

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA  
NFT PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS”**



TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
“INGENIERO ELECTRÓNICO”

PRESENTADO POR : SAÚL ADRIÁN INCA SANCHEZ

LIMA – PERÚ- 2013

# INDICE

Capítulo 1 : Introducción.....	6
1.1 Marco Situacional.....	6
1.2 Problematización .....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivos Generales.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Importancia.....	7
Capítulo 2 : La Hidroponía.....	8
2.1 Introducción.....	8
2.2 Conceptos Generales .....	8
2.3 Perspectivas y Futuro .....	8
2.4 Ventajas y Desventajas.....	9
2.5 Sistemas Hidropónicos .....	10
2.6 Sistema NFT .....	11
2.6.1 Concepto.....	11
2.6.2 Sistemas NFT implementados en PERÚ .....	12
2.7 Componentes del sistema NFT .....	14
2.8 Solución Nutritiva .....	15
2.8.1 El pH de la Solución Nutritiva .....	16
2.8.2 Conductividad Eléctrica .....	18
2.8.3 Oxígeno Disuelto.....	19
2.8.4 Temperatura.....	20
2.9 Método de Control Tradicional del Sistema NFT .....	20
Capítulo 3 : Herramientas para el Sistema de Control .....	22
3.1 LabVIEW .....	22
3.2 Características del software LabVIEW .....	23
3.3 Instrumentos Virtuales (VI).....	24

3.3.1 Panel Frontal (Front panel).....	25
3.3.2 Diagrama de bloque (Block diagram) .....	26
3.4 Barra de Herramientas de Estado .....	27
3.5 Paleta de Controles: .....	29
3.6 Paleta de Funciones: .....	30
3.7 Tipos de datos .....	31
3.7.1 Datos Booleanos (Booleano).....	31
3.7.2 Numeric(Numérico) .....	31
3.7.3 Strings (Alfanuméricos) .....	32
3.8 Sub rutina o Sub VI .....	33
3.9 Estructuras de Ejecución .....	33
3.9.1 While Loop (Ciclo While).....	33
3.9.2 Estructura For Loop (Ciclo For).....	34
3.9.3 Case Structure (Estructura Caso).....	35
3.9.4 Sequence Structure(Estructura Secuencia).....	36
3.9.5 Registro de desplazamiento .....	36
3.9.6 Arreglos , Indexado y Cluster.....	37
3.10 Indicadores Gráficos: Graph y Charts .....	39
3.10.1 Indicadores Chart.....	39
3.10.2 Indicadores Graph .....	41
3.11 Variables Locales .....	42
3.12 Variables Globales.....	43
3.13 Hardware de Adquisición de datos (DAQ).....	43
3.13.1 Sensor .....	44
3.13.2 Dispositivo DAQ.....	45
3.13.3 PC y Software.....	45
3.14 Arduino como dispositivo DAQ.....	46
3.14.1 Arduino.....	46
3.14.2 Hardware .....	46
3.14.3 Placas de E/S .....	46
3.14.4 Arduino Mega.....	47

Capítulo 4 : Diseño del Sistema de Automatización .....	51
4.1 Introducción.....	51
4.2 Diseño del diagrama de Proceso e Instrumentación P&ID .....	51
4.3 Diseño del Sistema .....	52
4.4 Programación del LabVIEW para establecer comunicación con el DAQ Arduino ..	53
4.4.1 Programación para la configuración de entradas digitales .....	57
4.4.2 Programación para la configuración de salidas digitales.....	59
4.5 Configuración de los Sensores del sistema de Automatización .....	60
4.5.1 El Sensor de pH.....	60
4.5.2 El Sensor de Conductividad Eléctrica .....	68
4.5.3 Sensor de Temperatura .....	76
4.5.4 Sensor de Nivel.....	83
4.6 Recirculación de la Solución Nutritiva.....	89
4.6.1 Lógica de Programación.....	90
4.7 Gráficas y Resultados .....	92
4.8 Interfaz de relé de 8 canales .....	97
Capítulo 5 : Operación y Resultados Obtenidos.....	99
5.1 Operación .....	99
Capítulo 6 : Conclusiones y Recomendaciones.....	109
6.1 Conclusiones.....	109
6.2 Recomendaciones .....	110
Bibliografía.....	111

# RESUMEN

En el presente proyecto se aplica los conceptos de la Ingeniería Electrónica para el diseño de un Sistema de Control y Automatización para cultivos Hidropónicos que usan la técnica NFT como método de producción.

En el Capítulo 1, se plantea el marco situacional, la problematización y se definen los objetivos principales y generales.

En el Capítulo 2, se desarrolla el marco teórico de los Cultivos Hidropónicos, incluyendo los conceptos necesarios para entender la importancia del desarrollo del presente proyecto.

En el Capítulo 3, se presentan las principales herramientas que nos proporciona el Software LabVIEW de National Instruments, en el cual está basado nuestro Sistema de Control y Automatización.

En el Capítulo 4, se describe el diseño del sistema de Control y Automatización, incluyendo la lógica de programación y las interfaces entre Hardware y Software de todos los elementos del Sistema.

En el Capítulo 5, se muestran los resultados obtenidos de la implementación del sistema de automatización en una planta construida a escala, obteniendo resultados exitosos que cumplen con el diseño planteado.

Del análisis de la información y de los resultados teóricos – prácticos, se puede decir que el proyecto del Sistema de Automatización y Control del Sistema NFT para Cultivos Hidropónicos se realizó con éxito.

# Capítulo 1 : Introducción

## 1.1 Marco Situacional

La Hidroponía es una técnica que permite cultivar y producir plantas sin emplear suelo o tierra, con esta técnica se puede obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad asegurando un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor densidad y elevada productividad por planta.

En los últimos años la producción hidropónica se ha incrementado notablemente debido al valor diferenciado que tienen las hortalizas hidropónicas en el mercado frente a los cultivos tradicionales, por ser los hidropónicos de mejor calidad y sanidad.

## 1.2 Problematización

Si bien la Hidroponía permite rendimientos muy altos en la producción, es un sistema de cultivo que para ser exitoso necesita de un control continuo que permita al productor verificar todos los parámetros involucrados en la producción de sus hortalizas.

Actualmente, no existe un sistema de control automatizado que permita al productor hidropónico verificar el estado de sus cultivos de forma continua, siendo este el principal problema que origina pérdidas de plantas en sus cultivos.

Por tal motivo, se plantea diseñar un sistema de automatización y control que permita al productor disminuir pérdidas en su producción debido principalmente a variaciones del nivel de pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura de sus soluciones nutritivas, lo cual permitirá establecer mecanismos de control preventivo y correctivo de manera inmediata en los cultivos hidropónicos que usan la técnica NFT.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivos Generales**

Mejorar de manera integral el sistema NFT mediante un sistema de control y automatización que permita controlar las variaciones de pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura de las soluciones nutritivas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Implementar bloques de control que permitan controlar las variaciones de pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura de las soluciones nutritivas del sistema de cultivo hidropónico NFT.

Diseñar el sistema de control en la plataforma de trabajo LabVIEW, para visualizar el estado de los valores de conductividad, pH, oxígeno disuelto, temperatura y nivel de la solución nutritiva.

Realizar una interfaz gráfica, que permita mostrar el estado del sistema NFT y registrar las variables controladas a lo largo del proceso productivo.

## **1.4 Importancia**

La importancia radica en la creación de una herramienta que ayuda al productor hidropónico a mejorar sus cultivos mediante un control continuo de todas las variables involucradas en el proceso, mediante el cual se genera un registro que además de mejorar su producción actual, permite obtener datos históricos que ayudarán a mejorar sus producciones futuras.

# Capítulo 2 : La Hidroponía

## 2.1 Introducción

La necesidad de producir alimentos, especialmente hortalizas de alta calidad, reviste importancia en zonas altamente pobladas. Sin embargo, su factibilidad está limitada por el rápido crecimiento de la ciudad y de la industria utilizando la mayor parte de los suelos cercanos a los centros urbanos.

La reducción del espacio de suelo cultivable, la menor disponibilidad de agua saneada para el riego y el aumento de las exigencias del mercado en calidad y sanidad de las hortalizas, especialmente las de consumo en fresco, han hecho que las técnicas hidropónicas de cultivo sean potencialmente atractivas. [1]

## 2.2 Conceptos Generales

Hidroponía es un término que tiene raíces griegas: "Hydro"= agua y "ponos"= trabajo; y sencillamente significa "el trabajo en agua". Este término fue acuñado en 1930 por el profesor William Gericke de la Universidad de California. En algunos casos, el término "hidroponía" es usado sólo para describir sistemas basados en agua, pero en el sentido más amplio, el término es el de cultivo sin suelo.

Un sistema hidropónico es un sistema aislado del suelo utilizado para cultivar diversos tipos de plantas. El crecimiento de las plantas es posible por un suministro adecuado de todos sus requerimientos nutricionales a través del agua o solución nutritiva. [2]

## 2.3 Perspectivas y Futuro

Durante años, la hidroponía, ha sido muy usada para la investigación en el campo de la nutrición mineral de las plantas. Hoy en día la hidroponía es el método más intensivo de producción hortícola; generalmente es de alta

tecnología y de fuerte capital, y viene siendo aplicada exitosamente con fines comerciales en países desarrollados. [2]

En los últimos diez años, el área mundial destinada a la producción hidropónica se ha incrementado notablemente. En 1996 el área mundial era de 12,000 hectáreas (ISOSC; Sociedad Internacional de Cultivo Sin Suelo) y, según las últimas proyecciones, habrían más de 35,000 hectáreas, de las cuales alrededor del 80% (24,000 hectáreas) son cultivadas sólo por 10 países (Holanda, España, Canadá, Francia, Japón, Israel, Bélgica, Alemania, Australia y estados Unidos). Los únicos países latinoamericanos considerados como países hidropónicos son México y Brasil. El crecimiento futuro de la hidroponía en Latinoamérica dependerá mucho del desarrollo y adaptación de sistemas menos sofisticados de producción que sean competitivos en costos con respecto a la tecnología sofisticada generada en países desarrollados. [2]

Entre los tipos de sistemas existentes en la hidroponía destacan el sistema de la solución nutritiva recirculante (NFT), el sistema de la raíz flotante y el sistema de sustrato; los cultivos hidropónicos más rentables son el tomate, el pepino, el pimiento, la lechuga y las flores cortadas.

Finalmente, una considerable disminución de las áreas de tierras agrícolas en países en vías de desarrollo, hace de la hidroponía una interesante alternativa de producción en zonas urbanas y periurbanas. Dentro del contexto de la llamada agricultura urbana, la hidroponía puede ser muy bien aplicada en las ciudades con tecnologías más sencillas y de bajo costo, principalmente en zonas de extrema pobreza, como una manera de incentivar el autoconsumo de hortalizas y de apoyar el ingreso familiar a través del autoempleo en las propias viviendas o en los centros comunales. [2]

## **2.4 Ventajas y Desventajas**

Las ventajas del cultivo hidropónico son:

Aprovechar las tierras o suelos no aptos para la agricultura tradicional.

No existe competencia por nutrientes.

Los rendimientos obtenidos con hidroponía superan significativamente a la producción tradicional en suelo.

Menor consumo de agua y fertilizantes. La técnica es muy apropiada en zonas donde hay escasez de agua.

Reducción en la aplicación de agroquímicos.

No contamina el medio ambiente.

Crecimiento más rápido y vigoroso de las plantas.

Las principales desventajas:

Costo de inicio alto

Se requieren conocimientos de fisiología y nutrición.

El desconocimiento del sistema hidropónico apropiado para producir un determinado cultivo.

El desconocimiento del manejo agronómico puede reducir significativamente los rendimientos.

La falta de experiencia en el manejo de las soluciones nutritivas puede alterar su composición y afectar la apariencia y calidad de las plantas.

La aparición de competencia desleal de productores tradicionales que ven a la hidroponía como una amenaza a sus intereses comerciales.

## **2.5 Sistemas Hidropónicos**

Los sistemas hidropónicos se pueden dividir en dos:

-Sistemas hidropónicos puro

-Sistemas en agregados o sustratos.

Los sistemas hidropónicos en agua (puros) son sistemas hidropónicos por excelencia; las raíces de las plantas están en contacto directo con la solución nutritiva. En los sistemas con sustrato, las raíces de las plantas crecen y desarrollan en sustratos inertes; la solución nutritiva fluye entre las partículas del sustrato humedeciendo las raíces. Entre los sistemas más desarrollados e investigados destaca el Sistema NFT.

## **2.6 Sistema NFT**

### **2.6.1 Concepto**

La técnica de la solución nutritiva recirculante conocida como NFT (Nutrient Film Technique), fue desarrollada en la década del sesenta por el Dr. Allan Cooper, en Inglaterra. Desde esa época, este sistema de cultivo, destinado principalmente a la producción de hortalizas de alta calidad, se ha desarrollado y difundido por un gran número de países, donde existen condiciones limitantes de suelo y un mercado promisorio para suplir con hortalizas frescas de alta calidad y sanidad. [2]

El sistema NFT se basa en el flujo permanente de una pequeña cantidad de solución a través de caños o tuberías de los que el cultivo toma los elementos necesarios para su nutrición. En general este sistema está catalogado como de elevado costo, requiere del suministro de un volumen de agua constante, y para ello se gasta energía en el proceso de bombeo. El sistema consta de caños de distribución, un tanque de almacenamiento de la solución, tanques de formulación y una bomba que contemple las necesidades del sistema.

Las desventajas de este sistema radican en el costo de uso de energía, la formulación y chequeo frecuente del pH y salinidad de la solución. [3]

La ventaja que destaca la técnica NFT en relación a otros sistemas hidropónicos, es la alta calidad obtenida de diferentes productos hortícolas, en un corto período de cultivo como también en rendimiento. La constante oferta de agua y elementos minerales permite a las plantas crecer sin estrés y obtener el potencial productivo del cultivo. [2]

Si bien la principal desventaja de este sistema es alto costo de implementación, este resulta ser rentable considerando una inversión a largo plazo, en la figura 1 se muestra un sistema

NFT desarrollado por el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Agraria La Molina, Lima – Perú.



Figura 1: Sistema NFT,

Universidad Agraria La Molina

### **2.6.2 Sistemas NFT implementados en PERÚ**

La eficiencia de los cultivos hidropónicos está generando un crecimiento acelerado de productores hidropónicos en nuestro país, principalmente en nuestra capital donde el consumo de hortalizas ha crecido considerablemente principalmente debido al aumento de la calidad de vida de la población.

A continuación algunos de los productores hidropónicos más importantes del Perú, proveedores de las más grandes cadenas de supermercados como Plaza Vea S.A, Wong - Metro, Vivanda entre otros.



Figura 2 : Empresa, Invernaderos Hidropónicos del Perú – Lurín [4]



Figura 3 : Ayllu Export – Arequipa [4]



Figura 4 : Jequetepeque - La Libertad [4]



Figura 5 : Vivero Don Manuel – Lurín

## **2.7 Componentes del sistema NFT**

Los componentes del sistema NFT o Recirculante se muestran en la figura 6 y son los siguientes:

Tanque de la Solución Nutritiva

Electrobomba

Canales de Cultivo (Tuberías de PVC)

Solución Nutritiva

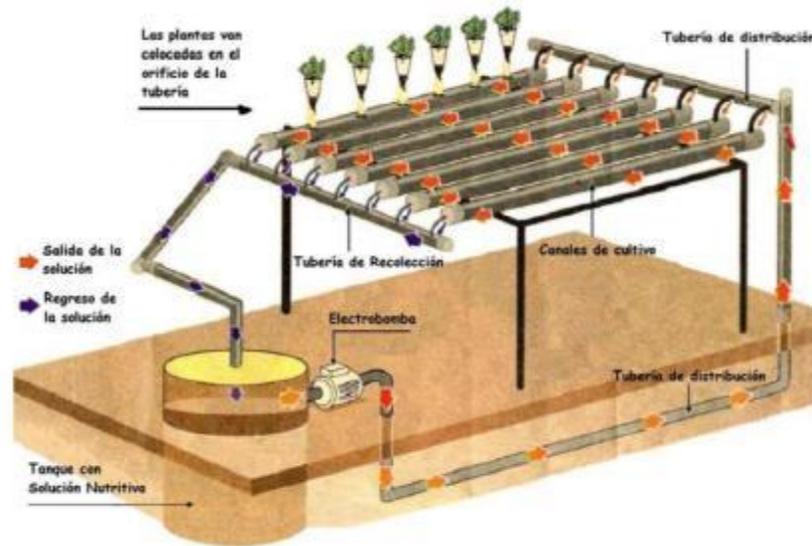


Figura 6 : Sistema NFT básico [4]

## 2.8 Solución nutritiva

La solución nutritiva (SN), es agua con nutrientes minerales, que se añaden a través de fertilizantes comerciales, en cantidades y proporciones adecuadas, de manera que cubran las necesidades de las plantas para su crecimiento y desarrollo [2].

Una SN consta de agua con oxígeno y de todos los nutrimentos esenciales en forma iónica y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de hierro y de algún otro micronutriente que puede estar presente. [5]

Entre los elementos esenciales de las soluciones nutritivas tenemos los macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y los micronutrientes: boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc y níquel.

Las necesidades de los elementos minerales de los cultivos dependen de la especie y el estado de desarrollo que se encuentra el cultivo. En la tabla 1 se muestran las sales

fertilizantes utilizadas en hidroponía, que está diseñado para cubrir las necesidades de todos los elementos que se necesitan en el desarrollo de las plantas.

Nombre químico	Fórmula química	Solubilidad (gramos por litro)
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1220
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	130
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	279
Fosfato monopotásico	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	230
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	710
Sulfato de potasio	$\text{K}_2\text{SO}_4$	111
Sulfato de manganeso	$\text{MnSO}_4$	980
Acido bórico	$\text{H}_3\text{BO}_3$	60
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	310
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	960
Molibdato de amonio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	430

Tabla 1: Sales fertilizantes utilizadas en hidroponía [1]

Los parámetros usados para controlar la calidad de la solución nutritiva de los sistemas hidropónicos son los siguientes:

Alcalinidad o Acides de la Solución nutritiva (pH)

Conductividad Eléctrica (CE)

Oxígeno Disuelto

Temperatura

### 2.8.1 El pH de la Solución Nutritiva

El pH de la solución nutritiva se determina por la concentración de los ácidos y de las bases. [3] , este parámetro se debe de controlar para mantener disponibles los elementos nutritivos de la solución nutritiva.

En la figura 7 se muestra el rango de pH en el cual todos los nutrientes se encuentran disponibles, es por eso la importancia de mantener un registro de los valores de pH de la solución nutritiva.

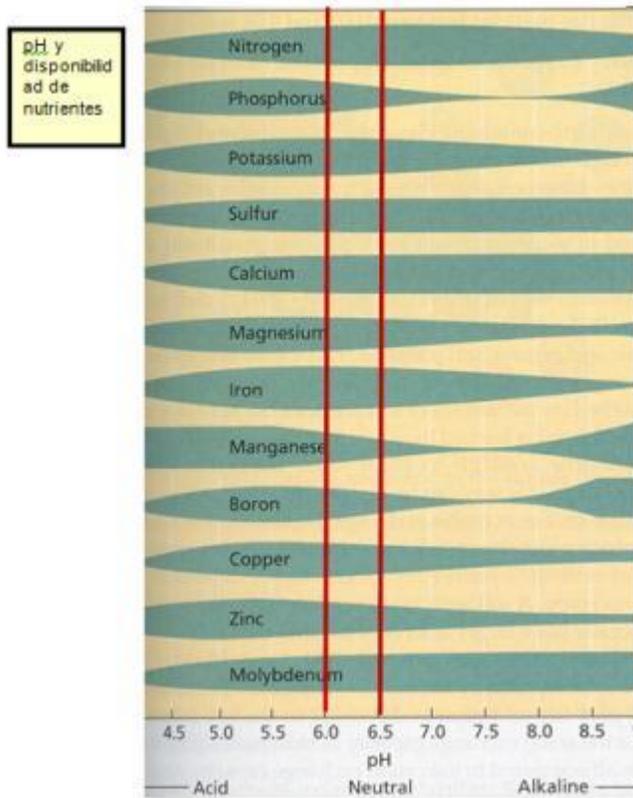


Figura 7: El pH y la disponibilidad de nutrientes

En la figura 8 se muestra cómo se realiza la medición del nivel de pH de una solución nutritiva usando un aparato portátil llamado pHmetro, esta medición es realizada diariamente por los productores para poder realizar correcciones si este parámetro se encontrase fuera de rango.



Figura 8 : Medición del nivel de pH mediante

En el presente proyecto se desea realizar mediciones constantes del pH de la solución nutritiva con la finalidad de automatizar su corrección y mantenerlo dentro de un rango deseado por el productor hidropónico, generalmente para estas correcciones se usan soluciones ácidas para disminuir el pH y soluciones nutritivas concentradas para aumentarlo.

## 2.8.2 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) indica el contenido de sales de la solución nutritiva: a mayor C.E mayor el contenido de sales.

La efectividad de este parámetro se basa en el concepto de la proporcionalidad de la conductividad eléctrica de una solución en relación a la concentración de sales disueltas. La unidad de medida de la C.E. es en milisiemes (mS/cm).

En la tabla 2 se muestra un ejemplo de los niveles de conductividad óptima para diferentes tipos de cultivo.

<b>Niveles de conductividad eléctrica por cultivo</b>	
<b>Cultivo</b>	<b>Conductividad eléctrica dS/m</b>
Lechuga	1.3
Espinaca	2.0
Tomate	2.5
Frutilla	1.0
Apio	1.8

Tabla 2 : Niveles de conductividad eléctrica por cultivo [4]

En la figura 9 se muestra cómo se realiza la medición del nivel de C.E. de una solución nutritiva usando un aparato portátil llamado conductímetro, esta medición, al igual que el pH, es realizada diariamente por los productores para poder realizar correcciones si este parámetro se encontrase fuera de rango.



Figura 9 : Medición del nivel de CE mediante

Conductímetro portátil [4]

La importancia de mantener los valores de CE de la solución nutritiva crea la necesidad de controlar y automatizar este proceso con la finalidad de realizar correcciones y mantener la C.E. dentro de un rango deseado por el productor, el cual será desarrollado en la presente tesis.

### **2.8.3 Oxígeno Disuelto**

El agua, además de disolver las sales que corresponden a los nutrientes en forma natural, también lo hace con el oxígeno que requieren las raíces, es por tal motivo que este es uno de los parámetros importantes para garantizar un desarrollo adecuado de las plantas.

El suministro de oxígeno en la solución nutritiva se puede lograr mediante su recirculación del sistema NFT o mediante el uso de bombas de aire o un compresor. Es recomendable inyectar el aire en varios puntos de la SN, con el fin de que la concentración de oxígeno sea más homogénea.

Tomando en cuenta estos conceptos, se considera la recirculación como un método eficiente y de bajo costo, el cual será implementado en este proyecto.

## **2.8.4 Temperatura**

La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrientes. La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22 °C; en la medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de los nutrientes también lo hace. [5]

Por ejemplo, la baja temperatura de la solución nutritiva tiene mayor efecto en la absorción de fósforo que en la de nitrógeno y agua. Con temperaturas menores a 15 °C se presentan deficiencias principalmente de calcio, fósforo y hierro. La baja temperatura favorece la deficiencia de calcio y la incidencia de pudrición apical de los frutos.

El control de la temperatura de la solución nutritiva tiene poca importancia en los lugares de clima templado. En las zonas o temporadas frías, es conveniente tener un sistema de calefacción para evitar temperaturas menores a 15 °C. La SN también debe protegerse con la radiación directa de los rayos solares para evitar su calentamiento, y alteración química y microbiológica. [5]

## **2.9 Método de Control Tradicional del Sistema NFT**

El método tradicional de control para cultivos hidropónicos se realiza de manera manual y sigue el siguiente procedimiento:

Medición diaria de los niveles de pH, C.E. y Temperatura mediante aparatos de medición portátiles.

Activación de la recirculación de la solución nutritiva de forma manual o semiautomática, usando temporizadores para la activación de las electrobombas.

Registro manual de los parámetros en cuadernos de control

Correcciones manuales de los niveles de pH agregando soluciones al tanque de la solución nutritiva.

Correcciones manuales de los niveles de C.E. agregando soluciones al tanque de la solución nutritiva.

Recirculaciones periódicas activadas manualmente para garantizar el rango de oxígeno disuelto en la solución nutritiva.

# Capítulo 3 : Herramientas para el Sistema de Control

## 3.1 LabVIEW

LabVIEW es un entorno de desarrollo altamente productivo que los ingenieros y científicos utilizan para la programación gráfica y la integración de hardware sin precedentes, para diseñar y desplegar rápidamente sistemas de medidas y control. En esta plataforma flexible, los ingenieros escalan del diseño a las pruebas y de sistemas pequeños a grandes, al reutilizar y perfeccionar sus procesos para alcanzar el rendimiento máximo. [6]

LabVIEW tiene como principal característica la facilidad de uso, esto debido a su lenguaje de programación gráfica que permite diseñar sistemas de adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medida y presentación de datos con gran flexibilidad gracias a su potente ambiente de programación que genera un entorno más amigable que los tradicionales.

Por estas razones, el software LabVIEW permite desarrollar aplicaciones altamente complejas de una manera sencilla debido a que nos proporciona herramientas y funciones poderosa que nos permite crear aplicaciones sin usar la programación tradicional de código de líneas, sino usando la programación basada a objetos, logrando así un trabajo más sencillo y eficiente.

Una de las razones por la cual LabVIEW lidera en el desarrollo de plataformas en la industria a nivel mundial se debe a la compatibilidad que posee con todos los tipos de Hardware que se encuentran en el mercado permitiendo a estos establecer comunicación mediante sus múltiples interfaces de comunicación como el puerto serie, puerto paralelo, TCP/IP<sup>1</sup>, PXI<sup>2</sup>, USB<sup>3</sup>, Bluetooth, entre otros.

---

<sup>1</sup> Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP),

<sup>2</sup> El bus PXI es un bus industrial de comunicaciones estándar para instrumentación y control

<sup>3</sup> USB: Universal Serial Bus (bus universal en serie)

Finalmente, debido al gran potencial que posee LabVIEW en el sector industrial fue considerado como una herramienta indispensable para el desarrollo del presente proyecto, con el cual se desea diseñar el sistema de automatización y control de sistemas hidropónicos.

## **3.2 Características del software LabVIEW**

Como se indicó, su principal característica es la facilidad de uso del software debido al tipo de programación orientada a objetos que nos proporciona, pero además, es importante resaltar las interfaces de comunicación que nos brinda, entre los cuales encontramos:

Puerto serie

Puerto Paralelo

GPIB <sup>4</sup>

USB

PXI

TCP/IP

Bluetooth

OPC<sup>5</sup>.

Además, LabVIEW puede realizar una interacción con otros lenguajes y aplicaciones, como por ejemplo:

DLL (librerías de funciones),

.NET, ActiveX,

MultiSim, Matlab/Simulink, AutoCAD, SolidWorks, etc.

---

<sup>4</sup> Hewlett-Packard Instrument Bus (HP-IB)

<sup>5</sup> OPC (OLE for Process Control) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales

Herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales.

Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.

Adquisición y tratamiento de imágenes.

Control de movimiento (combinado incluso con todo lo anterior).

Tiempo Real estrictamente hablando.

Programación de FPGAs para control o validación.

Sincronización entre dispositivos.

Entre las áreas de aplicación de LabVIEW tenemos:

Adquirir Datos y Procesar Señales.

Control de Instrumentos.

Automatizar Sistemas de Pruebas y Validación

Sistemas Embebidos en Monitoreo y Control.

### **3.3 Instrumentos Virtuales (VI)**

Los programas desarrollados en LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VI (Virtual Instruments) debido a que imitan en apariencia y operación a instrumentos físicos tales como osciloscopios u otros instrumentos analógicos o digitales.

Para crear un VI, se debe iniciar el software mediante el acceso directo del escritorio del computador o mediante el menú de Inicio» Programas>> National Instruments>> LabVIEW 2012, donde se nos presentará una ventana en la cual crearemos un nuevo VI según se muestra en la Figura 10.

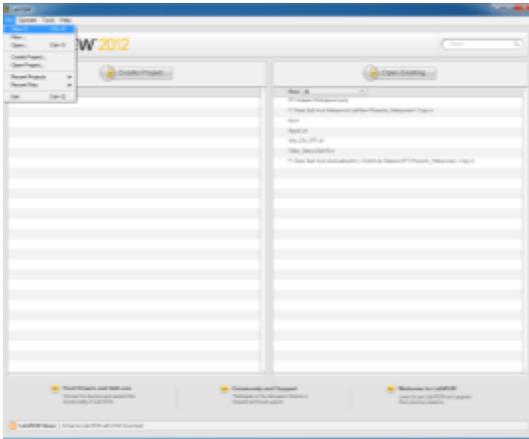


Figura 10 : Ventana de inicio para crear un Nuevo VI

Al hacer clic en “New VI se abren 2 ventanas: (ver Figura 11)

El Panel Frontal

El Diagrama de bloque

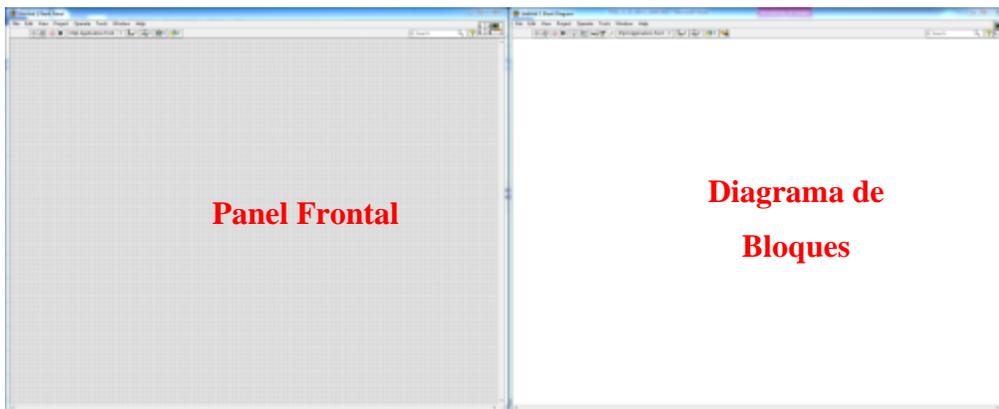


Figura 11 : Front Panel y Block Diagram

### 3.3.1 Panel Frontal (Front panel)

La ventana del panel frontal es la interfaz del usuario y se utiliza para interactuar con el programa cuando el programa se está ejecutando. [7]

En esta ventana se puede observar los datos del programa en tiempo real, los indicadores y manejar los controles, el cual será ampliamente usado a lo largo del desarrollo del presente proyecto.

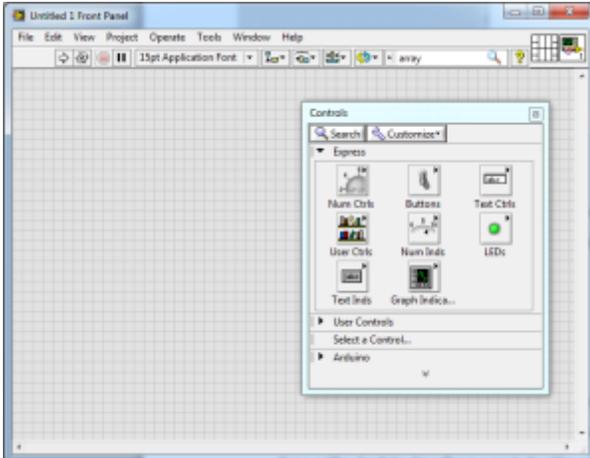


Figura 12 : Ejemplo de la ventana de un Panel Frontal

### 3.3.2 Diagrama de bloque (Block diagram)

El diagrama de Bloques contiene el código de programación gráfica donde se define la funcionalidad del VI, aquí se encuentran todas las librerías de LabVIEW como son las funciones y estructuras que nos permitirán diseñar toda la programación.

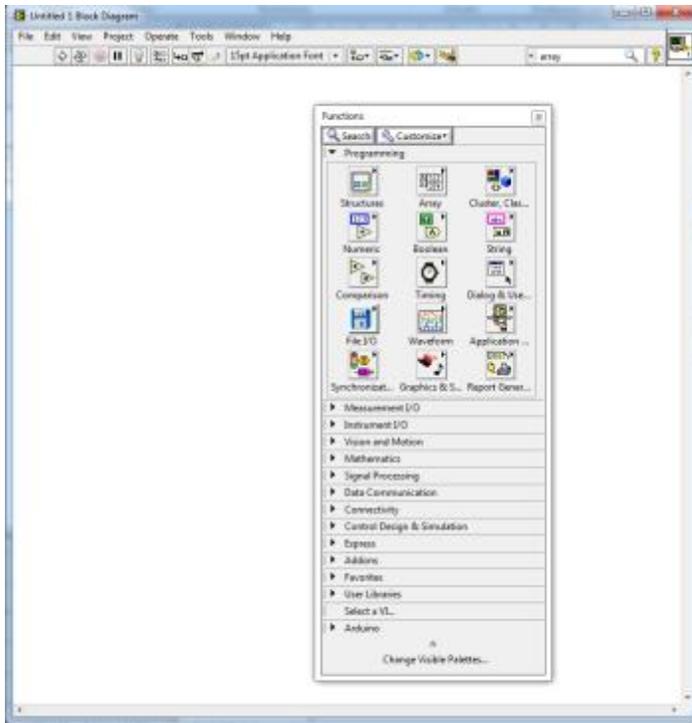


Figura 13 : Ejemplo de una ventana de un Diagrama de Bloques

En resumen, una vez creado un nuevo VI aparecerá en nuestro escritorio 2 ventanas, uno mostrando el panel frontal y el otro con el diagrama de bloques, ambas ventanas están vinculadas entre sí, el primero se mostrará los indicadores gráficos y en el segundo la programación mediante un código.

### 3.4 Barra de Herramientas de Estado

La barra de herramientas consta de los siguientes botones que permite controlar la ejecución de un programa en LabVIEW. [8] (Ver la figura 14):

**Run:** Indica si hay errores en el programa (flecha rota) y cuando no los hay (flecha completa como se muestra en la figura 14), cuando se activa ejecuta sólo una vez el programa.

**Continuous run:** Ejecución continuada del VI.

**Abort Button:** Parada en mitad de la ejecución del VI.

Pause: Parada momentánea en la ejecución del VI.

Execution Highlighting: Esta opción se utiliza durante la depuración del VI para ver cómo fluyen los datos de nodo a nodo.

Step Into: Ejecución paso a paso en la depuración que entra dentro de un diagrama de bloques de cualquier nodo para ejecutarlo también paso a paso.

Step Over: Ejecución paso a paso que ejecuta completamente un nodo sin entrar en él.

Step Out: Salir de la ejecución paso a paso en el modo de depuración.

Font Control: Menú desplegable para controlar las fuentes del VI.

Align Objects: Menú desplegable para alinear componentes seleccionados en el panel frontal o diagrama de bloques.

Distribute Objects: Menú desplegable para distribuir componentes seleccionados en el panel frontal o diagrama de bloques.

Reorder Objects: Menú desplegable para reordenar componentes seleccionados en el panel frontal o diagrama de bloques.

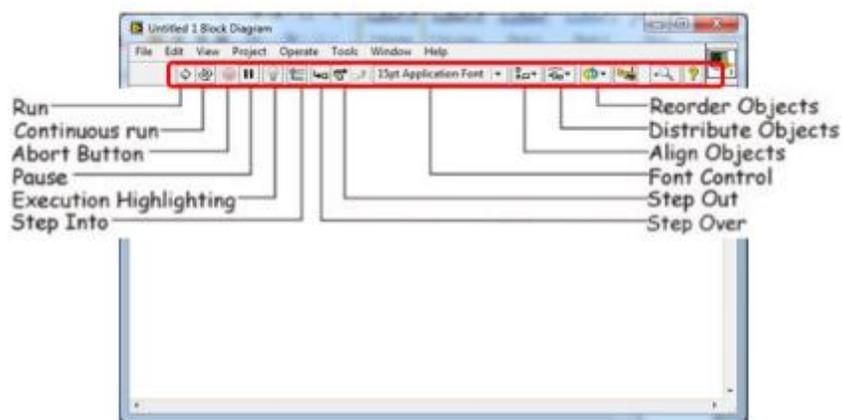


Figura 14 : Barra de herramientas de Estado

### 3.5 Paleta de Controles:

La paleta de controles está habilitada solamente en el panel frontal y posee los controles e indicadores que se necesitan para crear el entorno gráfico de nuestra programación.

Dentro de la paleta de controles, encontramos íconos que representan una subpaleta, la cual contiene controles para colocar en el panel frontal.

Un control es un objeto que utiliza el usuario para interactuar con el VI, introduciendo datos o controlando el proceso. Unos ejemplos sencillos de controles son los botones, controles deslizantes, diales, cuadros de texto. [9]

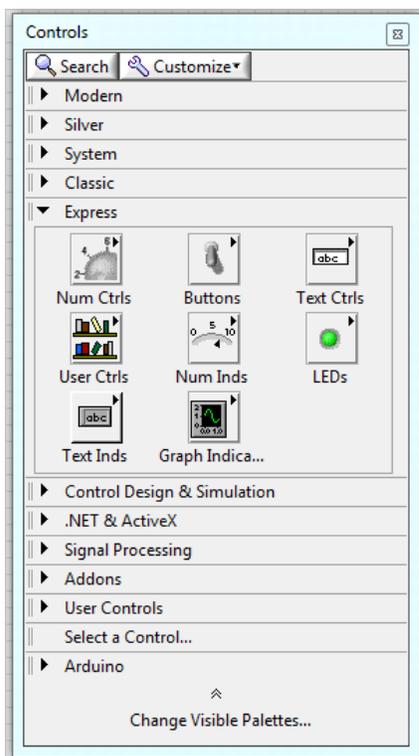


Figura 15 : Paleta de Controles

La paleta de Controles contiene los controles e indicadores que utiliza para crear el panel frontal, estos son mostrados en la figura 15.

### 3.6 Paleta de Funciones:

La paleta de funciones está habilitada solo en la ventana del Diagrama de Bloques, dentro de esta paleta (figura 16), se encuentran las diferentes funciones y herramientas usadas para la programación como por ejemplo las estructuras case, while loop, for; funciones numéricas como sumadores, multiplicadores, divisores, ;herramientas de comparación y herramientas de entrada y salida, entre otros.

Cuando se añaden estas funciones se unen mediante la herramienta de conexión (Wiring Tool) de la paleta de herramientas. Al final, un diagrama de bloques completo se asemeja a un diagrama de flujo. [9]

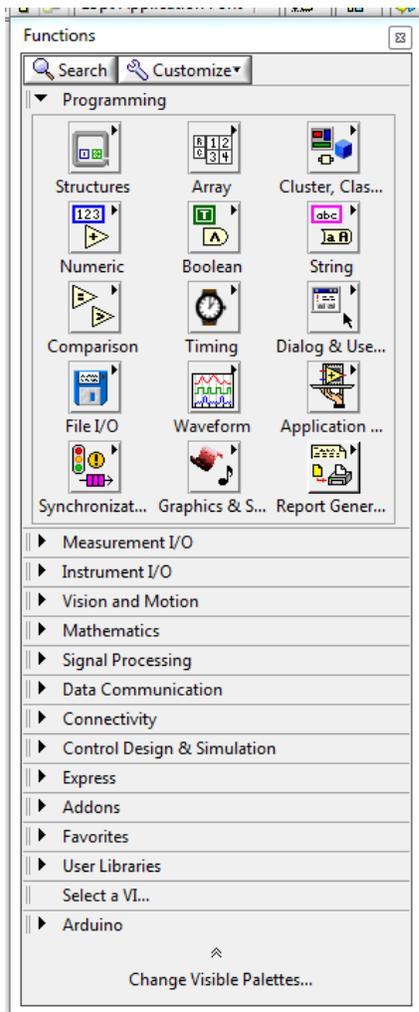


Figura 16 : Paleta de Funciones

## **3.7 Tipos de datos**

LabVIEW nos permite trabajar con diferentes tipos de datos, entre los más importantes tenemos tres: los datos tipo numérico, tipo booleano y tipo alfanumérico. Debido a que estamos dentro de una programación orientada a objetos, LabVIEW nos ayuda colocando un color característico a cada uno. (Booleanos: verde claro, Numéricos: azules-naranjas y los Alfanuméricos: rosados).

### **3.7.1 Datos Booleanos (Booleano)**

Los tipos de datos booleanos son enteros de 16 bits. El bit más significativo contiene el valor Booleano. Si el bit 15 se pone a 1, entonces el valor del control o indicador es true (verdadero); por el contrario, si este bit 15 vale 0, el valor de la variable booleana será false (falso). [7]

### **3.7.2 Numeric(Numérico)**

Los tipos de datos numéricos se clasifican según la Tabla 3 que en resumen se pueden dividir en tres: enteros, decimales o flotantes y complejos.

	Tipo de dato	Bits de almacenamiento	Digitos decimales (Aprox.)	Límites	Color
	Precisión extendida Coma flotante	128	33/15 (20)	6,48e-4966 a 1,19e+4932 -6,48e-4966 a -1,19e+4932	Naranja
	Precisión doble Coma flotante	64	15	4,94e-324 a 1,79e+308 -4,94e-324 a -1,79e+308	Naranja
	Precisión simple coma flotante	32	6	1,40e-45 a 3,40e+38 -1,40e-45 a -3,40e+38	Naranja
	Largo Entero con signo	32	9	-2.147.483.648 a 2.147.483.647	Azul
	Palabra Entero con signo	16	4	-32.768 a 32.767	Azul
	Byte Entero con signo	8	2	-128 a 127	Azul
	Largo Entero sin signo	32	9	0 a 4.294.967.295	Azul
	Palabra Entero sin signo	16	4	0 a 65.535	Azul
	Byte Entero sin signo	8	2	0 a 255	Azul
	Precisión Extendida Complejo	256	33/15	Igual que EXT para cada parte (real e imaginario)	Naranja
	Precisión doble Complejo	128	15	Igual que DBL para cada parte (real e imaginario)	Naranja
	Precisión simple Complejo	64	6	Igual que SGL para cada parte (real e imaginario)	Naranja

Tabla 3 : Tabla de Tipo de Datos Numéricos en LabVIEW [6]

### 3.7.3 Strings (Alfanuméricos)

LabVIEW almacena los strings como si fuera un array uni-dimensional de bytes enteros (caracteres de 8 bits). [7]. Su uso esta principalmente dirigido al uso de variables que incluyan texto o caracteres.



Figura 17: Ejemplo de dato tipo String [7]

### **3.8 Sub rutina o Sub VI**

Un VI llamado desde el diagrama de bloques de otro VI se llama un subVI, quiere decir que un Sub VI es un VI que contiene la programación de un procedimiento recurrente dentro de una aplicación.

Un nodo de subVI corresponde a una llamada de subrutina en lenguajes de programación basados en texto. El nodo no es el subVI, tan solo como un enunciado de llamada de subrutina en un programa no es la sub rutina. Un diagrama de bloques que contiene varios nodos de subVI idénticos llama varias veces a los mismos subVIs. [7]

Los controles e indicadores del subVI reciben datos y regresan datos al diagrama de bloques del VI llamado. El diagrama de bloques incluye cables, íconos, funciones, subVIs probables u otros objetos de LabVIEW.

### **3.9 Estructuras de Ejecución**

Las estructuras de ejecución contienen secciones de código gráfico y controlan cómo y dónde el código se ejecuta. Las estructuras de ejecución más comunes son Ciclos While, Ciclos For y Estructuras de Casos los cuales puede usar para ejecutar la misma sección del código varias veces o para ejecutar una sección diferente del código basada en alguna condición. [6]

Estas estructuras proporcionadas por LabView tienen las mismas características que otros lenguajes de programación de código de línea, la diferencia radica en su facilidad de entendimiento y apariencia gráfica que permite al programador el uso eficiente de estas herramientas.

#### **3.9.1 While Loop (Ciclo While)**

Es similar a un ciclo Do o a un Ciclo Repeat-Until en lenguajes de programación basados en texto. Equivale a decir en lenguaje coloquial a que se ejecute los comandos dentro de la estructura “While” hasta que se valide una condición dada, según se puede observar en el diagrama de flujos de la figura 18.

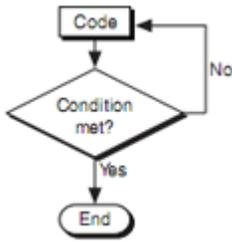


Figura 18 : Diagrama de flujo de la estructura While

El condicional hace que LabVIEW compruebe el estado de este terminal, si el valor del condicional es “True” al final de la ejecución del código este da por terminado la ejecución de la estructura, caso contrario, si el valor es “False” el código de la estructura continuará ejecutándose hasta que el condicional cambie de valor a “True”.

Esta estructura cuenta con dos terminales (ver figura 19), uno es el terminal condicional que recibe un valor Booleano específico y otro llamado el terminal de iteración que es una terminal de salida y contiene el número de iteraciones terminadas en la estructura.

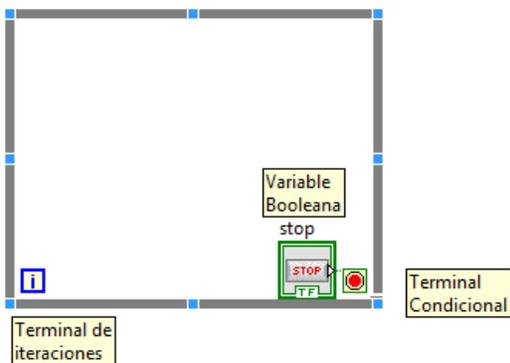


Figura 19 : Estructura While Loop

### 3.9.2 Estructura For Loop (Ciclo For)

Un Ciclo For ejecuta un subdiagrama<sup>6</sup> un número de veces establecido. La Figura 20 muestra un diagrama de flujo equivalente a un Ciclo For en LabVIEW.

<sup>6</sup> Se entiende como sub diagrama al conjunto de terminales, nodos y líneas de unión que se localizan en el interior del rectángulo llamada “estructura”.

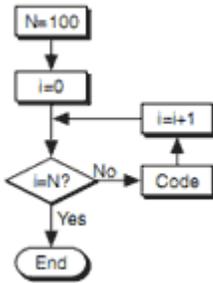


Figura 20 : Diagrama de Flujos de la Estructura For Loop

El Ciclo For difiere del Ciclo While en que el Ciclo For ejecuta un número de veces establecido. Un Ciclo While detiene la ejecución solamente si existe el valor en la terminal condicional. [6]

Equivale a decir que el código que se encuentra dentro de la estructura se ejecutará sólo “N” veces, siendo el programador quien defina esta cantidad. Con esta estructurase pueden emplear los Shift Register para tener disponibles los datos obtenidos en iteraciones anteriores, es decir, para memorizar valores obtenidos.

### 3.9.3 Case Structure (Estructura Caso)

Una estructura de Casos tiene dos o más subdiagramas o casos., tal como se muestra en la figura 21.Solamente un subdiagrama es visible a la vez y la estructura ejecuta solamente un caso a la vez. Un valor de entrada determina cual subdiagrama se ejecuta. La estructura de Caso es similar a las instrucciones del interruptor o las instrucciones si...después... en lenguajes de programación basados en texto. [6]

Su contenido (en el interior de la estructura) se ejecuta dependiendo del valor que se le conecta al selector, por ende, posee como mínimo dos sub diagramas, True y False pudiendo ser valores enteros lógicos, de cadena o enumerados.

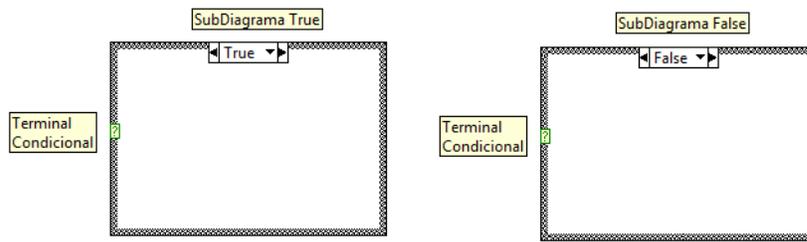


Figura 21: Estructura “Case Structure”

### 3.9.4 Sequence Structure(Estructura Secuencia)

Esta estructura no tiene su homóloga en los diferentes lenguajes convencionales, ya que en éstos las sentencias se ejecutan en el orden de aparición pero en LabVIEW una función se ejecuta cuando tiene disponible todos los datos de entrada. [9]

Esta estructura contiene varios subdiagramas que están concatenados como se muestra en la figura 22, cada subdiagrama recibe el nombre de “frame” cuyo código puede ser independiente o no uno del otro. Al momento de ejecutarse lo harán en orden de aparición, primero el frame 0, después el frame 1 y así, sucesivamente, hasta el último.

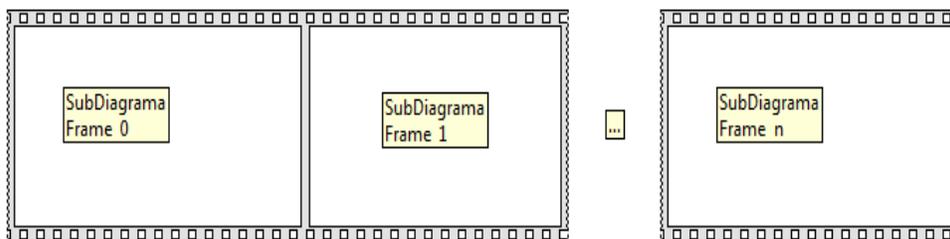


Figura 22 : Estructura "Sequence Structure"

### 3.9.5 Registro de desplazamiento

Se les conoce también como Shift Register, estos son variables que nos permiten tener disponibles los datos obtenidos en iteraciones anteriores, es decir, memorizar valores obtenidos.

Estos registros sólo están disponibles en estructuras While o For Loop el cual se inserta haciendo clic con el botón derecho del mouse en el borde de la estructura con la opción Add Shift Register, como se muestra en la figura 23.

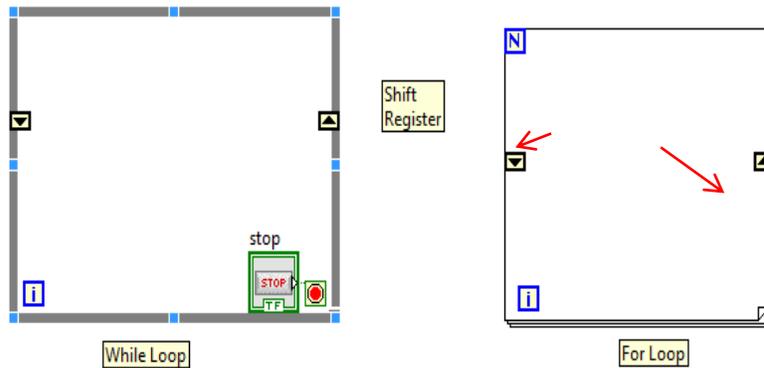


Figura 23 : Registro de desplazamiento (Shift Register)

El propósito del Shift Register es el almacenamiento de datos, por ejemplo, el terminal de la derecha va almacenando el valor final de la iteración. Cuando sucede una nueva repetición, este valor se mueve al terminal izquierdo y el nuevo valor queda en el terminal derecho. [9]

### 3.9.6 Arreglos , Indexado y Cluster

#### 3.9.6.1 Arreglos

Los Arreglos o Arrays son combinaciones de datos del mismo tipo en una estructura de datos. Un arreglo consiste de elementos y dimensiones, los elementos son los datos y la dimensión es la longitud, altura o profundidad del mismo.

Los elementos del arreglo son ordenados. Un arreglo utiliza un índice, así puede tener acceso fácilmente a cualquier elemento en particular. El índice está basado en cero, lo cual significa que está en el rango de 0 a  $n - 1$ , donde  $n$  es el número de los elementos en el arreglo. Por ejemplo, si  $n = 12$  para los doce meses del año, así el índice va de 0 a 11. Marzo es el tercer mes, así que tendría un índice de 2. [6]

### 3.9.6.2 Indexado

Para colocar un elemento en particular en un arreglo este requiere un índice por dimensión. En LabVIEW, el indexado permite navegar a través de un arreglo y además recuperar elementos, filas, columnas, y páginas de un arreglo en el diagrama de bloques. Un ejemplo de un arreglo es una señal de onda representada como un arreglo numérico en el cual cada elemento es el valor de voltaje de sucesivos intervalos de tiempo, siendo este un arreglo de una dimensión (1D).

Dentro de la paleta de funciones del diagrama de bloques encontramos diferentes funciones relacionadas a los arreglos (ver figura 24) entre los principales tenemos: crear un arreglo, insertar, reemplazar y eliminar un arreglo.

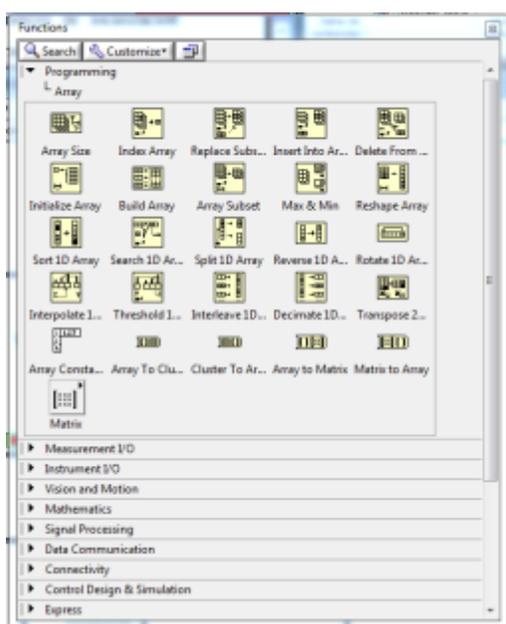


Figura 24: Paleta de Funciones - Arreglos

### 3.9.6.3 Clusters

Los clusters agrupan elementos de datos de diferentes tipos. Un ejemplo de un clúster es el clúster de error de LabVIEW, el cual combina un valor Booleano, un valor numérico y uno de cadena de caracteres. Un clúster es similar a un registro o a una estructura en lenguajes de programación basados en texto.

Construir varios elementos de datos en clusters elimina el desorden de cables en el diagrama de bloques y reduce el número de terminales del panel conector que los subVIs necesitan. [6]

Los clúster de números, se caracterizan por un alambre y un icono de datos de color café. Se pueden alambrear los clúster numéricos de color café a las funciones numéricas, como a la función Add, Square Root, para realizar la misma función simultáneamente en todos los elementos del clúster.

### **3.10 Indicadores Gráficos: Graph y Charts**

Estos indicadores representan gráficamente los resultados obtenidos dentro de una estructura de programación con la finalidad de facilitar el análisis y comprensión de estos.

LabVIEW dispone de varios tipos de gráficos accesibles divididos en dos grupos: Los indicadores chart y los indicadores graph.

#### **3.10.1 Indicadores Chart**

Entre los indicadores Chart encontramos el WaveForm Chart y el Intensity Chart que serán desarrollados a continuación.

##### **3.10.1.1 WaveForm Chart**

Waveform chart es un tipo especial de indicador numérico que muestra una o más gráficas, reteniendo en pantalla un cierto número de datos definido por el programador. Los nuevos datos se añaden al lado de los ya existentes, de forma que se pueden comparar entre ellos.

Los datos se pueden pasar uno a uno al chart o mediante arrays, es posible dibujar varias gráficas en un mismo chart, uniendo los datos de cada gráfica en un clúster de escalares numéricos de forma que cada escalon que contiene el clúster se considera como un punto de cada una de las gráficas para una misma abscisa.

En la figura 25 se muestra un ejemplo simple del uso del Waveform Chart, en este caso la gráfica representa un número aleatorio entre 0 a 1 como se observa en la programación del

diagrama de bloques. Este ejemplo refleja el funcionamiento de esta herramienta, el gráfico se genera por la concatenación uno a uno de valores la variable a datos aleatorios.

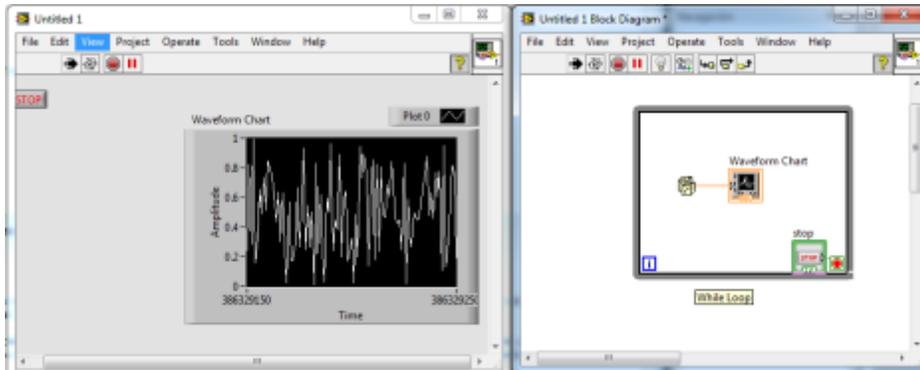


Figura 25 : Ejemplo del uso de Waveform Chart

### 3.10.1.2 Intensity Chart

Mediante intensity chart podemos mostrar datos tridimensionales colocando bloques de colores sobre planos cartesianos. Para ello crearemos arrays bidimensionales de números donde los índices de un elemento corresponderán a las coordenadas X e Y, y el contenido a la coordenada Z, que tendrá asociado un color para cada posible valor. Previamente será necesario definir la escala de colores que vamos a utilizar a través de los atribuye nodos mediante el ítem Z Scale Info: Color Array o Color Table, o a través de la rampa de colores visualizada junto a la gráfica. Evidentemente, la escala de colores que podamos visualizar dependerá de la resolución de nuestro monitor. [6]

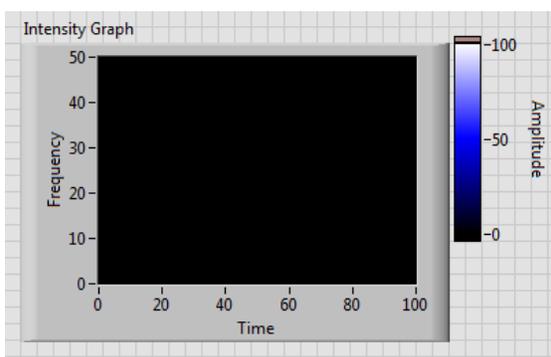


Figura 26 : Gráfico Intensity Graph

### 3.10.2 Indicadores Graph

Entre los indicadores Graph encontramos el WaveForm Graph y el XY Graph que serán desarrollados a continuación.

#### 3.10.2.1 Wavform Graph

A diferencia del WaveForm Chart, este recoge datos de un arreglo y después traza los datos al gráfico, se utiliza esta herramienta en procesos que estén continuamente recogiendo datos. Una característica a tener en cuenta es que los vectores no mantienen un historial si no, estos se sobrescriben.

En la figura 27 se muestra un ejemplo del uso de esta herramienta en donde mediante un generador de ondas envía los valores de una onda sinusoidal con frecuencia 50 Hz y amplitud de 2v.

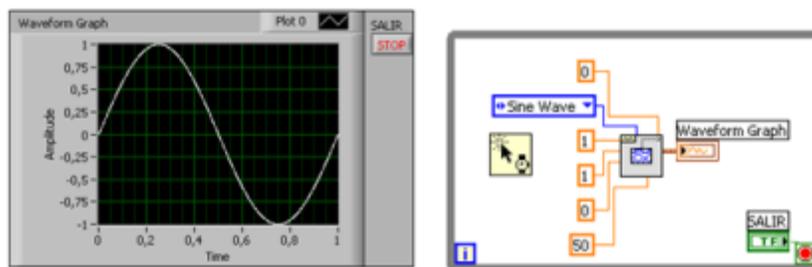


Figura 27 : Ejemplo de Waveform Graph

#### 3.10.2.2 XY Graph

En XY Graph un punto X, puede tener varios valores Y, lo que permite, por ejemplo, dibujar funciones circulares. XY Graph representa una coordenada (Xi, Y,) donde los valores de X no tienen por qué estar equiespaciados como ocurría en las waveform graph.

Para representar una única gráfica en una XY Graph existen dos posibilidades. La primera consiste en crear un clúster que contenga un array de datos X y un array de datos Y. La segunda consiste en crear un array de clusters, donde cada clúster contiene un valor de X y un valor de Y.

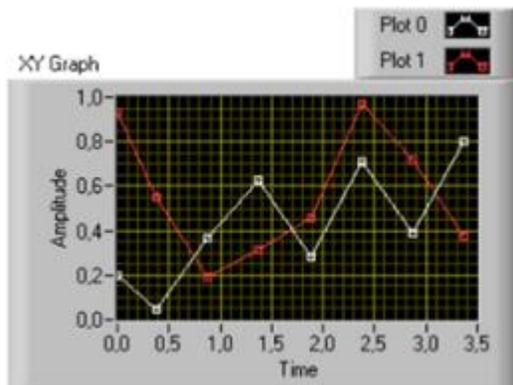


Figura 28 : Gráfica XY Graph

### 3.11 Variables Locales

Cuando se necesita usar frecuentemente un control o indicador es necesario el uso de variables locales para evitar llenar de cables conductores la pantalla en el diagrama de bloques y así obtener un diagrama más ordenado y entendible.

Las variables locales solo son entendidas dentro del VI que las posee, quiere decir que son de uso exclusivo de la VI donde fueron creadas.

La figura 29 muestra dos VI con la misma programación, la diferencia radica en el uso de variables locales, estas hacen ver el lenguaje más ordenado y entendible al evitar el uso de cables de conexión que se entrecrucen, sin embargo, hay que tener en cuenta que el uso de excesivo de variables locales hace que la ejecución del código use mayor cantidad de memoria.

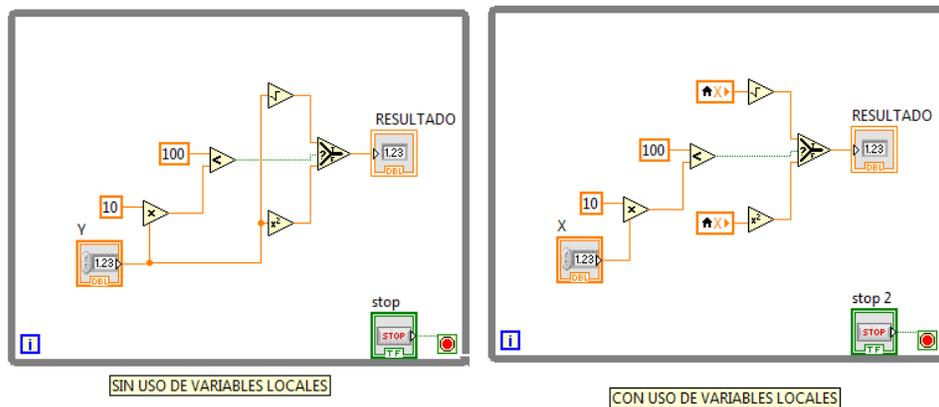


Figura 29: Uso de Variables Locales

### 3.12 Variables Globales

La diferencia con las variables locales radica en que estas pueden ser entendidas por cualquier programa y/o subrutina VI, y pueden ser actualizadas por los mismos. Estas se almacenan en un archivo diferente de extensión .GLB que consta únicamente de un panel frontal donde se encuentran todas las variables asociadas a dicho archivo, lo que quiere decir que en un archivo se pueden guardar numerosas variables.

Para crear una variable global, se selecciona del menú Structures. Luego con el menú se da la orden de abrir el panel frontal de esta variable, y allí se colocan todos los indicadores y controles que almacenan los datos deseados. Posteriormente se graba como cualquier otro programa VI, pero con extensión DBL. Con la variable creada solo es seleccionar en el pop-up menú del icono de la variable con select item, el valor al que se lee o escribe. Para colocar en el diagrama otra variable global del mismo dato, ahora se hace por medio de la opción VI, en el menú de funciones, tal como si se fuera a usar una subrutina ya creada [10]

### 3.13 Hardware de Adquisición de datos (DAQ)

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la

potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable. [11]

Según la definición, podemos concluir que los dispositivos DAQ son instrumentos fundamentales para aplicaciones diseñadas para el registro de datos externos ya sean analógicos y/o digitales.

La figura 30 muestra el diagrama de bloques de la adquisición de datos basada en un computador.



Figura 30: Partes de un sistema DAQ [11]

### 3.13.1 Sensor

La medida de un fenómeno físico, como la temperatura de una habitación, la intensidad de una fuente de luz o la fuerza aplicada a un objeto, comienza con un sensor. Un sensor, también llamado un transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ. [11]

Sensores Comunes

Termopar, RTD, Termistor (Temperatura )

Fotosensor (Luz)

Micrófono (Sonido)

Galga Extensiométrica, Transductor Piezoeléctrico (Fuerza y Presión)

Potenciómetro, LVDT, Codificador Óptico (Posición y Desplazamiento)

Acelerómetro (Aceleración)

Electrodo pH (pH)

### **3.13.2 Dispositivo DAQ**

El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC. Varios dispositivos DAQ incluyen otras funciones para automatizar sistemas de medidas y procesos. Por ejemplo, los convertidores digitales-analógicos (DACs) envían señales analógicas, las líneas de E/S digital reciben y envían señales digitales y los contadores/temporizadores cuentan y generan pulsos digitales. [11]

En el mercado encontramos diferentes modelos de DAQ, de diferentes marcas y características y se catalogan según el tipo de

uso como industriales, semi industriales o para uso de investigación y experimentación.

### **3.13.3 PC y Software**

Una PC con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y es usada para procesar, visualizar y almacenar datos de medida. Diferentes tipos de PCs son usadas en diferentes tipos de aplicaciones. Una PC de escritorio se puede utilizar en un laboratorio por su poder de procesamiento, una laptop se puede utilizar por su portabilidad o una PC industrial se puede utilizar en una planta de producción por su robustez. [11]

## **3.14 Arduino como dispositivo DAQ**

Debido al alto costo de los DAQ de National Instruments, Arduino se torna en una alternativa atractiva debido a su bajo coste, su plataforma de hardware abierta y a la posibilidad de ser usado como DAQ junto al software de LabVIEW haciendo uso de una librería exclusiva de Arduino – LabVIEW para este propósito.

### **3.14.1 Arduino**

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). [12]

### **3.14.2 Hardware**

Hay multitud de diferentes versiones de placas Arduino, entre las principales tenemos Duemilanove (Atmel ATmega328), Diecimila, Duemilanove (Atmel ATmega168), y Mega (ATmega1280).

### **3.14.3 Placas de E/S**

Duemilanove - Es la última versión de la placa Arduino USB básica. Se conecta al ordenador con un cable USB estándar y contiene todo lo necesario para programar la placa. Se puede ampliar con gran variedad de shields: placas de extensión con funcionalidades específicas.

Nano - Una placa compacta diseñada para usar directamente en placas de desarrollo, el Nano se conecta al ordenador con un cable Mini-B USB

Mega - Más grande y potente placa Arduino, compatible con los shields de Duemilanove y Diecimila.

### 3.14.4 Arduino Mega

El Arduino Mega es una placa microcontrolador basada ATmega1280. Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 14 proporcionan salida PWM<sup>7</sup>), 16 entradas digitales, 4 UARTS (puertos serie por hardware), un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP<sup>8</sup> y botón de reset. Contiene todo lo necesario para hacer funcionar el microcontrolador; simplemente se conecta al ordenador con el cable USB o aliméntalo con un transformador o batería para empezar. El Mega es compatible con la mayoría de shields diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila [13]

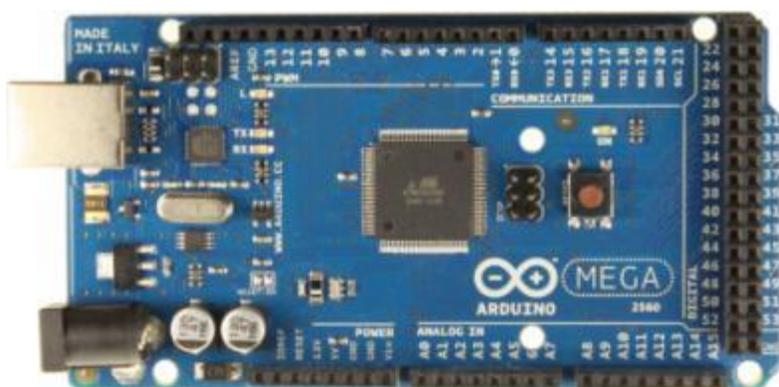


Figura 31 : Arduino Mega 2526

#### 3.14.4.1 Microcontrolador ATmega1280

Voltaje de funcionamiento 5V

Voltaje de entrada (recomendado) 7-12V

Voltaje de entrada (limite) 6-20V

Pines E/S digitales 54 (14 proporcionan salida PWM)

Pines de entrada analógica 16

Intensidad por pin 40 mA

Intensidad en pin 3.3V 50 mA

---

<sup>7</sup> Modulación por ancho de pulsos

<sup>8</sup> In Circuit Serial Programming

Memoria Flash 128 KB de las cuales 4 KB las usa el gestor de arranque(bootloader)

SRAM<sup>9</sup> 8 KB

EEPROM<sup>10</sup> 4 KB

Velocidad de reloj 16 MHz

#### **3.14.4.2 Alimentación**

El Arduino Mega puede ser alimentado vía la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. El origen de la alimentación se selecciona automáticamente.

Los pines de alimentación son los siguientes:

VIN. La entrada de voltaje a la placa Arduino cuando se está usando una fuente externa de alimentación (en opuesto a los 5 voltios de la conexión USB). Se puede proporcionar voltaje a través de este pin, o, si se está alimentado a través de la conexión de 2.1mm, acceder a ella a través de este pin.

5V. La fuente de voltaje estabilizado usado para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Esta puede provenir de VIN a través de un regulador integrado en la placa, o proporcionada directamente por el USB u otra fuente estabilizada de 5V.

3V3. Una fuente de voltaje a 3.3 voltios generada en el chip FTDI integrado en la placa. La corriente máxima soportada 50mA.

GND. Pines de toma de tierra.

#### **3.14.4.3 Memoria**

El ATmega1280 tiene 128KB de memoria flash para almacenar código (4KB son usados para el arranque del sistema. El ATmega1280 tiene 8 KB de memoria SRAM y 4KB de EEPROM.

---

<sup>9</sup> Memoria Estática de Acceso Aleatorio

<sup>10</sup> ROM programable y borrada eléctricamente

#### 3.14.4.4 Entradas y Salidas

Cada uno de los 54 pines digitales pueden utilizarse como entradas o como salidas usando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`. Las E/S operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir una intensidad máxima de 40mA y tiene una resistencia interna de 20-50kOhms. Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

Serie: 0 (RX) y 1 (TX), Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX). Usado para recibir (RX) transmitir (TX) datos a través de puerto serie TTL. Los pines Serie: 0 (RX) y 1 (TX) están conectados a los pines correspondientes del chip FTDI USB-to-TTL.

PWM: de 0 a 13. Proporciona una salida PWM (Pulse Wave Modulation, modulación de onda por pulsos) de 8 bits de resolución (valores de 0 a 255) a través de la función `analogWrite()`.

SPI: 50 (SS), 51 (MOSI), 52 (MISO), 53 (SCK). Estos pines proporcionan comunicación SPI, que a pesar de que el hardware la proporcione actualmente no está incluido en el lenguaje Arduino.

LED: 13. Hay un LED integrado en la placa conectado al pin digital 13, cuando este pin tiene un valor HIGH(5V) el LED se enciende y cuando este tiene un valor LOW(0V) este se apaga.

El Mega tiene 16 entradas analógicas, y cada una de ellas proporciona una resolución de 10bits (1024 valores). Por defecto se mide de tierra a 5 voltios, aunque es posible cambiar la cota superior de este rango usando el pin AREF y la función `analogReference()`. Además algunos pines tienen funciones especializadas:

I2C: 20 (SDA) y 21 (SCL). Soporte del protocolo de comunicaciones I2C (TWI) usando la librería `Wire`.

Reset. Suministrar un valor LOW(0V) para reiniciar el microcontrolador. Típicamente usado para añadir un botón de reset a los shields que no dejan acceso a este botón en la placa.

### **3.14.4.5 Comunicaciones**

El Arduino Mega facilita en varios aspectos la comunicación con el ordenador, otro Arduino u otros microcontroladores. El ATmega1280 proporciona cuatro puertos de comunicación vía serie UART TTL<sup>11</sup> (5V). Un chip FTDI FT232RL integrado en la placa canaliza esta comunicación serie a través del USB y los drivers FTDI proporcionan un puerto serie virtual en el ordenador. El software incluye un monitor de puerto serie que permite enviar y recibir información textual de la placa Arduino. Los LEDs RX y TX de la placa parpadearán cuando se detecte comunicación transmitida a través del chip FTDI y la conexión USB.

La librería SoftwareSerial permite comunicación serie por cualquier par de pines digitales del Mega. El ATmega1280 también soporta la comunicación I2C<sup>12</sup> (TWI) y SPI<sup>13</sup>. El software de Arduino incluye una librería Wire para simplificar el uso del bus I2C.

### **3.14.4.6 Programación**

El ATmega1280 en el Arduino Mega viene precargado con un gestor de arranque (bootloader) que permite cargar nuevo código sin necesidad de un programador por hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo STK500<sup>14</sup> original.

---

<sup>11</sup> Transmisor-Receptor Asíncrono Universal

<sup>12</sup> I2C es un bus de comunicaciones en serie. Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit (Inter-Circuitos Integrados).

<sup>13</sup> del inglés Serial Peripheral Interface

<sup>14</sup> Se basa en protocolos realizados para la comunicación con controladores marca Atmel

# Capítulo 4 : Diseño del Sistema de Automatización

## 4.1 Introducción

En el presente capítulo se desarrolla el diseño del sistema de control y automatización que incluye los diferentes componentes que intervienen en el sistema, el cual se divide en dos partes:

-Software: Basado en la lógica de programación y la interfaz de usuario desarrollado mediante el LabVIEW.

-Hardware: Compuesto por los sensores de nivel, conductividad eléctrica, pH y temperatura así como también de los actuadores como las motobombas, mezcladores y el dispositivo de Chiller y además de la tarjeta de adquisición de datos Arduino y la interfaz de relés de 8 canales.

## 4.2 Diseño del diagrama de Proceso e Instrumentación P&ID

En la figura 32 se muestra el diagrama de proceso e instrumentación (P&ID) propuesto para el sistema de automatización, este consta de sensores de temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto conectados a un controlador cuya función es analizar los valores para poner en funcionamiento los actuadores con la finalidad de estabilizar el sistema se estabilice cuando fuese necesario.

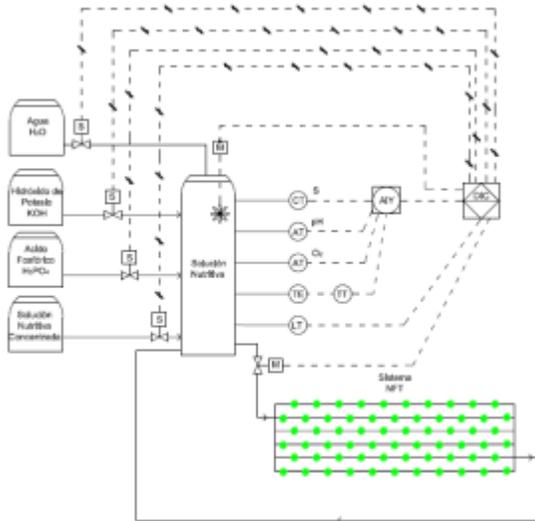


Figura 32 : Diagrama PID

4.3

## Diseño del Sistema

La figura 33 se muestra el diagrama de bloques desarrollado según el diagrama de proceso e instrumentación que corresponde al diseño general del sistema de automatización y control del sistema NFT para cultivos hidropónicos.

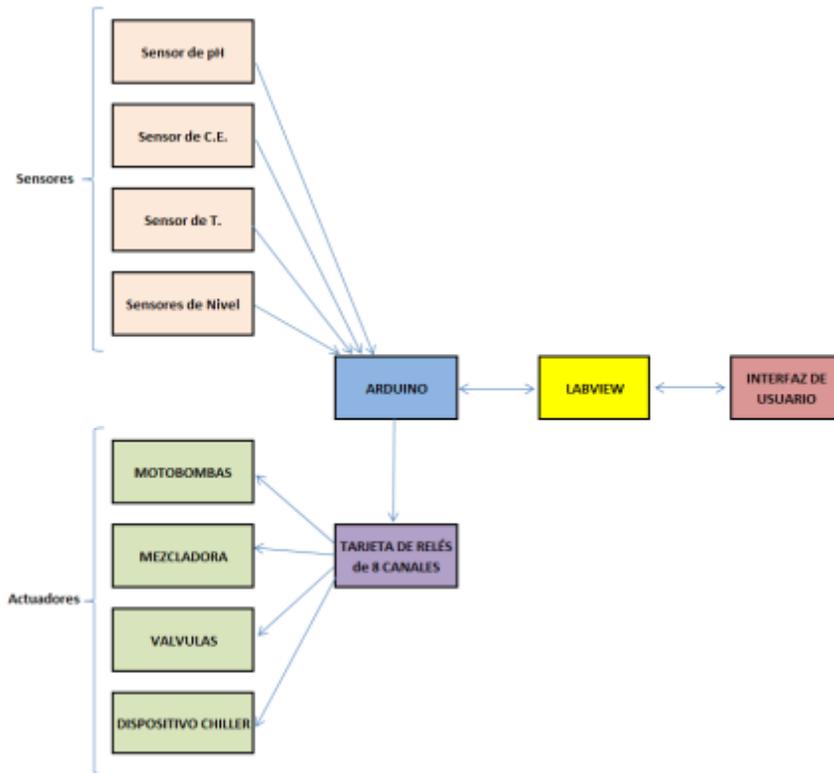


Figura 33: Diagrama de bloques del Sistema de Control y Automatización

#### 4.4 Programación del LabVIEW para establecer comunicación con el DAQ Arduino

En esta parte se explicará detalladamente la parte del diagrama de bloques mostrada en la figura 34 correspondiente a la programación necesario para la comunicación entre el Arduino y el LabVIEW.



Figura 34: Diagrama de bloques de comunicación entre Hardware y Software

El software de LabVIEW es el encargado de recibir los datos de la tarjeta de adquisición de datos de Arduino, procesarlos mediante la lógica de programación diseñada , establecer una

interfaz gráfica en donde el usuario tenga la posibilidad de ver la planta y tomar acciones correctivas. El flujo de la comunicación del sistema se muestra en la figura 35.



Figura 35 : Flujo de la comunicación del Sistema

En la figura 36 se muestra la programación completa desarrollada en LabVIEW para el sistema de automatización y control de cultivos hidropónicos, la parte encerrada dentro del recuadro rojo corresponde a la lógica de programación que permite establecer comunicación entre el DAQ Arduino y el LabVIEW, el cual será explicado detalladamente.

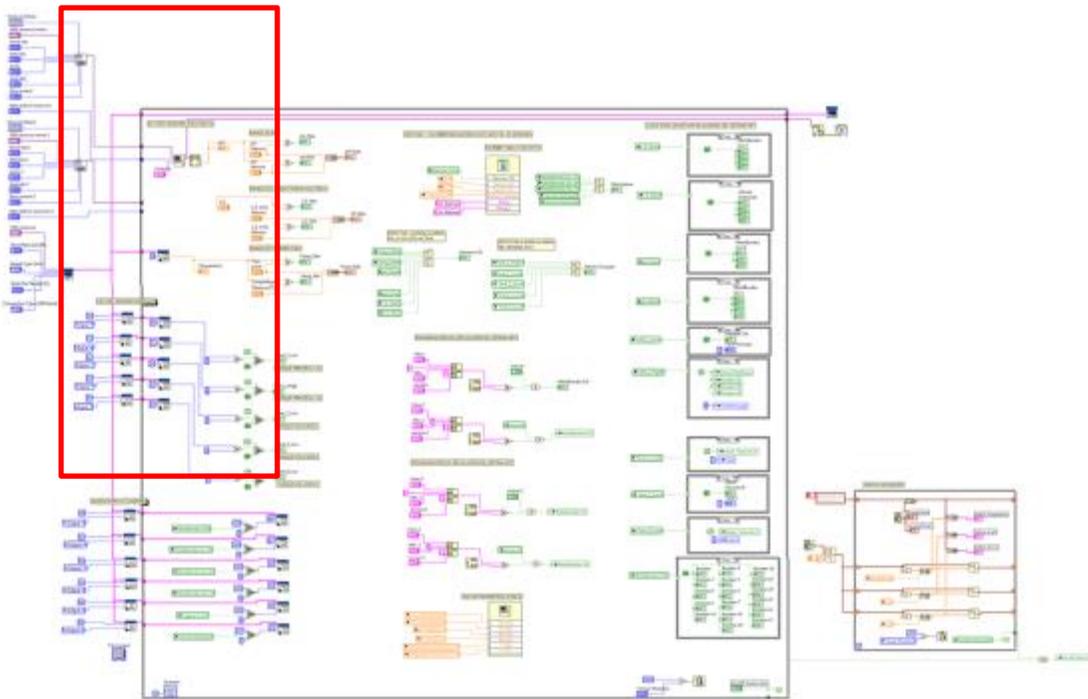


Figura 36 : Programación del Sistema de Automatización en LabVIEW

La comunicación de LabVIEW con el DAQ Arduino, se realiza mediante una librería exclusiva diseñada por National Instruments para Arduino, esta se encuentra disponible en el portal de NI.com de manera gratuita. Una vez instalada la librería, aparecerá en nuestra

paleta de funciones una nueva subpaleta con el nombre Arduino, tal como se muestra en la figura 37.

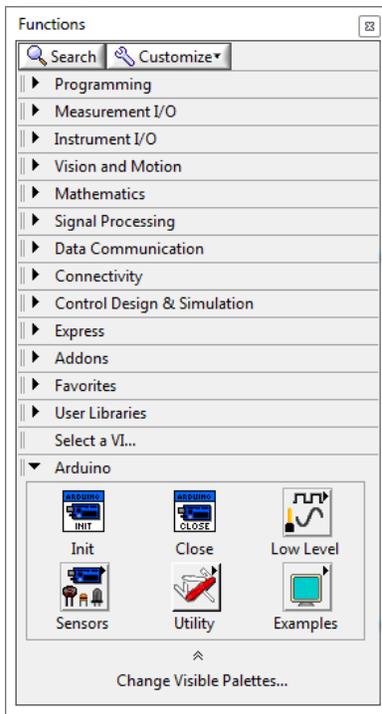


Figura 37 : Subpaleta Arduino en LabVIEW

La configuración para establecer la comunicación serial entre el hardware de Arduino con el software LabVIEW se muestra en la figura 38.

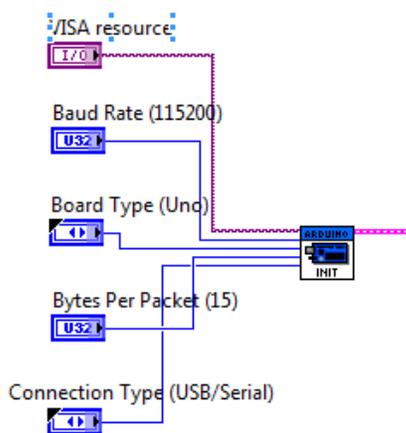


Figura 38 : Comunicación Arduino - LabVIEW mediante puerto SERIAL

En la figura 39 se muestra la parte del programa encargada de inicializar el puerto serial (VISA resource) con los parámetros correspondientes a los valores del hardware de los sensores de pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.

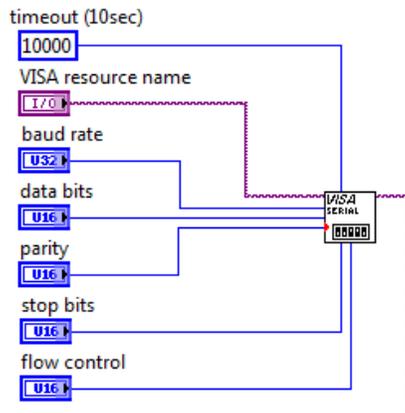


Figura 39 : Comunicación Serial VISA - LabVIEW

Para realizar la programación de la interfaz entre el hardware Arduino y la plataforma de LabVIEW debemos instalar previamente la librería de Arduino como se mencionó anteriormente, con la finalidad de tener disponible las funciones mostradas en la figura 40 en nuestra paleta de funciones del diagrama de bloques.

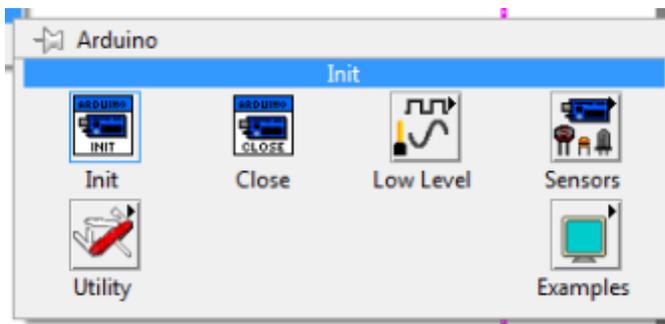


Figura 40 : Librería de funciones de Arduino para LabVIEW

La inicialización se realiza mediante la función “Arduino Init” mostrada en la figura 41, donde se especifica los parámetros de comunicación con la tarjeta Arduino tales como el tipo de conexión (Puerto Serial), Baund Rate, tipo de tarjeta, Bytes por paquete, entre otros.

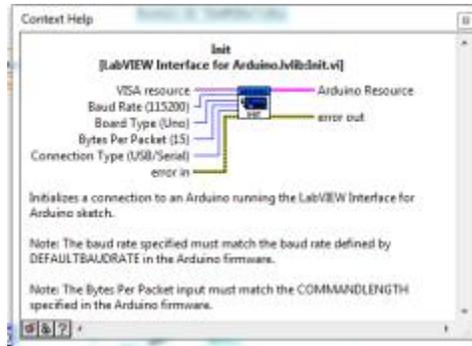


Figura 41: Función Arduino Init

La programación final en el diagrama de bloque se muestra en la figura 42 y la interfaz para el usuario se en la figura 43.

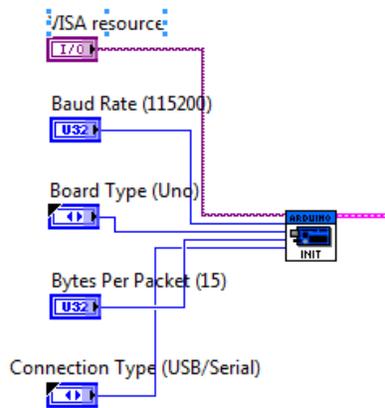


Figura 42 : Diagrama de Bloques - Inicialización Arduino

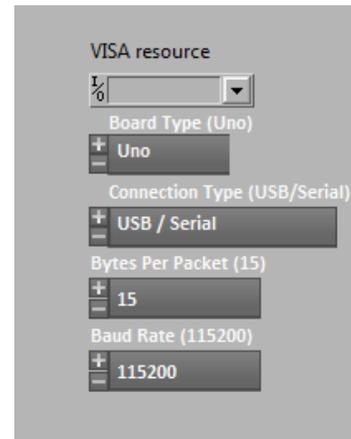


Figura 43: Panel Frontal - Inicialización Arduino

#### 4.4.1 Programación para la configuración de entradas digitales

Para definir un puerto digital de la tarjeta Arduino como entrada o salida, usamos la función “Set Digital Pin Mode” que se encuentra dentro de la subpaleta de Arduino, figura 44.

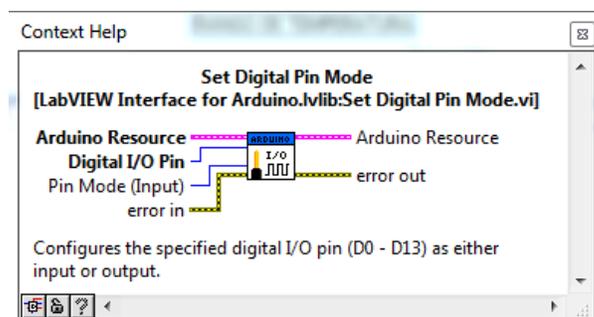


Figura 44 : Función Set Digital Pin Mode

Para el presente proyecto se usa los puertos del 30 a 36 del Arduino Mega 2560 como entradas de señales digitales distribuidos según la tabla 04.

Puerto	Función
30	Sensor de Nivel bajo del tanque principal de la solución nutritiva
31	Sensor de Nivel alto del tanque principal de la solución nutritiva
34	Sensor de Nivel bajo del tanque de la Solución 1
35	Sensor de Nivel bajo del tanque de la Solución 2
36	Sensor de Nivel bajo del tanque de la Solución 3

Tabla 4 : Distribución de entradas digitales para el

Proyecto de Automatización - Arduino Mega

En la figura 45 se muestra la programación final de los puertos 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36 de la tarjeta Arduino Mega 2560 como entradas de lectura.

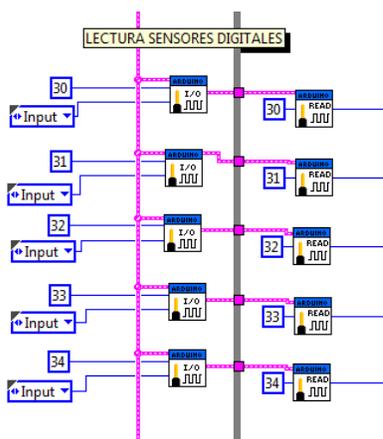


Figura 45 : Programación de puertos  
digitales de lectura

#### 4.4.2 Programación para la configuración de salidas digitales

Debido a la necesidad de controlar actuadores como bombas y ventiladores es necesario programar puertos digitales como salidas para poder accionar estos elementos.

Por tal motivo, en el proyecto se definieron los puertos 40, 41, 42, 43, 44 y 45 de la tarjeta Arduino Mega según la tabla 5.

<b>Puerto</b>	<b>Función</b>
37	Válvula Solenoide para el ingreso de Agua al tanque Principal
38	Mezcladora del tanque de la Solución Nutritiva
39	Control del dispositivo Chiller
40	Control de la motobomba del tanque de la Solución Nutritiva
41	Control de la motobomba del tanque de la Solución A
42	Control de la motobomba del tanque de la Solución B
43	Control de la motobomba del tanque de la Solución C
44	Control de la válvula de desfogue del tanque de la Solución Nutritiva
45	Control de la mezcladora del tanque de la Solución Nutritiva

Tabla 5 : Distribución de salidas digitales para el Arduino Mega

La programación de estos puertos se realiza mediante la función “Set Digital Pin Mode” seleccionando como tipo “Output” según se muestra en la figura 46.

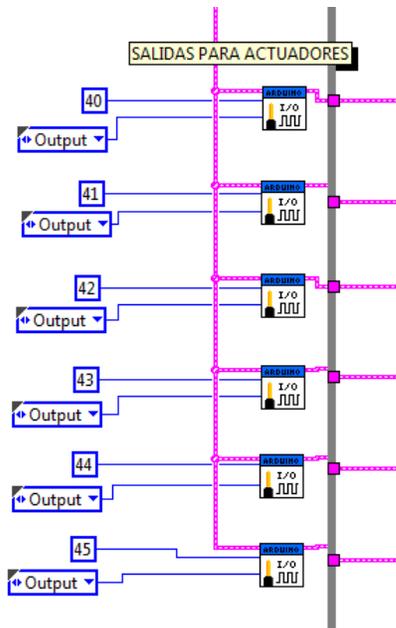


Figura 46 : Programación de puertos digitales como salida/escritura

## 4.5 Configuración de los Sensores del sistema de Automatización

Los sensores usados para el sistema de control y automatización son los siguientes:

Sensor de pH

Sensor de Conductividad Eléctrica (C.E.)

Sensor de Nivel

Sensor de Temperatura

A continuación se detallará las características y parámetros de cada sensor, así como también su interconexión entre el hardware y software, la lógica de programación y la interfaz de usuario diseñada para cada caso.

### 4.5.1 El Sensor de pH

El sensor de pH usado es de marca Atlas Scientific el cual es ideal para proyectos hidropónicos debido a que puede ser completamente sumergido indefinidamente, además de poseer un largo plazo de vida y un diseño robusto y sencillo.

El sensor será colocado dentro del tanque principal para medir continuamente los niveles de pH de la solución nutritiva del sistema.

#### **4.5.1.1 Características**

Rango pH: 0-14 (Na + error en > 12,3 pH)

Temperatura: 1 ° C - 99 ° C

Max PSI: 690 kPa (100 psi)

Velocidad de respuesta: 95% en 1 segundo

Punto de Isopotencial: pH 7.00 (0 mV)

Dimensiones 150mm X 12mm (1/2 "X 6"



Figura 47 : Sensor de pH Atlas Scientific

#### **4.5.1.2 El Circuito de pH**

El circuito de pH mostrada en la figura 48 es una interfaz que permite el monitoreo del sensor de pH, tiene como función leer los valores analógicos del sensor de pH y realizar la conversión analógicos/digitales mediante un microcontrolador con la finalidad de poder

transmitirlos mediante una conexión serial asíncrona. (Oscilación de voltaje de 0-VCC no, + / - 12 voltios).

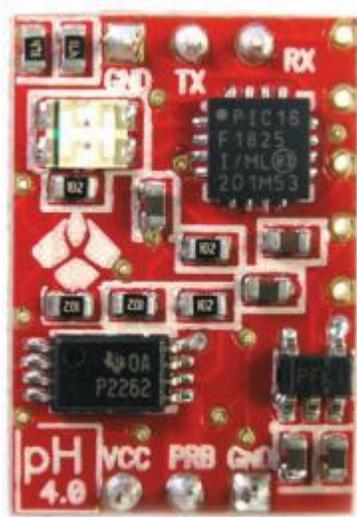


Figura 48 : Circuito del Sensor de pH

#### 4.5.1.2.1 Características del Circuito:

Gama de lectura de pH de 0,01 hasta 14,00

Precisión de dos cifras significativas.

Un solo lectura o lectura de modo continuo.

Protocolo de Calibración.

Conectividad serial asíncrona simple (oscilación de voltaje de 0-VCC)

Voltaje operacional de 2.5V a 5.5V

Bajo consumo de energía

Dimensiones: 14mm x 20.16mm (0.55 "X0.79")

#### 4.5.1.2.2 Pin Out

GND: Tierra

VCC: 2,5 V - 5,5 V

TX: La salida TX proporciona datos asíncronos en serie siguiendo el formato RS-232. La salida muestra caracteres ASCII que representan el pH, todo termina con un retorno de carro (ASCII 13).

La velocidad de transmisión es: 38400, 8 bits, sin paridad, con un bit de parada.

La oscilación de voltaje de 0-VCC.

RX: TTL RS-232, pin de recepción.

PRB: Conexión del sensor de pH

#### 4.5.1.2.3 Parámetros de Funcionamiento

Los parámetros de funcionamiento del sensor y circuito de pH se muestran en la tabla 6.

Parámetro	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades
Temperatura de funcionamiento (Circuito pH)	-40		125	C°
Temperatura de funcionamiento (Sensor pH)	1	25	35	C°
VCC	2.5	3.3	5.5	V

Tabla 6 : Parámetros del Sensor y Circuito de pH

#### **4.5.1.3 Configuración del rango de pH**

Mediante una interfaz de usuario programada en LabVIEW, el usuario deberá de ingresar los valores del rango de pH en el cual desee que se mantenga la solución nutritiva de su sistema NFT, estos valores serán ingresados según se muestra en el gráfico 2.4.

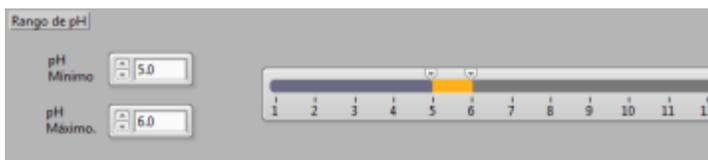


Figura 49 : Configuración del rango pH - LabVIEW Usuario

Los valores ingresados se guardarán en variables locales tipo flotante según la tabla 7.

Variable	Tipo	Descripción
pH Máximo	flotante	Valor del pH máximo ingresado por el usuario
pH Mínimo	flotante	Valor del pH mínimo ingresado por el usuario

Tabla 7 : Variables del rango de pH - LabVIEW

#### 4.5.1.4 Lógica de Programación

Debido a que el sensor de pH nos entrega caracteres ASCII (datos tipo “string”) usamos un conversor de datos del tipo string a flotante cuya salida es guardada dentro de una variable tipo “flotante” llamada “pH” y esta es comparada con las variables de los valores mínimos y máximos ingresados por el usuario (pH\_Máximo, pH\_Minimo), según se muestra en la figura 50.

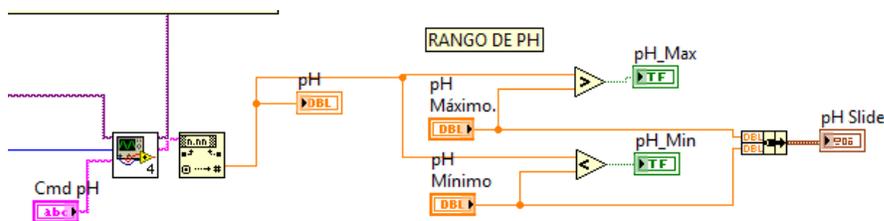


Figura 50: Programación LabVIEW - Detección del rango de pH

Usando un comparador se detecta si el valor del sensor de pH está fuera de rango, este comparador permitirá detectar cuando el pH esté sobre o por debajo del rango programado, cuando esto suceda se cambiará el estado de las variables pH\_Max o pH\_Min de “False” a “True” según corresponda.

#### 4.5.1.5 Acciones:

Cuando la variable booleana pH\_Max se encuentre en el estado “True”, permitirá realizar acciones en la Planta<sup>15</sup> con el objetivo de disminuir los niveles de pH hasta que alcance los

<sup>15</sup> Planta: Se refiere al Sistema NFT del Cultivo Hidropónico

programados por el usuario, quiere decir que el cambio de esta variable será reflejada con el encendido de la motobomba del tanque de la Solución B y la mezcladora del tanque de la solución nutritiva hasta que el nivel de pH programado este dentro del rango, por ende hasta que la variable booleana pH\_Max cambie de estado de “True” a “False”.

En la interfaz usuario se activará un led rojo como se muestra en la figura 51 indicando al usuario que la alarma de pH máximo está activa.

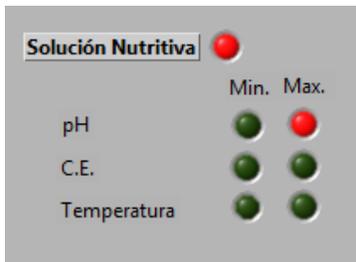


Figura 51: Interfaz Usuario,

Alarma de pH máximo activa

La programación de lo antes descrito se muestra en la figura 52.

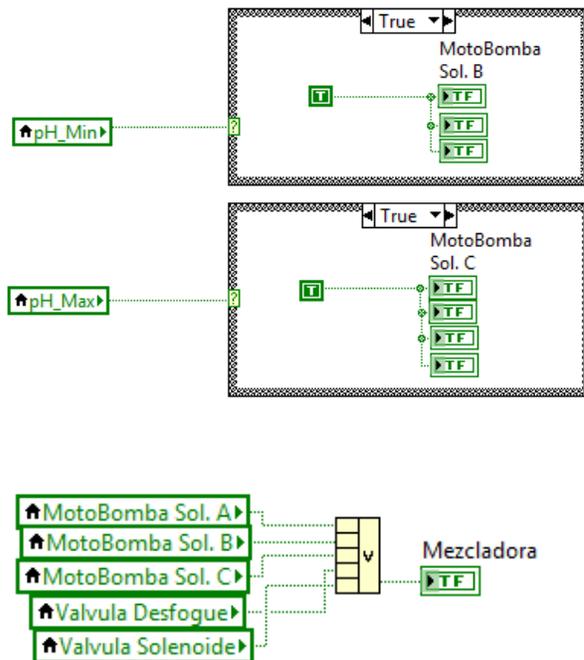


Figura 52 : Programación para el control de pH

La activación de la motobomba de la solución B y la mezcladora se realiza mediante el cambio de estado de 0v a 5v en la salida de los puertos 38 y 42 del Arduino Mega 2560 el cual activa un relé<sup>16</sup> que se encarga de activar dichos dispositivos, la programación realizada para este proceso se muestra en la figura 53.

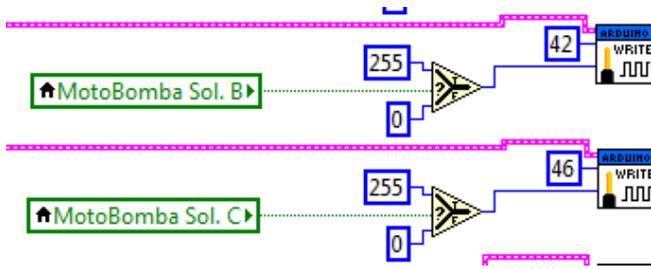
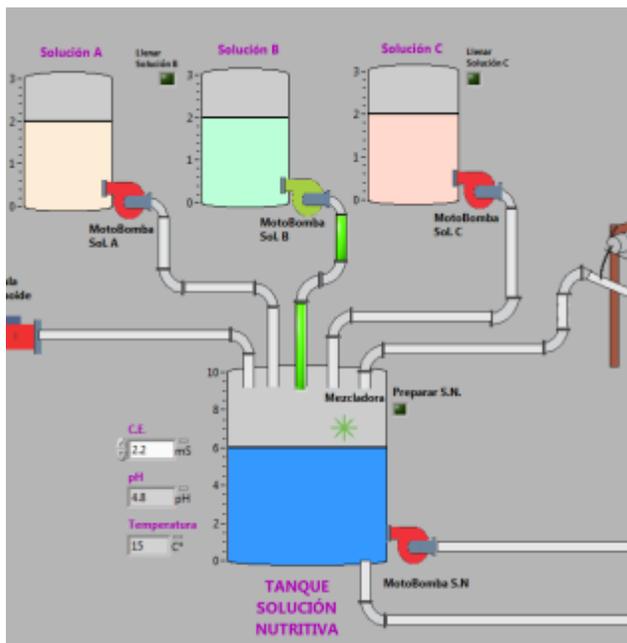


Figura 53 : Programación en LabVIEW para activar puertos

del HW Arduino para controlar los niveles de pH

Cuando se active este proceso, la interfaz gráfica ilustrará la activación de la motobomba de la solución B y la mezcladora según se muestra en la figura 54.



<sup>16</sup> El relé o relevador es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico

Figura 54: Interfaz Gráfica del Sistema

pH fuera del rango máximo

En cambio, cuando la variable pH\_Min se encuentre en el estado “True” se activarán la motobomba del tanque de la Solución C y la mezcladora del tanque de la solución nutritiva hasta que se alcance el nivel de pH programado por ende hasta que la variable booleana pH\_Min cambie de estado de “True” a “False”, en la interfaz usuario se activará la alarma de nivel de pH mínimo según la figura 55.



Figura 55: Alarma de pH mínimo

La activación de la motobomba de la solución C y la mezcladora se realiza mediante el cambio de estado de 0v a 5v en la salida de los puertos 38 y 46 del Arduino Mega 2560 el cual activa unos relés designados a activar dichos dispositivos, la programación realizada para este proceso se muestra en la figura 53.

Cuando se active este proceso, la interfaz gráfica ilustrará la activación de la motobomba de la solución B y la mezcladora según se muestra en la figura 56.

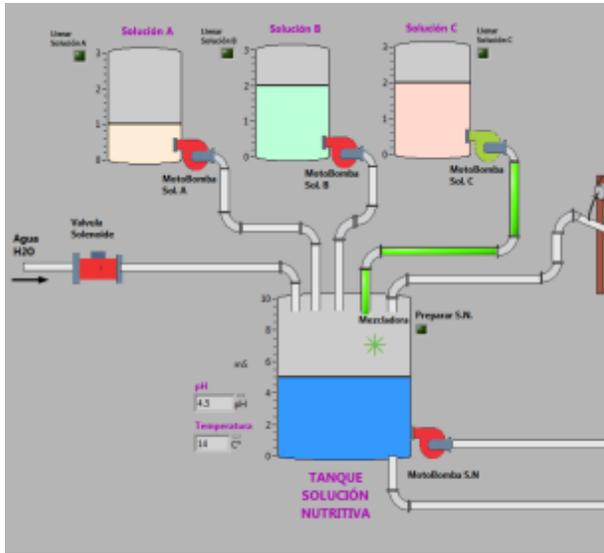


Figura 56: Interfaz Gráfica del Sistema

pH fuera del rango mínimo

## 4.5.2 El Sensor de Conductividad Eléctrica

El sensor de conductividad usado es de la marca Atlas Scientific, el cual es resistente a la corrosión y extremadamente durable. Este sensor es ideal para el uso en hidroponía debido a su largo tiempo de vida y su diseño es robusto y sencillo.

Este sensor será instalado dentro del tanque principal donde censará continuamente los niveles de conductividad eléctrica de la solución nutritiva del sistema NFT.

### 4.5.2.1 Características del Sensor de C.E

Superficie de medición: platino recubierto de platino negro

Material del cuerpo: Epoxy

Temperatura máxima: 0-70 grados C

Max PSI: 1379 kPa (200psi)

Dimensiones 150mm X 12mm (1/2 "X 6")



Figura 57 : Sensor de C.E. Atlas Scientific

#### 4.5.2.2 Circuito de Conductividad Eléctrica

El circuito de Conductividad Eléctrica mostrada en la figura 58 es una interfaz que permite el monitoreo del sensor de conductividad, tiene como función leer los valores analógicos del sensor de conductividad y realizar la conversión analógicos/digitales mediante un microcontrolador con la finalidad de poder transmitirlos mediante una conexión serial asíncrona. (oscilación de voltaje de 0-VCC no, + / - 12 voltios).

Este circuito está diseñado para lecturas tanto continuas como intermitentes y puede funcionar en forma continua durante 12 meses antes de una re calibración.



Figura 58 : Circuito del Sensor de C.E.

### 4.5.2.3 Características del Circuito

Lecturas de conductividad +/- 5 uS

Capacidad de conductividad completa: de 11uS a 92000 mS

Las lecturas son independientes a la temperatura

La salinidad se deriva de la Escala Práctica de Salinidad (PSS-78)

Conectividad serial asincrónica simple (oscilación de voltaje de 0-5v)

5V Tensión

Dimensiones: 18.4mm x 20.56mm (0.72 "X0.80")

### 4.5.2.4 Pin Out

GND: Tierra

VCC: 2,5 V - 5,5 V

TX: La salida TX proporciona datos asíncronos en serie siguiendo el formato RS-232. La salida muestra caracteres ASCII que representan el pH , todo termina con un retorno de carro (ASCII 13).

La velocidad de transmisión es: 38400, 8 bits, sin paridad, con un bit de parada.

La oscilación de voltaje de 0-VCC.

RX: TTL RS-232, pin de recepción.

PRB: Conexión del sensor de pH

### 4.5.2.5 Parámetros de Funcionamiento

Parámetro	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades
Temperatura de funcionamiento (Circuito Conductividad Eléctrica)	-40		125	C°
Temperatura de funcionamiento (Sensor)	-20	25	125	C°

Tabla 8: Parámetros del Sensor y Circuito de CE

#### 4.5.2.6 Configuración del rango de la Conductividad Eléctrica

Mediante la interfaz de usuario, el usuario deberá de ingresar los valores del rango de Conductividad Eléctrica en el cual desee que se mantenga la solución nutritiva de su sistema NFT, estos valores serán ingresados según la figura 59.

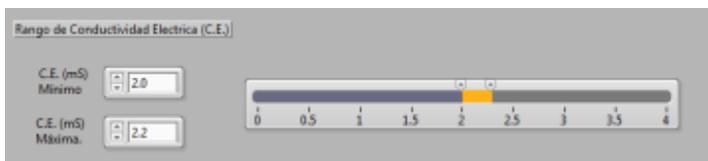


Figura 59 : Configuración del rango CE - LabVIEW Usuario

Los valores ingresados se guardarán en variables locales tipo flotante según se muestra en la tabla 9.

Variable	Tipo	Descripción
C.E._(mS)_Máxima	flotante	Valor de Conductividad Eléctrica máximo ingresado por el usuario
C.E._(mS)_Mínima	flotante	Valor de Conductividad Eléctrica mínima ingresado por el usuario

Tabla 9 : Variables del rango de CE – LabVIEW

#### 4.5.2.7 Lógica de Programación

Debido a que el sensor de Conductividad Eléctrica, al igual que el sensor de pH, nos entrega caracteres ASCII (datos tipo “string”) usamos también un conversor de datos del tipo string a flotante cuya salida es guardada dentro de una variable tipo “flotante” llamada “C.E.” y esta es comparada con las variables de los valores mínimos y máximos ingresados por el usuario (C.E.\_(mS)\_Máxima, C.E.\_(mS)\_Mínimo), según se muestra en la figura 60.

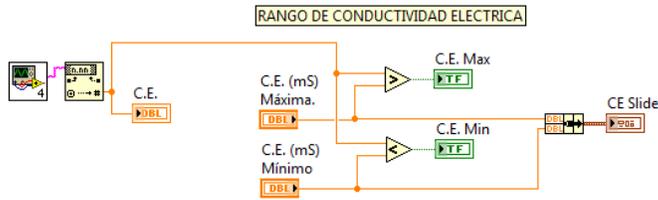


Figura 60 : Programación LabVIEW - Detección del rango de CE

Usando un comparador se detecta si el valor del sensor de Conductividad Eléctrica está fuera de rango, este cambiará de estado de “False” a “True” de las variables booleanas C.E. Max o C.E. Min según sea el caso.

#### 4.5.2.8 Acciones:

Cuando la variable C.E. Max se encuentre en el estado “True”, permitirá realizar acciones en el sistema NFT que permita disminuir los niveles de C.E. hasta alcanzar los niveles deseados por el usuario, quiere decir que se activará la válvula solenoide que permitirá el ingreso de agua al tanque de la solución nutritiva el cual con la ayuda de la mezcladora disminuirán los valores de C.E hasta que alcance el nivel programado por el usuario, por ende la variable booleana C.E. Max cambiará de estado de “True” a “False”.

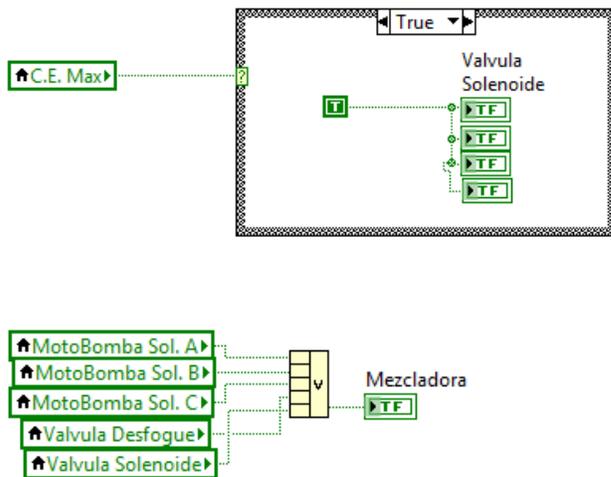


Figura 61: Programación para el control de CE

Cuando esto suceda, en la interfaz usuario se activara el led rojo indicando que la alarma de C.E. máximo está activa, como se muestra en la figura 62.

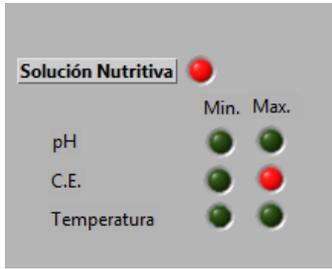


Figura 62: Figura 54: Alarma de C.E. Máximo,

### Interfaz Usuario

La activación de la válvula solenoide y la mezcladora se realiza, al igual que los casos anteriores, mediante el cambio de estado de 0v a 5v en la salida de los puertos 37 y 38 del Arduino Mega 2560 los cuales activarán los relés que se encarguen de dichos dispositivos, la programación realizada para este proceso se muestra en la figura 63.



Figura 63: Programación en LabVIEW para activar puertos

del HW Arduino para controlar los niveles de CE

En cambio, cuando se active este proceso, la interfaz gráfica ilustrará la activación de la válvula solenoide y la mezcladora según se muestra en la figura 64.

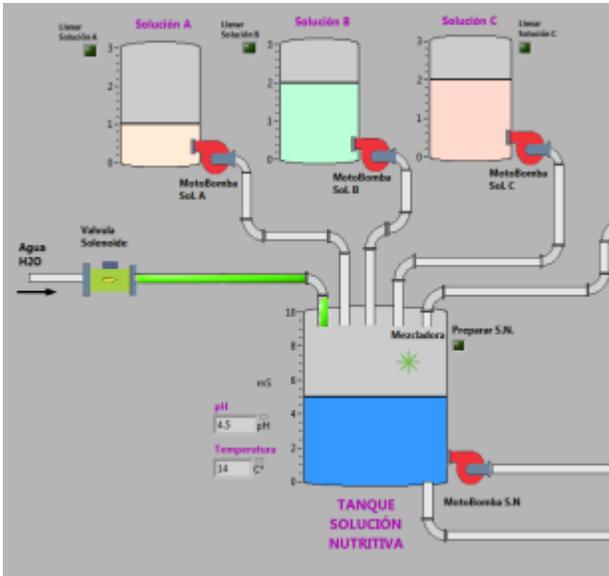


Figura 64: Interfaz Gráfica del Sistema

CE fuera del rango máximo

Cuando la variable C.E. Min se encuentre en el estado “True” se activará la motobomba de la Solución A que permitirá el ingreso de una solución nutritiva concentrada el cual incrementará el valor de la C.E. hasta llegar al nivel programado por el usuario, quiere decir que la variable booleana C.E. Min cambiará de estado de “True” a “False”.

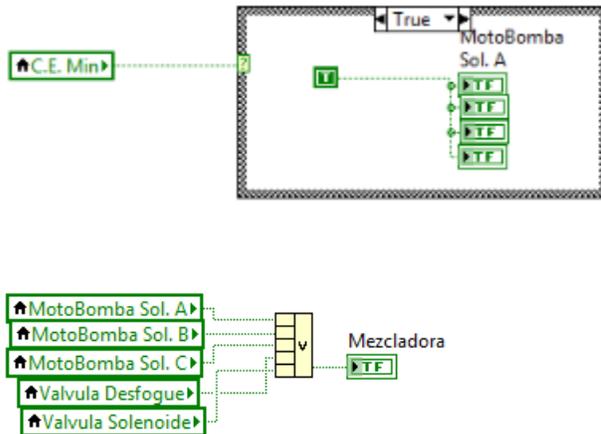


Figura 65 : Programación para el control de CE

La activación de la motobomba de la Solución A y la mezcladora se realiza mediante el cambio de estado en la salida de los puertos 38 y 41 del Arduino Mega 2560 los cuales activarán los relés que se encarguen de dichos dispositivos, la programación realizada para este proceso se muestra en la figura 66.

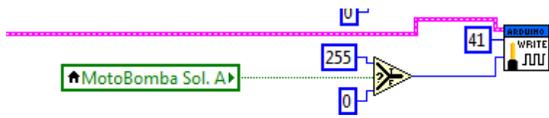


Figura 66 : Programación en LabVIEW para activar puertos

del HW Arduino para controlar los niveles de CE

Cuando se active este proceso, la interfaz gráfica ilustrará la activación de la válvula solenoide y la mezcladora según se muestra en la figura 67 además se activará el led rojo indicando que la alarma de C.E. mínimo está activa, como se muestra en la figura 68.

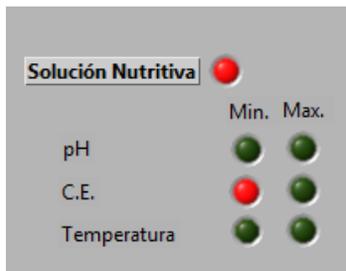


Figura 67: Alarma de C.E. Mínimo,

Interfaz Usuario

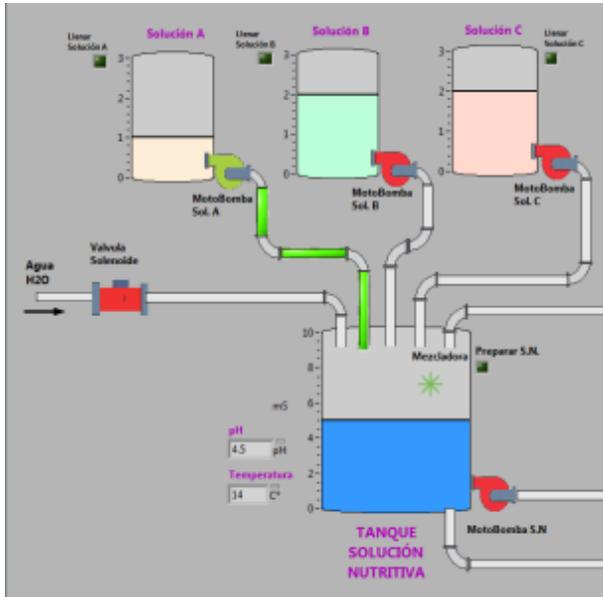


Figura 68 : Interfaz Gráfica del Sistema CE fuera del rango mínimo

### 4.5.3 Sensor de Temperatura

El sensor de temperatura permitirá medir la temperatura de la solución nutritiva del tanque principal, el cual tendrá que mantenerse dentro de un rango programado por el productor.

Para realizar medición de la temperatura se usó un sensor sencillo pero eficaz basado en el integrado LM35 que medirá constantemente la temperatura de la solución nutritiva y mediante una lógica de programación permitirá activar el dispositivo de enfriamiento y calentamiento de soluciones conocido como “Dispositivo Chiller”.

#### 4.5.3.1 Sensor de Temperatura LM35

El sensor de Temperatura usado está diseñado en base al integrado LM35 (figura 69), el cual proporciona como salida un nivel de tensión linealmente proporcional a la temperatura en grados Celsius. Este sensor posee una ventaja debido a que no requiere ninguna calibración externa y tiene una precisión de 0.50 grados centígrados.



Bajo coste

Opera de 4 a 30 voltios

Menos de 60 uA de consumo de corriente

Bajo calentamiento

#### 4.5.3.1.2 Parámetros de Funcionamiento

Los parámetros de funcionamiento del sensor de temperatura se muestran en la tabla 10.

Parameter	Conditions	LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit	Design Limit	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.3$		$\pm 1.0$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	$\pm 0.4$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.15$		$\pm 0.3$	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0		+9.9, +10.1	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		mV/V
	$4\text{V} \leq V_{\text{DS}} \leq 30\text{V}$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_{\text{DS}} = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	67		$\mu\text{A}$
	$V_{\text{DS}} = +5\text{V}$	91		114	$\mu\text{A}$
	$V_{\text{DS}} = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		$\mu\text{A}$
	$V_{\text{DS}} = +30\text{V}$	91.5		116	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_{\text{DS}} \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		$\mu\text{A}$
	$4\text{V} \leq V_{\text{DS}} \leq 30\text{V}$	0.5		2.0	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$^\circ\text{C}$

Tabla 10: Parámetros de Funcionamiento LM35

#### 4.5.3.2 Dispositivo “Chiller”

El dispositivo Chiller es un equipo que permite enfriar o calentar soluciones líquidas, su funcionamiento se basa en el movimiento de calor por medio de un refrigerante, el cual absorbe el calor del líquido a enfriar y se transporta hacia un medio donde se disipa. El Chiller propuesto para ser usado en el sistema hidropónico se muestra en la figura 71, es de la marca AquaEuroUSA y tiene una capacidad sobre los 700 galones.



Figura 71 : Dispositivo Chiller, Marca: AquaEuroUSA

La instalación de este dispositivo es sencilla, se usa una motobomba pequeña para realizar la recirculación del líquido por el dispositivo Chiller, lo único que deberá hacer el usuario es programar la temperatura requerida y la activación será automática según se explicará en la lógica de programación.

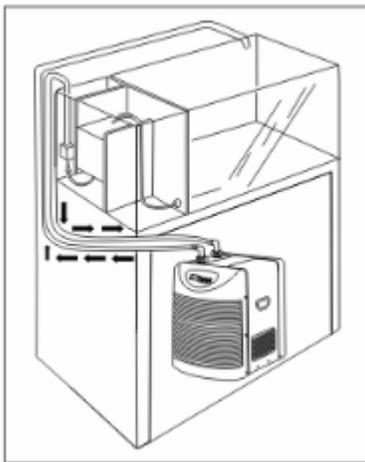


Figura 72 : Ejemplo de Instalación del Dispositivo Chiller

#### **4.5.3.3 Configuración del rango de Temperatura**

Al igual que los otros sensores, el usuario tendrá que ingresar mediante la interfaz de usuario, los valores del rango de Temperatura en la cual desee que se mantenga la solución nutritiva de su sistema NFT, estos valores serán ingresados según se muestra en la figura 73.

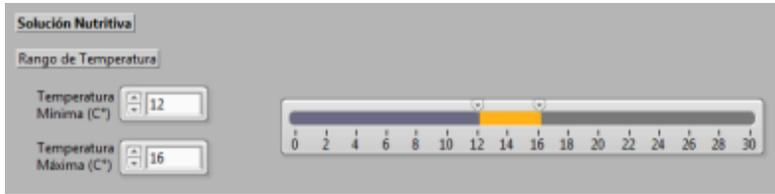


Figura 73: Configuración del rango de temperatura - LabVIEW usuario

Los valores ingresados se guardarán en variables locales tipo flotante según se muestra en la tabla 11.

Variable	Tipo	Descripción
Temperatura Máxima (C°)	flotante	Valor de la temperatura máxima ingresada por el usuario
Temperatura Mínima (C°)	flotante	Valor de la temperatura mínima ingresada por el usuario

Tabla 11 : Variables del rango de Temperatura - LabVIEW

#### 4.5.3.4 Lógica de Programación

El voltaje de salida del sensor de temperatura es conectado al puerto analógico A0 de nuestra tarjeta Arduino, mediante este puerto se leerá los valores de voltaje e ingresará a nuestra lógica de programación mediante el uso de la función “Arduino Read” vista anteriormente.

Para realizar la conversión de voltaje a grados centígrados, usamos la ecuación lineal hallada en la figura 70, por lo cual multiplicamos el voltaje de entrada en mV por un factor de 0.1 para convertirlo en °C, este nuevo valor es guardado en un la variable “Temperatura” de tipo flotante.

La variable “Temperatura”, es comparada mediante el uso de comparadores lógicos según se muestra en la figura 74. Cuando la temperatura está por debajo del valor programado se activa la alarma “Temp\_Min”, cuando está por encima se activa la alarma “Temp\_Max” y cuando está dentro del rango estas variables estarán apagadas. (Estado “False”)

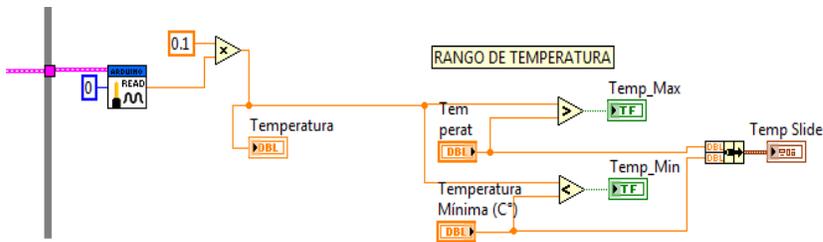


Figura 74: Programación LabVIEW - Detección del rango de Temperatura

#### 4.5.3.5 Acciones

Cuando la temperatura esté fuera del rango programado por el usuario, el estado de una de las variables booleanas “Temp\_Max” o “Temp\_Min” cambiarán del estado “False” a “True”, este cambio permitirá activar el dispositivo de enfriamiento o calentamiento de soluciones conocido como “Chiller”.

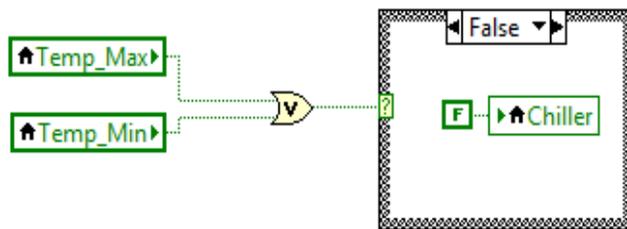


Figura 75 : Programación para el control de Temperatura

En la interfaz usuario se activará un led verde indicando la activación del Chiller y otro led de color rojo mostrando el motivo de la alarma de temperatura, según el ejemplo que se muestra en la figura 76.

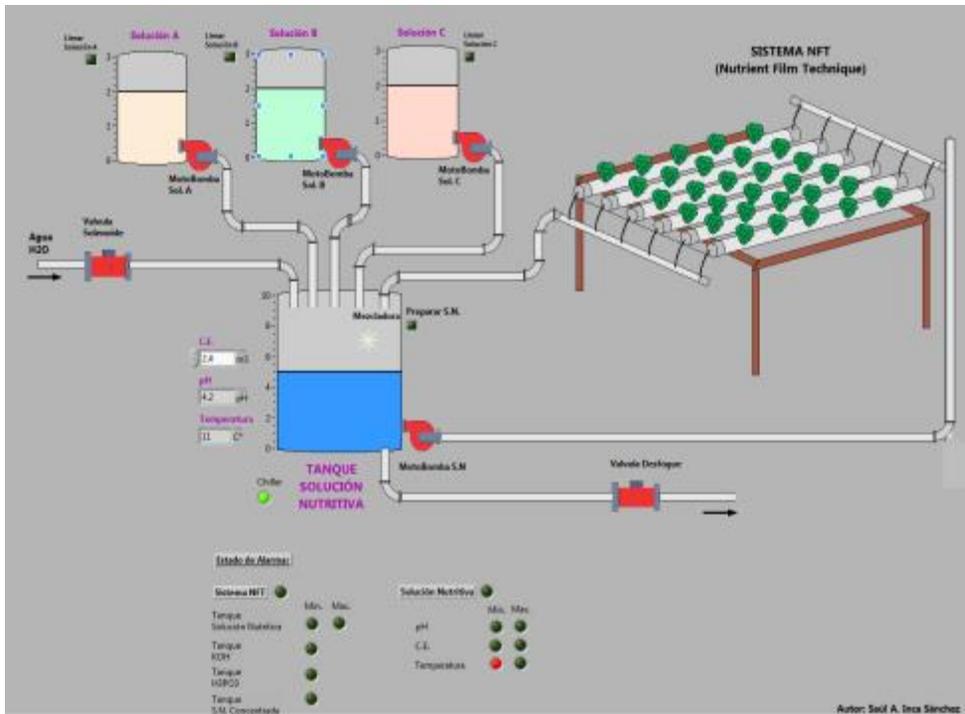


Figura 76: Interfaz Gráfica del Sistema,

Temperatura fuera del rango

La activación del dispositivo Chiller se realiza mediante la programación mostrada en la figura 77 donde se realizará un cambio de estado en el puerto 39 del Arduino Mega 2560 por el cual se activará el relé que controla el encendido del dispositivo Chiller.

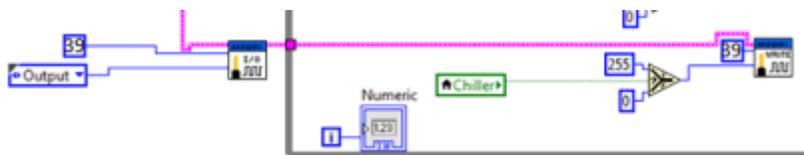


Figura 77 : Programación en LabVIEW para activar el dispositivo Chiller para controlar el nivel de Temperatura

#### 4.5.4 Sensor de Nivel

Un sensor de nivel es un dispositivo electrónico que permite medir la altura de una sustancia, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente.

Tipos de Sensores:

Interruptores de flotador o tipo boya.

Sensores ultrasónicos sin contacto

Sensores ultrasónicos de contacto, entre otros.

Para el presente proyecto se considera usar sensores tipo boya o interruptores de flotador esto debido a su bajo costo, disponibilidad en el mercado y facilidad de uso.

La distribución de los sensores de nivel en los tanques del sistema de automatización y sus variables se muestra en la tabla 12

<b>Tanque</b>	<b>Cantidad de sensores de nivel</b>	<b>Nombre de la variable</b>	<b>Función</b>
Tanque de la Solución Nutritiva	02	Tank_1_Low	Se activa cuando el nivel de la solución nutritiva del tanque principal este casi vacío.
		Tank_1_High	Se activa cuando el nivel de la solución nutritiva del tanque principal este casi lleno.
Tanque de la Solución A	01	Tank_2_Low	Se activa cuando el nivel de la solución del tanque A este casi vacío.
Tanque de la Solución B	01	Tank_3_Low	Se activa cuando el nivel de la solución del tanque B este casi vacío.
Tanque de la Solución C	01	Tank_4_Low	Se activa cuando el nivel de la solución del tanque C este casi vacío.

Tabla 12 : Tabla de distribución de sensores

de nivel en el Sistema de Control

Las acciones que se toman cuando uno de estos sensores se activa se muestran en la tabla 13.

<b>Tanque</b>	<b>Nombre de la variable</b>	<b>Estado</b>	<b>Acción</b>
Tanque de la Solución Nutritiva	Tank_1_Low	True	Activa una alarma en la pantalla de Usuario y una alarma luminosa externa indicando que se necesita preparar más solución nutritiva
		False	Standby <sup>17</sup>
	Tank_1_High	True	Activa la válvula de desfogue hasta que la alarma cambie de estado.
		False	Standby
Tanque de la Solución A	Tank_2_Low	True	Activa una alarma en la pantalla de Usuario y una alarma luminosa externa indicando al usuario que necesita proporcionar Solución A
		False	Standby
Tanque de la Solución B	Tank_3_Low	True	Activa una alarma en la pantalla de Usuario y una alarma luminosa externa indicando al usuario que necesita proporcionar Solución B
		False	Standby
Tanque de la Solución C	Tank_4_Low	True	Activa una alarma en la pantalla de Usuario y una alarma luminosa externa indicando al usuario que necesita proporcionar Solución C
		False	Standby

Tabla 13: Acciones de los sensores de nivel

en el Sistema de Control

#### 4.5.4.1 Lógica de Programación

La programación es sencilla, debido a que todas las variables de los sensores de nivel son de tipo booleano (true, false).

Como primer paso, se usa la lógica mostrada en la figura 78 con la finalidad de activar un indicador tipo led (alarma tanques) en la interfaz de usuario, para indicar que una alarma en los sensores de nivel está activa.

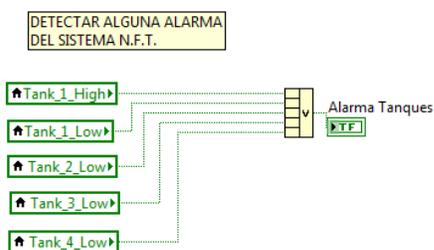


Figura 78: Lógica para detectar alarmas

de los Sensores de Nivel

Si ningún sensor se encuentra alarmado la variable “Alarma\_Tanques” estará en el estado “False” y en la interfaz usuario, todas las alarmas estarán apagadas según se muestra en el ejemplo de la figura 79.

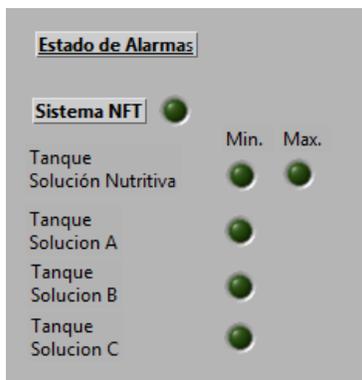


Figura 79: Estado de Alarmas de

tanques : SIN ALARMAS

En la figura 80 se muestra un ejemplo donde la variable “Alarma\_Tanques” está en el estado “True” , la cual se refleja en la interfaz usuario mediante un led rojo. Según este ejemplo, los sensores de nivel mínimo del tanque de la solución nutritiva y la solución B están alarmadas (led rojos), en ambos casos, las alarmas indicarán al usuario que es necesario proveer de soluciones a los tanques con la finalidad de corregir las alarmas.



Figura 80: Ejemplo de

Estado de Alarmas: ALARMADO

#### 4.5.4.2 Tanque de la Solución Nutritiva

El tanque de la solución nutritiva tiene dos sensores de nivel, posicionados uno en la parte inferior y otro en la superior del tanque. La lógica de programación usada para estos sensores se muestra en la figura 81.

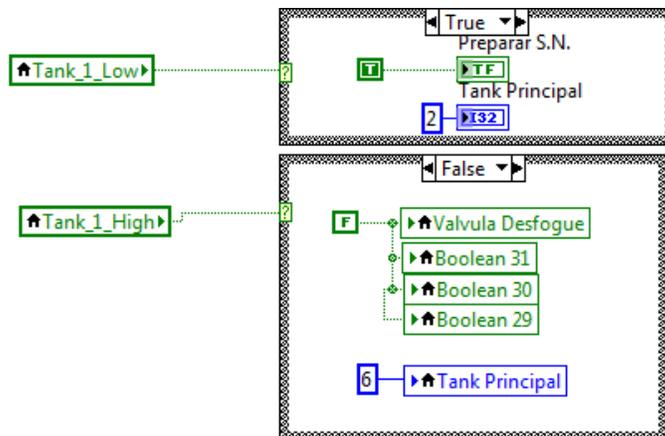


Figura 81 : Lógica de Programación de los sensores

de nivel del tanque principal

Variable Tank\_1\_Low: Cuando esta variable cambie del estado “False” a “True”, indicará que el nivel de la solución nutritiva está por debajo del nivel deseado, las acciones que tomará el sistema para corregirla será avisar al usuario mediante su interfaz indicando que se necesita suministrar más solución nutritiva al tanque principal, según se muestra en la figura 82.

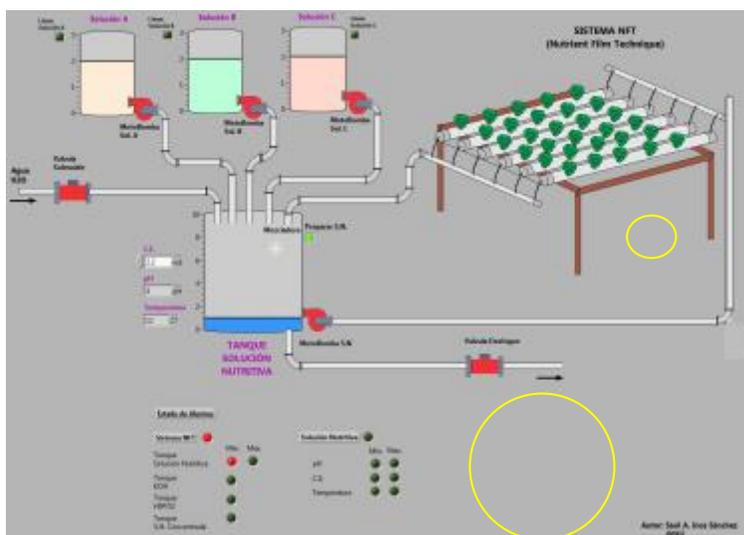


Figura 82: Interfaz de Usuario, Alarma de Nivel Bajo del tanque principal

Variable Tank\_1\_High : Cuando esta variable cambie del estado “False” a “True”, indicará que el nivel de la solución nutritiva está por encima del nivel deseado, las acciones que tomará el sistema para corregirla será activar la válvula de desfogue del tanque principal. En la interfaz usuario, este podrá ver la activación de la alarma y el encendido de la válvula de desfogue según se muestra en la figura 83.

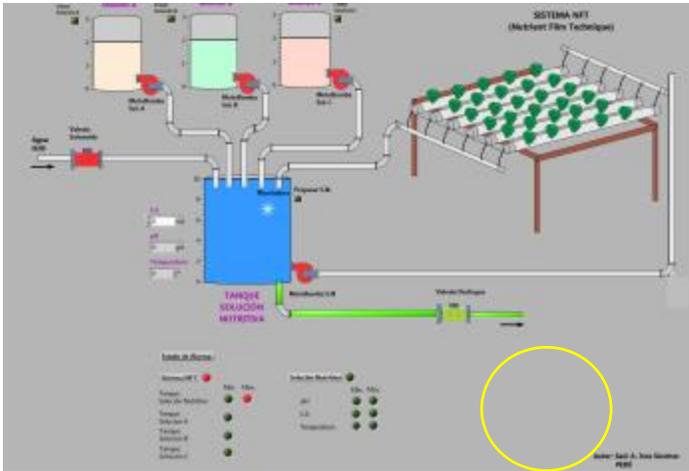


Figura 83 : Interfaz de Usuario, Alarma de Nivel Alto del tanque principal

#### 4.5.4.3 Tanques de las Soluciones A, B y C

Para los tanques de las soluciones A, B y C, se consideró el uso de un sensor de nivel por tanque, el cual permitirá detectar cuando el nivel de la solución se encuentre en un nivel bajo. La configuración de la programación para esta etapa se muestra en la figura 84 .

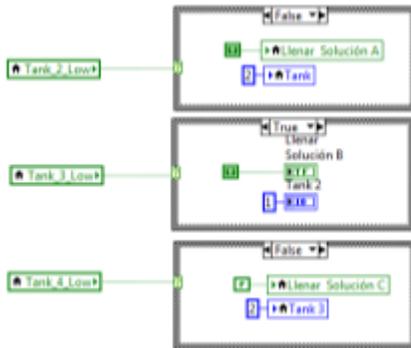


Figura 84: Lógica Programación Sensores de Nivel

de los tanques de la solución A., B y C

Cuando alguna de las variables cambie de estado de “False” a “True” , esta será reflejada en la interfaz usuario mediante el escondido de un led verde en la posición del tanque alarmado y un led rojo en el estado de alarmas general, según se muestra en el ejemplo de la figura 85.

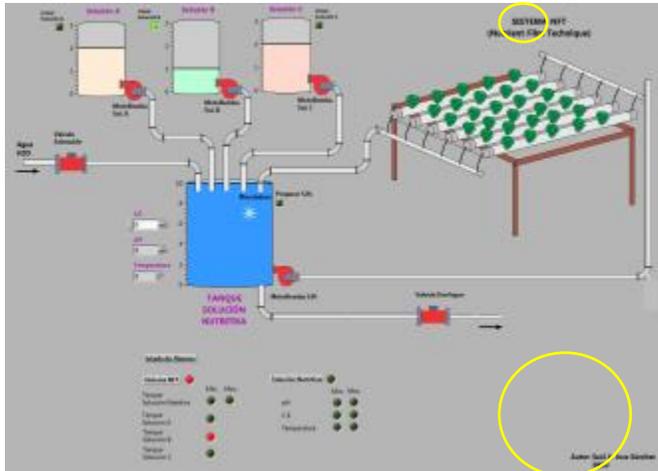


Figura 85: Ejemplo de la activación del sensor de nivel del tanque de la solución B.

## 4.6 Recirculación de la Solución Nutritiva

La automatización de la recirculación de la solución nutritiva es importante para los productores de cultivos hidropónicos, con esta función se podrá configurar el horario de la activación de la recirculación y representará un ahorro tanto en personal como energía debido a que se convierte a un factor programable.

A continuación, en la figura 86, se muestra la interfaz de usuario mediante la cual el productor programará entre una o dos recirculaciones, según este ejemplo la recirculación de la solución nutritiva para el sistema NFT se dará en dos turnos, uno en la mañana desde las 6:00h hasta las 09:30h y el otro turno en la tarde desde las 14:00h. hasta las 16:30h., las cuales se repetirán durante todos los días.

Activar	Hora	Min.	am/pm
Activar 1	06	01	a.m.
Hora de Finalización	09	30	a.m.
Activar 2	02	01	p.m.
Hora de Finalización	04	30	p.m.

Figura 86 : Configuración del periodo de recirculación –

## LabVIEW Usuario

Los valores ingresados en los campos de configuración se guardarán en variables locales según se muestra en la tabla 14.

Variable	Variable Equivalente	Tipo	Descripción
Activar	Activar 2	booleana	Variable que activa la programación de recirculación
Hora	Hora 3	string	Ingreso de Hora de Inicio
Min.	Min.3	string	Ingreso de Minutos de Inicio
Am/pm	Am/pm 3	string	Ingreso de am/pm de inicio
Hora 2	Hora 4	string	Ingreso de Hora de Fin
Min. 2	Min. 4	string	Ingreso de Minutos de Fin
Am/pm 2	Am/pm 4	string	Ingreso de am/pm de Fin

Tabla 14 : Variables de la configuración de circulación

### 4.6.1 Lógica de Programación

Para realizar la programación de la recirculación, tenemos que usar una función llamada “Get Date/Time String” (figura 87) que nos entrega la fecha y hora del sistema en un formato del tipo string.

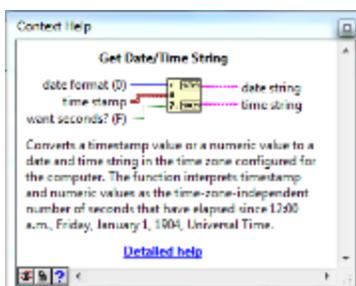


Figura 87 : Función Get Date/Time String

La programación de la recirculación de la solución nutritiva se muestra en la figura 88 , en donde las variables ingresadas por el usuario se concatenan con caracteres para formar una sola variable string cuyo formato es idéntico en forma a la que nos entrega la función “Get Date/Time String” , con ayuda de un comparador se identifica cuando existe concordancia entre las variables ingresadas por el usuario y la hora del sistema, cuando esto se sucede el

sistema verifica mediante una compuerta “and” que el usuario haya activa la pestaña de la variable 1 o 2, si esta compuerta tiene como salida “true” se activara o desactivara la recirculación mediante el encendido o apagado de la motobomba de la solución nutritiva.

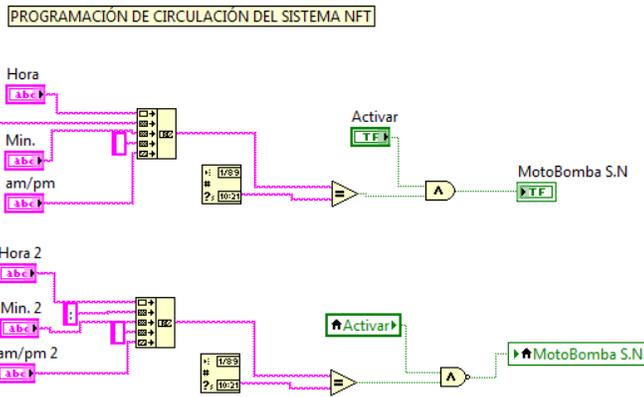


Figura 88: Programación LabVIEW - Detección del rango de pH

#### 4.6.1.1 Acciones:

Cuando la hora de inicio coincida con la del sistema, se activará la recirculación de solución nutritiva en el sistema NFT, mediante el encendido de la motobomba del tanque principal, este proceso será mostrado en la interfaz usuario según el ejemplo de la figura 89.

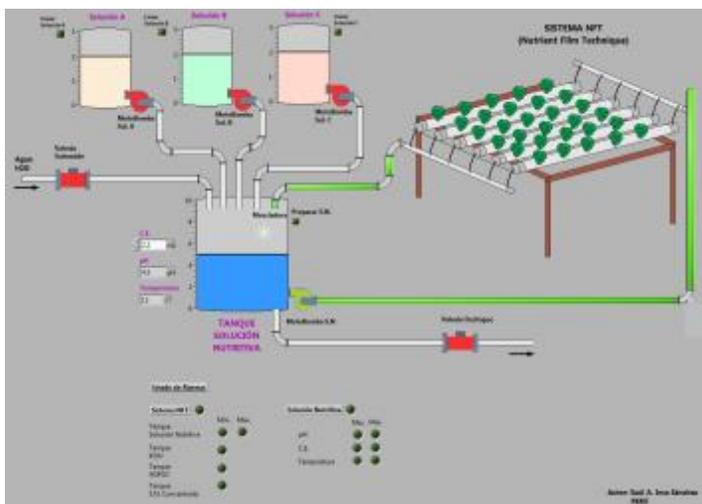


Figura 89 : Interfaz de Usuario, Activación de Recirculación del Sistema NFT

Cuando la hora de fin coincida con la del sistema, se desactivará la recirculación de solución nutritiva en el sistema NFT, apagando la motobomba del tanque de la solución nutritiva, este proceso será mostrado en la interfaz usuario según el ejemplo de la figura 90.

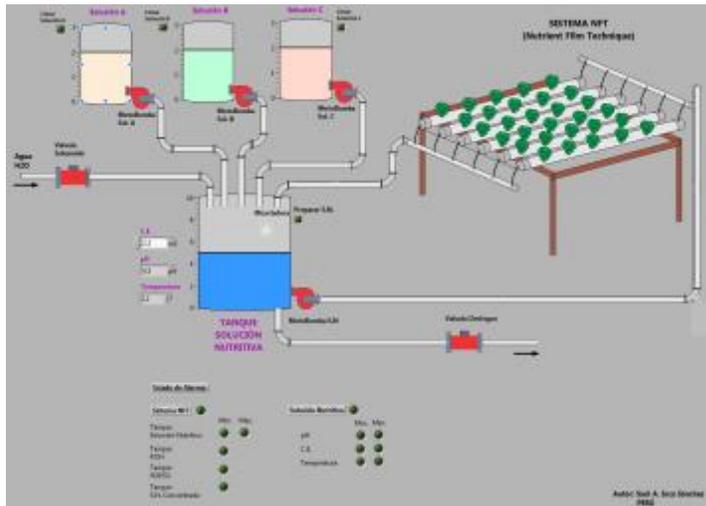


Figura 90: Interfaz de Usuario, Desactivación de Recirculación del Sistema NFT

## 4.7 Gráficas y Resultados

Esta etapa es sin duda una de las más importante del todo el programa porque proporciona al productor un gráfico histórico de su cultivo hidropónico, mostrando las variaciones de los niveles de pH, T, y C.E. a lo largo del periodo productivo.

Estos gráficos serán usados para tomar medidas correctivas, analizar la producción y establecer mecanismos para mejorar futuras producciones.

La programación se muestra en la figura 91, en donde usamos los valores de los sensores concatenados con la fecha y hora del sistema y mostramos independientemente el valor de cada sensor en función del tiempo en gráficas separadas.

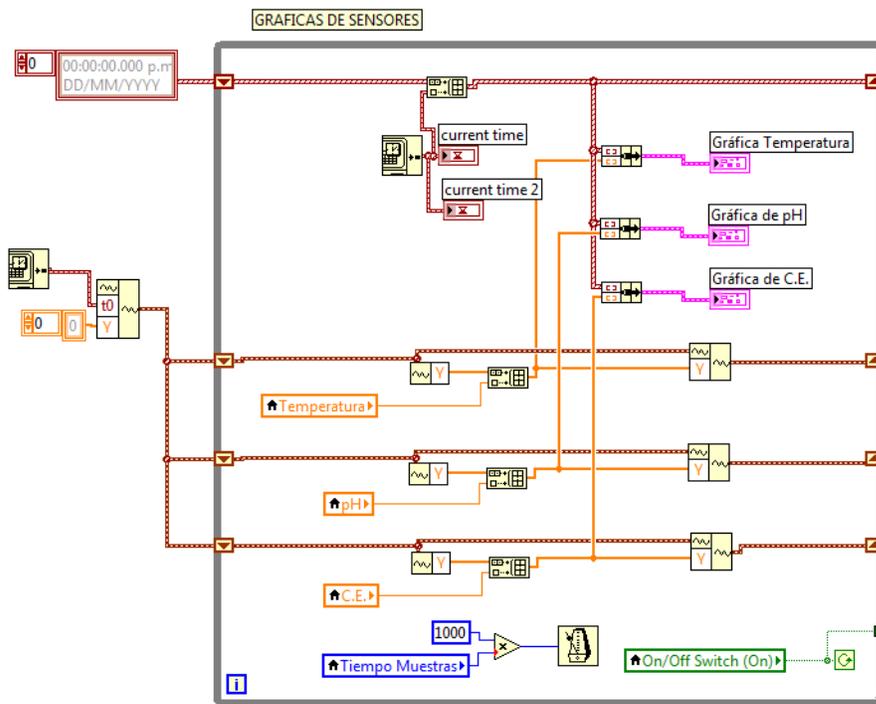


Figura 91: Programación para realizar gráficas del sistema

Las gráficas que aparecerán en la interfaz de usuario se muestran en el ejemplo de la figura 92, como se puede observar el sistema proporciona tres gráficas, en los cuales el eje “X” corresponde a la fecha y hora y, para todos los casos, el eje “Y” corresponde a los valores de los sensores de pH, temperatura y conductividad eléctrica respectivamente.

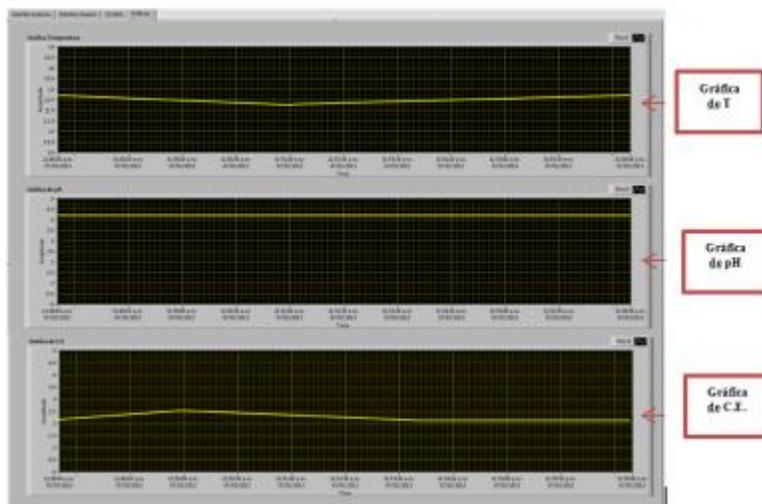


Figura 92: Resultados Gráfico de los sensores, Interfaz Usuario

Con la finalidad de no perder información acerca de la lectura de los sensores, se realiza la programación para el registro de eventos mostrada en la figura 93, con el objetivo de guardar todos los valores de las variables incluyendo la fecha/hora y el estado de las alarmas en un archivo txt. , esto servirá para tener un backup del sistema NFT en general y puede ser exportado a una plantilla de Excel para poder ser manejados por los productores para obtener estadísticas, registro de alarmas, entre otros.

Para poder realizar la escritura de las variables en un archivo con formato \*.txt usamos la función Write To Spreadsheet File, que nos permite escribir datos de una o dos dimensiones y guardarlos en un archivo \*.txt ubicado en un directorio que nosotros elijamos de nuestro computador.

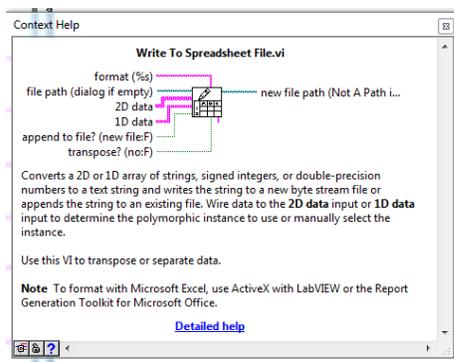


Figura 93 : Función Write To Spreadsheet File

La data que ingresará a la función Write to Spreadsheet File será la concatenación de las variables de los sensores, la fecha/hora y el estado de alarmas.

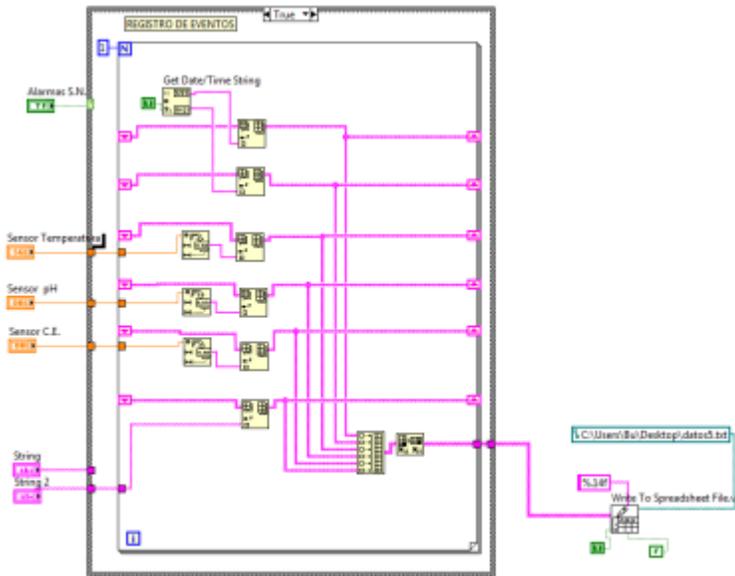


Figura 94: Lógica de la programación para el registro de datos

Con el objetivo de ordenar el VI principal, se creó un subVI de esta etapa, con el nombre Tabla\_Datos (SubVI).vi el cual se muestra en la figura 95.

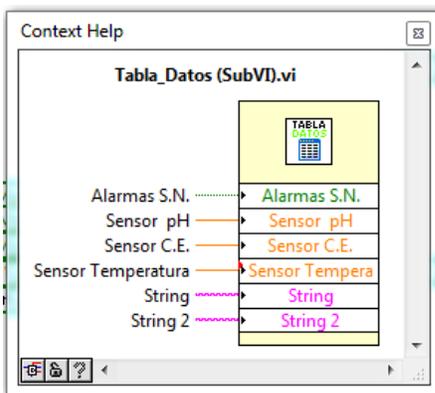


Figura 95 : Creación de SubVI para el registro de datos

La programación final en nuestro VI principal será según se muestra en la figura 96, teniendo como resultado la simplicidad del código y mejor entendimiento del mismo.

MOSTRAR Y ESCRIBIR INDICADORES DE ESTADO DE LOS SENSORES

ESCRIBIR TABLA CON DATOS

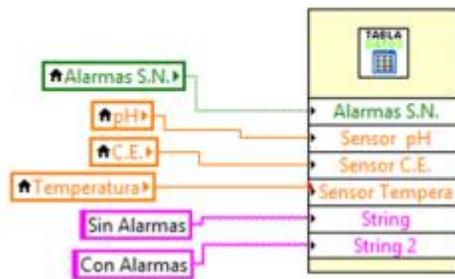


Figura 96 : Lógica de programación final para el registro de datos en el VI principal

En la figura 97 se muestra un ejemplo del registro de las variables en un archivo .txt presentado en el block de notas cuando el sistema de automatización y control está en funcionamiento, este registro es creado continuamente del modo que se garantiza que todos los datos se salvarán inclusive si el sistema estuviese apagado debido a que este se graba en el disco duro del servidor y no en la memoria RAM.

The screenshot shows a Notepad window titled 'dato1: Bloc de notas' with a menu bar (Archivo, Edición, Formato, Ver, Ayuda). The text content is a log of sensor data with the following columns: Fecha, Hora, pH, C. E, T, and Alarmas. The data is as follows:

Fecha	Hora	pH	C. E	T	Alarmas
07/03/2013	10:03:14 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:26 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:02 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:14 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:26 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:02 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:04 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:14 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:26 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:02 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:04 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:06 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:14 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:26 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:02 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:04 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:06 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:08 a.m.	1.77	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:14 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:26 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:02 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:04 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:06 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:08 a.m.	1.77	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:10 a.m.	1.77	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:14 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:26 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:02 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:04 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:06 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:08 a.m.	1.77	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:10 a.m.	1.77	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:12 a.m.	1.77	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:14 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:26 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:02 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:04 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:06 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:08 a.m.	1.77	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:10 a.m.	1.77	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:12 a.m.	1.77	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:14 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:14 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:03:26 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:02 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:04 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas
07/03/2013	10:04:06 a.m.	1.76	4.70	11.00	Sin Alarmas

Figura 97 : Ejemplo de registro de datos en formato \*.txt del sistema de automatización

## 4.8 Interfaz de relé de 8 canales

Esta interfaz corresponde al recuadro morado mostrado en la figura 98, la cual se interconecta con la tarjeta Arduino y todos los actuadores del sistema.

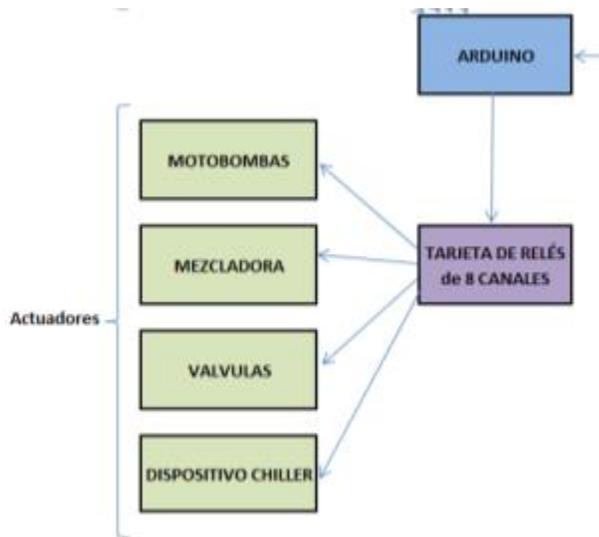


Figura 98: Diagrama de funcionamiento de la tarjeta de relés

La interfaz de relés es la encargada de activar los dispositivos que funcionan con AC como las válvulas, motobomba, chiller entre otros mediante el cambio de estado de 0v a 5v de las salidas digitales de nuestra tarjeta de adquisición de datos Arduino.

En la figura 99, se muestra nuestra interfaz de relé para 8 canales, estos canales están distribuidos y designados a los actuadores del sistema según la tabla 15 mostrada.



Figura 99: Interfaz de relé de 8 canales

Canal	Uso - Descripción
Canal 1	Activación de la motobomba de la solución nutritiva del tanque principal
Canal 2	Activación de la motobomba de la solución A
Canal 3	Activación de la motobomba de la solución B
Canal 4	Activación de la motobomba de la solución C
Canal 5	Activación de la válvula de desfogue
Canal 6	Activación de la válvula de agua
Canal 7	Activación de la Mezcladora del tanque principal
Canal 8	Activación del dispositivo de enfriamiento Chiller

Tabla 15 : Distribución de CH de la interfaz de relé

# Capítulo 5 : Operación y Resultados Obtenidos

## 5.1 Operación

En el presente capítulo, se demostrará el correcto funcionamiento de nuestro diseño de automatización y control, para ello se fabricó una maqueta de la planta del sistema NFT a una escala de 1:10 con la finalidad de simular y se obtener resultados reales.

En la figura 100, se muestra la maqueta de la planta diseñada donde se incluye todos los elementos del sistema NFT y los del sistema de control y automatización, también se puede observar que la planta se encuentra conectada al sistema de control y automatización mediante una Notebook.



Figura 100 : Maqueta del Sistema NFT para el proceso de Control y Automatización

En la figura 101 se muestra la maqueta del sistema NFT en detalle, como se indicó en el marco teórico es aquí donde las solución nutritiva recircula para administrar de micro y macro nutrientes a las plantas que crecen en este sistema.

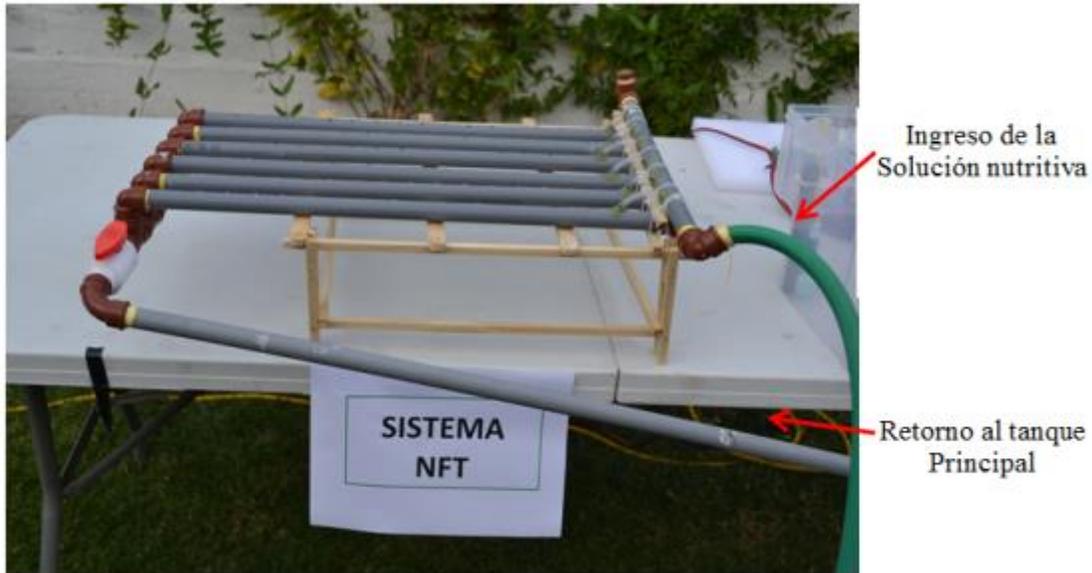


Figura 101: Maqueta del sistema NFT, escala 1:10

En la figura 102 se puede observar los elementos presentes dentro del tanque de la solución nutritiva, es aquí que se encuentran todos los sensores y algunos actuadores que permitirán el perfecto funcionamiento del sistema.



Figura 102 : Tanque Principal de la

Solución Nutritiva

En la figura 103 se muestra los tanques de las Soluciones A, B y C. Tal como fue planteado en los capítulos anteriores, el diseño contempla una motobomba y un sensor de nivel por tanque.

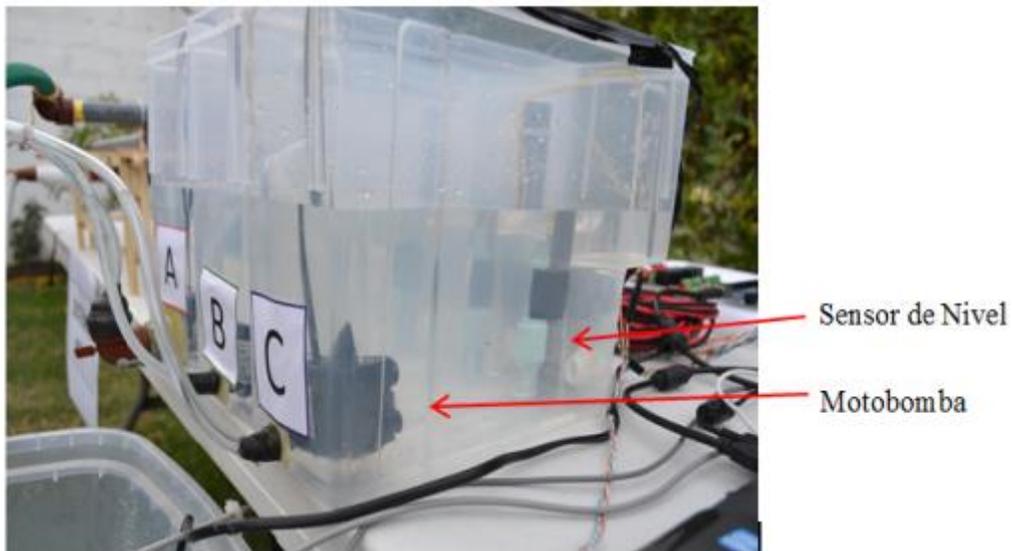


Figura 103 : Tanques de las Soluciones A, B, y C.

En la figura 104 y 105, se muestra la etapa de conexión de sensores y actuadores, la cual se encarga de conectar todos los elementos del sistema con la tarjeta Arduino Mega 2560 y así establecer comunicación el Software de LabVIEW.

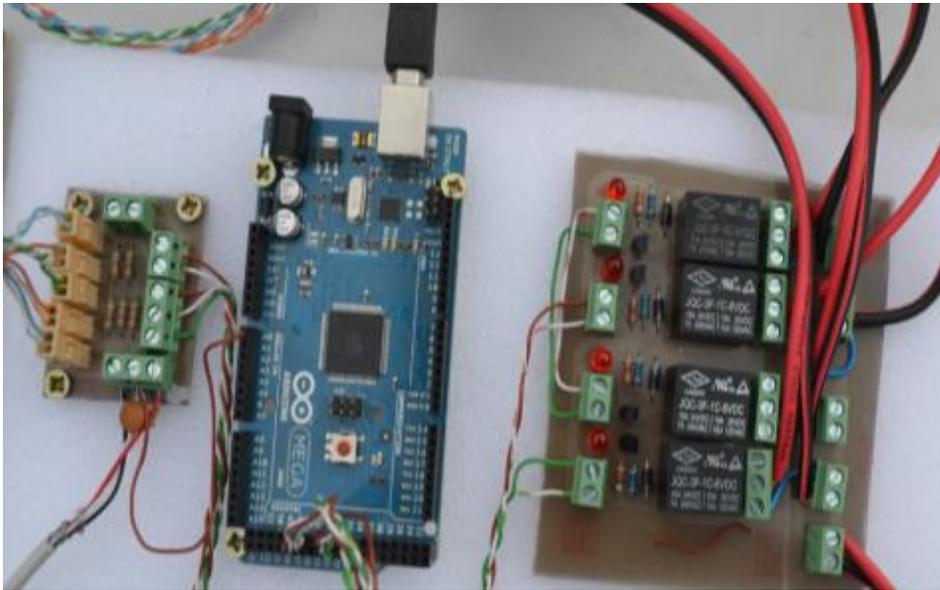


Figura 104 : Etapa de Conexión de Sensores y Actuadores



Figura 105 : Circuito de interconexión de los Sensores de pH y C.E.

Una vez conectado y alimentado todos los elementos, se procede a iniciar Software de Automatización y Control del Sistema NFT para Cultivos Hidropónicos, en el cual, como primer paso se procede a la configuración de los parámetros de los niveles de pH, C.E, Temperatura y del horario de las recirculaciones, tal como se muestra en la figura 106.



Figura 106 : Configuración de los parámetros iniciales

Una vez terminada la configuración de todos los parámetros se empieza a monitorear el sistema mediante la ventana SCADA de la interfaz de Usuario, es ahí donde observamos el estado de todas las alarmas y actuadores, como se puede ver en la figura 107.

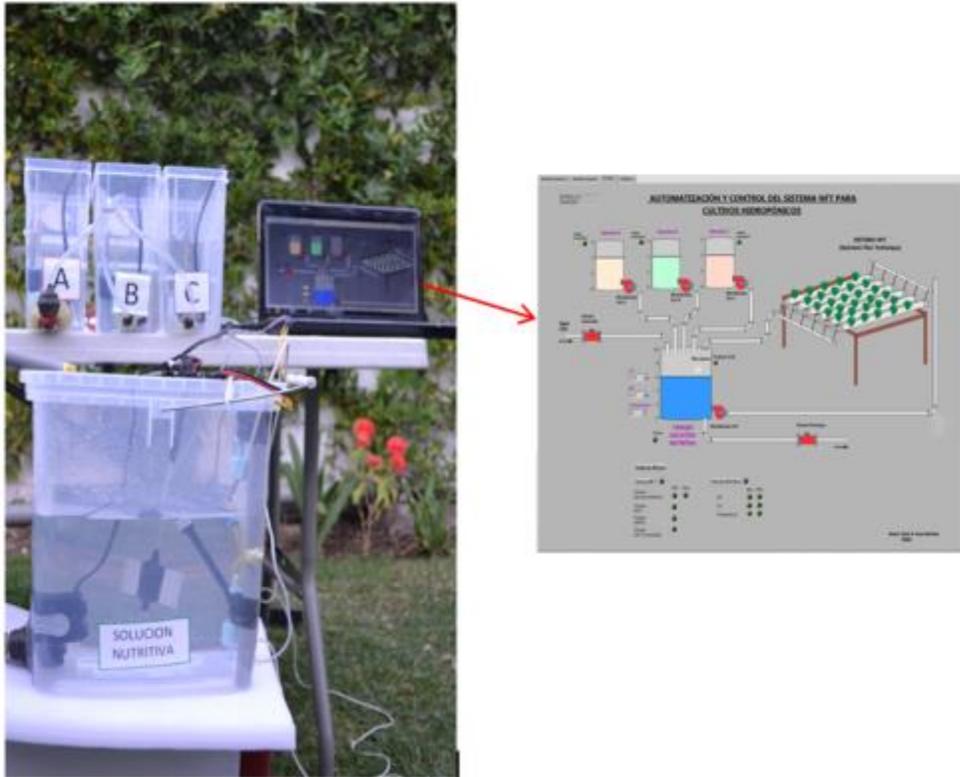


Figura 107 : Inicialización del sistema de Automatización y Control

A partir del momento de conectar el Hardware y Software, el Sistema de Automatización y Control se hace cargo del manejo de todas las variables. Prueba de ello, se muestra el funcionamiento de la recirculación de la solución nutritiva en la figura 107, en la cual se puede ver la concordancia entre hardware y software, con lo cual se demuestra la efectividad del sistema de Control.



Figura 108 : Recirculación de la Solución Nutritiva

Para realizar las pruebas del funcionamiento del sistema para los cambios en los niveles de pH y conductividad eléctrica, se usaron los productos mostrados en la figura 109, los cuales contienen soluciones con diferentes niveles de pH y Conductividad.



Figura 109 : Soluciones de pH y Conductividad Eléctrica

Estas soluciones fueron vertidas en un recipiente, con la finalidad de censar valores de pH o C.E. que estén fuera del rango programado, estas mediciones fueron realizadas para

demostrar que el sistema de control y automatización esté tomando las acciones correctivas necesarias según fue programado.

Estas acciones, fueron explicadas anteriormente y en ningún caso se tuvo problemas de funcionamiento, lo cual demuestra la eficiencia del sistema.

Figura 110 : Lectura de Valores de pH fuera del rango.



Figura 111 : Lectura de Valores de C.E. fuera del rango

En todos los escenarios, nuestro sistema de automatización y control cumple con las acciones correctivas necesarias. Lo cual garantiza el correcto funcionamiento del sistema de acuerdo a la lógica de programación descrita en el capítulo 4.

Los resultados de la adquisición de datos de los sensores se registran en tres gráficos independientes, los cuales se muestran en la figura 112, además todos los registros tanto de alarma como valores de los sensores son guardados en un archivo \*.txt, el cual puede ser fácilmente exportado a Excel u otro programa para posterior análisis.

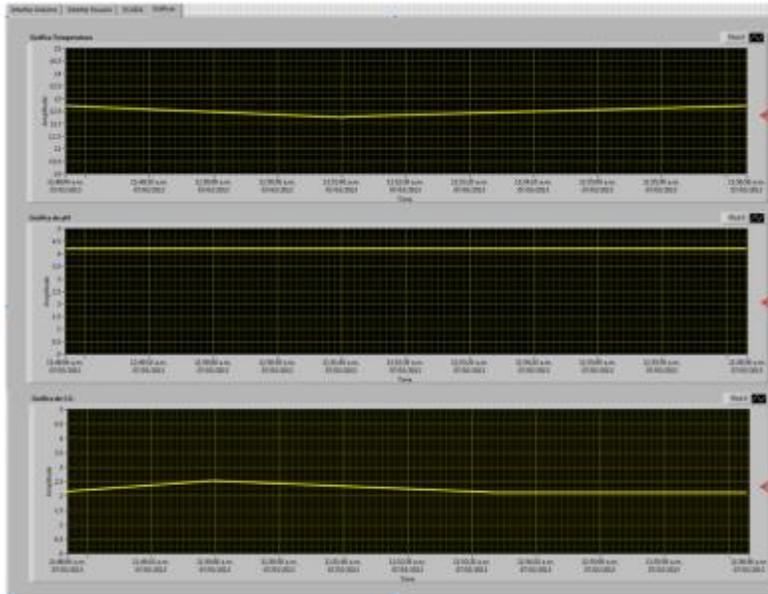


Figura 112: Resultado de las gráficas obtenidas

Costo de implementación para un sistema NFT real.

En la tabla 16 se muestra el costo de implementación del sistema de Automatización y Control, diseñado para un productor mediano, considerando todos los parámetros que fueron desarrollados en el presente proyecto.

**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN PARA CULTIVOS HIDROPÓNICOS**

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total USD	Total PEN
1	Sensor de Temperatura	Unid.	1	9	\$ 9.00	S/. 23.40
2	Sensor de pH	Unid.	1	135	\$ 135.00	S/. 351.00
3	Sensor de Conductividad Eléctrica	Unid.	1	145	\$ 145.00	S/. 377.00
4	Sensor de Nivel tipo Boya	Unid.	5	12	\$ 60.00	S/. 156.00
5	Valvula eléctrica de 1" de PVC	Unid.	5	45	\$ 225.00	S/. 585.00
6	Motobomba de 1/2 HP	Unid.	1	105	\$ 105.00	S/. 273.00
7	Dispositivo Chiller	Unid.	1	485	\$ 485.00	S/. 1,261.00
8	DAQ Arduino	Unid.	1	70	\$ 70.00	S/. 182.00
9	Sistema de Energía	Unid.	1	70	\$ 70.00	S/. 182.00
10	Cañerías y miscelaneos	Gbl.	1	80	\$ 80.00	S/. 208.00
11	Cableado eléctrico	Gbl.	1	40	\$ 40.00	S/. 104.00
12	Software del sistema de Control y Automatización	Unid.	1	800	\$ 800.00	S/. 2,080.00
13	Costo de Instalación	Gbl.	1	700	\$ 700.00	S/. 1,820.00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 2,924.00</b>	<b>S/. 7,602.40</b>

Tabla 16: Costo de Implementación del Sistema

Si bien la implantación de este sistema puede resultar elevada, se justifica a una inversión a medio plazo, principalmente porque garantiza al productor disminuir las pérdidas por un mal manejo en el control de los parámetros de pH, conductividad eléctrica y temperatura de la solución nutritiva.

Como un ejemplo, se puede indicar que un mal manejo de las variables de pH, conductividad eléctrica y/o temperatura puede arruinar toda una cosecha, lo que significaría una pérdida total de la inversión inicial: semillas, horas hombre, solución nutritiva, entre otros, cuyo monto total de pérdida dependería del tipo de cultivo que el productor haya cultivado, otro aspecto a tomar en cuenta es que si el productor usaría el sistema de control y automatización la inversión realizada representaría un beneficio al productor de un +15% del valor, esto debido al aumento del rendimiento y calidad de la producción por un buen manejo de las variables citadas, estas estimaciones son tomadas relacionado a los estudios de las buenas prácticas para los cultivos hidropónicos.

-Tarjeta de interfaz de relé de 8 canales (50-60mA para activación)

-Soporta AC 250V 10A

-Soporta DC 30V 10A.

-Interfaz estándar usado para controlar directamente por el microcontrolador

-LED indicador del estado de la salida de relé.

# Capítulo 6 : Conclusiones y Recomendaciones

## 6.1 Conclusiones

De acuerdo a nuestros objetivos propuestos y habiendo concluido el trabajo de tesis, llegamos a las siguientes conclusiones y observaciones:

El diseño del sistema de control y automatización para los cultivos hidropónicos que usan la técnica NFT, no solamente permite controlar los niveles de pH, conductividad y temperatura de las soluciones nutritivas, además de ello permite registrar constantemente estos valores creando un registro de todas las variables a lo largo del proceso de producción, lo cual se convierte en una fuente de información importante para mejorar la calidad de las producciones futuras.

Aplicando el uso del software LabVIEW y Hardware Arduino se diseñó un sistema robusto, fiable, que puede ser usado sin problemas a gran escala y además de coste bajo lo cual hace de este un sistema atractivo para los productores.

La Interfaz de Usuario creada para monitorear el proceso de control y automatización, hace de este sistema una herramienta sencilla y amigable con el usuario, en el cual se puede manejar todas las variables involucradas en los cultivos hidropónicos.

La implementación del presente sistema de automatización y control permitirá al productor reducir el costo de personal debido a que el sistema será el encargado del registro de los parámetros.

Usando este sistema, el productor reducirá notablemente las pérdidas de plántulas que se debían a un mal manejo de las variaciones de pH, conductividad eléctrica y temperatura de la solución nutritiva, gracias a que al implementar este sistema, este tomará acciones correctivas inmediatas cuando una de estas variables esté fuera del rango deseado, manteniendo a todas las plántulas dentro del estado óptimo de crecimiento.

El resultado inmediato de implementar el sistema de automatización y control es garantizar que las plantas estén sin ningún estrés alimenticio, lo cual se reflejará en una mejor producción y por tanto en mejores utilidades para el productor.

## **6.2 Recomendaciones**

Como retos posteriores a esta tesis podríamos mencionar:

El mayor reto que se presenta a partir de este sistema es poder integrar análisis biológicos que permitan mostrar la composición química de las soluciones nutritivas, esto con la finalidad de cubrir todas las necesidades del productor hidropónico.

Sería importante crear una alianza con los centros de Investigación Hidropónicos activos y nuestra facultad de Ingeniería Electrónica con la finalidad de desarrollar proyectos conjuntos a favor del desarrollo productivo y tecnológico.

Finalmente, uno de los aportes de la presente tesis, podría verse reflejada al diseñar áreas verdes en las azoteas de las facultades de nuestra universidad, usando el sistema de control y automatización que podrían ser manejados por los alumnos como instrumento de aplicación de los cursos de Control.

# Bibliografía

- [1] P. D. J. I. P. D. Gilda Carrasco, LA EMPRESA HIDROPONICA DE MEDICA ESCALA: LA TECNICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA RECIRCULANTE, TALCA - CHILE: UNIVERSIDAD DE TALCA, 1996.
- [2] M. C. L. R. M. H. R. ., F. F. G. Alfredo Rodríguez Delfín, «Hidroponía: Prespectivas y Futuro,» de *MANUAL PRACTICO DE HIDROPONIA*.
- [3] J. C. Gilsanz, HIDROPONIA, Montevideo - Uruguay: Unidad de Comunicacion y transferencia en tecnología, 2007.
- [4] U. A. L. MOLINA, «CURSO PRACTICO INTERNACIONAL DE HIDROPONIA 2012».
- [5] P. P. R. A. B. M. ESTEBAN FAVELA CHAVEZ, MANUAL PARA LA PREPARACIÓN DE SOLUCIONES NUTRITIVAS, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.
- [6] N. INSTRUMENTS, «<http://www.ni.com>,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/labview/whatis/esa/>. [Último acceso: 12 04 2013].
- [7] NATIONAL INSTRUMENTS, Fundamentos del Entorno NI LabVIEW, NI, 2012.
- [8] NI, Introducción LabView, NI, 2012.
- [9] J. R. L.-. J. P. .. E. Marcombo, Entorno gráfico de programación (LabVIEW 8.2), MARCOMBO, S.A., 2007.

[10] Universidad de la Frontera - Chile, Guía de Iniciación en LabVIEW 7.1, Temuco, 2008.

[11] N. INSTRUMENTS, «<http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>,» ni.com, 2013. [En línea].

[12] ARDUINO, «<http://www.arduino.cc/es/>,» Arduino Company, 2013. [En línea].

[13] ARDUINO, «<http://arduino.cc/es/Main/ArduinoBoardMega/>,» Arduino Company, 2013. [En línea].