de%20Fertilizantes.pdf>, P 2,8

En cuanto a la aplicación de fertilizante hay diferentes formas de aplicarlos como son disueltos en la solución nutritiva, empleo de fertilizantes de liberación lenta aplicados al sustrato, sustratos enriquecidos, etc. Los cuales dependen de cada cultivo para su aplicación y racionamiento.

### **5.5. MÉTODOS DE RIEGO O TIPOS DE RIEGO**

En cuanto a los métodos de riego se tiene los siguientes como los más representativos:

Tendido (inundación), surcos, bordes, aspersión, y goteo. Que de acuerdo Luis A. Gurovich R., presentan eficiencias mostradas en la siguiente tabla<sup>7</sup>.

**Tabla 1. Eficiencias posibles de alcanzar con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.**

Método de riego	Eficiencia Aplicación	Eficiencia Almacenamiento	Eficiencia Distribución	Eficiencia Agronómica
Tendido	0,40	0,85	0,60	0,20
Surcos	0,55	0,85	0,75	0,35
Bordes	0,60	0,90	0,70	0,38
Aspersión	0,90	1,00	0,85	0,76
Goteo	0,95	1,00	0,90	0,86

Fuente: GUROVICH R., Luis A. Riego Superficial Tecnificado

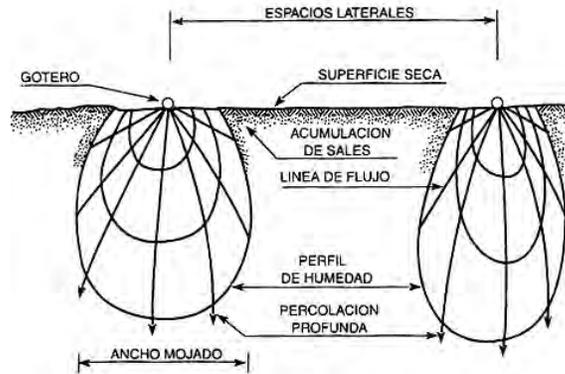
**5.5.1. Riego por goteo.** El riego por goteo es un sistema que proporciona agua filtrada y fertilizantes directamente sobre el suelo al lado de la planta. Este sistema elimina la aspersión y el agua que fluye sobre la superficie del suelo; permite que el agua, liberada a baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo en una forma predeterminada.

El agua de riego es transportada a través de una extensa red de cañerías hasta cada planta; la estructura que emite el agua fuera de la red hidráulica se denomina emisor o gotero. Los emisores disipan la presión que existe en la red de tuberías por medio de orificios de pequeño diámetro o por medio de un largo camino o recorrido; de esta forma disminuye la presión del agua y permite descargar desde el sistema hacia el suelo solamente unos pocos litros por hora por cada gotero. Después de dejar el emisor, el agua es distribuida en el interior del perfil del suelo, de acuerdo con los gradientes de potencial.

<sup>7</sup>GUROVICH R., Luis A. Riego Superficial Tecnificado. ALFAOMEGA Grupo Editor. México D. F., 1999.

De esta manera, el volumen del suelo que puede ser humedecido por cada punto emisor está limitado por las restricciones del movimiento horizontal y vertical del agua en el perfil del suelo como lo muestra la figura 1.

**Figura 1. Flujo de agua en el suelo a partir de un gotero**



Fuente: GUROVICH R., Luis A. Riego Superficial Tecnificado

Existen muchos métodos para controlar la operación de un sistema de riego por goteo; varían desde una operación completamente manual a una operación completamente automática. Los métodos básicos para proporcionar un sistema de control son: el control del tiempo, el control del volumen y el sistema de retroalimentación. Un sistema de control de tiempo permite que el agua circule o no por el sistema en lapsos de tiempos determinados; un sistema de control por volumen permite que el agua circule o no de acuerdo con el volumen de agua que ha sido entregado por el sistema y un sistema de retroalimentación permite que el agua circule por el sistema de acuerdo con sensores de humedad del suelo colocado en la zona regada, como tensiómetros, bloque de resistencia eléctrica u otros indicadores

**Beneficios del riego por goteo.** El riego por goteo ofrece varios beneficios potenciales en el uso eficiente del agua, en la respuesta de las plantas, en el manejo del cultivo y en los rendimientos agronómicos de los cultivos. Dentro de ellos cabe destacar los siguientes:

**Uso eficiente del agua de riego.** En el riego por goteo, las pérdidas por evaporación se llevan a un mínimo; no existe movimiento de gotas a través del aire, no hay un humedecimiento del follaje de las plantas y no hay evaporación desde la superficie del suelo, fuera de aquella mojada al lado del gotero o emisor; además el riego por goteo limita el crecimiento de las malezas y su consumo no beneficioso del agua. Un sistema de riego por goteo bien diseñado y bien manejado no produce pérdidas por escurrimiento superficial. Por otra parte se puede regar toda un área hasta los bordes sin que quede zonas mojadas fuera del

área planteada o zonas sin mojarse. También puede lograrse un ahorro de agua ya que es posible aplicar cargas de agua muy precisas durante cada riego.

**Respuesta de las plantas.** La respuesta en desarrollo y rendimiento de los cultivos regados por goteo generalmente es superior a los obtenidos con otros sistemas de riego.

El ambiente de las raíces. Un sistema de riego por goteo bien operado permite una aireación del suelo efectiva, una provisión de suficientes nutrientes y fertilizantes inyectados en el agua y una constante baja tensión del agua del suelo.

Enfermedades y plagas. Al minimizar el humedecimiento de la superficie del suelo y del follaje de la planta, el riego por goteo reduce la posibilidad de ataques de plagas y desarrollo de enfermedades y problemas fungosos.

Salinidad. Cuando deben usarse aguas salinas para el riego, es muy conveniente utilizar el sistema de riego por goteo de alta frecuencia para mantener un alto contenido de agua en el suelo; de esta manera, la concentración de sales en el agua del suelo puede ser mantenida más baja que aquella que pueda producir daños a las plantas.

Malezas. Gracias al poco humedecimiento del suelo fuera del área necesaria, el cultivo se ha mantenido libre de malezas, ya que estas no crecen en la superficie del suelo que se mantiene seco.<sup>8</sup>

**Problemas potenciales del riego por goteo.** El riego por goteo está sujeto a tres problemas importantes:

•**Sensibilidad a la oclusión de los goteros.** Las causas más comunes para el taponamiento de los goteros son las partículas de arena y los crecimientos orgánicos, la filtración del agua de riego es la mejor defensa contra estos problemas.

•**Desarrollo de condiciones de salinidad del suelo.** Todas las aguas de riego contienen algunas sales disueltas; como la planta solo absorbe el agua, gran parte de la sal se deja en el suelo. Lo mismo ocurre en el proceso de la evaporación, para reducir este peligro al mínimo, será necesaria hacer aplicaciones suplementarias de agua a través de sistemas de aspersion o superficie, para eliminar los niveles críticos de acumulación de sales.<sup>9</sup>

•**Distribución de la humedad en el suelo.** El sistema de riego por goteo normalmente humedece solo una parte del volumen de suelo necesario para el

---

<sup>8</sup> GUROVICH R., Luis A. Riego Superficial Tecnificado. ALFAOMEGA Grupo Editor. México D. F., 1999.

<sup>9</sup> Ibid.

crecimiento de las raíces; por lo tanto, el desarrollo del sistema radical de un cultivo está limitado al área de humedad alrededor de cada emisor.

## **5.6. LA AUTOMATIZACIÓN**

Desde tiempos remotos, el hombre ha buscado maneras para que las tareas que tienen carácter nocivo o extenuante para él, sean realizadas por elementos o dispositivos que disminuyan en gran parte su intervención y el riesgo al que se enfrenta en estas situaciones. Partiendo de lo anterior, la ingeniería en su trabajo por brindar soluciones ha desarrollado grandes adelantos que logran además de evitar estas condiciones nocivas para el operario, ofrecer grandes ventajas entre las que se encuentra el aumento en la velocidad de producción y una mayor precisión en los procesos, esto ha llevado a la ingeniería de control y la ingeniería electrónica a desarrollar sistemas cada vez más complejos que cumplan con las condiciones necesarias para cada proceso en particular.

Sin embargo, para que esto se pueda llevar a cabo, es necesario conocer y manejar los tres componentes básicos que conforman un sistema capaz de llevar a cabo estas tareas, antes realizadas por un operario humano, como son; los elementos sensores, los controladores o sistema de control y los actuadores, además de comprender los conceptos y leyes que rigen a estos componentes para su buen uso y correcto funcionamiento.

El Centro Internacional de Producción Limpia LOPE, viene desarrollando diferentes técnicas de cultivo y se está trabajando en la mejora de la producción del cultivo de fresa, al cual se desea implementar un sistema que sea capaz de entregar al cultivo una dosificación precisa de riego y fertirriego, de acuerdo a las necesidades reales del cultivo con una mínima intervención humana.

Partiendo de los anteriores componentes, se inicia con un nuevo concepto que brinda una posible solución a estas situaciones dentro del proceso productivo en el Centro Internacional de Producción Limpia LOPE, y que además encierra a éstos tres componentes básicos de automatización anteriormente citados.

**5.6.1. Definición de Automatización.** “La automatización es un proceso donde se transfieren las tareas de producción realizadas generalmente por operadores humanos a un conjunto de elementos y herramientas tecnológicos que tiene como propósito mejorar la calidad del trabajo del operador y con esto la calidad de los productos, bajar los costos de producción por medio de la racionalización eficiente de la energía, tiempo y materia prima y el aumento en la seguridad de las instalaciones y protección a los trabajadores generando un ambiente de seguridad para el personal y el medio en el que se desenvuelven”<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> SENA VIRTUAL. Servicios de Automatización. “Material de Estudio Semana 1, *La Automatización*”

Un sistema de automatización automático o semiautomático, básicamente se compone de tres partes principales:

- Los transductores.
- El sistema de control.
- Los actuadores.

Es necesario aclarar que sin uno de estos tres componentes, el sistema de automatización queda imposibilitado para ejecutar la tarea para la cual fue diseñado.

**Transductores.** “La función de estos elementos, es obtener señales eléctricas como respuesta a magnitudes de entrada no eléctricas.

Estos elementos se pueden dividir en dos tipos según la forma de su señal de salida en digitales o analógicos y cada uno de éstos se puede subdividir en nuevos grupos de acuerdo a la forma en que presentan su salida y en la necesidad o no de fuente de aporte de energía para su funcionamiento.

Muchos de los sensores basan su funcionamiento en la variación de la impedancia eléctrica en respuesta a un cambio en la magnitud detectada, este cambio puede afectar la geometría, las propiedades del material o ambas”<sup>11</sup>.

Para el caso de este proyecto, se hará uso del transductor de temperatura LM35 y de presión (tensiómetro).

• **Transductor de temperatura LM35.** Es un dispositivo suministrados por la empresa TEXAS INSTRUMENTS, calibrado en grados Celsius, con una salida lineal de 10mV/°C, adecuado para trabajar en un rango de temperaturas de -55°C hasta 150°C, opera con voltajes entre 4Vdc y 30Vdc.

• **Tensiómetro.** Suministrados por la empresa IRROMETER, el cual está diseñado para recoger lecturas de humedad del suelo. Traduce una lectura de presión a una señal analógica 4 a 20mA directamente proporcional a la lectura en Centibares y su voltaje de alimentación es de 12Vdc.

**Sistema de control.** En un proceso productivo la implementación de sistemas de automatización genera varias ventajas y beneficios de orden económico, social, y tecnológico frente al control manual de un proceso, que se hacen posibles mediante la introducción de sistemas de control.

“Un sistema de control es una interconexión de elementos que hacen posible el manejo controlado del cambio de una variable de salida a través de variaciones

---

<sup>11</sup>PALLÁS ARENY Ramón, Adquisición y Distribución de Señales, Barcelona, Marcombo S.A., 1993, p 27- 67.

presentes en la variable de entrada de manera autónoma o por medio de la intervención de un operario”<sup>12</sup>.

De los diferentes tipos de sistemas de control se podría destacar; el control ON/OFF, el control proporcional-derivativo, el proporcional-integral y el Proporcional-Integral-Derivativo (PID), cada uno de ellos denominado así por las constantes de proporcionalidad que afecta de una cierta forma a una señal de entrada para entregar una señal de salida acorde.

Cada uno de los sistemas de automatización presenta unos requerimientos en cuanto al sistema de control a utilizar que el personal debe conocer para hacer una buena elección a la hora de su implementación física. A pesar de todos estos tipos de controladores, y las bondades de cada uno, para este proyecto, se ha hecho uso del controlador tipo ON/OFF con realimentación, que garantiza el funcionamiento del sistema dentro de los rangos permitidos.

- **Controlador ON/OFF.** “Es el tipo más simple en cuanto a funcionamiento y basa su comportamiento en dos estados de acción; activo o inactivo, que generalmente se denota como el todo o nada. Entre sus ventajas están la fácil implementación y su costo relativamente bajo, utilizado ampliamente en tareas de menor complejidad. Entre sus desventajas esta la poca interacción entre entrada y salida que hacen que el sistema no se auto regule a las condiciones actuales sino que simplemente actúe de cierta forma frente a unas condiciones especificadas. Por lo anterior, con este sistema de control solo es posible manejar procesos simples, que requieran bajo grado de precisión”<sup>13</sup>.

- **Microcontroladores PIC.** Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes necesarios para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y para esto, el microcontrolador dispone de una memoria donde almacena el programa que gobierna su funcionamiento, que una vez programado y configurado, solo sirve para realizar las tareas asignadas.

El microcontrolador es uno de los inventos más notables del siglo XX, en el mercado hay una gran cantidad de ellos, con multitud de posibilidades y características, en los últimos años han tenido gran auge los Microcontroladores PIC fabricados por Microchip technology inc. Los PIC (*peripheral interface controller*) son una familia de Microcontroladores que ha tenido gran aceptación y desarrollo gracias a que sus buenas características, bajo costo, reducido consumo, pequeño tamaño, gran calidad, fiabilidad y abundancia de información, que lo convierte en; fácil, cómodo y rápido de utilizar.

---

<sup>12</sup> BOLTON, William. Ingeniería de Control. México D.F., Alfaomega, 2001, p 225 – 236.

<sup>13</sup>Ibid.

Los Microcontroladores PIC, cuentan con una arquitectura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) que permite realizar la programación de un determinado proyecto, por medio de un reducido juego de instrucciones (35 instrucciones) y poseen en su arquitectura interna características especiales que varían según el modelo de PIC a utilizar.

Los Microcontroladores PIC cuentan con casi todos los recursos que posee un computador, como, la memoria de programa, memoria RAM, memoria de datos, puertos de entrada o salida, temporizadores y en algunos casos cuentan con recursos adicionales como convertidores A/D, comparadores, USART (*Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter*), comunicación serial I2C, entre otros.

El Microcontrolador PIC utiliza un procesador con arquitectura Harvard, consiguiendo mayor rendimiento en el proceso de las instrucciones, esta arquitectura a diferencia de la Von Neumann, utiliza dos bloques de memoria independientes, una contiene instrucciones y la otra solo datos, cada una con su respectivo sistema de buses de acceso, 8 líneas para los datos y 14 líneas para las instrucciones, con lo que es posible realizar operaciones de acceso lectura o escritura simultáneamente en las 2 memorias, a esto se conoce como paralelismo<sup>14</sup>.

- **Microcontrolador PIC 16F73.** Perteneciente a la gama media, posee un encapsulado de 28 pines, con un repertorio de 35 instrucciones de 14 bits. Poseen una gran variedad de periféricos integrados como 5 conversores A/D, 3 temporizadores Timer0 de 8 bits, Timer1 de 16 bits y Timer2 de 8 bits, 2 comparadores analógicos CCP, comunicaciones USART, I2C, SPI, etc. Además de estas características, maneja 11 fuentes de interrupción y pose pila de 8 niveles<sup>15</sup>.

- **Programación de Microcontroladores PIC.** El desarrollo de una aplicación en un Microcontrolador PIC, comienza con la elaboración de una secuencia de instrucciones que se van a ir desarrollando de una en una y van a realizar la tarea encomendada al PIC. Debido a la limitada capacidad de memoria de instrucciones, es importante desarrollar el programa en un lenguaje muy similar al lenguaje máquina del Microcontrolador, y entre ellos está el lenguaje ensamblador, que contiene instrucciones muy parecidas al lenguaje máquina, por tal motivo se conoce como lenguaje de bajo nivel. Otros de los lenguajes más utilizados en la programación de Microcontroladores PIC, son el C y el BASIC. (Aunque estos últimos son de alto nivel y por tanto consumen más memoria de programa que el

---

<sup>14</sup>ANGULO USATEGUI José María, ROMEROO YESA, Susana y ANGULO MARTÍNEZ Ignacio MICROCONTROLADORES PIC. Diseño práctico de aplicaciones.

<sup>15</sup>MICROCHIP.PIC16F7X, DATA SHEET, 28/40-PIN 8-bit CMOS-FLASH Microcontrollers, 2002.

ensamblador), su principal ventaja está en la facilidad y rapidez para realizar, y corregir errores en una aplicación.

Entre los deferentes software que permiten realizar un programa para PIC está el MPLAB IDE de Microchip y el compilador C de CCS por citar algunos.

El Compilador C de CCS ha sido desarrollado específicamente para microcontroladores PIC, obteniéndose la máxima optimización del compilador con estos dispositivos. Dispone de una amplia librería de funciones predefinidas, comandos de preprocesado y ejemplos de aplicación. Además suministra los drivers para diversos dispositivos como LCD, conversores A/D, relojes en tiempo real, EEPROM serie, etc.<sup>16</sup>.

Motivo por el cual se utilizó en el desarrollo de este proyecto.

**Actuadores.** Una acción de automatización debe contener los tres elementos básicos, pues solo de ésta forma el sistema será capaz de ofrecer una mejora al proceso productivo. Ya antes se han mencionado dos de los elementos principales, pero el siguiente es el que realmente muestra que la automatización se está llevando a cabo de manera satisfactoria, esta es la parte visible del sistema en cuanto a las mejoras en la cantidad y en la calidad de la producción, estos elementos son los actuadores; y ellos en su forma más sencilla son dispositivos mecánicos cuya función es proporcionar fuerza para mover otro elemento mecánico.

La fuerza que acciona al actuador puede provenir de presión neumática (actuadores neumáticos), de presión hidráulica (actuadores hidráulicos), y de fuerza eléctrica (actuadores electromecánicos). Para este proyecto se ha tenido en consideración los actuadores electromecánicos, pues la fuente eléctrica es una de las fuentes de energía más fáciles de utilizar. Se dará una descripción<sup>17</sup> de los actuadores aquí utilizados pues son de gran importancia en el desarrollo del proyecto:

- **Actuadores Electromecánicos.** Como se expuso anteriormente, estos son actuadores que reciben la fuerza necesaria para realizar su trabajo a partir de una fuente de energía eléctrica y transformarla en energía mecánica, estos elementos están divididos en grupos que los clasifican de acuerdo al tipo de acción que realizan y entre ellos se tiene:

- **Relé.** Es un interruptor mecánico accionado eléctricamente. Consta de dos o más contactos, que corresponden a uno o varios circuitos independientes y de un

---

<sup>16</sup>GARCÍA BREIJO, Eduardo. Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para microcontroladores PIC. Barcelona, Marcombo S.A., 2008, 267 paginas.

<sup>17</sup> PALLÁS ARENY, Ramón. Adquisición y Distribución de Señales. Barcelona, Marcombo S.A., 1993, p 27-67.

elemento de control de la conexión. Su corriente o tensión de accionamiento es muy pequeña en comparación con las magnitudes que maneja, lo que permite un manejo de grandes potencias a través de pequeñas potencias de control<sup>18</sup>.

Entre las características a tener en cuenta está la resistencia del contacto en estado cerrado (ON), la resistencia y capacidad en estado abierto (OFF), la máxima potencia, tensión y corriente que producen el cambio de conexión de los contactos, corriente máxima que puede conducir y la máxima tensión entre sus contactos que es capaz de soportar.

- **Electroválvulas.** Es un dispositivo accionado eléctricamente, normalmente mediante un solenoide, (que permite interrumpir o restablecer la circulación de un fluido por un circuito, mediante una acción mecánica). Las electroválvulas se caracterizan principalmente por dos elementos: el solenoide y la válvula.

El solenoide transforma la energía eléctrica en energía mecánica, lo que permite, a su vez, la apertura y cierre mecánico de la válvula.

- **Motores de corriente alterna.** “Estos se basan en la interacción entre dos dipolos magnéticos, en este caso se trata de dipolo producidos por corrientes alternas que circulan por la bobina dispuesta en el soporte fijo denominado estator, y otra pieza giratoria metálica denominada rotor”<sup>19</sup>.

**Comunicación serial.** Para que exista interacción entre interfaz de usuario y hardware, es necesario que las señales se transporten de un dispositivo a otro y que las señales manejadas sean compatibles es decir manejen un lenguaje similar, en cuanto a la comunicación serial se encuentran presentes en el microcontrolador PIC, la I2C, SCI y el puerto serial USART (receptor transmisor serie síncrono asíncrono universal), de uso más común.

Adicionalmente, para el encapsulamiento, codificación y revisión de errores, etc. Existen varias normas como la codificación Manchester y la norma RS232 la que se utiliza en el desarrollo de este proyecto.

- **Norma RS232.** Es la más habitual en la comunicación serie. Básicamente comunica un equipo terminal de datos (*DTE o Data Terminal Equipment*), y el equipo de comunicación de datos (*DCE o Data Communications Equipment*).

Las características eléctricas de la señal en esta norma establecen que la longitud máxima entre el DTE y el DCE no debe ser superior a los 15 metros y la velocidad máxima de transmisión es de 20.000 bps. Los niveles lógicos no son compatibles entre ordenador y los TTL. Pues, para el ordenador deben situarse para el 1 lógico

---

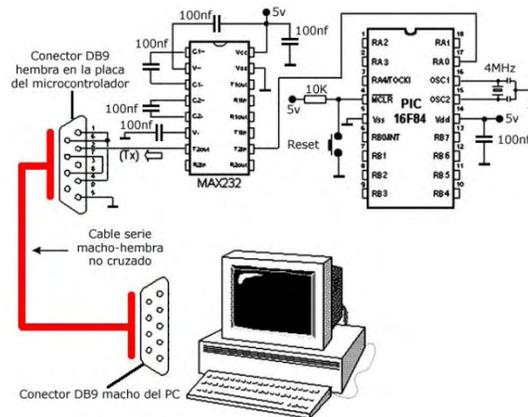
<sup>18</sup>Ibid.

<sup>19</sup>Op. cit.

entre -3V y -15V y para el 0 lógico entre 3V y 15V. Se utilizan conectores de 25 pines (DB25), o de 9 pines (DB9), siendo asignado el conector macho al DTE y el conector hembra al DCE. Y para el microcontrolador PIC niveles TTL para el 1 lógico de 5V y para el 0 lógico 0V.

Para una comunicación **full dúplex** desde el USART del microcontrolador PIC, se debe conectar un mínimo número de señales, **TXD** y **RXD** así como la masa (GND). Los microcontroladores PIC utilizan señal TTL en el módulo USART por lo que se debe utilizar un conversor de nivel RS232, como el MAX232.

**Figura 2. Norma RS232 Ordenador – Microcontrolador PIC**



Fuente: Comunicación PIC –PC vía RS232, (2013). [en línea], *Dispositivos lógicos programables*. Recuperado: 2014, 5 de mayo. Disponible en: [http://perso.wanadoo.es/pictob/comunicacion\\_pic\\_pc\\_via\\_rs232.htm](http://perso.wanadoo.es/pictob/comunicacion_pic_pc_via_rs232.htm)

## 6. METODOLOGIA

### 6.1. DISEÑO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para hacer efectiva la recolección de la información necesaria para el desarrollo del proyecto, se realizaron dos actividades fundamentales y que se describen a continuación.

**6.1.1. Observación.** Se realizaron varias visitas al invernadero de fresas del Centro Internacional de Producción Limpia Lope, donde se observó el estado actual del cultivo, se encontró un sistema de suministro de riego y fertirriego que aunque puede ser efectivo, no logra el objetivo que se pretende, por estar operado por un trabajador de campo dedicado a varias actividades adicionales que lo alejan del cumplimiento efectivo de esta tarea.

Además se observa que no se tiene en cuenta ninguna condición ambiental para realizar los suministros, sino que realiza por medio de una temporización poco precisa. Otro aspecto es la falta de una base de datos que permita a los operarios encargados realizar estudios que mejoren la productividad del cultivo.

**Tabla 2. Descripción de las observaciones realizadas en cada visita.**

NÚMERO DE VISITA	OBSERVACIONES REALIZADAS	DESCRIPCIÓN
1	Los diferentes cultivos desarrollados en la finca LOPE.	Existen diferentes tipos de cultivos implementados en la finca LOPE como tomate, papa, fresas, etc., algunos de ellos están bajo cubiertas plásticas, los cuales se manejaban con técnicas distintas a los de aire libre. La observación se enfocó en el cultivo de fresas.
2	El método de manejo para el cuidado del cultivo de fresas.	<ul style="list-style-type: none"><li>• El suministro se realiza por medio de un temporizador 4 veces al día, con un volumen de 450 litros diarios.</li><li>• La dosificación de nutrientes se hace alternadamente 3 veces con un</li></ul>

		<p>fertilizante y 1 con el otro lo cual se hace manualmente con la ayuda de un operario.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se tienen sensores ambientales.</li> </ul>
3	Un sistema tecnificado ubicado en la misma institución.	<p>Se visita el invernadero de tomate donde se observa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El suministro se realiza teniendo en cuenta lectura de sensores de tensión ubicados en el suelo.</li> <li>• Hay un manejo de temperatura por medio de apertura y cierre de ventanas, además del accionamiento de ventiladores.</li> <li>• La dosificación de nutrientes se realiza por medio de inyectores conectados al tubo principal, que suministran pequeñas cantidades de los dos nutrientes disueltos en el agua de riego a través de pulsos a diferente frecuencia.</li> </ul>
4	Los problemas del sistema actual.	<p>Se pudieron determinar los siguientes inconvenientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de sensores ambientales.</li> <li>• Encharcamiento en zonas de cultivo.</li> <li>• Plantas quemadas por salinización del suelo causado por alta concentración de nutrientes en el suelo.</li> <li>• Suministro de nutrientes de manera individual con</li> </ul>

		intervención de un operario.
5	Elementos existentes para el desarrollo del sistema.	<p>Los elementos existentes son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Motobomba</li> <li>• 1 electroválvula de ¾ “, a 12Vdc.</li> <li>• 1 fuente de alimentación de 12Vdc.</li> <li>• Temporizador Siemens.</li> <li>• Contactor Siemens activado a 220Vac</li> </ul>
6	Características del cultivo.	<p>Se observó lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 cultivo de 35,6m por 11,5m, dividido en 2 secciones.</li> <li>• Cultivo sobre suelo, en seis camas, con 1800 plantas.</li> <li>• Cultivo sobre sustrato, en 9 camas con un total de 1800 plantas.</li> </ul>

**6.1.2. Entrevistas.** En primera instancia, se realiza una entrevista con el Ingeniero Jesús Velázquez (instructor área Agrícola del SENA Centro Internacional de Producción Limpia sede Pasto), quien está encargado del cultivo de tomate, establecido en un invernadero el cual se encuentra en las instalaciones de SENA Pasto, en este lugar se observan todas las condiciones que se debería tener en cuenta para el desarrollo de un invernadero, ya que este es un sistema de manejo de invernaderos con la tecnología necesaria. En esta visita se obtiene información sobre la forma de operar el sistema que controla los parámetros del invernadero, como las características que debe tener el sistema de suministro de riego y fertirriego.

En visitas posteriores se realizan varias entrevistas con el Ingeniero Álvaro Moncayo, (instructor área Agrícola del SENA Centro Internacional de Producción Limpia sede Pasto), uno de los encargados del cultivo de fresas, quien brinda la información básica de los requerimientos iniciales del cultivo de fresas, entre ellas, el número de veces que se está suministrando riego y fertirriego de acuerdo a las experiencias propias que se ha tenido en este cultivo y que han demostrado mejores resultados.

También se obtuvo información y una explicación acerca de aspectos de los cultivos, las diferentes técnicas de su cuidado, los diferentes tipos de nutrientes

que se suministran al cultivo de acuerdo a su etapa vital, los daños que se pueden producir a causa del mal manejo de los nutrientes suministrados. Además se obtiene información acerca de las técnicas que se pueden considerar para la determinación de la humedad relativa del terreno como la Psicrometría, que consiste en la interpretación gráfica de datos de las temperaturas del terreno y del ambiente.

Por último se realizaron entrevistas adicionales con el ingeniero Jesús Velásquez quien brindo información de nuevas técnicas para el manejo de riego y los elementos que son utilizados para esta labor, como es; el tensiómetro, el inyector, y el TDR (medidor de conductividad y pH), además de presentar nuevos conceptos acerca del manejo de dosificación del riego como la ETo que tiene en cuenta los datos meteorológicos.

De estas entrevistas se dejó/a como evidencias.

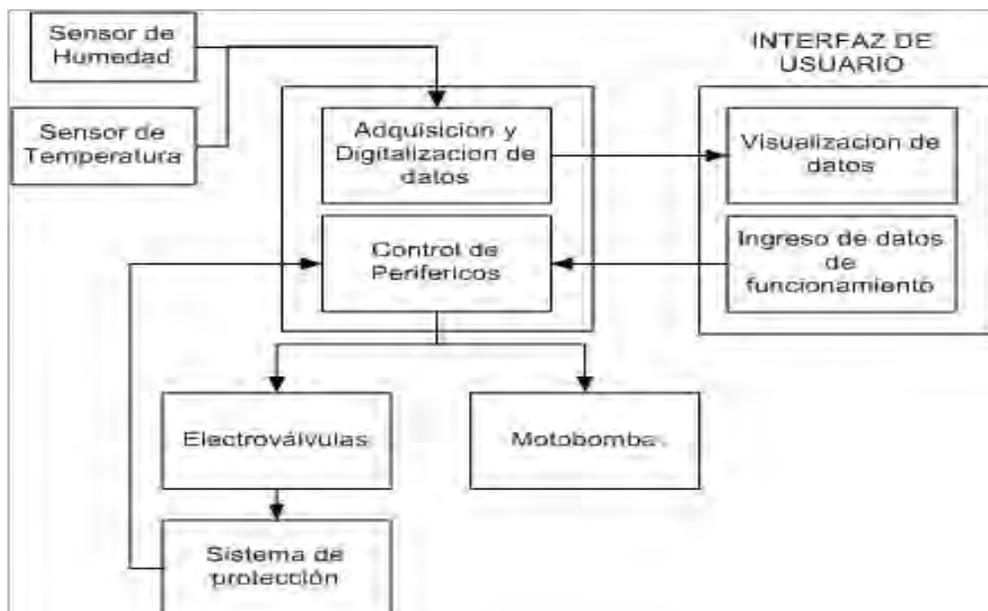
- El documento titulado “La Solución Nutritiva, Nutrientes Comerciales, Formulas completas”. De: Pedro Hernán Llanos.
- El documento titulado; nutrición de cultivos hidropónicos. Por el Ing. Álvaro Moncayo.
- El documento cálculo de volúmenes de agua para de riego por goteo. De: Horacio Martín Velázquez y Roberto del ángel Sánchez.

## **6.2. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA**

**6.2.1. Descripción del sistema.** Se requiere un sistema capaz de registrar la temperatura ambiental y la humedad del suelo, con posibilidad de mostrar al operario las lecturas obtenidas por cada uno de los sensores y realizar un historial diario del comportamiento de éstas variables y del riego. Además debe ser capaz de suministrar riego y fertirriego de acuerdo a las especificaciones ingresadas por el usuario, (cantidad, tensión de referencia, porcentaje de nutrientes). Que posea un manejo en modo manual para la realización de pruebas, que no afecte las configuraciones en modo automático. Y que posea protección contra estados de cortocircuito y circuito abierto que se puedan presentar en las electroválvulas deteriorando la motobomba.

**6.2.2. Diseño de ingeniería del sistema.** De acuerdo a los requerimientos planteados, se propone la siguiente solución:

**Figura 3. Diagrama de bloques del sistema a implementar.**



**Bloque de sensores.** Compuesto por dos tipos de sensores cada uno con su variable a medir, que reciben como señal de entrada una muestra ambiental, (temperatura ambiental y humedad del suelo), transformándola en una magnitud eléctrica análoga y entregándola a la salida para realizar la interpretación adecuada.

**Bloque de adquisición y digitalización de datos.** Recibe como señales de entrada, las salidas eléctricas análogas provenientes del bloque de sensores convirtiéndolas en señales digitales, dándoles un formato binario entendible por el sistema electrónico de hardware y software.

**Bloque interfaz de usuario.** Comprende dos secciones de las cuales la primera está encargada de recibir la información binaria procedente del bloque de adquisición y digitalización, y mostrarla al usuario por medio de imágenes y caracteres coherentes con las magnitudes físicas obtenidas por los sensores. La segunda sección se encarga de recibir información suministrada por el usuario a través del teclado alfa-numérico y convertirlo en datos binarios entendibles por el sistema.

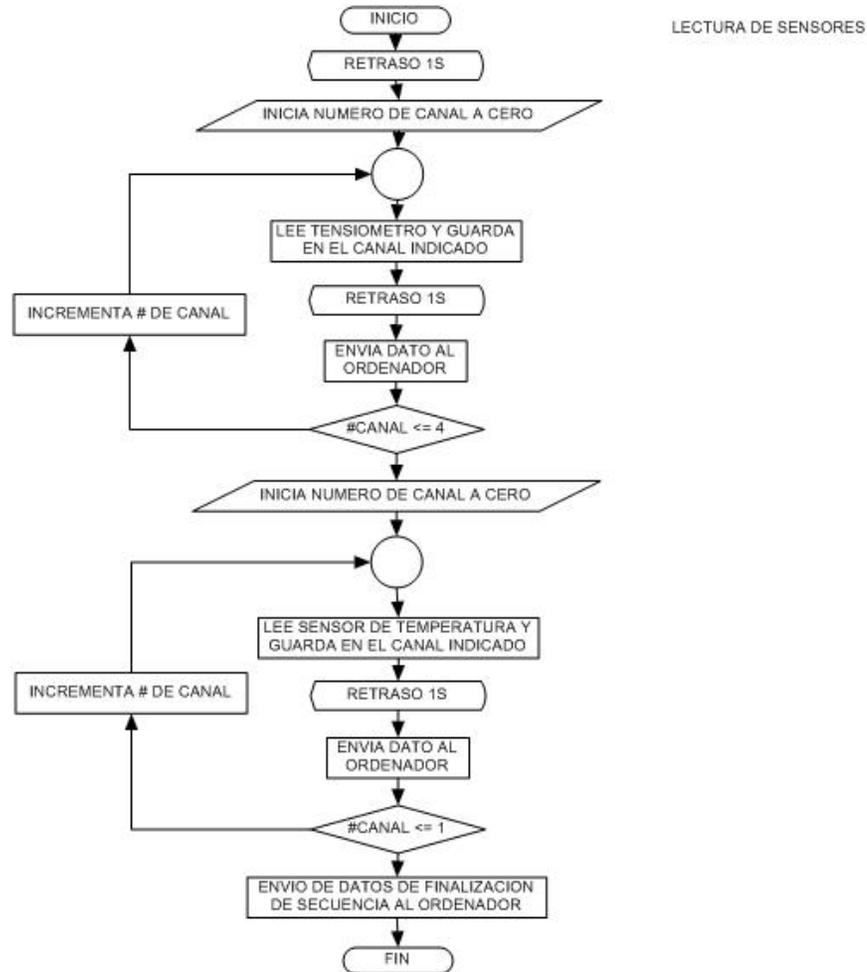
**Bloque de control de periféricos.** Recibe una señal de carácter binario la cual se interpreta para la realización de tareas lógicas y aritméticas que mantengan al sistema funcionando bajo determinadas condiciones a través de señales eléctricas de dos estados.



palabras simples, 22 pines de entrada salida, 11 fuentes de interrupción, 5 canales A/D, comunicación USART, I2C entre otros.

La propuesta para la sección de adquisición y digitalización de datos de cada sensor, se muestra en el siguiente diagrama de flujo:

**Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de lectura de sensores.**



El objetivo final de ésta sección es llevar los datos obtenidos hacia la interfaz de usuario donde se almacenan y procesan, para esto se realiza una comunicación serial entre hardware y software por medio del protocolo RS232 que es un protocolo que maneja tanto el ordenador como el microcontrolador PIC. Para garantizar la compatibilidad eléctrica de las señales transferidas del PIC y de ordenador se utiliza el circuito integrado MAX232, quien realiza esta tarea.

Una vez conocido el diagrama funcional, se procede con la simulación en Proteus 7.7, donde se muestra el valor correspondiente de los sensores de temperatura y de tensión.

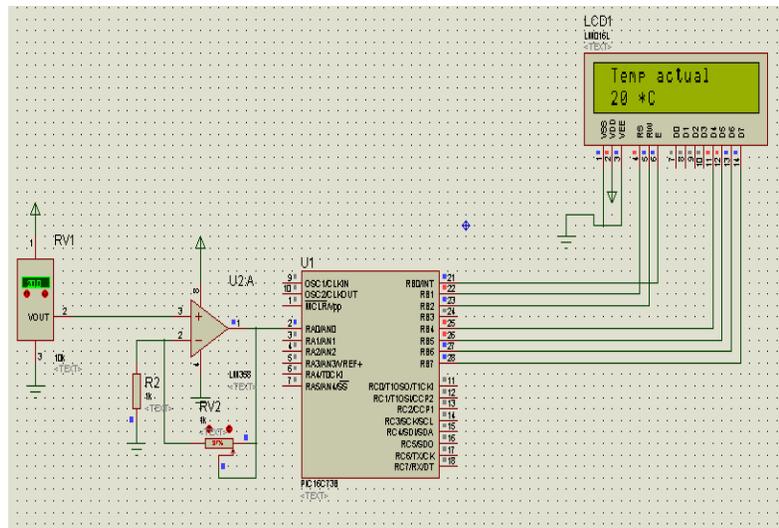
Para mostrar los datos obtenidos, el microcontrolador muestra un valor decimal, equivalente al valor de voltaje presente en el módulo ADC, el cual tiene una resolución dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Valor decimal} = \frac{255 * \text{Voltaje de entrada}}{5V(\text{voltaje de referencia})}$$

Como el valor de la resolución es de 19.6mV, para el caso de los sensores de temperatura, se debe modificar la salida del LM35 que es de 10mV/°C, para que las lecturas sean las correctas. Para solucionar este inconveniente se plantea configurar un amplificador operacional LM358 como amplificador no inversor y como seguidor de tensión.

La propuesta se muestra en la siguiente figura.

**Figura 7. Simulación en Proteus 7.7 del proceso de registro de temperatura por sensores.**



Con los tensiómetros, se realiza una conversión de corriente a voltaje por medio de una resistencia y un potenciómetro de ajuste. Ya que el tensiómetro simula una fuente de corriente que variara con la presión a la que se somete el transductor; al circular esta corriente por la resistencia generara un voltaje correspondiente a la resolución del módulo ADC del microcontrolador PIC.

La selección del valor de la resistencia se determina a partir del siguiente cálculo:

- Se determina la variación de corriente por centibar con la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta I}{\Delta cB} = \frac{(20 - 4)mA}{(93 - 0)cB} = 172\mu A/cB$$

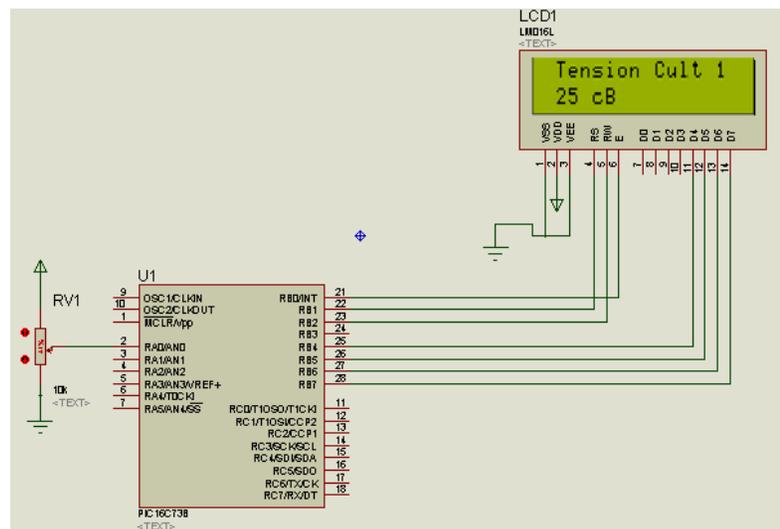
Obteniéndose una variación de 172 $\mu$ A/cB.<sup>20</sup>

- Al aplicar ley de Ohm se obtiene:

$$R = \frac{19.6mV}{172\mu A} = 114\Omega$$

Encontrando que el valor necesario es de 114  $\Omega$  que al no ser un valor comercial se debe obtener a partir de un resistor variable de 500 $\Omega$ .

**Figura 8. Simulación en Proteus 7.7 del proceso de registro de tensiómetros por sensores.**



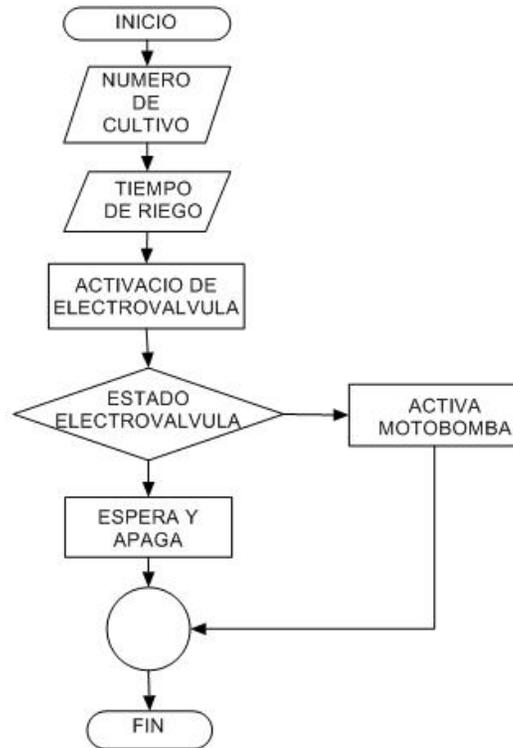
Debido a que se necesita conectar 7 sensores y el módulo ADC del microcontrolador PIC 16F73 solo posee 5 canales, se propone realizar la conmutación de 2 canales (A0 y A1), por medio de un relé doble bipolar, lo que permite; primero realizar la lectura de los 5 tensiómetros y luego la lectura de los 2 sensores de temperatura

**Bloque de control de periféricos.** Compuesto por los puertos B y C del microcontrolador PIC 16F73, configurados como entradas y salidas digitales. Los cuales tienen como misión enviar las señales de activación a la etapa de potencia y recibir las señales del estado de los actuadores.

<sup>20</sup> Datos de variación obtenidos de la hoja de datos del tensiómetro (Anexo 6 Datasheet, hoja 3)

Se propone el siguiente diagrama de flujo para cumplir con las necesidades de este bloque:

**Figura 9. Proceso de funcionamiento de actuadores.**



Para esta sección se plantea el uso de los pines RB0-RB7 y RC2 y RC3 del microcontrolador los cuales se disponen de la siguiente forma:

- RB0 señal de activación de la motobomba.
- RB1 señal de activación cultivo 1.
- RB2 señal de activación cultivo 2.
- RB3 señal de activación cultivo 3.
- RB4 señal de activación cultivo 4.
- RB5 señal de activación cultivo 5.
- RB6 señal de activación verificación de estado de las electroválvulas.
- RB7 señal de funcionamiento correcto y espera de datos del ordenador.
- RC2 señal de activación de electroválvula de fertilizante 1.
- RC3 señal de activación de electroválvula de fertilizante 2.

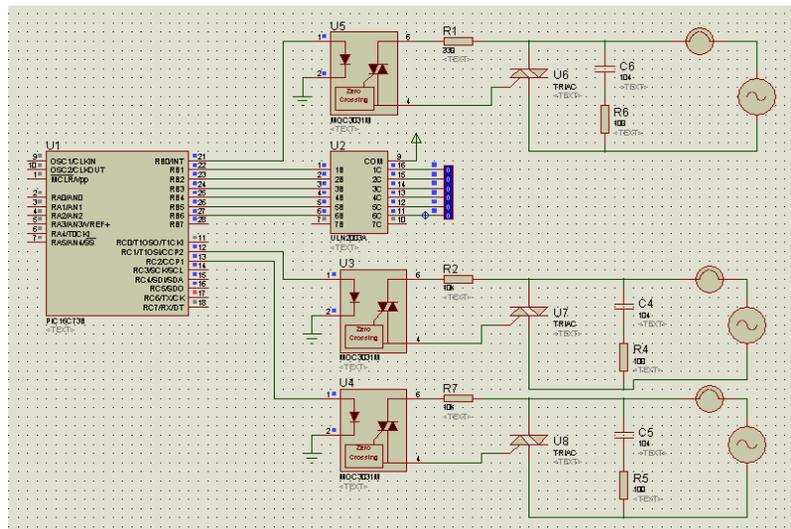
Los pines se configuraron como salidas digitales y cada uno está conectado a las entradas de un driver ULN2003 el cual posee 7 arreglos Darlington, en colector

abierto con diodo inverso ideal para cargas inductivas y es capaz de manejar una corriente de hasta 1 amperio.

Este circuito integrado está encargado de manejar relés de 12Vdc que poseen en su interior el diodo de corrida libre que los hace ideales para manejo de cargas inductivas, como es el caso de la manipulación de las electroválvulas correspondientes a cada cultivo. Y para evitar ruido electromagnético producto de activación y desactivación de las electroválvulas, se añade una red snubber para eliminación de transitorios.

La simulación correspondiente a esta etapa se muestra a continuación.

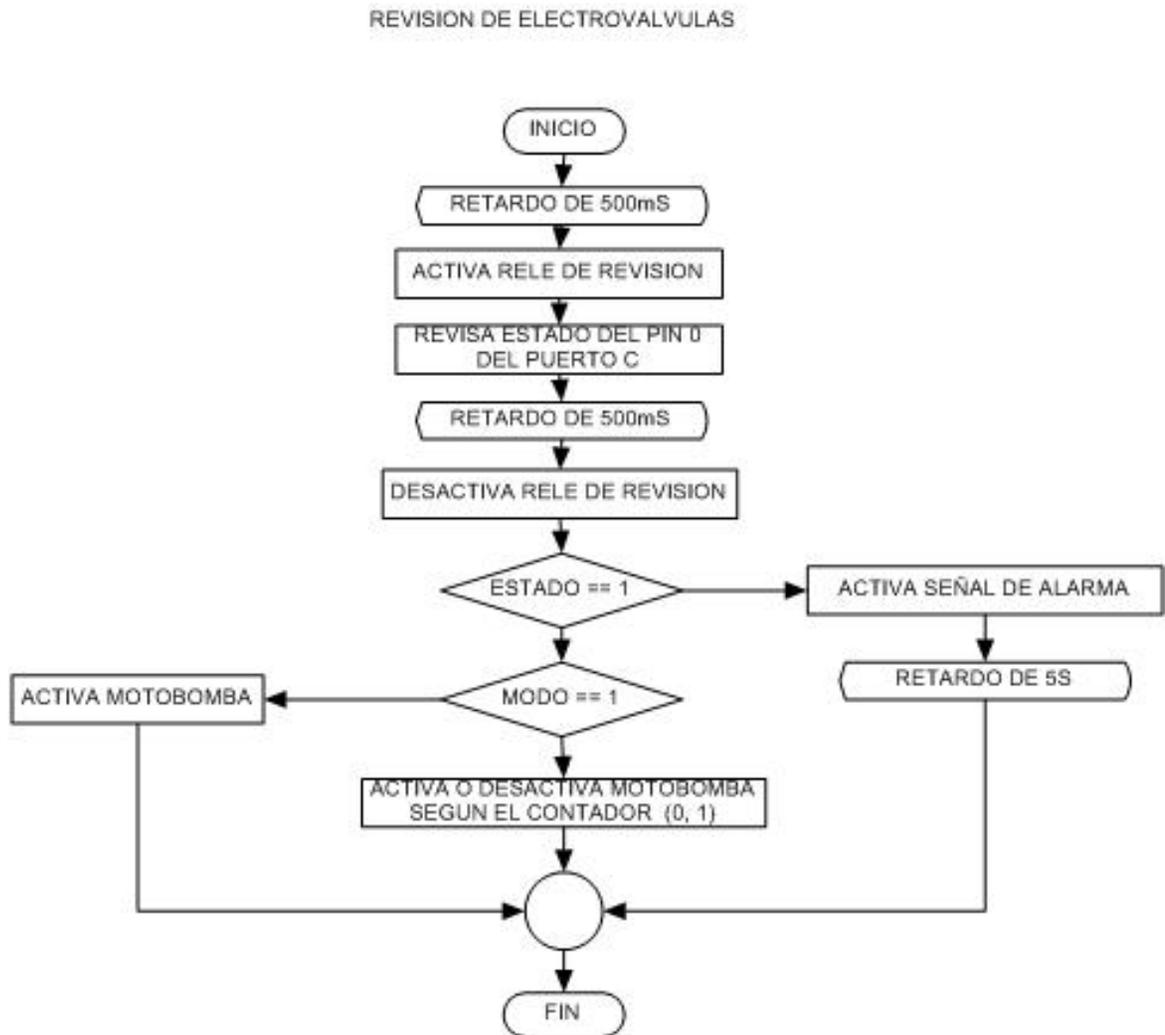
**Figura 10. Simulación de actuadores del sistema.**



La motobomba y las electroválvulas AC se manejan por medio de optotriacs y triacs para aislar las fuentes de poder a través de los pines RB0, RC2 y RC3 respectivamente. El pin RB6 maneja un relé encargado de realizar una conmutación para revisar el estado de las electroválvulas de los cultivos, con el fin de proteger la motobomba ante recirculación indeseada.

Se plantea lo siguiente:

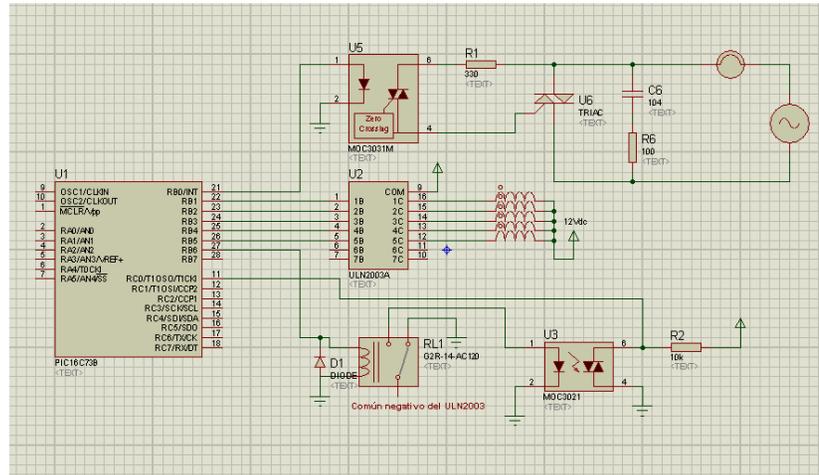
Figura 11. Diagrama de flujo de revisión de electroválvulas



La tarea que cumple es revisar el estado de las electroválvulas por medio de la desconexión temporal de la fuente de alimentación principal de los actuadores, desviando esta señal por medio de un relé a un optotransistor con colector abierto conectado a una de las entradas del microcontrolador configurada como entrada digital denominada estado, el funcionamiento planteado es el siguiente:

- Si estado es cero, la electroválvula está en buen estado. Todo el sistema continúa con el funcionamiento y la secuencia normal.
- Si estado es uno, la electroválvula está dañada. El microcontrolador activa una señal de alarma durante 5 segundos, (LED rojo) y termina el proceso.

**Figura 12. Simulación de revisión de electroválvulas**



El objetivo de esta sección es revisar el estado de cada una de las electroválvulas por medio de la conmutación del relé conectado al pin B6, el cual desvía el flujo de corriente a través del optoacoplador enviando un estado lógico al pin C0 lo que da como resultado un 0 ó 1 lógico de acuerdo al estado buena o mala respectivamente.

**Bloque de actuadores.** Se compone de los siguientes elementos:

- **Una motobomba.** Con potencia 1/2 Hp, a 220V, con caudal de 12,96 litros/minuto. Encargada de suministrar el riego a una presión determinada que permita el flujo de los diferentes líquidos hacia todos los ramales de riego.

**Figura 13. Motobomba.**



- **Un Contactador.** Con Encargado del manejo de activación y desactivación de la motobomba, de referencia 3RT1015-1AP01 proporcionado por siemens, que maneja una potencia de 3 KW/400 V, con tensión de servicio 230 VAC 50/60 HZ, con 3 polos para cada circuito, tamaño S00, conexión por tornillo.

**Figura 14. Contactor.**



- **5 electroválvulas de 3/4" a 12Vdc.** Encargadas de permitir o no permitir el flujo de riego hacia un cultivo determinado. Con las siguientes características: tipo hembra, normalmente cerrada con regulador de caudal, presión de trabajo de 0,69 a 12 Kg/cm<sup>2</sup>. Intensidad 200 mA. Tensión 12/24 VAC. Intensidad arranque 400 mA.

**Figura 15. Electroválvula para distribución de cultivos.**



- **1 Electroválvula de 2 entradas a 3/4" 1 salida a 1/8"**. Encargada de manejar el flujo de fertirriego por medio de las activaciones alternadas de cada una de sus electroválvulas que son alimentadas por 110V AC, que acciona una membrana que deja paso o corta el caudal de agua. Comúnmente encontradas en lavadoras.

**Figura 16. Electroválvula para dosificación de nutrientes.**



**Bloque interfaz de usuario.** El software desarrollado en el entorno de LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), el cual es un lenguaje de

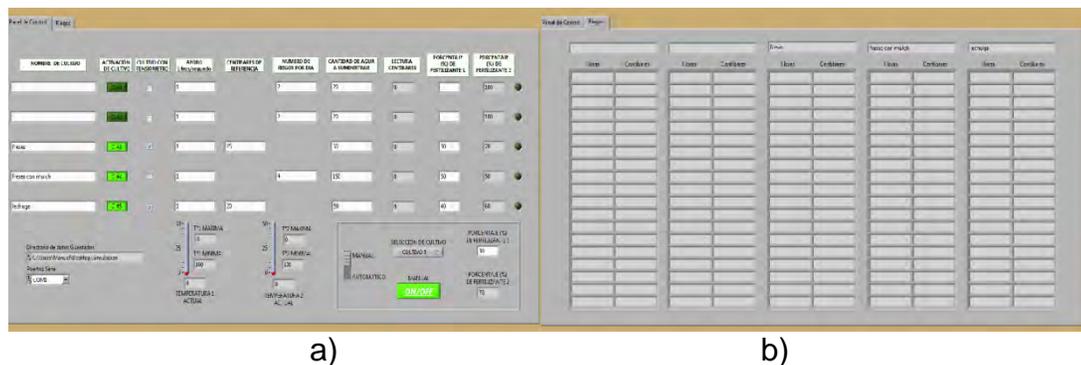
programación gráfica en el que se puede crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla, que al momento de realizar un proyecto se presentan dos ventanas las cuales son “Panel frontal” y “Diagrama de bloques” que están conectadas entre sí, la primera ventana mostrara los elementos que se observa el usuario, como botones, caja de texto, check box, etc., y en la segunda ventana se hará la programación y la función que cumplirá cada elemento del panel frontal. El proyecto se guardara con una extensión “.VI” (*Virtual instruments*) para el programa principal y dado el caso que este contenga subprogramas tendrán una extensión “.subVI” (*Subvirtual Instruments*)

El software desarrollado para este proyecto denominado “programa de riego SENA-UDENAR”, es conformado por dos programas principales los cuales son:

Control de Riego .VI  
Gráficas .VI

**Control de riego (interfaz de usuario).** Es el software principal, el cual está conformado por dos ventanas de visualización “Panel de control” y “riegos” que son manejadas por el usuario las cuales se indican en las siguientes figuras.

**Figura 17. Interfaz de usuario “Panel de control” y “Riegos”**



Su principal funcionamiento es de recibir las instrucciones del operador que dependiendo de los comandos seleccionados se procesa la información y según sea el caso visualizar los datos.

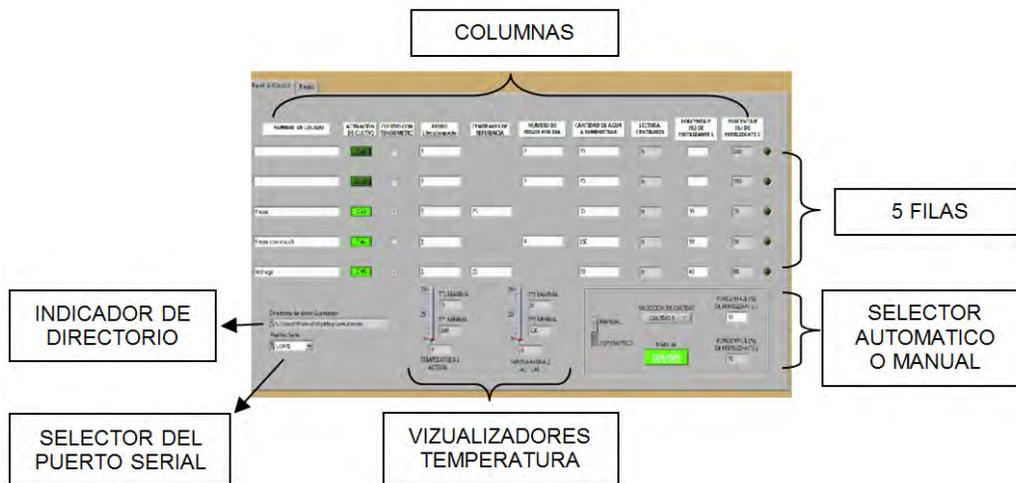
## Descripción de la interfaz de usuario.

- **Riegos.** En esta interfaz se visualizara los riegos que se han dado a los cultivos en el modo automático con tensiómetros. Registrando la hora de riego y los centibares por día. **Figura 18 - b)**

En esta interfaz conformada por tablas y cajas visualizadores de texto que indicarían el nombre del cultivo dado en la interfaz de panel de control.

- **Panel de control.** La interfaz de control de riego ha sido creada para que su comprensión sea fácil e intuitiva, conformado por diversos componentes descritos a continuación.

**Figura 18. Partes descriptivas de la interfaz de usuario**



**Columnas.** Están conformadas por 11 columnas que indican con su respectiva función y etiqueta de identificación

- **Primera columna, (Nombre del cultivo):** conformada por cajas de texto correspondiente a cada módulo, fue diseñada para identificar cada uno de los cultivos y así evitar confusión al momento de programar el riego.

**Figura 19. Etiquetas para Nombre de Cultivo**



- **Segunda columna, (Activación de Cultivo).** Conformada por botones ON/OFF, dado que se puede presentar que en los módulos de siembra no se encuentren cultivos o ya han sido descartados debería apagarse la función de dar riego al cultivo correspondiente, una vez este activo se enciende y con su respectiva programación.

**Figura 20. Botones Para la Activación de Cultivo**



- **Tercera columna, (Cultivo con tensiómetro).** Conformado por checkboxes, selecciona los cultivos que van a manejar sensor de humedad del suelo (Tensiómetro), colocando un visto o dando clic en el cuadro correspondiente, dado que se puede averiar los sensores.

En esta columna cabe destacar que internamente controla el cambio del modo automático con sensor y automático temporizado.

**Figura 21. Selección de cultivo con tensiómetro**



Formulario de selección de cultivo con tensiómetro. El formulario tiene un título "CULTIVO CON TENSIOMETRO" y cinco casillas de selección. La segunda y cuarta casillas están marcadas con una 'x'.

- **Cuarta columna, (Aforo Litro/Segundo).** Es la capacidad de descarga del cabezal de riego, cuantos litros suministra al cultivo en 1 segundo. Conformada por cajas de texto las cuales solo recibirán números enteros o decimales.

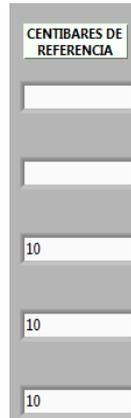
**Figura 22. Columna para la introducción del Aforo**



Formulario de introducción del aforo. El formulario tiene un título "AFORO Litros/segundo" y cinco cajas de texto para ingresar los valores.

- **Quinta columna, (Centibares de Referencia).** Dado que el suelo (tierra) retiene el agua y a medida que se va secando este la va a retener con más fuerza, implicando un mayor esfuerzo para las plantas obtener agua, esta fuerza medida por el tensiómetro en centibares por lo que se requiere un tope máximo una referencia hasta cuan seco este el suelo para que se active el riego.

**Figura 23. Columna para la introducción de los Centibares de referencia**



A vertical form titled "CENTIBARES DE REFERENCIA" containing five input fields. The first two fields are empty. The third, fourth, and fifth fields each contain the number "10".

Además en esta columna las cajas de texto son controladas por la tercera columna (cultivo con tensiómetro), ya que un cultivo sin tensiómetro no necesita una referencia, por lo que la casilla desaparecerá.

- **Sexta columna, (Número de Riegos por día).** Conformada por cajas de texto y controladas por la tercera columna (cultivo con tensiómetro), al momento de que el cultivo no cuente con tensiómetro se activara el modo automático temporizado y visualizando la casilla correspondiente en esta columna, por lo que se necesitara cuantos riegos se darán en el día, e internamente dividirá las 24 horas por este número, activando el riego en cierto intervalo de tiempo.

**Figura 24. Columna para La introducción de números de Riego**



A vertical form titled "NUMERO DE RIEGOS POR DIA" containing five empty input fields.

- **Séptima columna, (Cantidad de Agua a suministrar).** Conformada por cajas de textos los cuales reciben los datos de la cantidad de agua en litros que se va a suministrar por cada riego.

**Figura 25. Columna para la introducción de La cantidad de agua a suministrar**



A vertical grey panel with a title bar at the top that reads "CANTIDAD DE AGUA A SUMINISTRAR". Below the title bar are five empty rectangular input fields stacked vertically.

- **Octava columna, (Lectura de Centibares).** Conformada por cajas de visualización numérica, en las cuales se mostrara los centibares que se están presentando en la lectura de sensores, esta información es tomada cada dos minutos.

**Figura 26. Columna indicadora de los centibares**

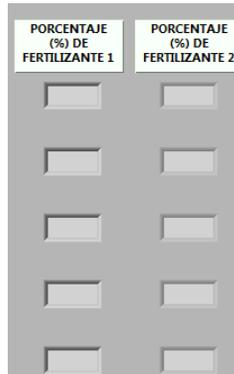


A vertical grey panel with a title bar at the top that reads "LECTURA CENTIBARES". Below the title bar are five digital display boxes, each showing the number "0".

- **Novena columna, (Porcentaje (%) de fertilizante 1).** Conformada por cajas numéricas, en las cuales se ingresara el porcentaje de fertilizante 1, que va desde 0 a 100. Si dado el caso que no se necesite ningún tipo de fertilizante se debe ingresar un número mayor a 100 por ejemplo 101.

- **Décima columna, (Porcentaje (%) de fertilizante 2).** Conformado por cajas de visualización numéricas, las cuales indicaran la cantidad de fertilizante 2 a suministrar, este se auto calculará con la fórmula de  $(100 - \text{"fertilizante 1"})$ .

**Figura 27. Columnas de introducción de los porcentajes de los fertilizantes**



- **Onceava columna, (Indicadores de cultivo activo).** En esta columna son visualizadores TRUE/FALSE los cuales indicaran que cultivo se está dando riego.

**Figura 28. Indicador del cultivo que se está regando**



- **Filas.** Cada fila representa un cultivo en particular, identificado internamente de manera ascendente comenzando desde 1.

**Figura 29. Orden de los cultivos en la interfaz de usuario**



- **Selector automático o manual.** Él fue diseñado para operar de 3 modos automático con tensiómetro, automático temporizado y manual, en esta casilla se controla el cambio de automático a manual o viceversa, el cambio de temporizado a tensiómetro se hace por medio de la columna “cultivo con tensiómetro”.

En la selección automático solo se visualizara el botón deslizante y el botón de inicio, una vez ingresados los datos de las columnas correspondientes a cada cultivo se dará inicio, desapareciendo el botón deslizante y bloqueando el ingreso de valores. Si se desea hacer cambio de algunos datos solo se presionaría el botón de parar.

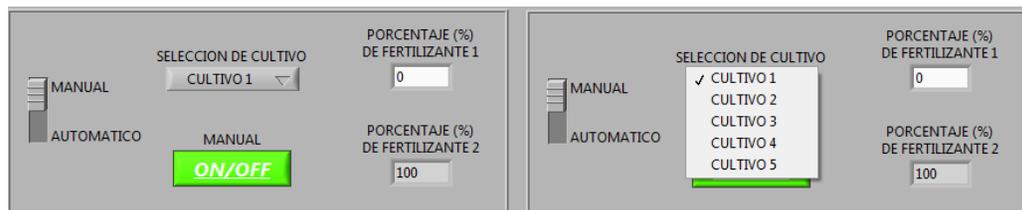
**Figura 30. Selector Automático/manual en modo automático**



En La selección manual se visualizara un selector de cultivo, una casilla para la selección del porcentaje del fertilizante (la otra casilla de fertilizante se calcula sola), el botón ON/OFF y el botón deslizante.

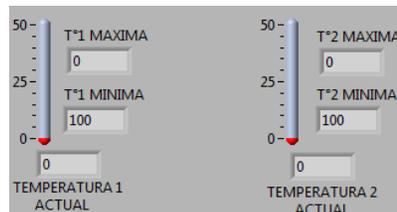
En esta opción se activa el riego al momento de dar inicio con los porcentajes y cultivo seleccionado y para apagarlo se debe presionar de nuevo el botón ON/OFF

**Figura 31. Selector Automático/manual en modo automático en modo manual**



- **Visualizadores de temperatura.** En esta sección son indicadores de la temperatura que están registrando los sensores ubicados dentro y fuera del invernadero.

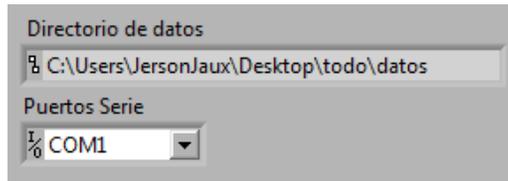
**Figura 32. Visualizadores de temperatura**



- **Selector de puerto:** es un selector el cual me indica los puertos existentes en el computador, dado que puedan existir más puertos seriales o que no corresponda a COM1 que se coloca por defecto.

- **Indicador de directorio:** es una casilla la cual indica el directorio en donde se están guardando los datos obtenidos en el programa.

**Figura 33. Indicador De Directorio y Selector De Puerto**



- **Funcionamiento interfaz de usuario.** El software se ha desarrollado para el manejo de 5 cultivos con la posibilidad que se controlen por medio de sensores de humedad (Tensiómetros) o por medio de una temporización, es de uso fácil e intuitivo, además también es una herramienta didáctica para el cálculo de variables como aforo, PH y conductividad.

Al poner en funcionamiento y ejecutar el programa aparecerá una ventana ya sea para crear o abrir los archivos donde se guardaran los datos tanto los ingresados por el usuario como los obtenidos por el programa. Estos datos son tablas con una extensión “.csv” que pueden ser visualizadas en excel.

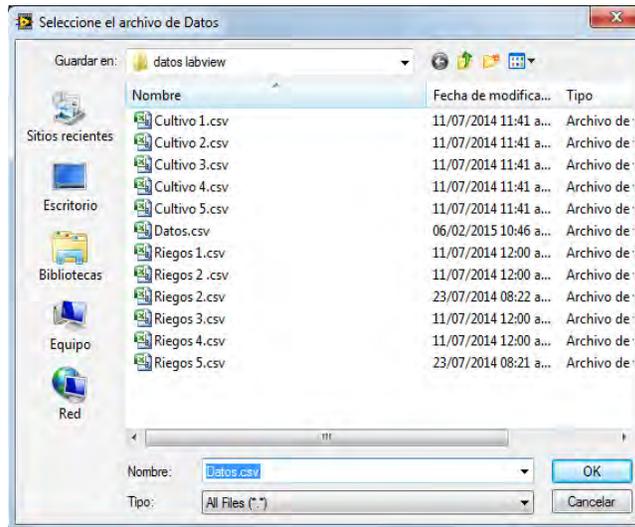
Esta función es controlada por un subprograma llamado “Creación o lectura .subVI”, el cual hará emerger una ventana para la selección del directorio de almacenamiento de los archivos ya sea que estén creados o no, el programa asignara los nombres a estos y regresará una variable por cada archivo conteniendo su ubicación.

EL usuario solo elegirá donde guardar y procederá a dar OK y no cambiara el nombre de los archivos.

El subprograma genera 11 archivos, donde se asignaran 2 archivos para cada cultivo, y 1 archivo para guardar los datos ingresados por el usuario.

Cultivo 1.csv y Riego 1.csv para el cultivo # 1  
Cultivo 2.csv y Riego 2.csv para el cultivo # 2  
Cultivo 3.csv y Riego 3.csv para el cultivo # 3  
Cultivo 4.csv y Riego 4.csv para el cultivo # 4  
Cultivo 5.csv y Riego 5.csv para el cultivo # 5  
Datos.csv para datos ingresados en la interfaz de usuario.

**Figura 34. Ventana para la selección de Directorio**



Después de generado los archivos se procederá a cargar los valores almacenados en el archivo Datos.csv en las correspondientes casillas de cada cultivo, (nombre del cultivo, aforo cantidad de agua etc.). En este punto el programa estará listo para recibir las instrucciones del usuario.

Si el usuario va a hacer funcionar el programa de modo manual ingresara solo el porcentaje de fertilizante 1 donde su rango es de 0 a 100 y seleccionara el cultivo a dar riego. El programa calculara el porcentaje de fertilizante automáticamente usando la formula  $[100 - \text{fertilizante}1]$

Una Vez se ha presionado el botón ON/OFF (el cual es un PushButon) el programa enviará al hardware las instrucciones para que encienda el riego o fertirriego de manera indefinida hacia el cultivo elegido por el usuario, quedando en espera para que el usuario apague el riego presionando el botón ON/OFF, el programa enviará de nuevo datos al microprocesador y estará listo para recibir las instrucciones de usuario.

Si el usuario ha elegido el funcionamiento automático, el programa tendrá en cuenta las entradas escogidas por él en los diferentes cultivos.

Al momento de dar inicio, el software guardara los datos ingresados por el usuario en el archivo Datos.csv después se envía instrucciones al microprocesador para que de lectura a los sensores, quedando en espera para recibir los datos de temperatura y de tensiómetros, que los guardará en variables tipo tabla y luego se pasaran en variables independientes para ser visualizados y procesados en la interfaz de usuario.

El sistema hará una secuencia comenzando desde el cultivo 5 y finalizando en el cultivo 1 al terminar se volverán a leer los sensores.

- Identifica si el cultivo está activo
- Observa que modo está funcionando (con tensiómetro o temporizado)

Con tensiómetro: se comparan los valores del tensiómetro correspondiente al cultivo con los de referencia establecidos por el usuario.

Si los datos de tensiómetro son mayores o iguales se dará la orden de riego con los datos correspondientes al cultivo.

**Centibares de referencia  $\leq$  señales provenientes de tensiómetros = Riego activo**

Luego procederá a guardar los datos registrados por el tensiómetro y la hora en el instante que se dio riego, además se visualizaran en la ventana “Riegos” de la interfaz de usuario

Temporizado: resta la hora actual en minutos con una variable previamente establecida con 1440 minutos

Si es mayor o igual al valor dado 1440 minutos (24 horas) dividido por el “número de riego por día” se dará riego (si se pone en funcionamiento por primera vez el resultado siempre será verdadero), una vez dado el riego se reemplaza el valor de la variable con la hora que se dio el riego en minutos.

$$(|\text{Hora actual en minutos} - \text{Hora anterior}|) \geq \left( \frac{1440}{\text{numeros de riegos por dia}} \right) = \text{Riego}$$

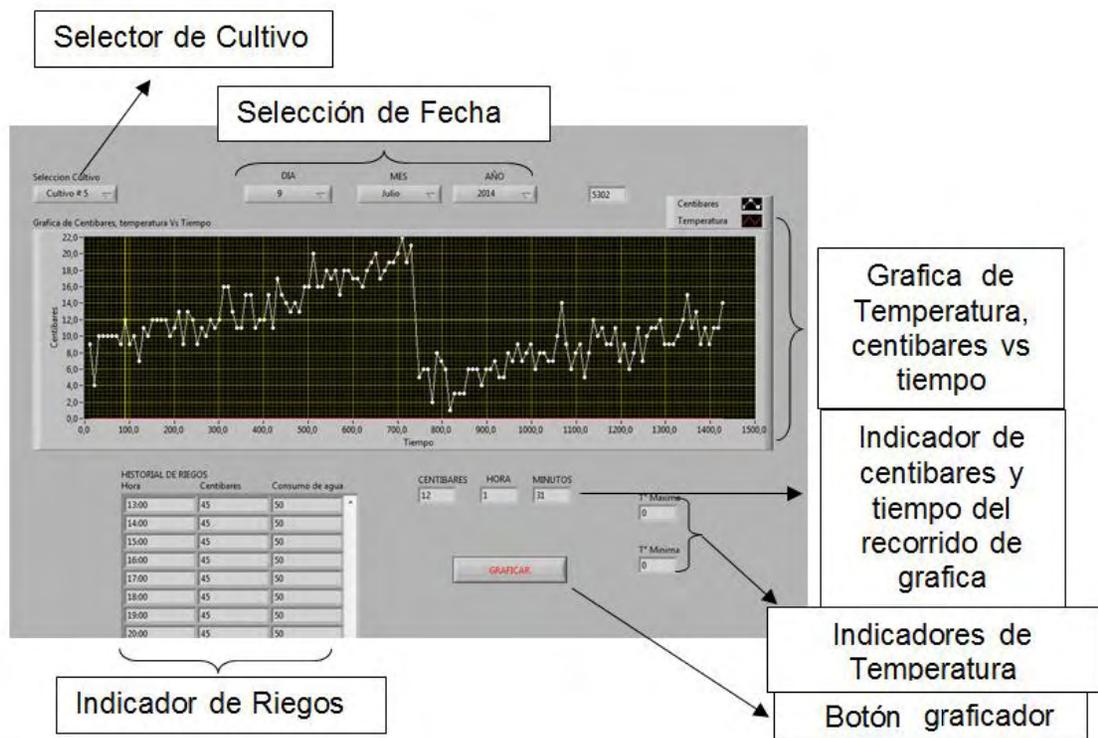
- Visualización: se visualizara los valores de los tensiómetros en la interfaz de usuario
- Verificación de hora de guardado, se ha establecido 10 minutos después de la medianoche para que guarde, en los archivos los datos de temperatura, tensión del suelo y riegos que se han registrados en el día y reiniciar la variable que guarda los datos temporalmente. Esto lo hace la adición de horas y los minutos, si su suma es menor o igual a 10 se guardaran los datos. Se ha de aclarar que el programa LabView toma la hora militar.
- Comprobar si el botón de inicio a cambiado su estado

Si “botón de inicio” si no ha cambiado el estado seguirá la secuencia.

Si “botón de inicio” ha cambiado de estado a “parar” regresara al punto del programa para recibir las instrucciones del usuario.

**Graficas (comportamiento de variables e historial de riegos.).** Da la posibilidad de visualizar los datos guardados por la interfaz de usuario. En esta ventana se muestra gráficamente los centibares, temperatura y por medio de una tabla los riegos de un cultivo determinado en días pasados.

**Figura 35. Partes de la interfaz graficas**



**Descripción ventada Graficas.**

- **Selector de cultivo.** Aquí se hace la selección de cultivo al cual se desea ver el comportamiento de los datos guardados.
- **Selección de fecha.** Se hace la selección del día, mes, año, para ver los datos de dicha fecha.
- **Botón graficador.** Es el botón que grafica los datos una vez seleccionado el cultivo y la fecha.
- **Indicador de Riegos.** En esta sección se observa una tabla, que corresponde a los riegos dados en el día. Además de mostrar los datos de centibares y cantidad de agua suministrada.

- **Gráfica de temperatura, centibares vs tiempo.** Aquí se grafica el comportamiento de los datos correspondientes a la temperatura (en color rojo) y los centibares (en color blanco) durante el día.

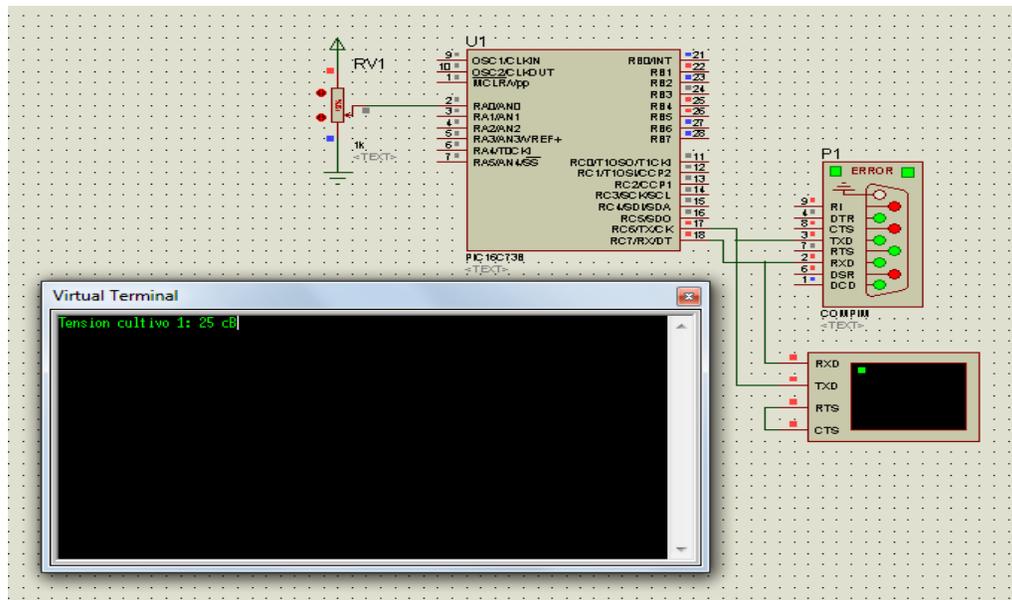
- **Indicadores de centibares y tiempo.** Estas casillas indican los valores de un punto seleccionado en la gráfica (línea de centibares).

- **Indicadores de temperatura.** Muestra la temperatura máxima y mínima que ha ocurrido en el día.

**6.2.4. Implementación y validación del hardware.** En primer lugar se comenzó con el desarrollo del sistema de comunicación entre el microcontrolador y el ordenador, de la cual hacen parte el módulo USART del microcontrolador por los pines RC6 (TX) y RC7 (RX) que realizan las tareas de transmisión y recepción de datos respectivamente.

Debido a que las señales que maneja el microcontrolador (que son de 0V y 5V para los niveles lógicos 0 y 1 respectivamente), y las del ordenador (que son de 3V a 25V para un 0 lógico y -3V a -25V para un 1 lógico), se utiliza un acoplador de señales lógicas. Este es el circuito integrado MAX232 y sus componentes adicionales (condensadores de 10uF), que permiten realizar esta tarea de forma adecuada.

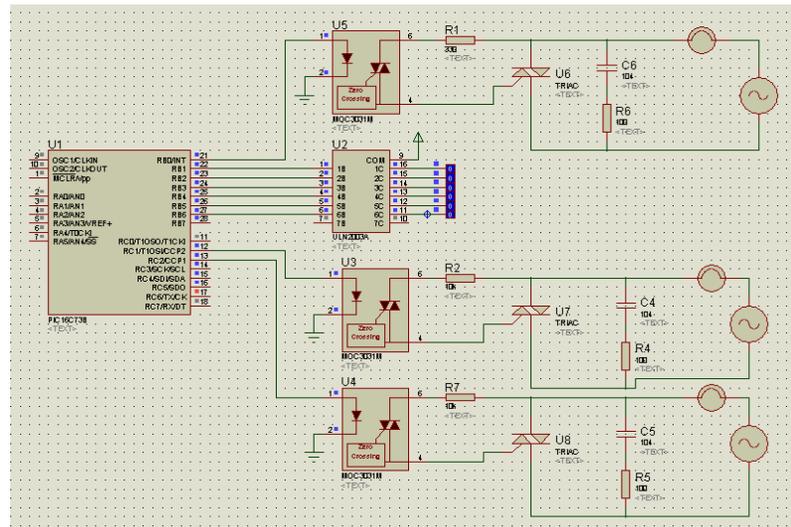
**Figura 36. Prueba de comunicación entre ordenador y Microcontrolador PIC con norma RS232.**



Una vez verificado el correcto funcionamiento de la comunicación, se precedió con el desarrollo del manejo de los actuadores. Para esta sección se utilizaron los pines RB0-RB7 y RC2 y RC3 del microcontrolador los cuales como se mencionó antes, se disponen de la siguiente forma:

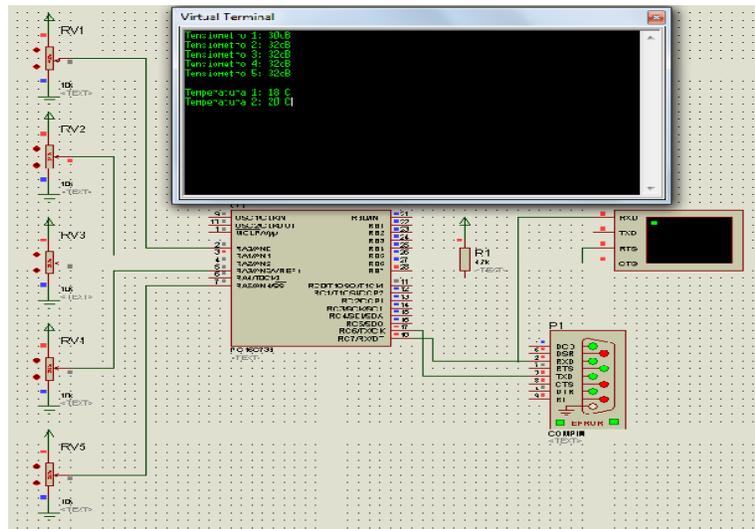
- RB0 señal de activación de la motobomba.
- RB1 señal de activación cultivo 1.
- RB2 señal de activación cultivo 2.
- RB3 señal de activación cultivo 3.
- RB4 señal de activación cultivo 4.
- RB5 señal de activación cultivo 5.
- RB6 señal de activación verificación de estado de las electroválvulas.
- RB7 señal de funcionamiento correcto y espera de datos del ordenador.
- RC2 señal de activación de electroválvula de fertilizante 1.
- RC3 señal de activación de electroválvula de fertilizante 2.

**Figura 37. Prueba del actuadores del sistema a través de indicadores LED.**



Una vez probada esta sección, se procede con la implementación de la sección correspondiente a los sensores, para esto, se usan los pines RA0, RA1, RA2, RA3 y RA5 que son canales analógicos de este microcontrolador, debido a que se necesitaban 7 canales analógicos y solo se dispone de 5, se realiza una conmutación con un relé manejado por el pin RC0, con esto se logra hacer lectura de los 5 tensiómetros y los 2 sensores de temperatura.

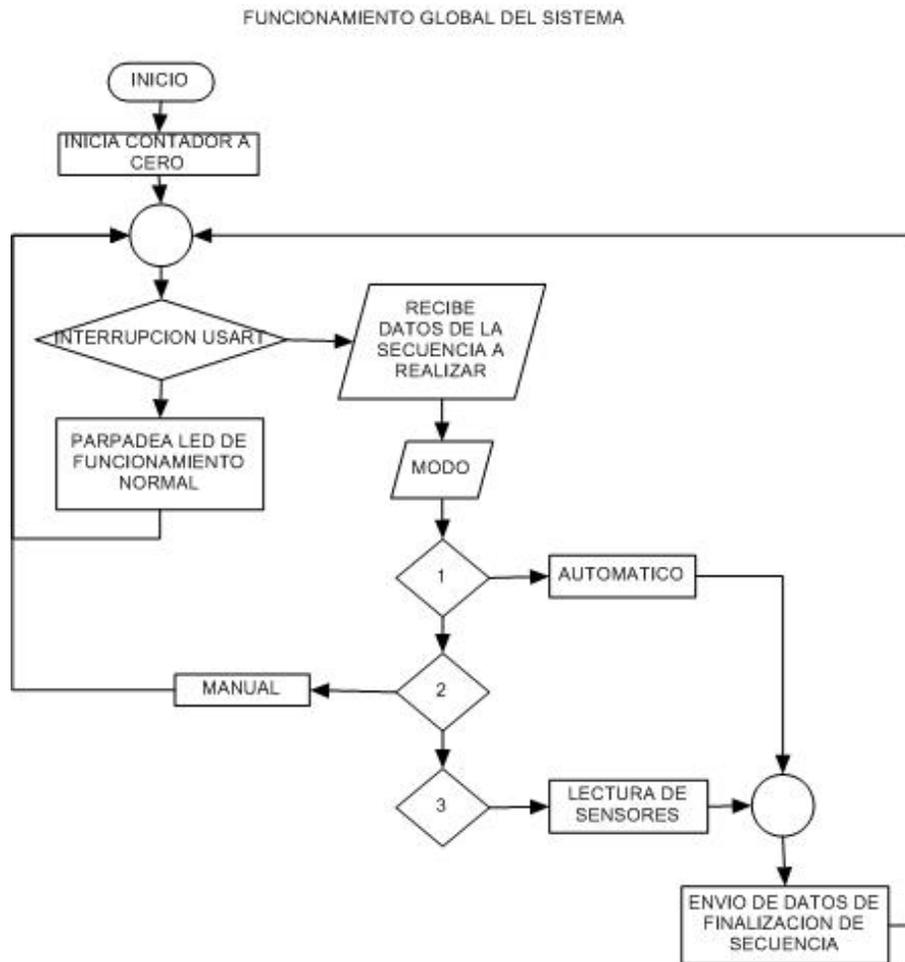
Figura 38. Simulación sensores de temperatura y presión.



## 7. RESULTADOS

El esquema general de funcionamiento se representa en la siguiente figura.

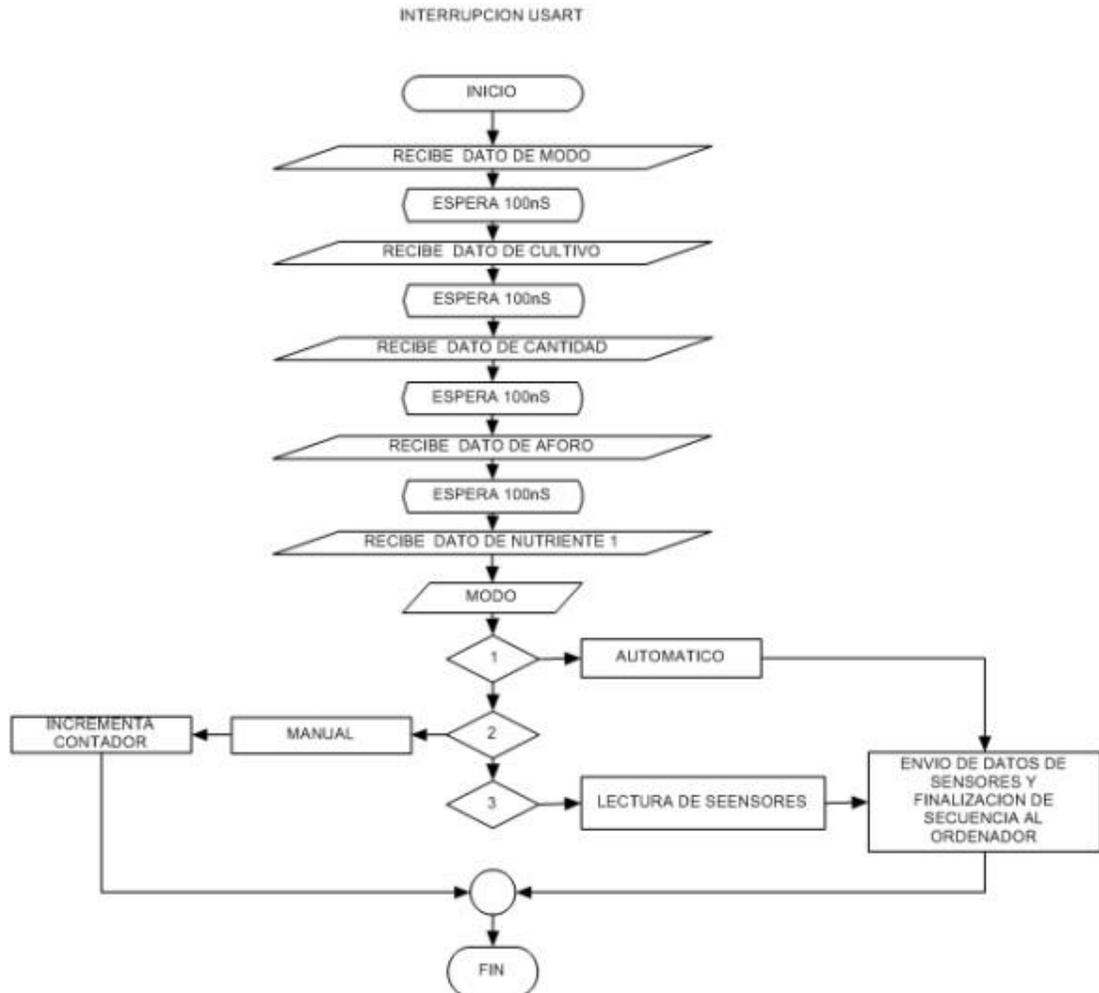
**Figura 39. Diagrama de flujo del sistema completo.**



En estado de espera, el microcontrolador genera un parpadeo de un led indicando funcionamiento normal y espera de datos. La comunicación del sistema se lleva a cabo a través de interrupción USART de manera asíncrona, una vez los datos enviados por el ordenador llegan al microcontrolador, se realiza una interrupción y se ejecuta la secuencia programada para los datos que ingresaron.

La siguiente figura ilustra el proceso desarrollado por el microcontrolador cuando entra en interrupción.

**Figura 40. Diagrama de flujo de la interrupción USART.**



Se puede observar que el microcontrolador recibe 5 datos donde el primer dato además de realizar la apertura de la comunicación, es el dato correspondiente al proceso a ejecutar (modo) el cuál puede tomar tres valores distintos 1, 2, ó 3, correspondientes a los modos, automático, manual y lectura de sensores. Los siguientes 4 datos se reciben cada 100ms para sincronizar el sistema y hacen referencia al número de cultivo, cantidad a suministrar, aforo y porcentaje del primer nutriente respectivamente.

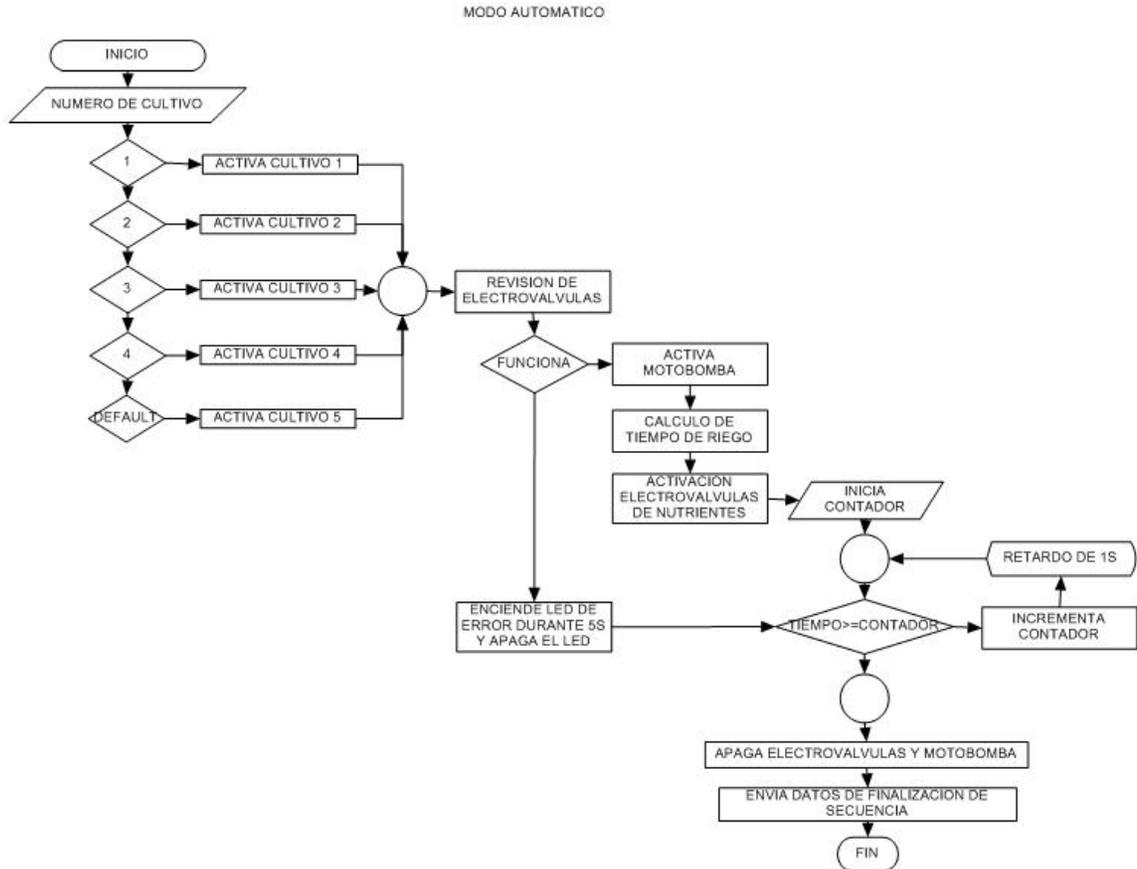
Las secuencias programadas para el modo son:

1. Modo automático
2. Modo manual
3. Lectura de sensores

A continuación se describe el funcionamiento de cada una.

## 7.1. MODO AUTOMATICO

Figura 41. Diagrama de flujo del modo automático.



En este modo de funcionamiento se utiliza el segundo dato correspondiente al número de cultivo al que se va a regar que puede tomar 5 valores, (1, 2, 3, 4 y 5), activando la electroválvula correspondiente al número ingresado. Una vez activa, se realiza una revisión de su estado para activar o no la motobomba. Este proceso se lleva a cabo como un método de protección de este equipo impulsor. Si todo funciona correctamente, se realiza el cálculo del tiempo a regar a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{cantidad (lt)}}{\text{aforo (lt/min)}} = \text{tiempo de riego (minutos)}$$

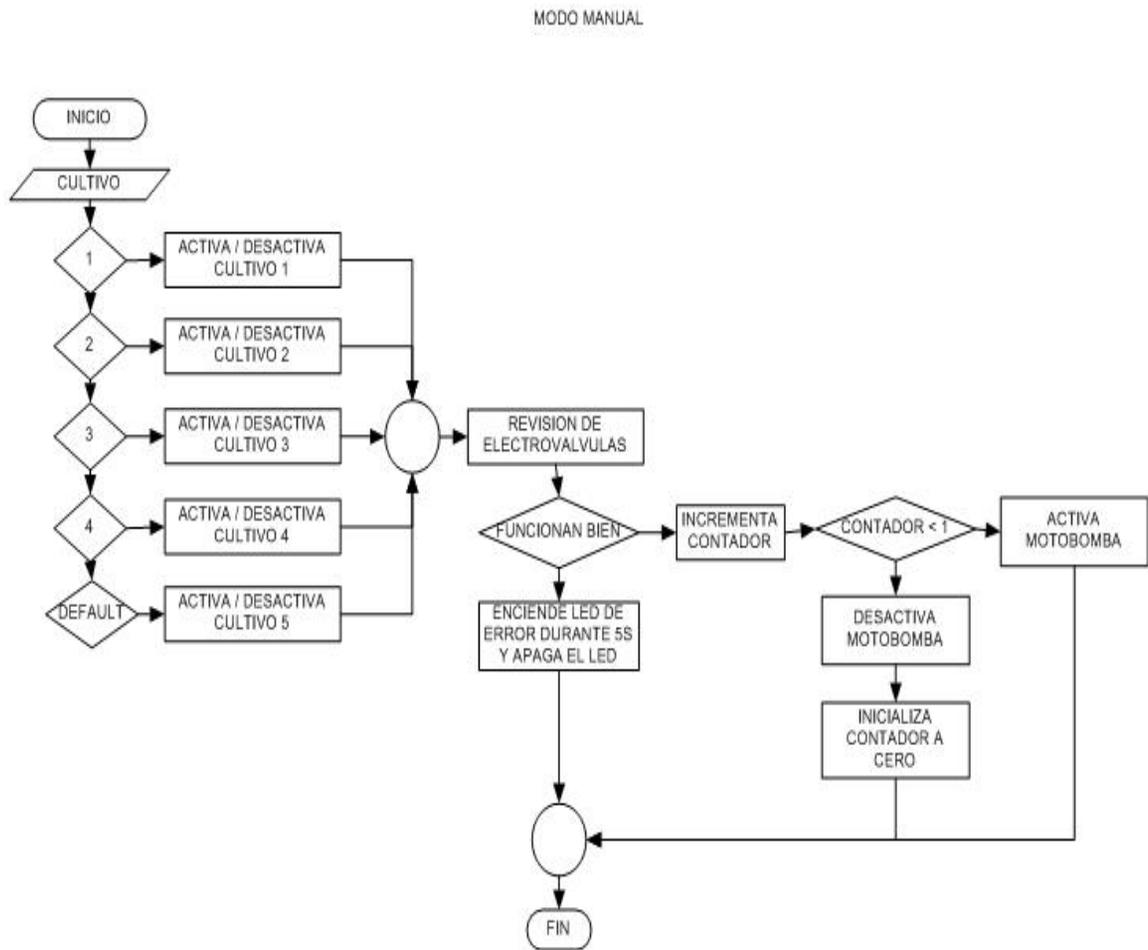
Por limitación del tamaño de los datos enviados y recibidos (8 bits), en primer lugar se obtiene la cantidad de tiempo de riego en minutos, pero como se requiere mayor precisión, se procede a realizar el cálculo de ese tiempo en segundos moviendo este nuevo valor a una variable de 16 bits. Valor obtenido a partir de la ecuación:

$$\text{tiempo de riego (minutos)} * 60 = \text{tiempo de riego en segundos}$$

A partir del conocimiento de la cantidad de tiempo se activan las electroválvulas de fertilización y esta secuencia continúa hasta que se agota el tiempo de riego, momento en el cual se apagan todos los actuadores y el microcontrolador sale de la interrupción entrando nuevamente al modo espera.

## 7.2. MODO MANUAL

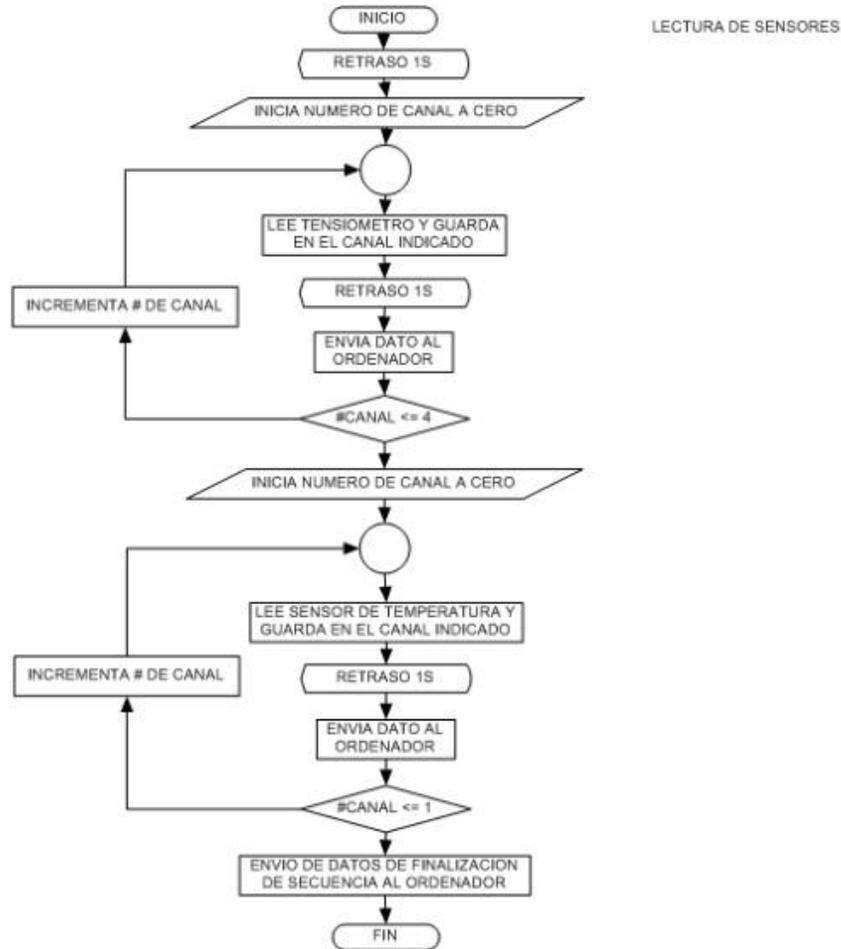
Figura 42. Diagrama de flujo del modo manual.



De igual forma que en el modo automático, se utiliza el número de cultivo para determinar a qué actuador va dirigida la acción. Sin embargo a diferencia del modo anterior, en éste caso el proceso de activación y desactivación lo maneja directamente el operario de manera asíncrona.

### 7.3. MODO LECTURA DE SENSORES

Figura 43. Diagrama de flujo lectura de sensores.



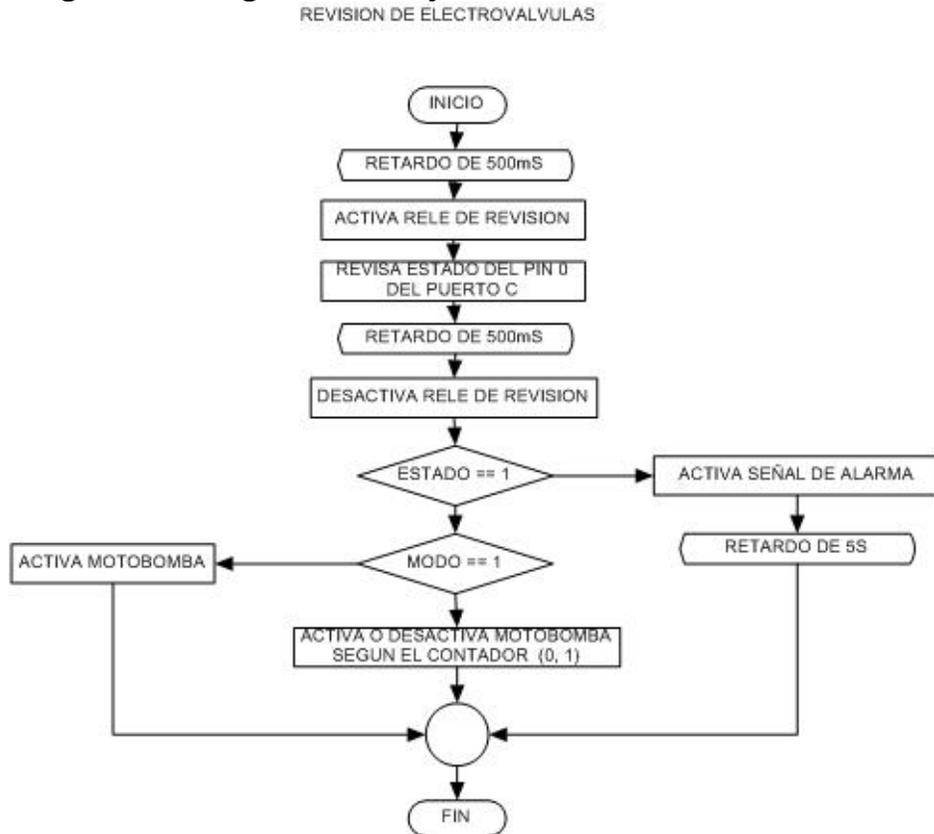
Par realizar esta acción, solo se tiene en cuenta el primer dato que debe ser el 3, en este modo solo se realiza la lectura de los 7 sensores y el envío de todos los datos obtenidos.

La lectura de datos inicia con la configuración del puerto como entradas analógicas, como el microcontrolador utilizado posee 5 canales analógicos, cada cultivo posee un canal propio para el sensor. Pero como los datos no pueden ser leídos y enviados al mismo tiempo, se realiza una secuencia de; lectura, retardo y envío, de manera ascendente correspondiente a cada canal. Una vez termina la lectura de los 5 canales correspondientes a los tensiómetros, se realiza una conmutación de un relé el cual aísla las señales de dos tensiómetros y conecta los canales ADC con las señales de los sensores de temperatura utilizando el método de la secuencia anterior pero esta vez solo para 2 canales.

## 7.4. SECCIONES AUXILIARES DEL SISTEMA

### 7.4.1. Revisión de electroválvulas.

Figura 44. Diagrama de flujo de revisión de electroválvulas

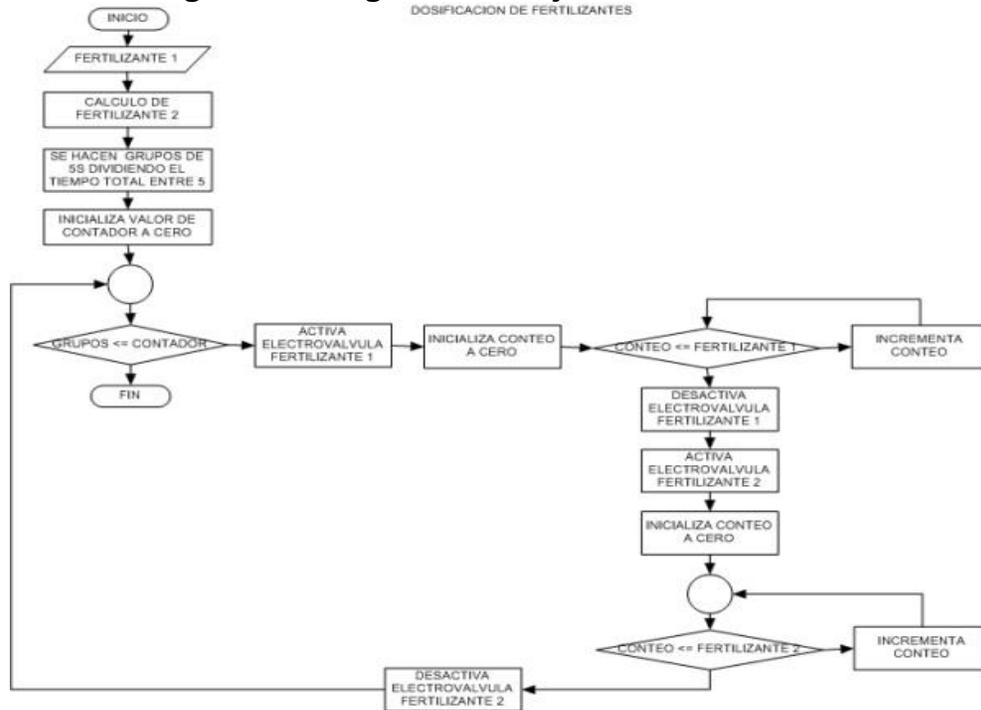


Esta sección se encarga de revisar el estado de las electroválvulas por medio de la desconexión temporal de la fuente de alimentación principal de los actuadores, desviando esta señal por medio de un relé a un optotransistor con colector abierto conectado a una de las entradas del microcontrolador configurada como entrada digital denominada estado, el funcionamiento planteado es el siguiente:

- Si estado es cero, la electroválvula está en buen estado. Todo el sistema continúa con el funcionamiento y la secuencia normal.
- Si estado es uno, la electroválvula está dañada. El microcontrolador activa una señal de alarma durante 5 segundos, (LED rojo) y termina el proceso.

## 7.4.2. Fertilización.

Figura 45. Diagrama de flujo de la fertilización



Para esta tarea, se tiene en cuenta el quinto dato correspondiente al fertilizante 1 el cual es un porcentaje referente a 5 segundos. El proceso a seguir es el siguiente:

- Se determina que tiempo de los 5 segundos corresponde al porcentaje ingresado y se activa la primera electroválvula.
- El periodo restante de los 5 segundos se asigna al tiempo de activación de la segunda electroválvula.

Este proceso se repite hasta que se cumple el tiempo de riego en modo automático hasta que se apaga en modo manual.

Como resultado final se obtuvo la implementación hardware y software mostrado en los siguientes anexos:

- Anexo 3. Diseño e implementación de la etapa de potencia y de control
- Anexo 4. Panel de Bloques del código en labVIEW
- Anexo 5. Firmware del microcontrolador.

Para información más detallada del desarrollo, se recomienda remitirse a los archivos digitales que acompañan este documento.

## **8. DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACION**

Una vez puesto en marcha el sistema de automatización del riego y fertirriego, y al observar el desempeño que éste tiene, se observan impactos de distinto orden, entre ellos se destacan:

### **8.1. IMPACTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL PROYECTO EN LAS ENTIDADES PARTICIPANTES**

- El sistema automatizado de riego y fertirriego constituye una interesante aplicación de desarrollo tecnológico que promueve el uso de la tecnología para mejorar la productividad en el sector agrícola según el experto en cultivos.
- El desarrollo del sistema da una visión de que es posible utilizar la electrónica para realizar aplicaciones que ayuden a solventar deficiencias o mejoren procesos en el campo de la agricultura.
- Es importante destacar los resultados que se pueden obtener cuando dos entidades como el SENA y la Universidad de Nariño unen esfuerzos para abordar problemáticas que son comunes a la región.

### **8.2. IMPACTOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y COMPETITIVIDAD DE LA ENTIDAD BENEFICIARIA O EL SECTOR RELACIONADO**

Según el personal encargado del cultivo de fresas con la implementación del sistema se obtiene:

- Mejora en la calidad de los productos, por el uso adecuado de agua y nutrientes que evita la generación de condiciones dañinas para el cultivo, como el exceso de humedad y sales.
- Más rápido desarrollo del cultivo, pues gracias a que ayuda a mantener la humedad dentro de la capacidad de campo y alejada del punto de marchites permanente, facilita el proceso de intercambio de gases con el ambiente y la generación de azúcares en las plantas.
- Con la implementación del sistema el Centro de Producción Limpia LOPE del SENA, reduciría el uso de tiempo de los operarios, además generaría una mejor racionalización de nutrientes que acarrea mayores ganancias económicas.
- Con el sistema puesto en marcha, el Centro Internacional de Producción Limpia LOPE espera generar nuevos conocimientos encaminados hacia la mejora en el uso de técnicas de cuidado de cultivos.

### **8.3. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y LA SOCIEDAD**

- Reducción en el consumo de recursos naturales como el agua, aproximadamente en un 40% comparado con el sistema de riego manual inicialmente instalado en el cultivo de fresas del invernadero de la finca LOPE.

- Mejora en la calidad del medio ambiente, por medio de la disminución de vertimiento de los nutrientes que en exceso causan salinidad o acidez en el campo donde es esparcido.
- Según el experto, disminución en el uso de insecticidas y fungicidas debido al control adecuado de humedad en los cultivos.

## 9. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El sistema total fue instalado en la finca LOPE y estuvo bajo la supervisión de los operarios durante cuatro meses, (entre Agosto y Noviembre de 2014), quienes se encargaron de realizar las pruebas respectivas correspondientes a los diferentes modos de funcionamiento, además de realizar algunas sugerencias en cuanto a mejoras en la interfaz de usuario para que el manejo del sistema sea más sencillo y más completo.

Entre los aspectos a destacar según el operario encargado del cultivo se listan los siguientes:

El desarrollo del proyecto propone una disminución de costos de mantenimiento y producción por ser realizado en ésta región, pues sistemas como estos a pesar de estar disponibles en el comercio nacional, solo los producen empresas extranjeras, razón que eleva los costos.

A diferencia de otros sistemas (Como es el caso del temporizador que controlaba el proceso inicialmente), que tan solo ofrecen un modo de funcionamiento, una opción adicional, es la posibilidad de tres modos de funcionamiento que el usuario puede utilizar para realizar estudios, o para generar producción. Adicionalmente, el sistema posee un protocolo de prueba de las electroválvulas para evitar daños en el sistema de bombeo por activación de la motobomba que produce un excesivo rozamiento de los tubos conductores y un gasto energético innecesario.

El sistema es capaz de manejar hasta 5 cultivos independientes, cada uno con sus parámetros de funcionamiento, que brinda la posibilidad de cuidar distintos productos al tiempo o un mismo producto en diferentes etapas de su vida productiva.

Además, el sistema utiliza un modo alternativo de fertilización con una tecnología bastante económica con relación a algunas que se venían utilizando en los procesos productivos, (inyectores), que además de ser fácil de manejar y ajustar por el usuario, cumple con la tarea que debe llevar a cabo el cual es permitir el ajuste de parámetros como la conductividad eléctrica y el pH de la solución nutriente que se va a suministrar al cultivo.

## 10. CONCLUSIONES

- Se cumple con el objetivo propuesto para este proyecto, pues se puede observar una dosificación más precisa, una notable disminución en la intervención del operario y un fortalecimiento en las labores académicas que este sistema puede apoyar.
- De acuerdo al criterio del experto en cultivos, la puesta en marcha del sistema, adicionalmente a los resultados esperados, disminuyó tareas de fumigación, ya que con el control de humedad, se pudo manejar el desarrollo de maleza y por ende la propagación de insectos y hongos, con lo que se produce una reducción adicional de costos de producción.
- En la institución donde se desarrolló el proyecto (finca LOPE SENA Pasto), el sistema es de gran importancia para el aprendizaje y la investigación porque permite la trazabilidad del manejo de las variables.
- Cuando funciona con tensiómetro, el sistema está en lazo cerrado por tal motivo, es más eficiente en el uso de los recursos pues realiza riego cuando realmente es necesario evitando que se llegue al punto de marchites.
- El sistema automatizado de riego y fertirriego en funcionamiento con tensiómetro, ayuda a mantener una dosificación eficiente de agua y nutrientes para proporcionar al cultivo una cantidad de humedad dentro del rango permitido.
- Con la implementación de la alternativa de dosificación de nutrientes, se logra un comportamiento similar a los inyectores utilizados en el invernadero automatizado que posee la institución.
- Según la experiencia del operario con la inyección de dos fertilizantes en un mismo impulso de riego, se evita el taponamiento de los orificios de salida de la manguera utilizada para el suministro de riego por goteo.
- La alternativa sugerida para la inyección de los dos fertilizantes utiliza un solo sistema Venturi, pues según el experto, el uso de dos o más, reduce la presión del cabezal de bombeo que causa errores en la equidad de la distribución del riego.

## 11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de microcontroladores PIC, pues se encuentra muy bien documentados, además posee los recursos necesarios para el desarrollo de esta clase de sistemas, como son conversores ADC, comunicación USART, y un buen número de entradas y salidas digitales.
- Es recomendable el uso del software LabVIEW para el desarrollo de interfaces de sistemas de control, pues posee gran cantidad de librerías que facilitan la programación y procesamiento de datos.
- Para mayor control y desarrollo de estudio, es recomendable el uso de mayor cantidad de sensores, como es el caso del medidor de pH y de conductividad que permiten verificar el estado de la solución nutriente.
- Se recomienda el uso de un sensor de humedad con mayor velocidad de respuesta a la obtenida con el tensiómetro, para lograr un control en tiempo real.
- En cuanto al montaje del prototipo, a pesar de estar disponibles interruptores de estado sólido que pueden realizar algunas funciones que el sistema requiere, los relés, aportan mejores respuestas en cuanto al aislamiento total de señales, tal es el caso de las señales provenientes de los sensores, además de una rápida verificación de funcionamiento por medio de señales audibles.
- En sistemas microcontrolados, es indispensable el uso de redes snubber tanto para activación de cargas inductivas AC como DC, pues esto impide la generación de reacciones indeseadas del sistema.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO Dueñas Rodolfo, CASTELLANOS GiovaniniDayanna, MEDINA Cruz Mauricio  
“Automatización de Sistema de Riego para el Cultivo de Flores Tipo Exportación”  
internet: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis90.pdf>

ANGULO USATEGUI José María, ROMEROO YESA, Susana y ANGULO MARTÍNEZ Ignacio  
MICROCONTROLADORES PIC. Diseño práctico de aplicaciones.

ARBOLEDA CASTAÑO Ángela M., CORTES ROJAS Oscar E.  
“Sistema De Instrumentación Para Un Invernadero” internet:  
[http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistadyp/archivo/edicion\\_5/Articulos/5ta%20Edicion/articulo\\_invernadero.pdf](http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistadyp/archivo/edicion_5/Articulos/5ta%20Edicion/articulo_invernadero.pdf)

BALDOMERO H. Nicolás, “Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.)  
Hidropónico con sustratos, bajo invernadero” internet:  
[http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/779/1/TESIS\\_MAESTRIA\\_BALDOMERO.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/779/1/TESIS_MAESTRIA_BALDOMERO.pdf)

BOLTON William, Ingeniería de Control, México D.F., Alfaomega, 2001, p 225 – 236.

DIARIO DEL AGRO, “Cultivos Hidropónicos” internet:  
<http://www.diariodelagro.cl/cultivos-hidroponicos>

GARCÍA BREIJO, Eduardo. Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para  
microcontroladores PIC. Barcelona, Marcombo S.A., 2008, 267 paginas

LARA Vizcaino, José Rafael, PELEGRÍ Sebastiá, José. LabVIEW entorno gráfico  
de programación. Barcelona, Marcombo S.A., 2007, 370 paginas.

MAZZONE Virginia, “Controladores PID”, internet:  
(<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>).

MICROCHIP.PIC16F7X, DATA SHEET, 28/40-PIN 8-bit CMOS-FLASH  
Microcontrollers, 2002.

MORILLA GARCÍA Fernando, “El Controlador PID”, internet:  
(<http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/EI%20controlador%20PID.pdf>).

PALLÁS ARENY Ramón, Adquisición y Distribución de Señales, Barcelona, Marcombo  
S.A., 1993, p 27- 67.

RESH Howard M., Cultivos hidropónicos: Nuevas técnicas de producción, Madrid-España,  
Artes Gráficas Cuesta S.A., 2001, p 116.

REYES RIVAS Claudia, SANDOVAL ARÉCHIGA Remberto, VILLELA VARELA Rafael,  
“Automatización de un Sistema de Riego”, internet:

(<http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/ricvol3num1/Ingenieria/Automatizaciondeunsistemaderiego.pdf>).

RÍOS GONZALES Pedro, "Automatización del Riego en Sustratos", internet: ([http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/133/Rios\\_Gonzalez\\_P\\_MC\\_Hidrociencias\\_2010.pdf?sequence=1](http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/133/Rios_Gonzalez_P_MC_Hidrociencias_2010.pdf?sequence=1)).

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA), "Uso de fertilizantes" Internet: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Uso%20de%20Fertilizantes.pdf>, P 2,8

SENA VIRTUAL. Servicios De Automatización, "Material de Estudio Semana 1, La Automatización" internet: <http://www.senavirtual.org>.

### 13. ANEXOS

#### Anexo 1.Lixiviados generados por riego manual

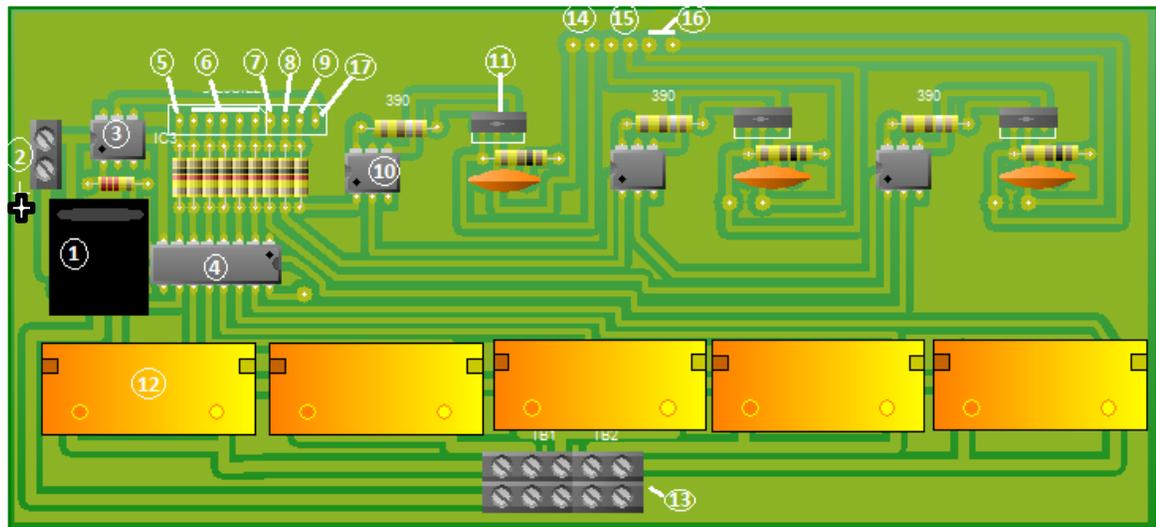
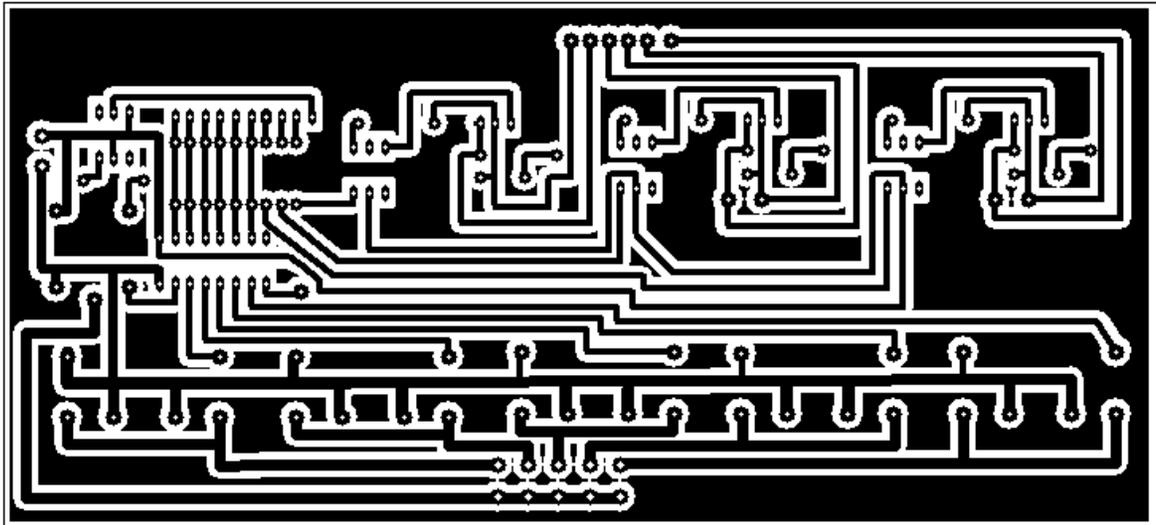


## Anexo 2. Amarillamiento y marchitez de plantas por riego manual



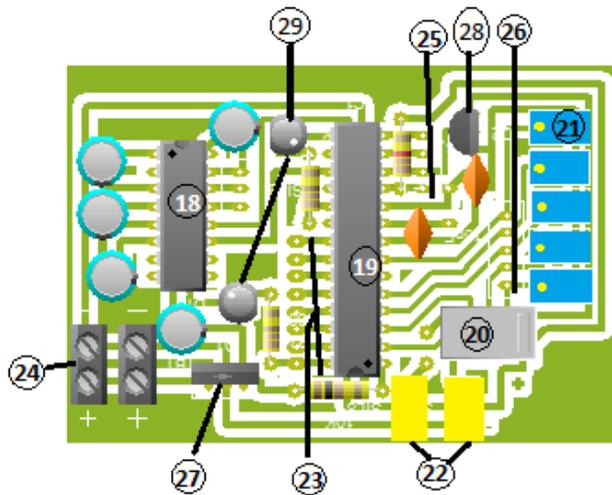
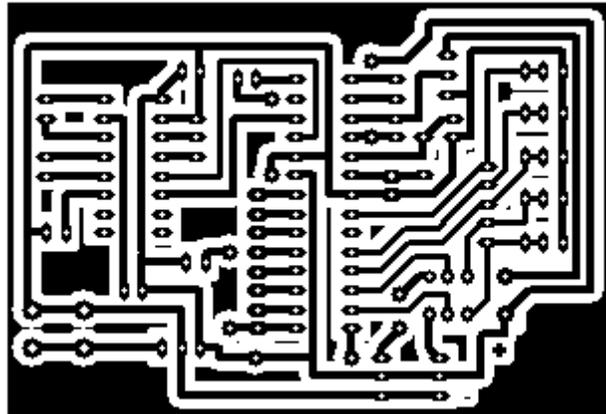
### Anexo 3. Diseño e implementación

Implementación de la etapa de potencia, etapa de control y sensado de temperatura del sistema. Realizada en PCB Wizard.



1. Relé de revisión de electroválvulas.
2. Alimentación de etapa de potencia.
3. Optotransistor 4N25.
4. ULN2803.
5. Activación de relé de revisión de electroválvulas pin B6.
6. Activación de electroválvulas DC de los cultivos pines B5-B1.
7. Activación de contactor de motobomba pin B0.
8. Activación electroválvula AC fertilizante 1 pin C2.
9. Activación electroválvula AC fertilizante 2 pin C3.

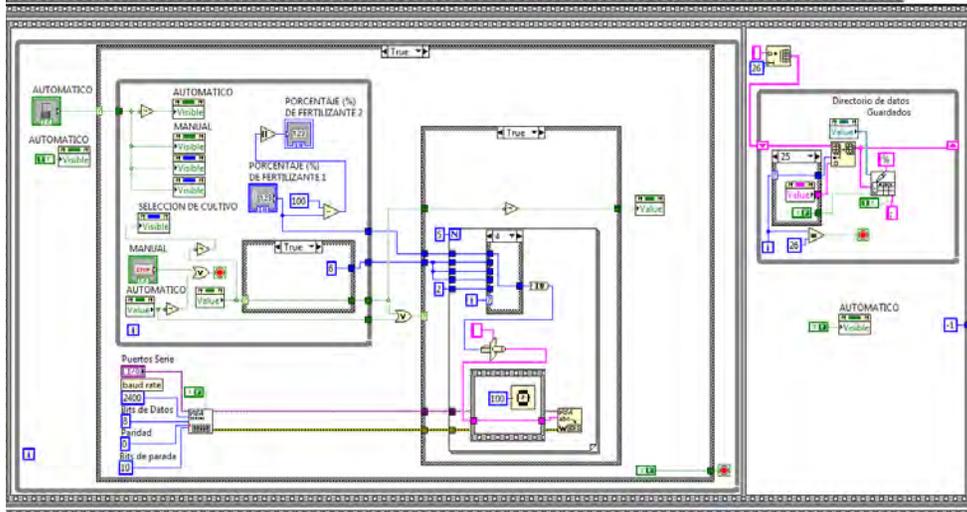
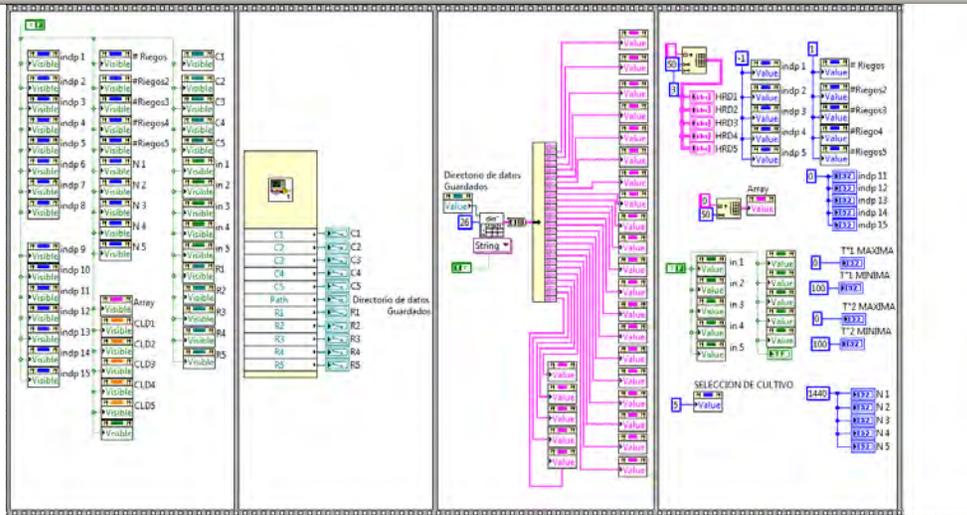
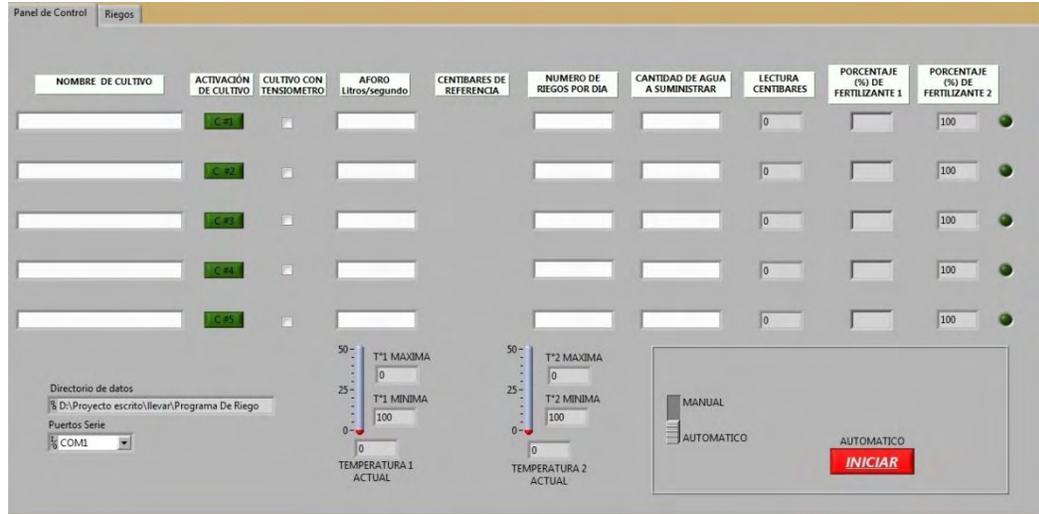
- 10. MOC 3041.
- 11. TRIAC BT 139-800
- 12. Relé de manejo de electroválvula de cultivo.
- 13. Conexiones para electroválvulas del cultivo 5 al 1.
- 14. Conexión electroválvula fertilizante 2.
- 15. Conexión electroválvula fertilizante 1.
- 16. Conexión contactor de motobomba.
- 17. Señal de estado de electroválvulas pin C0.

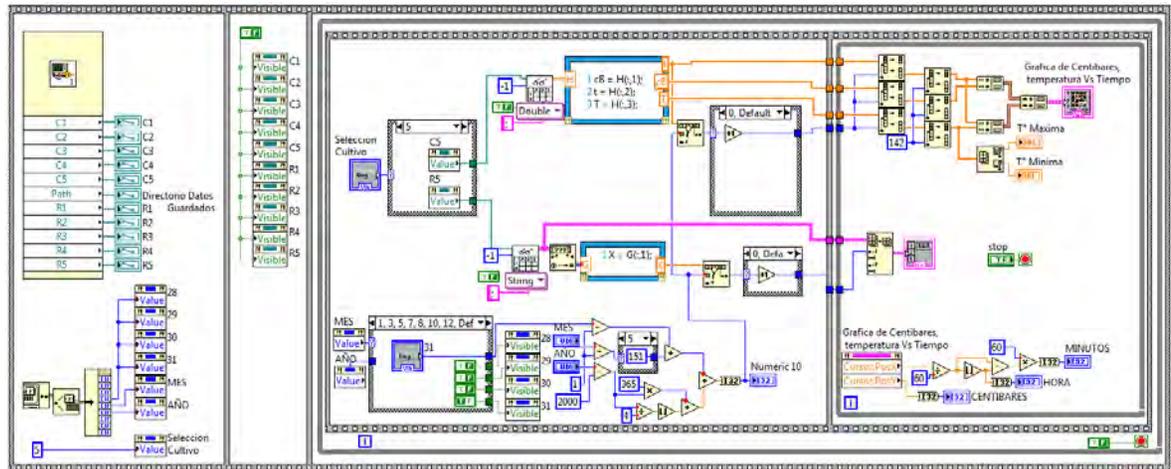
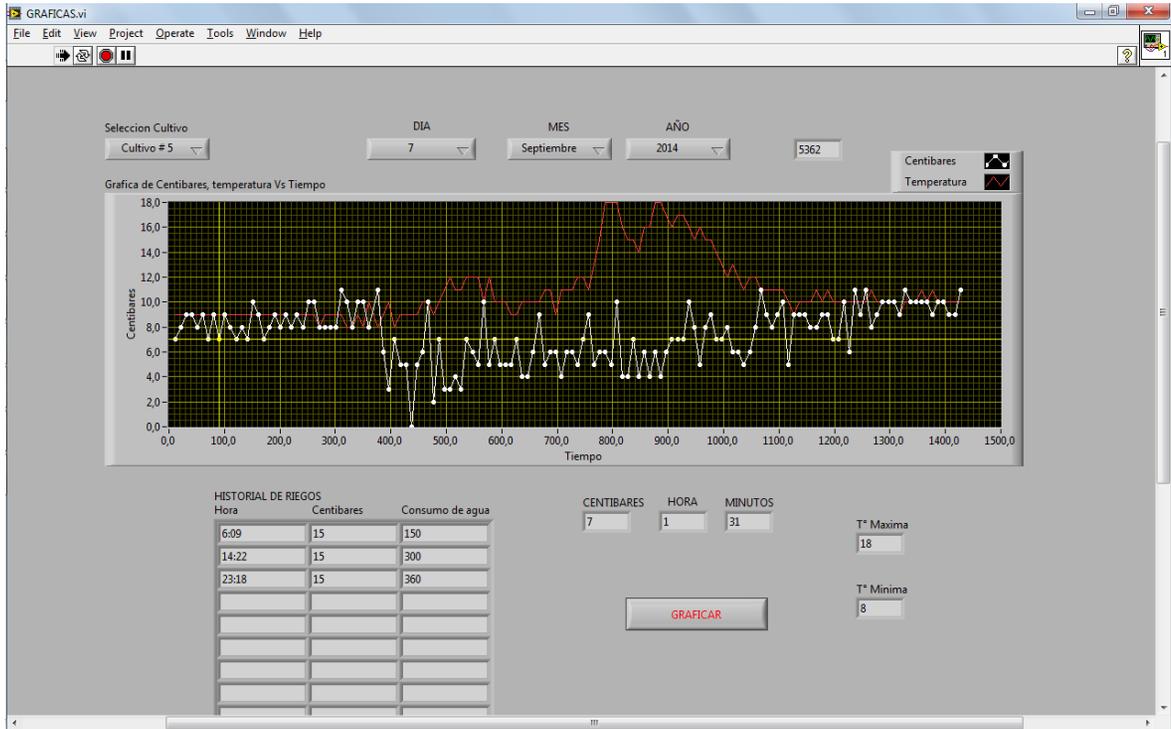


- 18. MAX 232.
- 19. Microcontrolador PIC 16F73A.
- 20. Relé de conmutación de señales de tensiómetro y transductor de temperatura.
- 21. Trimmer de ajuste de señal del tensiómetro.
- 22. Conexión para transductores de temperatura.
- 23. Salidas del puerto B del microcontrolador para conexión a la tarjeta de potencia.
- 24. Alimentación de la placa de control.



## Anexo 4. Interfaz de usuario y graficas con su respectivo diagrama de bloques de código fuente.





## Anexo 5. FIRWARE del microcontrolador

```
#include<16f73.h>           // Definición del Microcontrolador a utilizar
#device adc=8              // Selección de la Resolución del ADC
#fuses XT,NOWDT,PROTECT,BROWNOUT,PUT // Palabra de configuración
#use delay (clock = 4000000) // Frecuencia de oscilador
#use rs232(baud= 2400,xmit=pin_c6, rcv=pin_c7, bits=8,disable_ints)
// Configuración de la comunicación serie
#byte trisc=0x87
#byte portc=0x07
#byte trisb=0x86
#byte portb=0x06 // Declaración de dirección de puertos del microcontrolador
#byte trisa=0x85
#byte porta=0x05
int modo;
int cultivo;
float cantidad;
float aforo;
float tiempo;
float x=0.0;
inttension; // Declaración de variables
int temperatura;
int canal;
int fertilizante;
int fertilizante2;
int estado;
float grupos;
int resto;
int y=0;

void compara() { //Revisa estado de las electroválvulas para activar o no la
motobomba
delay_ms(500);
estado = input_state(PIN_C0);
delay_ms(500);
output_low(PIN_B6);
if (estado == 0) {
delay_ms(50);
if (modo == 1)
output_high(PIN_B0);
else
output_toggle(PIN_B0);
}else {
output_high(PIN_C4);}
}
```

```

#int_rda
rda_isr()
{
modo = getc(); //Selección de modo de funcionamiento 1_automático,
2_manual, 3_lectura de tensiómetros y sensores de temperatura
delay_ms(100);
cultivo = getc(); //Selección de cultivo a regar C1_C2_C3_C4_C5
delay_ms(100);
cantidad = getc(); //Cantidad en litros a suministrar
delay_ms(100);
aforo = getc(); //Velocidad en litros por segundo con la que se suministra el
cultivo
delay_ms(100);
fertilizante = getc(); //Porcentaje de tiempo a suministrar el fertilizante
delay_ms(1000);

switch (modo){
case 1: //Modo automático por temporización o con tensiómetro
output_high(PIN_B6);
switch(cultivo){
case 1:
output_high(PIN_B1); // Activa electroválvula cultivo 1
compara();
break;
case 2:
output_high(PIN_B2); // Activa electroválvula cultivo 2
compara();
break;
case 3:
output_high(PIN_B3); // Activa electroválvula cultivo 3
compara();
break;
case 4:
output_high(PIN_B4); // Activa electroválvula cultivo 4
compara();
break;
default:
output_high(PIN_B5); // Activa electroválvula cultivo 5
compara();
break;}
break;
case 2: //Modo manual
output_high(PIN_B6);
switch(cultivo){

```

```

case 1:
output_toggle(PIN_B1); //Activa ó desactiva electroválvula cultivo 1
compara();
break;
case 2:
output_toggle(PIN_B2); //Activa ó desactiva electroválvula cultivo 2
compara();
break;
case 3:
output_toggle(PIN_B3); //Activa ó desactiva electroválvula cultivo 3
compara();
break;
case 4:
output_toggle(PIN_B4); //Activa ó desactiva electroválvula cultivo 4
compara();
break;
default:
output_toggle(PIN_B5); //Activa ó desactiva electroválvula cultivo 5
compara();
break;}
break;
case 3: //Lectura de tensiómetros y sensores de temperatura
canal=0;
for (x=0.0;x<=4.0;x+=1.0){
set_adc_channel(canal); //Selecciona del tensiómetro de cada cultivo
delay_ms(20);
tension=read_adc(); //Lectura del dato proveniente del tensiómetro
respectivo
delay_ms(20);
putc(tension); //Envío de la lectura de la presión del tensiómetro
respectivo
delay_ms(960);
delay_ms(1);
canal+=1;}
delay_ms(1);
portc=0x83;
delay_ms(1);
canal=0;
delay_ms(1);
x=0.0;
for (x=0.0;x<=1.0;x+=1.0){
set_adc_channel(canal); //Selección el sensor de temperatura
delay_ms(20);
temperatura=read_adc(); //Lectura de datos del sensor de temperatura
delay_ms(20);

```

```

putc(temperatura);           //Envío de la lectura del sensor
delay_ms(960);
canal+=1;}
portc=0x81;
break;
break;
default:

break;
}
if (estado == 1) {           //Si existe error de funcionamiento de electroválvulas,
for(x=0.0;x<=5.0;x+=1.0){ //El sistema se interrumpe y da una señal de aviso por 5
segundos.
delay_ms(1000);
}
output_low(PIN_C4);         //Señal de aviso de error de electroválvula
if (modo==2) {
goto val2;
}
goto val1;
}
if (modo==3) {              //Selección de secuencia si se pide solo lectura de
sensores
goto val1;
}
if (modo==2) {              //Selección de secuencia si se pide activación manual del
sistema
goto val2;
}

tiempo      = (cantidad/aforo);           //Cálculo de tiempo a mantener
encendido el sistema en minutos
tiempo      = (60*tiempo);                //Cálculo del tiempo en segundos
fertilizante2 = (100 - fertilizante);      //Cálculo de la proporción del segundo
fertilizante
grupos      = (tiempo/5);
resto       = (tiempo-(grupos*5));
resto       *= 1000;

if (fertilizante >= 100) {
for(x=0.0;x<=tiempo;x+=1.0){
delay_ms(1000);
}
}
else {

```

```

for(x=0.0;x<=grupos;x+=1.0) { //Tiempo de riego con fertilizantes
output_high(PIN_C2);
for(y=0;y<=fertilizante;y+=1) { //Suministro primer fertilizante
delay_ms(50);
}
output_low(PIN_C2);
delay_ms(20);
output_high(PIN_C3);
for(y=0;y<=fertilizante2;y+=1) { //Suministro segundo fertilizante
delay_ms(50);
}
output_low(PIN_C3);
delay_ms(20);
}
delay_ms(resto);
}
val1: delay_ms(2000);
putc(0x08); //Mensaje de finalización de proceso a la interfaz de usuario en
LabView
delay_ms(100);
portb=0x00;
val2: enable_interrupts(int_rda);
enable_interrupts(global);
}

voidmain() { //Configuración inicial del microcontrolador
trisb=0x00;
portb=0x00;
trisa=0x3f;
porta=0x00; // Configuración de puertos como entradas y salidas
trisc=0x81;
portc=0x81;
enable_interrupts(int_rda); // Activación de interrupción por comunicación serial
enable_interrupts(global); // Activación global de interrupciones
setup_adc_ports(ALL_ANALOG); // Configuración de pines analógicos
setup_adc(adc_clock_internal); // Configuración de reloj para conversión AD

for(;;){ // Inicio en modo de reposo
output_toggle(PIN_B7);
delay_ms(700);
}
}

```



# PIC16F7X

## 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F73
- PIC16F74
- PIC16F76
- PIC16F77

### High Performance RISC CPU:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Pinout compatible to the PIC16F873/874/876/877
- Interrupt capability (up to 12 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- Processor read access to program memory

### Special Microcontroller Features:

- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins

### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 8-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I<sup>2</sup>C™ (Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI)
- Parallel Slave Port (PSP), 8-bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

### CMOS Technology:

- Low power, high speed CMOS FLASH technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Industrial temperature range
- Low power consumption:
  - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Device	Program Memory (# Single Word Instructions)	Data SRAM (Bytes)	I/O	Interrupts	8-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	SSP		USART	Timers 8/16-bit
							SPI (Master)	I <sup>2</sup> C (Slave)		
PIC16F73	4096	192	22	11	5	2	Yes	Yes	Yes	2 / 1
PIC16F74	4096	192	33	12	8	2	Yes	Yes	Yes	2 / 1
PIC16F76	8192	368	22	11	5	2	Yes	Yes	Yes	2 / 1
PIC16F77	8192	368	33	12	8	2	Yes	Yes	Yes	2 / 1

## LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

### 1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full –55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 V to 30 V
- Less than 60-μA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only ±¼°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

### 2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

### 3 Description

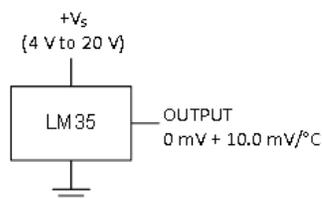
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full –55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 μA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a –55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a –40°C to 110°C range (–10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

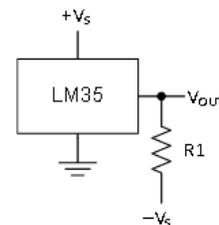
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm × 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

#### Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



#### Full-Range Centigrade Temperature Sensor



Choose  $R_1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$   
 $V_{\text{OUT}} = 1500 \text{ mV at } 150^\circ\text{C}$   
 $V_{\text{OUT}} = 250 \text{ mV at } 25^\circ\text{C}$   
 $V_{\text{OUT}} = -550 \text{ mV at } -55^\circ\text{C}$



## Tensiómetro SF-Tens con salida 4-20mA

### Mediciones del potencial hídrico del suelo

Conocer el contenido de humedad del suelo es tan importante como el riego.

El Tensiómetro es la medición de humedad del suelo estándar en precisión, ofreciendo a los productores un medio no costoso y fiable de medición de humedad del suelo para la programación del riego. El Tensiómetro mide la tensión actual de humedad del suelo, lo que indica el esfuerzo requerido por parte de las raíces para extraer el agua del suelo.

Ya que el sensor es un verdadero medidos de potencial hídrico del suelo, el instrumento no se ve afectado por salinidad y no requiere de calibración.

El Tensiómetro está disponible en diferentes modelos, con longitudes estándar de 6", 12", 18", 24", 36" o 48" dependiendo de la profundidad de las raíces del cultivo. Si se solicita, están disponibles longitudes mayores.

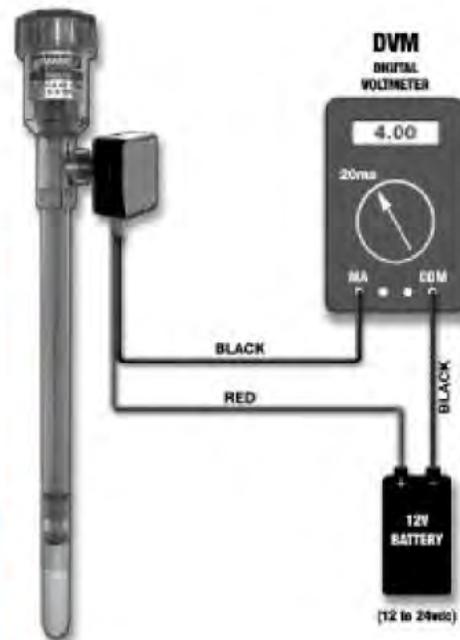
#### Aplicaciones

Riego, suelo, estudios de sustratos, jardinería, conservación del agua...

De bajo coste y baja energía. De fácil instalación y conexión a todo tipo de sistemas electrónicos de dataloggers, riegos, controladores, etc.

Especificaciones	
Suministro de energía	12- 24 V dc,
Salida	4-20 mA
Alcance (depende del modelo)	0-93 cbar o kPa
Longitud del cable	3 m

Conexiones	
Negro	Salida (4-20 mA) (0-93 cbar o kPa) Dependiendo del modelo
Rojo	Suministro de energía(12 a 24 V, dc)



## CÁLCULO DE VOLÚMENES DE AGUA PARA RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE MELÓN EN LA PLANICIE HUASTECA

Horacio Mata Vázquez<sup>1</sup>  
Roberto del Ángel Sánchez<sup>2</sup>

### INTRODUCCIÓN

En la Planicie Huasteca, recientemente se han implantado sistemas de riego presurizado, por goteo y aspersión; principalmente en hortalizas, caña de azúcar y frutales. Actualmente, se estima que existen 26,000 hectáreas con estos sistemas; de las cuales, más de 6,000 hectáreas han sido apoyadas por el Programa de Fertilización de la "Alianza para el Campo"; y el resto se han equipado con recurso del productor. Se establecen mil ha con melón y la mayoría es con riego por goteo. Esta superficie requiere de apoyo tecnológico en el manejo de la fertilización para aprovechar los beneficios de dicha técnica, principalmente en el aspecto del manejo del agua de riego, que actualmente es y será en el futuro el recurso más escaso para la producción de alimentos.

El conocimiento de los requerimientos hídricos del cultivo de melón, es de vital importancia para un manejo racional y eficiente del agua de riego, para que el cultivo no sufra de estrés por limitaciones de agua durante su desarrollo que disminuyan su potencial productivo.

El objetivo de este documento es dar a conocer una metodología para estimar el volumen y frecuencia de riego para la

<sup>1</sup> Dr. Investigador del Campo Exp. Sur de Tamaulipas. CIRNE-INIFAP.  
<sup>2</sup> M. C. Investigador del Sitio Experimental Ébano. CIRNE-INIFAP

producción del cultivo de melón y su uso en sistemas de fertilización.

### DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

El método del "Cociente de Evaporación" para calcular los requerimientos hídricos de un cultivo es el más sencillo, que aunque menos preciso solo requiere de:

- Datos de evaporación diaria registrados en un tanque evaporímetro clase "A" (de fácil construcción) disponibles en la estación climatológica más cercana.
- Datos del coeficiente de desarrollo estacional del cultivo Kc, que para el cultivo de melón son:

#### Coefficiente de desarrollo estacional (Kc) del cultivo de melón.

Etapas de desarrollo	Kc
Transplante	0.45
Inicio de ramificación	0.55
Primeros frutos amarrados	0.90
Primeros frutos maduros	1.00
Finales de cosecha	0.75

Estos datos se substituyen en la siguiente fórmula para obtener la evaporación del cultivo:

#### Cálculo de evaporación del cultivo (ETc)

$$ETc = Eto \times FT \times Kc$$

Donde:

ETc: Evaporación del cultivo.

Eto: Evaporación de Tanque evaporímetro.

FT: Factor de Tanque = 0.8

Kc: Coeficiente de desarrollo del cultivo.

#### Lámina de riego (L.R.)

Con el resultado de la fórmula anterior se calcula la lámina y volumen de riego, mediante las formulas siguientes:

$$\text{Lámina de riego} = ETc / \text{eficiencia de riego} (0.9 \text{ para goteo})$$

$$\text{Volumen} = \text{Lámina riego por área de cultivo de agua.}$$

#### Ejemplo:

**Volumen de agua a aplicar, para reponer el agua perdida por la evapotranspiración del cultivo**

Considerando un día cualquiera con una evaporación de 5 mm y a los 80 días de desarrollo (Kc = 0.9), se procede a calcular la evapotranspiración del cultivo de la siguiente manera:

#### Datos:

- 1-00 ha de melón.
- Riego por goteo con cintilla.
- ETc = 5 mm (descontar mm de lluvia, si esta ocurre).
- Factor de evaporímetro = 0.8
- Coeficiente de desarrollo del cultivo Kc = 0.9 (Según cuadro).

Substituyendo se tiene:

#### Evapotranspiración del cultivo:

$$ETc = ETo \times FT \times Kc = 5 \text{ mm} \times 0.8 \times 0.9 = 3.6 \text{ mm}$$

#### Lámina de riego (L.R.)

$$L.R. = ETc / \text{eficiencia de riego goteo} (0.9) =$$

$$3.6 \text{ mm} / 0.9 = 4.0 \text{ mm}$$

$$\text{Como L.R.} = 4.0 \text{ mm} = 0.0040 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de agua} = L.R. \times \text{Área (m}^2\text{)}$$

$$\text{Volumen} = 0.0040 \text{ m} \times 10,000 \text{ m}^2 = 40 \text{ m}^3.$$

$$\text{Como } 1 \text{ m}^3 = 1,000 \text{ litros de agua}$$

$$\text{Entonces: } 40 \text{ m}^3 = 40,000 \text{ litros}$$

## Anexo 7. Evidencias de entrevistas



## **La Solución Nutritiva, Nutrientes Comerciales, Formulas completas.**

Por: Pedro Hernán Llanos Peada [www.walcoagro.com](http://www.walcoagro.com)

### **1. Título del trabajo:**

**Formulaciones Comerciales, Formulas completas.**

### **2. Que es la solución Nutritiva**

En los cultivos Hidropónicos todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua para preparar la solución de nutrientes. La elección de las sales que deberán ser usadas depende de un elevado número de factores. La proporción relativa de iones que debemos añadir a la composición se comparará con la necesaria en la formulación del nutriente; por ejemplo, una molécula de nitrato potásico  $\text{KNO}_3$  proporcionará un ión de potasio  $\text{K}^+$  y otro ión de nitrato  $\text{NO}_3^-$ , así como una molécula de nitrato cálcico  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  nos dará un ión cálcico  $\text{Ca}^{++}$  y dos iones de nitrato. Las diferentes sales fertilizantes que podemos usar para la solución de nutrientes tienen a la vez diferente solubilidad, es decir, la medida de la concentración de sal que permanece en solución cuando la disolvemos en agua; si una sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de esta se disolverá en el agua. En los cultivos hidropónicos las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas. Por ejemplo el Calcio puede ser suministrado por el nitrato cálcico o por el sulfato cálcico; este último es más barato, pero su solubilidad es muy baja; por tanto, el nitrato cálcico deberá ser el que usemos para suministrar la totalidad de las necesidades de Calcio. El costo de un fertilizante en particular deberá considerarse según como vaya a utilizarse; en general., deberá usarse lo que normalmente se denomina como grado técnico, donde el costo es más alto que una cantidad agrícola, pero la solubilidad es mucho mayor.

### **3. El inicio de las soluciones nutritivas**

Mucho tiempo y esfuerzo ha sido empleado en la formulación de soluciones nutritivas. Muchas soluciones composiciones han sido exitosamente estudiadas pero algunas pueden diferir de otras en la relación de su concentración y combinación de sales, aunque las búsqueda de tal "mejor" o "balanceado" elixir de la vida de las plantas es temario de dedicación y tiempo (Homes, 1961, 1963 Shive 1915; Shive y Martin, 1918).

Debe haber por lo menos tres elementos macronutrientes presentes en el medio nutritivo en forma de cationes, ellos son; Potasio, Calcio y Magnesio. Los tres aniones macronutrientes son Nitratos, Fosfatos y Sulfatos. Todos los elementos macronutrientes deben por lo tanto ser suministrados por tres sales, por ejemplo; Nitrato de potasio, Fosfato de calcio y Sulfato de magnesio. En adición a los elementos mayores o macronutrientes, una concentración apropiada