

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL HIDROPÓNICO PARA LA GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO

Jorge Luis Herrera García  
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico  
Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de julio 5-21 Ibarra  
Jlherrera@utn.edu.ec

**Resumen-** El presente proyecto de investigación consiste en el diseño real de un sistema de control hidropónico para la granja experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte y en la construcción de un módulo didáctico para la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico. El primer capítulo contiene los antecedentes de los cultivos hidropónicos y cómo los sistemas de control automáticos han contribuido en la automatización para un mejor desarrollo de los diferentes cultivos; también se plantea la formulación del problema y de los diferentes sistemas de cultivos hidropónicos. En el segundo capítulo se plantea los fundamentos teóricos en todo lo que se refiere a los cultivos hidropónicos, sistemas de riego para hidroponía, sistemas de control automático, y como se realiza el

Proceso de automatizado mediante el controlador lógico programable (PLC). El tercer capítulo consta de los tipos y métodos necesarios para realizar la investigación de este proyecto, que nos ayuda a centrarnos a fondo en el desarrollo del proceso investigativo; en el capítulo cuatro se procede a realizar la propuesta tecnológica tomando en cuenta el fundamento teórico y los diferentes tipos de investigación, para realizar el diseño y la construcción de un sistema de control automático donde los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico realicen el estudio en todo lo referente a los sistemas de control la instrumentación industrial y sus dispositivos; finalmente en el capítulo cinco están las conclusiones que se basan en los objetivos cumplidos.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los procesos de control y automatización son de suma importancia en los cultivos hidropónicos, ya que estos procesos al ser controlados manualmente existe la posibilidad de que la planta no crezca con requerimientos que necesita.

Los cultivos hidropónicos al no ser monitoreados con un sistema de control existe la posibilidad de que la planta crezca con enfermedades ya que si no se controla un pH, las sustancias nutritivas pueden perder un cierto número de nutrientes que son importantes para las plantas.

Al controlar un cultivo hidropónico mediante un controlador lógico programable, se puede obtener datos de forma exacta y saber si el cultivo está creciendo en las condiciones necesarias que necesita.

## II. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

a) LUGAR DE DISEÑO La granja experimental Yuyucocha tiene las instalaciones adecuadas para el diseño del sistema de control hidropónico, mediante la guía de los docentes a los estudiantes en todos los tipos de cultivos agrícolas.

Esta investigación consiste en analizar todos los parámetros que necesita los cultivos hidropónicos utilizando sensores de humedad relativa, pH, y de riego este último fundamental en la hidroponía.

Un riego de buena calidad es posible si se tiene toda la información necesaria en función del tiempo real de factores como humedad y temperatura del suelo, todo esto si se tiene un adecuado sistema de control para que la planta reciba la solo la cantidad necesaria, como resultado de esto se reduce las pérdidas del líquido vital y se mejora la calidad del cultivo.

El sistema de control puede ayudar a obtener todo lo planteado mediante la programación, utilizando el PLC s71200 con su respectivo software TIA portal, todo esto incorporado a una pantalla HMI donde se pueda visualizar mediante las señales obtenidas por los captadores.

En la figura 1 se muestra el lugar de trabajo para realizar el diseño:

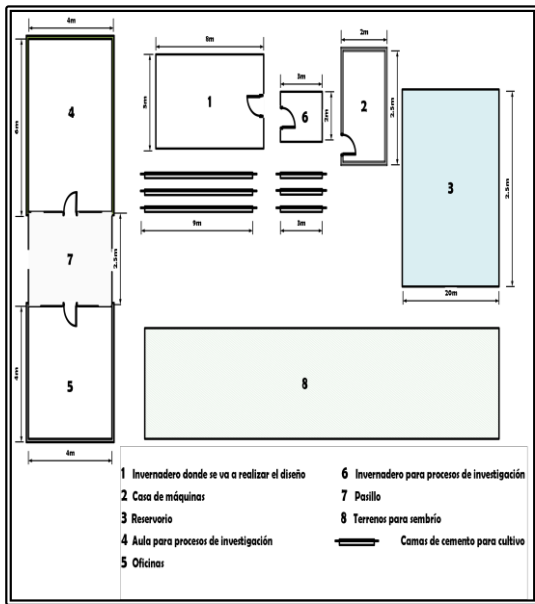


Figura 1 Diseño de ubicación del invernadero

### III. SISTEMA DE RIEGO

Tomando en cuenta la infraestructura del invernadero y como está instalado el sistema de tubería es factible utilizar el sistema de riego NFT.

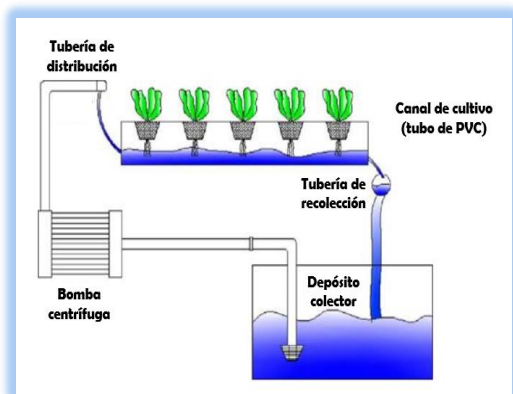


Figura 2 Sistema NFT

### V. Procedimiento de cálculo

El invernadero tiene una longitud de 8m por 3 m, el cual tendrá 4 líneas de tubería de 4'' de diámetro, en las líneas de distribución con un caudal promedio de 2.5 litros por minuto en cada tubería con el flujo de la sustancia nutritiva continua.

Datos:

Caudal requerido: 2.5 lts/min por cada línea de distribución

Distancia entre plantas: 20 cm

Duración de cada riego: 10 minutos cada hora

Cálculo total del sistema

Q total: lts/ min × #de líneas

Q total: (2.5 lts/min) (4 líneas)

Q total: 10 lts/min

$$Q \text{ total} = 10 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{m}^3}{1000\text{lts}} \times \frac{1 \text{min}}{60\text{s}}$$

$$Q \text{ total} = 1.66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Con el dato obtenido del cálculo de caudal se deduce que es el adecuado en comparación con otro tipos de riego para la recirculación de la sustancia nutritiva, para el sistema de riego NFT es necesario realizar el riego todos los días cada 2 horas durante 3 minutos, entonces 30 litros de riego cada dos horas es el adecuado para que los nutrientes entreguen los compuestos adecuados a la raíz de las plantas.

### IV. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

En la figura 3 se muestra el diseño del sistema de riego NFT con las medidas reales de la granja Yuyucocha, y como se observa, el invernadero cuenta con 4 líneas de cultivo por donde debe recircular la sustancia nutritiva según los tiempos de riego programados.

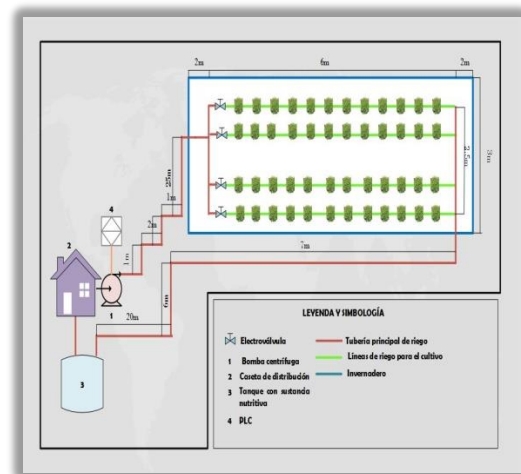


Figura 3 Diseño del sistema de riego NFT

### VI. VARIABLE DE CENSADO DEL SENSOR DE CAUDAL

Para poder controlar el caudal de la sustancia nutritiva, el proceso de las líneas de riego necesita un controlador que en este caso es el PLC, este toma la diferencia entre el caudal deseado(o referencia) y el

caudal medido y provee el voltaje para las líneas de riego en este caso la bomba centrífuga tal que haga posible que la diferencia sea cero o lo más cercana posible.

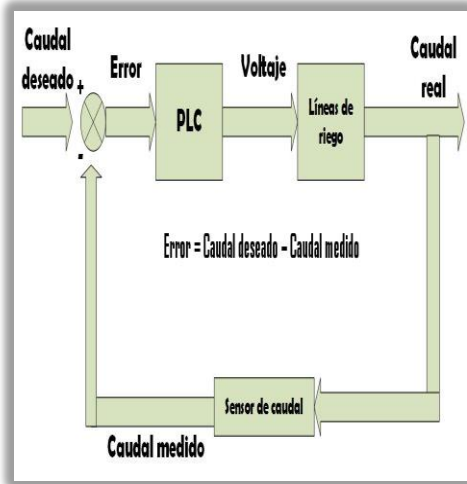


Figura 4 Diagrama de control del sensor de caudal

### VII. VARIABLE DE CENSADO DE pH

Esta medición va tener un rango estándar de pH en la sustancia nutritiva de 5,6 a 6,5, para ello es necesario realizar un control de tipo on-off o también llamado de dos posiciones ya que si el pH aumenta o disminuye de los valores establecidos se van activar dos electroválvulas que entregará elevador de pH si disminuye y reductor de pH si sobrepasa el rango estándar.

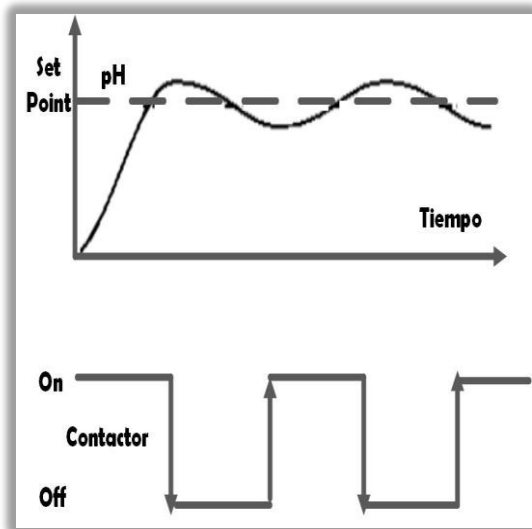


Figura 5 Diagrama de control on-off del sensor de pH

### VIII. REQUERIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Tabla 1 Consumo de energía eléctrica

Dispositivo	Número de horas de funcionamiento al día	Potencia (W)	Energía
Bomba centrífuga	2	746	1492
Variador de frecuencia	2	1110	2220
			3712

La energía consumida diariamente será de 3712, o sea 3,712 kWh por día, esto multiplicado por 31 días es de 111 kWh al mes.

(111kWh)\* (0,10 ctvs. Valor del kWh)= \$11,10

### IX. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL HIDROPÓNICO

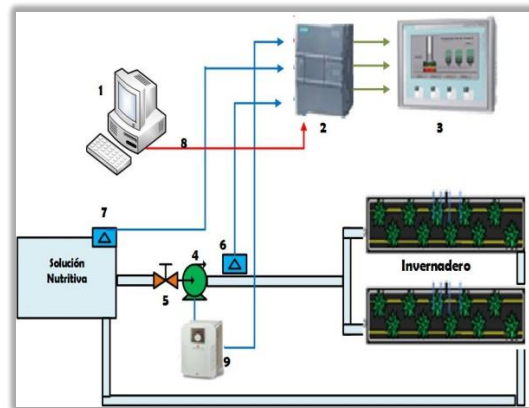


Figura 6 Diagrama del sistema de control hidropónico

### X. DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

1. Interfaz de programación con software TIAPORTAL.
2. Controlador lógico programable(PLC)
3. Pantalla HMI, visualización de salidas del sistema de control
4. Bomba centrífuga para el sistema de riego
5. Válvula de pie
6. Sensor de caudal para medir la velocidad del agua, es necesario para el control de riego de los nutrientes en los cultivos.
7. Sensor de pH necesario para controlarlo en la sustancia nutritiva
8. Cable de programación Ethernet
9. Variador de frecuencia

El objetivo de controlar el sistema de control hidropónico es mantener las magnitudes dentro de un rango establecido, sin importar la presencia de factores que afecten la estadía de factores alternos que alteren el proceso de control.

## XI. PRESUPUESTO REFENCIAL

Tabla 2 Tabla referencial de los equipos de control

Descripción	Cantidad	Precio (USD)
PLC S71200 12/12 Ac/dc Rly	1	420,00
Módulo de expansión de 4 entradas y 2 salidas analógicas	1	530,00
Pantalla HMI simatic monocromática	1	370,00
Sensor de caudal (flujómetro)	1	40,00
Sensor de pH	1	70,00
Sensor de humedad relativa	1	35,00
Cable USB	1	3,00
Variador de frecuencia 1 HP	1	265,00
Contactador 10A/ 220 V	1	16,00
Caja de control	1	72,00
Interruptor trifásico	1	15,00
<b>Total:</b>		<b>1836,00</b>

Tabla 3 Tabla referencial del sistema de riego

Descripción	Cantidad	Precio (USD)
Tubo universal PVC 1" 8m	4	16,00
Tubo Reductor 50*32 M-H PVC	2	10,00
Tubo tipo T 50*32*50 reductora PVC pegada	8	24,00
Tapón 50mm PVC hembra pegado	2	7,00
Electroválvula para riego	4	200,00
Tubo universal PVC 2" 30m	1	42,00
Pegante para tubo PVC tipo industrial	2	10,00
<b>Total:</b>		<b>309,00</b>

El presupuesto total para la implementación del sistema de control hidropónico con el tipo de sistema de riego NFT es de USD 2.145, los estudiantes podrán realizar este tipo de investigaciones con valores reales de las variables de flujo y del pH de nutrientes que adquiere el sistema de control.

## XII. CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL HIDROPÓNICO

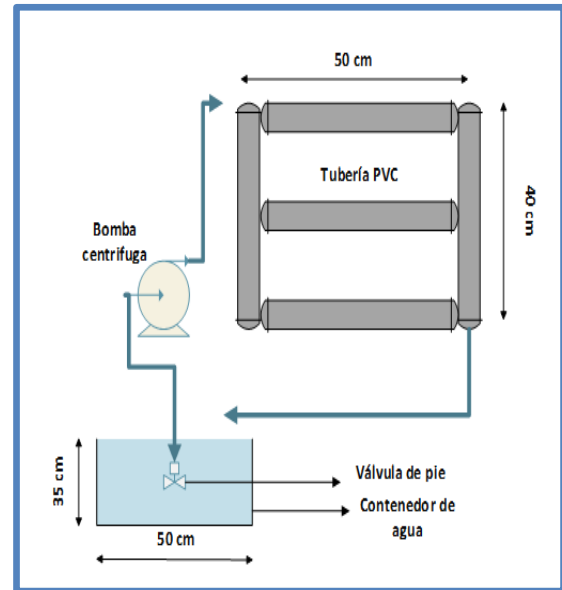


Figura 7 Diagrama del sistema NFT del módulo

## XIII. Cableado de la parte de control

En la figura 8 se muestra el cableado de todos los dispositivos que están instalados en la parte de control, para ello se necesitó cable flexible # 16 para la parte de control, y para la parte de potencia cable # 12.

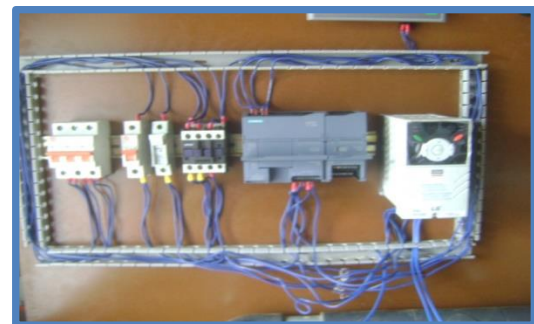


Figura 8 Cableado de la parte de control

#### XIV. DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA

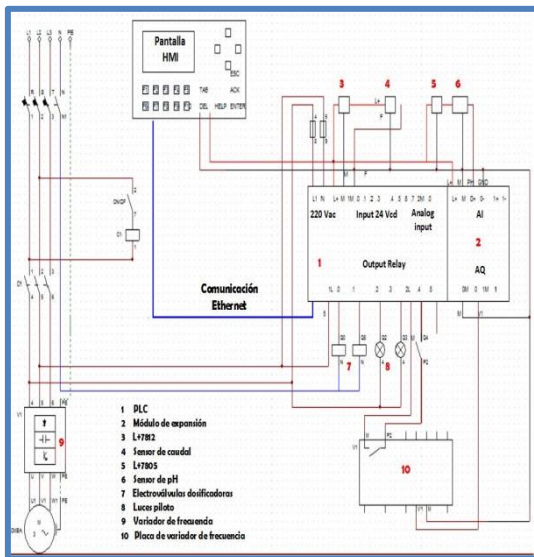


Figura 9 Diagrama de conexión eléctrica

#### XV. ADQUISICIÓN DE DATOS

En la figura 10 se muestra el módulo culminado, este cuenta con un interruptor trifásico que energiza al sistema y un interruptor manual para dar inicio al sistema.



Figura 10 Módulo didáctico finalizado

Para iniciar el funcionamiento del módulo luego de ser energizado, es la pantalla HMI la que va a realizar todo el proceso como se observa en la 11.



Figura 11 Inicio de proceso de pantalla HMI

La pantalla cuenta con 10 teclas de función, cada una de estas tiene su respectivo funcionamiento para visualización de las variables:

- F3: Iniciar el sistema
- F6: Control y visualización del cultivo de cebolla
- F7: Control y visualización del cultivo de tomate
- F8: Control y visualización del cultivo de lechuga
- F9: Control y visualización del cultivo de rábano
- F10: Con esta tecla se puede seleccionar una variable manualmente, según el valor que se le quiera designar, con F1 va a disminuir el valor del setpoint deseado, y con F2 va a incrementar.
- F5: Esta tecla de función es un menú y permite visualizar el control actual que está en funcionamiento.
- F4: Con esta tecla todo se apaga todo el sistema

Por ser un módulo donde los estudiantes puedan visualizar y aprender el sistema de control de caudal y pH, se estableció un cambio de riego cada 30 segundos. Pero los datos reales de riego en cualquier tipo de cultivo hidropónico son cada 2 horas de 3 a 5 minutos.

Para que un sistema de cultivo hidropónico sea eficiente el pH requerido de la sustancia nutritiva debe estar en los rangos entre 5,5 y 6,5, en esta escala el cultivo va a crecer de una buena manera.

En las siguientes ilustraciones se muestra los datos obtenidos para cada tipo de variable según su función.

- a. Control del proceso de la variable de la cebolla

Las figura 12 indica los datos obtenidos con la variable de la cebolla para iniciar este tipo de riego con sustancia nutritiva se inicia presionando la tecla F6, como se puede observar en la programación se estableció un setpoint o caudal requerido de 8 litros por minuto, dando una resultante de 8,1 litros por minuto que es el caudal adecuado con el setpoint.

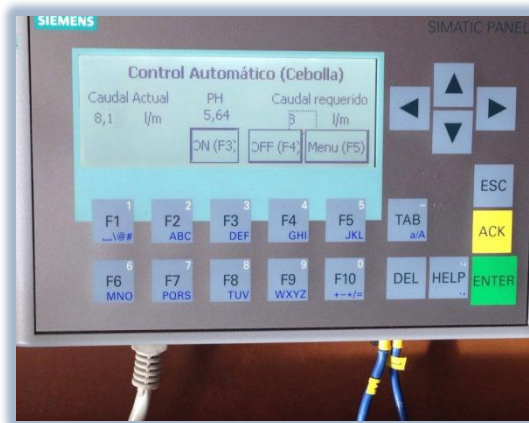


Figura N°. 12 Control automático (cebolla)

En la pantalla se puede observar un pH de 5,64, como se mencionó anteriormente para que el cultivo crezca de una manera adecuada el pH de la sustancia nutritiva debe estar en los rangos de 5,5 hasta 6,5, entonces el pH medido es el adecuado para este cultivo.

b. Control del proceso de la variable del tomate

Al presionar la tecla F7 en la pantalla HMI va a cambiar el setpoint a 12 litros por minuto como se observa en la figura 13, lo cual el controlador lógico programable dará la orden para que el variador de frecuencia aumente la velocidad de la bomba centrífuga, y se establezca el caudal requerido que se ha programado, que en este caso es de 12 litros por minuto.

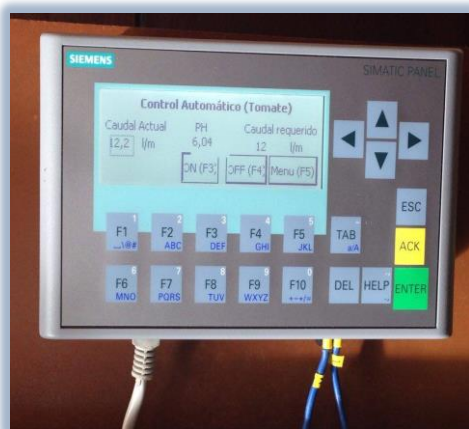


Figura 13 Control automático (Tomate)

Se puede observar un pH de 6,04, que es el adecuado para este tipo de cultivo.

El módulo de control tiene una sola sustancia nutritiva para los 4 tipos de cultivo, pero comparando el pH de la cebolla con el de tomate se nota una pequeña diferencia en el valor. Esto se debe a que al momento de cambio de cultivo en la pantalla, la bomba centrífuga va a succionar agua de una manera más rápida y con el movimiento del agua el sensor de pH va a cambiar sus valores, pero este cambio es despreciable, y además está en la escala requerida para

estos tipos de cultivo y no afecta a los valores requeridos.

c. Control del proceso de la variable de la lechuga

Para realizar el control y visualización de la lechuga se presiona la tecla F8, y como ya se indicó va a cambiar el setpoint que en el caso de la lechuga se lo estableció en 16 litros por minuto, en la figura 14 se puede observar el caudal requerido que se controló, dando el resultado de los 16 litros por minuto.

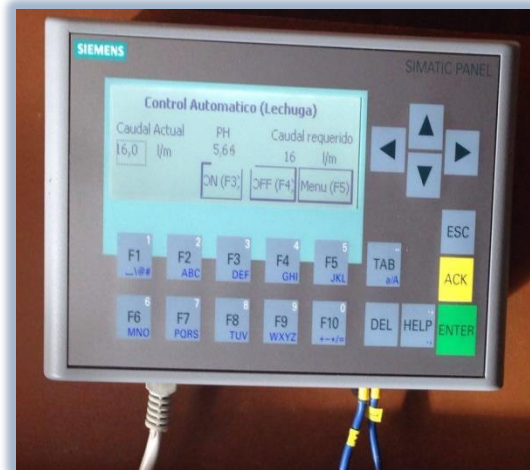


Figura 14 Control automático (Lechuga)

En la figura se muestra un pH de 5.66, que con lo mencionado sobre la escala de pH para estos tipos de cultivo es el óptimo para este control.

d. Control del proceso de la variable del rábano

Presionando la tecla F9 la bomba centrífuga para realizar una succión de 17,9 litros por segundo como se puede observar en la figura 15, en esta variable se estableció setpoint de 18 litros por minuto.

El sensor de pH mide un valor de 5,91 para este tipo de cultivo, muy adecuado para el proceso de crecimiento.

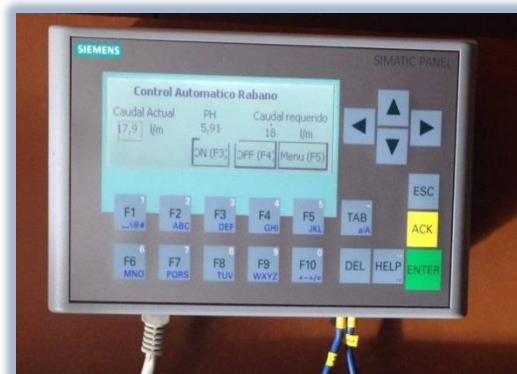


Figura 15 Control automático (Rábano)

e. Control del proceso manual

El control de proceso manual (véase figura 16) se lo va a realizar presionando la tecla F10, donde el usuario puede elegir el valor que requiera, en este caso se le asignó un caudal requerido de 13 litros por minuto.



Figura 16 Control manual

Al asignar este setpoint como ya se mencionó el PLC da la señal al variador de velocidad para que la bomba centrífuga succione el caudal establecido, finalizando con un valor de 13, 1 litros por minuto.

Para asignar el caudal que se requiera manualmente se debe presionar la tecla F1 para disminuir el setpoint y F2 para aumentarlo. Y como se observa con un caudal de 13,1 se obtiene un pH de 5,66 en vista de que la sustancia nutritiva es la misma para todos los cultivos se asemeja a otros anteriormente mencionados.

f. Adquisición de datos del pH de la sustancia nutritiva

Como ya se enunció el pH adecuado para los cultivos hidropónicos debe estar en una escala de 5.6 a 6.5, fuera de estos valores afecta a los nutrientes que son requeridos por la planta.

En la figura 17 se indica los dos elementos necesarios para establecer el control adecuado de pH: El reductor de pH y el elevador de pH.

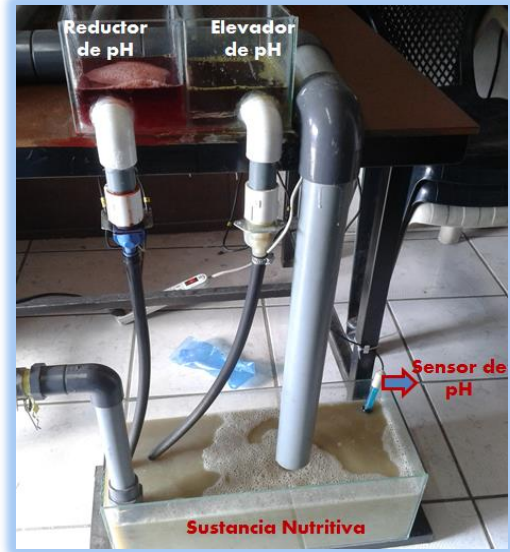


Figura 17 Electroválvulas dosificadoras

Para hacer esta prueba es necesario realizar una perturbación manual en el sistema de control poniendo un líquido extra en la sustancia nutritiva que nos reduzca el PH, al realizar esto, como se muestra en la figura 18 el pH baja a 5.50, y en la programación se puso que el valor mínimo es de 5.6 que es el adecuado, la electroválvula que contiene el elevador de pH se activa y regula hasta mantener el dato adecuado que es de 5,6 a 6,5, que en este caso eleva el pH a 5.70.



Figura 18 Visualización de cambio de pH

Las electroválvulas se instalaron en el módulo con el objetivo de controlar el pH, en el caso que hubiese perturbaciones como por ejemplo, un líquido extra que lo altere y se salga de los rangos adecuados.

Al momento de realizar la mezcla de la sustancia nutritiva se debe establecer la escala de pH adecuada antes mencionada, que servirá para todo el proceso de crecimiento de la planta.

## XVI. CONCLUSIONES

Los elementos eléctricos y electrónicos se encuentran fácilmente en el mercado ecuatoriano y su precio es asequible a excepción del módulo de expansión, el PLC, el variador de frecuencia y la pantalla HMI,

cuyos precios bordean un valor de 350 USD, equipos indispensables para la construcción del módulo didáctico del sistema de control hidropónico.

El manual de lenguaje de programación, ayudará a los estudiantes a configurar y programar el controlador lógico programable S71200, los sensores de caudal y de pH, y la pantalla HMI donde se visualizarán todos los elementos programados.

La implementación del módulo de control de procesos hidropónicos en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, ayudará a los estudiantes a realizar prácticas de la materia de sistemas de control automático.

Los sensores de caudal y pH son fáciles de calibrar y programar, son los que ayudan a que los cultivos tengan un correcto abastecimiento de nutrientes y mantener un nivel de pH adecuado en su proceso de crecimiento.

El software STEP 7 es de gran ayuda en los procesos industriales, estos ayudan mediante la utilización de tres lenguajes de programación amigables, al control de procesos industriales.

La implementación de sistemas de control en la industria, en el campo tecnológico y científico, son de mucha importancia ya que nos ayudan a aumentar la eficiencia y eficacia en los procesos ahorrando tiempo y materia prima disminuyendo en lo posible los desperdicios.

## VII. REFERENCIAS

- Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna. Madrid. Quinta edición
- Navarro, P. F. (2010). Fertirrigación e hidroponía. Valencia
- Benjamin , C. K. (1996). Sistemas de control automático. Estado de México : Naomi Goldan .
- Beltrano , J., & Jimenez , D. O. (2015). Sistemas hidropónicos . Buenos Aires: Universidad de la Plata. Primera edición